



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : Technologie
DEPARTEMENT : Electronique

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Science et technique
FILIERE : Electronique
OPTION : Instrumentation

Présenté par : RASNAAMA Omar
CHIKHKACI Abdelhamid

Thème

**Modélisation et optimisation d'un système
de stockage couplé à une production
électrique renouvelable intermittente**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BIRANE MOUHOU	MCA	Président
HAMDI ABDELWAHAB	MAA	Examineur 1
LEILA AMEL VILBOIS	MAA	Rapporteur

Promotion 2022

Remerciement

Nous exprimons nos vifs remerciements en particulier à notre promoteur Mme *Vilbois Leila* qui a accepté de nous encadrer et pour ces orientations et son soutien.

Nous tenons aussi à remercier le président et les membres de jury qui ont bien voulu nous faire l'honneur de juger notre travail.

Nous remercions également les êtres les plus chers aux mondes « Nos Parents » pour tous les efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de nous voir réussir. A toute la communauté scientifique à travers le monde entier

Dédicaces

Je remercie Allah le tout puissant de
m'avoir donné le courage,
La volonté et la patience de mener à
terme ce présent travail. Je voudrais
remercier mes grands-parents et mes
parents de m'avoir toujours soutenu et
encouragé tout au long de mes études.
Merci encore. A la fin de ce modeste
travail, il me reste qu'à le dédier à tous
ceux et celles dont je garde les bons
souvenirs ; au plus profond de mon
âme à :

À tous les membres de ma grande
famille À tous mes amis. À tous ceux
qui ont contribué de près ou de loin à la
réalisation de ce travail.

Hamid

Je dédie ce modeste travail à :
Mes très chers parents, pour leur sacrifice, et
qui n'ont jamais cessé de m'encourager que

Dieu me les garde

Mes chères grands-mères que dieu me le
garde

Mes très chères sœurs

Mes très chers frères

Ma chère femme

Mon cher fils

Mes enseignants

Tous mes amis (es)

Omar

Table des matières

Remerciement.....	I
Dédicaces	II
Table des matières	IV
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XI
Liste des symboles	XII
Abréviations	XIII

Chapitre I : Energétique Photovoltaïque

Introduction Générale	1
I.1. Introduction	2
I.2. Energie solaire	2
I.3. Energie solaire photovoltaïques	2
I.4. Le rayonnement solaire	3
I.4.1. Un semi-conducteur	5
I.5. Système photovoltaïque	6
I.6. La cellule photovoltaïque	6
I.7. Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque	7
I.8. Facteurs influençant sur le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	8
I.8.1. Influence de l'éclairement E (W/m^2)	9
I.8.2. Influence de la température	9
I.9. Paramètres de la cellule solaire	10
I.9.1. Le courant de court-circuit (I_{CC})	10
I.9.2. La tension à vide (V_{OC})	10
I.9.3. Point de puissance maximale (PPM)	10
I.9.4. Factor de suffisance (ff)	11
I.9.5. Rendement de la cellule (η)	11
I.10. Les différentes filières photovoltaïques	11
I.10.1. La filière silicium cristallin	11
a) Le silicium monocristallin	11
b) Le silicium multi cristallin	11
c) Cellules en couche mince	12
1) Simples jonctions au silicium amorphe	12
2) Le tellure de cadmium (CdTe)	12
3) Le di-séléniure de cuivre et indium (CIS ou CIGS)	12

I.10.2.	La filière des cellules organiques	13
I.10.3.	La filière des pérovskites	13
I.10.4.	Cellules multi-jonctions à haut rendement	13
I.11.	Les différentes technologies de panneaux solaires testés	14
I.12.	Le générateur photovoltaïque	14
I.13.	Le module (ou panneau)	15
I.14.	Composants des systèmes photovoltaïques autonomes	15
I.15.	Conclusion	17
I.16.	Référence:.....	18

Chapitre II : Les batteries

II.1.	Introduction	21
II.2.	Importance du stockage d'énergie électrique	21
II.3.	Le stockage d'énergie permet	21
II.4.	Les accumulateurs électriques	22
II.5.	Détermination de la capacité de l'accumulateur	22
II.5.1.	Modèle équivalent d'une batterie	23
II.5.2.	Principe général de fonctionnement d'une batterie	24
II.6.	Caractéristiques principales d'une batterie	25
II.6.1.	Capacité en Ampère heure	25
II.6.2.	Rapports de chargement et déchargement	25
II.6.3.	Température	25
II.6.4.	La durée de vie	26
II.6.5.	Profondeur de décharge	26
II.6.6.	La tension d'utilisation	26
II.6.7.	Valeurs limites	26
II.6.8.	Énergie stockable	26
II.6.9.	Rendement énergétique	26
II.6.10.	Autodécharge	26
II.7.	Type des batteries	27
II.7.1.	Batterie Plomb-acide (Lead-Acid Battery).....	27
II.7.2.	Le fonctionnement des batteries au plomb	27
II.8.	Les différents types de batteries au plomb	29
II.9.	Batteries « classiques » ou ouvertes	29
II.9.1.	Batterie Nিকেle-cadmium (NiCd)	29
II.9.2.	Batterie nickel-métal-hydrure (Ni – MH)	30
II.9.23.	Batterie Nিকেle-zinc (Ni – Zn)	30
II.9.4.	Batterie Sodium- soufre (Sodium Sulphur battery).....	30

II.9.5.	Batterie lithium-ion	31
II.10.	Accumulateur Lithium-ion	32
II.10.1.	Principe de fonctionnement	32
II.10.2.	Performances techniques	34
II.11.	Contrôle de charge	35
II.12.	Différentes causes de la défaillance des batteries	35
II.13.	Critères de choix du système de stockage	35
II.14.	Impact de la température sur les mécanismes du vieillissement	36
II.15.	Connexion d'une batterie	36
II.16.	Mesures de sécurité	37
II.17.	Convertisseurs électriques	37
II.17.1.	Type des convertisseurs	38
II.17.2.	Choix du convertisseur	38
a)	Convertisseur Continu-Alternatif (Onduleur)	39
b)	Convertisseur DC/DC (Hacheur)	39
c)	Hacheur abaisseur (Buck)	39
d)	Hacheur élévateur (boost).....	40
e)	Hacheur abaisseur-élévateur (Buck-boost)	40
II.18.	Régulateur de charge et décharge	41
II.19.	Technique de régulation	41
II.20.	Principe de fonctionnement des régulateurs	41
II.20.1.	Régulateur parallèle	42
II.20.2.	Régulateur série	42
II.21.	Poursuite du point de puissance maximale	43
II.22.	Cout des batteries et perspectives	44
II.23.	Conclusion	45
II.24.	Référence	46

Chapitre III : Dimensionnement l'installation photovoltaïque

III.1.	Introduction	51
III.2.	Objectif général	51
III.3.	Etapes pour dimensionner l'installation	52
III.4.	Détermination de l'irradiation du site pour le dimensionnement	52
III.4.1.	Période d'ensoleillement	52
III.4.2.	Calcul de la consommation énergétique	53
III.4.3.	Les besoins de l'application en énergie	53
III.5.	Dimensionnement d'un système PV	54
III.6.	Détermination du nombre de panneaux photovoltaïques	54
III.7.	Orientation et inclinaison des panneaux	55

III.8.	Dimensionnement du parc batteries	56
III.9.	Détermination du régulateur de charges	56
III.10.	Dimensionnement de l'onduleur	56
III.11.	Calcul de la section des câbles	57
III.12.	Etude et dimensionnement de l'installation d'un système solaire pour résidence à l'institut de formation professionnelle.....	57
III.12.1.	Caractéristiques du panneau solaire à utiliser	59
III.12.2.	Dimensionnement du générateur photovoltaïque	59
III.12.3.	Choisir la tension de fonctionnement du champ photovoltaïque	61
III.12.4.	Dimensionnement du système de stockage	61
III.12.5.	Caractéristiques de la batterie solaire à utiliser	62
III.12.6.	Dimensionnement du régulateur	63
III.12.7.	Dimensionnement de l'onduleur	63
III.12.8.	Dimensionnement économique de l'installation photovoltaïque	63
III.13.	Conclusion	64
III.14.	Référence	65

Chapitre IV : Simulation, résultats et discussion

IV.1.	Introduction	67
IV.2.	Simulation d'une cellule solaire.....	67
IV.2.1.	Modèle a une seule diode	67
a)	Schéma à une seule diode	67
b)	Simulation du GPV sous Matlab/Simulink	68
c)	Schéma de simulation (I-V ; P-V)	71
IV.2.2.	Modèle a deux diodes	72
a)	Schéma à deux diodes	72
b)	Schéma de simulation (I-V P-V)	73
IV.3.	Simulation de notre projet	74
IV.3.1.	Simulation des panneaux solaire	74
IV.3.2.	Modélisation du convertisseur DC-DC Boost	77
IV.3.3.	Algorithme de suivi MPPT	78
IV.3.4.	Simulation des batteries solaire	78
IV.3.5.	Simulation de l'installation PV avec batteries	81
IV.3.6.	Les résultats de simulation d'une installation PV avec batteries (Irradiance=1000 W/m ² ; température=25°C).....	81
IV.3.7.	Les résultats de Simulation d'une installation PV avec batteries (Irradiance=600W/m ² ; température=25°C)	82
IV.4.	Conclusion	84

Conclusion Générale	85
---------------------------	----

Annexe	87
Résumé	95

Liste des figures

Figure I.1. Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire.....	3
Figure I.2. Composantes du rayonnement solaire au sol.....	4
Figure I.3. Spectre solaire	5
Figure I.4. Représentation des bandes d'énergie	5
Figure I.6. Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque	7
Figure I.5. Schéma d'une cellule photovoltaïque.	7
Figure I.7. Influence de l'éclairement sur les caractéristiques I(V) et P(V) à T=25°C d'une cellule photovoltaïque.....	9
Figure I.8. Influence de la température sur les caractéristique I(V) et P(V) à E = 1000 W/m ² d'une cellule photovoltaïque.	10
Figure I.9. Les cellules photovoltaïques : A) Silicium monocristalline, B) Cellule poly- cristalline et Silicium amorphe (C).	14
Figure I.10. Exemples d'association sécurisée de deux modules photovoltaïques en parallèle avec leurs diodes de protection	15
Figure I.11. Type de branchement des panneaux en série (1) et en parallèle (2)	15
Figure I.12. Schéma de principe d'un système photovoltaïque autonome	16
Figure II.1. Schéma de la cellule électrochimique	22
Figure II.2. Représentation interne de l'accumulateur	23
Figure II.3. Modèle électrique équivalent d'une batterie.	23
Figure II.4. Schéma d'une batterie en (a) décharge (b) charge	25
Figure II.5. Principe de fonctionnement d'une batterie Plomb-Acide	28
Figure II.6. Les différents types de batteries au plomb	29
Figure II.7. Un système autonome utilisant des batteries lithium-ion (de G à D : armoires de batterie, onduleur/chargeur, onduleurs solaires).....	32
Figure II.8. Principe de fonctionnement général d'une batterie Lithium-ion en décharge	33
Figure II.9. Connexion des batteries.....	37
Figure II.10. Les différents types de convertisseurs statiques.....	38
Figure II.11. Symbole d'un hacheur DC/DC.	39
Figure II.12. Hacheur dévolteur	40
Figure II.13. Hacheur survolteur.....	40
Figure II.14. Circuit équivalent du convertisseur Buck-Boost.	41
Figure II.15. Schéma de principe d'un régulateur de charge.	42
Figure II.16. Caractéristique I(V) et P(V) établissant le principe de la puissance maximale (MPP)	44
Figure II.17. Prix moyen des batteries lithium-ion.	45
Figure III.1. Processus de dimensionnement d'une installation solaire non raccordée au réseau	51
Figure III.2. L'irradiation moyenne en Algérie	52
Figure III.3. Caractéristiques techniques du panneau solaire à utiliser.	59
Figure III.4. Une figure montrant le rayonnement solaire moyen en Algérie.....	60
Figure III.5. Caractéristiques technique de la batterie solaire à utiliser	62
Figure IV.1. Modèle représente le GPV.	70

Figure IV.2 Caractéristique I-V de la cellule PV.	71
Figure IV.3 Caractéristique P-V de la cellule PV.	71
Figure IV.4. Caractéristique I-V de la cellule PV.	73
Figure IV.5. Caractéristique P-V de la cellule PV.	74
Figure IV.6. Simulation du GPV de notre system.....	74
Figure IV.7. Caractéristique I-V et P-V d'une module PV pour différents éclairagements.	75
Figure IV.8. Caractéristique I-V et P-V de notre system PV pour différents éclairagements.	75
Figure IV.9. Caractéristique I-V et P-V d'une module PV pour défèrent température. .	76
Figure IV.10. Caractéristique I-V et P-V du notre system PV pour défèrent température.	77
Figure IV.11. Simulation de convertisseur DC-DC (Boost).	77
Figure IV.12. Simulation de pack des batteries de notre système.	78
Figure IV.13. Courant de la batterie.	79
Figure IV.14. Tension de la batterie.	79
Figure IV.15. La puissance de la batterie.....	80
Figure IV.16. Etat de charge (SOC) de la batterie.....	80
Figure IV.17. Simulation d'une installation PV avec batteries.....	81
Figure IV.18. Les graphes de simulation I-V-P en fonction du temp dans les conditions STC (1000Wm², 25°C).....	82
Figure IV.19. Les graphes de simulation I-V-P en fonction du temp dans les conditions STC (600Wm², 25°C).....	83
Figure V.1 Simulation de l'onduleur (convertisseur DC-AC).....	88
Figure V.2. Simulation du GPV sous Matlab/Simulink.....	88
Figure V.3. Schéma bloc de simulation d'un panneau photovoltaïque.	89

Liste des tableaux

Table II-1. Principales caractéristiques de différents types de batteries avec leurs avantages et inconvénients	27
Table II-2. Performances des systèmes électrochimiques au lithium	34
Tableau III-1. Liste des équipements disponibles dans la résidence	58
Tableau III-2. La quantité d'énergie consommée par jour pour chaque équipement.....	58

Liste des symboles

C_{ch} : Capacité du champ de batterie en Ampère heure (Ah).

Cons : consommation journalière (Wh / J)

D : décharge maximale admissible

E_p : est l'énergie produite

E_c : l'énergie consommée

G : Irradiation (Wh/m²)

I_{cc} : Courant Court-Circuit

I_S : le courant de sortie du régulateur (A).

k : le coefficient de l'incertitude météorologique.

k : le coefficient de l'incertitude météorologique.

K_b : Constante de batterie

K_c : facteur de correction (Kwh/m²/j)

N : nombre de jour d'autonomie

N_M : est nombre total de modules

N_{BP} : est nombre de branches en parallèle

N_{MS} : Nombre du module en série

N_{MP} : nombre de module en parallèle

N_T : Nombre totale de panneau.

P_c : puissance crête du module (W)

$P_{c_{mod}}$: puissance du module (W)

R_s : Resistance série (Ω)

R_{sh} : Resistance de shunt (Ω)

S : surface (m²)

SOC: State of Charge, état de charge (pourcentage)

SOH : State of Health, état de santé (pourcentage)

U : tension de la batterie (V)

U_m : tension du module (V)

V_{insta} : Tension d'installation (V).

V_{max} : la tension maximale du module.

V_{oc}: Tension à circuit ouvert (volt)

Abréviations

AC: Alternative Current

DC: Direct Current

GHI: Global Horizontal Irradiance

MPPT: Maximum Power Point Tracking

P&O: Perturbation et Observation

PPM: Point de Puissance Maximale

PV: PhotoVoltaic

PWM: PulseWidth Modulation

CIGS: $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$

FF: Facteur de form



Chapitre I :

Energie Photovoltaïque

Introduction Générale :

L'énergie continue d'être un élément-clé du développement mondial. En raison de la volatilité des prix du pétrole, de l'épuisement des ressources en combustibles fossiles, du réchauffement climatique et de la pollution locale, et de la croissance de la demande d'énergie. Alors les énergies renouvelables et l'utilisation efficace des combustibles fossiles sont devenues beaucoup plus importantes qu'à aucun moment de l'histoire. Les crises nationales et les conflits environnementaux ont entraîné un passage des combustibles fossiles aux combustibles propres. L'utilisation de ces sources d'énergie renouvelables semble être une option prometteuse, cependant, leur mise en œuvre suscite encore de sérieuses inquiétudes en raison de leur caractère intermittent dans la production d'électricité. Pour que ces ressources d'énergie renouvelable deviennent complètement fiables en tant que sources d'énergies primaires, leur stockage doit se manifester comme un facteur crucial dans cette opération et elles doivent être stockées lorsqu'un excès est produit puis libéré.

Dans cette optique nous avons fait l'étude d'un système d'alimentation photovoltaïque avec système de stockage d'un bloc au sein d'une résidence d'un centre de formation (Karim Belkacem) à Laghouat, pour ce faire notre travail se compose des chapitres suivants :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques et les éléments de base d'un système photovoltaïque autonome. Les principales cellules photovoltaïques caractéristiques électriques paramètres.

Dans le deuxième chapitre, nous avons parlé sur le stockage d'énergie à l'aide de la batterie, et nous avons présenté une étude sur le différent type de la batterie le principe de son fonctionnement, ses avantages et ses inconvénients.

En ce qui concerne le troisième chapitre, nous avons conçu une centrale photovoltaïque pour la résidence des étudiants.

Le quatrième Chapitre est concerné par la modélisation et la simulation dans l'environnement de programmation Matlab/Simulink de l'ensemble générateur photovoltaïque, onduleur, batterie, la cellule solaire Et aussi Modélisation et simulation des caractéristiques I-V et P-V du générateur photovoltaïque. L'effet de l'ensoleillement et de la température a été considéré. En outre, une classification des techniques d'algorithme de poursuite de point de puissance maximale est présentée avec suffisamment de détail.

I.1. Introduction :

Avec l'essor des énergies renouvelables, différentes technologies se sont développées pour répondre aux besoins énergétiques. Cependant, il s'avère aujourd'hui difficile de faire un choix de système énergétique optimal qui répond à toutes les exigences techniques, économiques et qui respect l'environnement et les préoccupations de la société.

I.2. Energie solaire :

On appelle énergie solaire, l'énergie que l'on peut tirer du rayonnement du soleil. Il faut distinguer l'énergie solaire photovoltaïque de l'énergie solaire thermique. L'énergie solaire photovoltaïque correspond à l'électricité produite par des cellules dites photovoltaïques.

Ces cellules reçoivent la lumière du soleil et sont capables d'en transformer une partie en électricité. La modularité compte pour l'un de leurs avantages. En effet, des panneaux photovoltaïques peuvent être utilisés aussi bien à des fins domestiques qu'à la production d'énergie à grande échelle [1].

I.3. Energie solaire photovoltaïques :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie peut générer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques. L'énergie solaire est propre, n'émet aucun gaz à effet de serre et sa matière première. il est inépuisable et ultime comme source d'énergie, le système photovoltaïque peut être utilisé dans le stockage (batterie, condensateur ou bobine ... etc.), Véhicule, réseau connecté avec système PV et pompage d'eau sans bruit et installation simple, c'est aussi une source disponible et propre [2], Figure I.1.

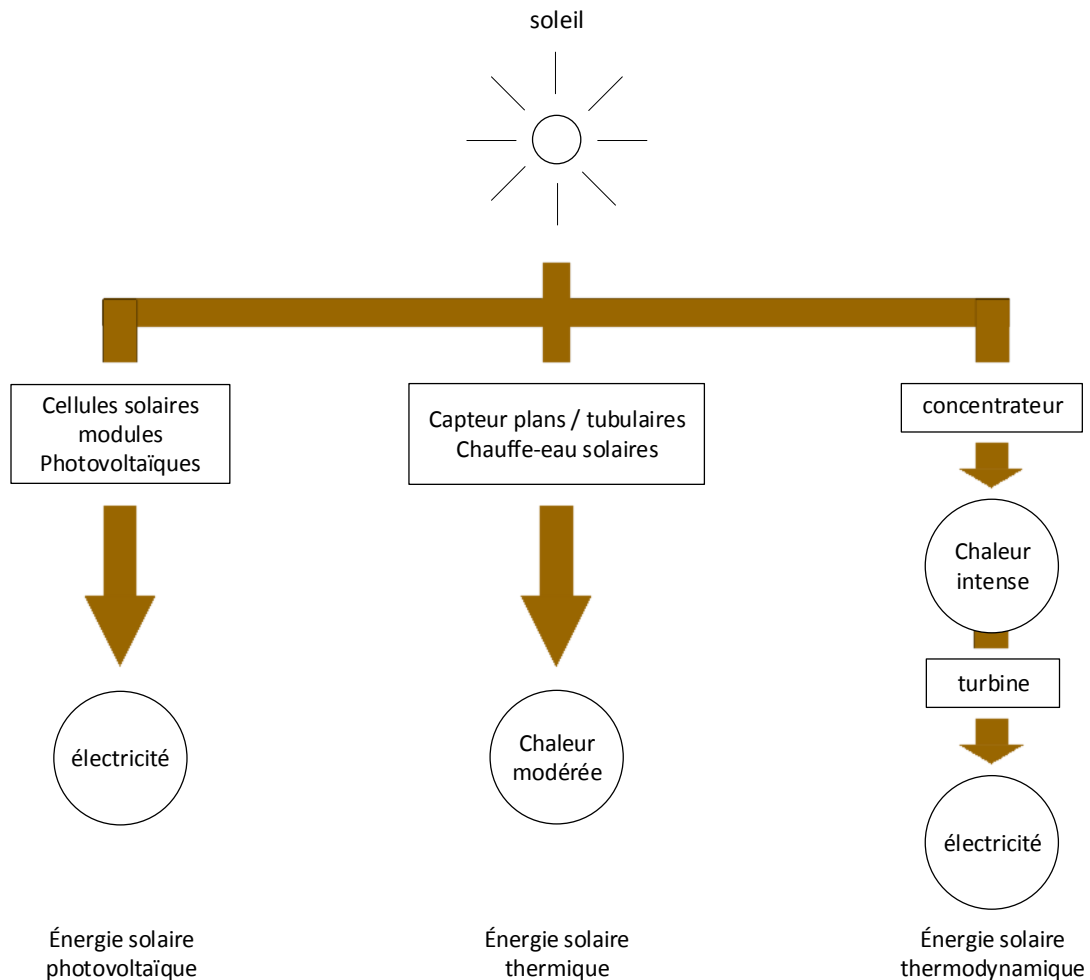


Figure I.1. Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire.

I.4. Le rayonnement solaire :

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est partiellement absorbé et diffusé. Au sol, on distingue plusieurs composantes.

- **Le rayonnement direct** est reçu du soleil en ligne droite, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, le rayonnement direct forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs.
- **Le rayonnement diffus** est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet « éclatement » des rayons du Soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques. Par temps couvert, on admet que le rayonnement diffus est isotrope, c'est-à-dire qu'on reçoit un rayonnement identique de toutes les directions de la voûte céleste. Par temps clair ou voilé, outre le ciel bleu relativement isotrope (diffusion sur l'air), on a une couronne plus brillante autour du Soleil

(composante appelée circumpolaire) et souvent un renforcement sur l'horizon, la bande horizon [3, 4].

- **L'albédo** est la partie réfléchié par le sol. Il dépend de l'environnement du site. La neige, par exemple, renvoie énormément de rayons lumineux alors qu'un asphalte n'en renvoie pratiquement aucun. Il faudra en tenir compte pour évaluer le rayonnement sur plans inclinés.

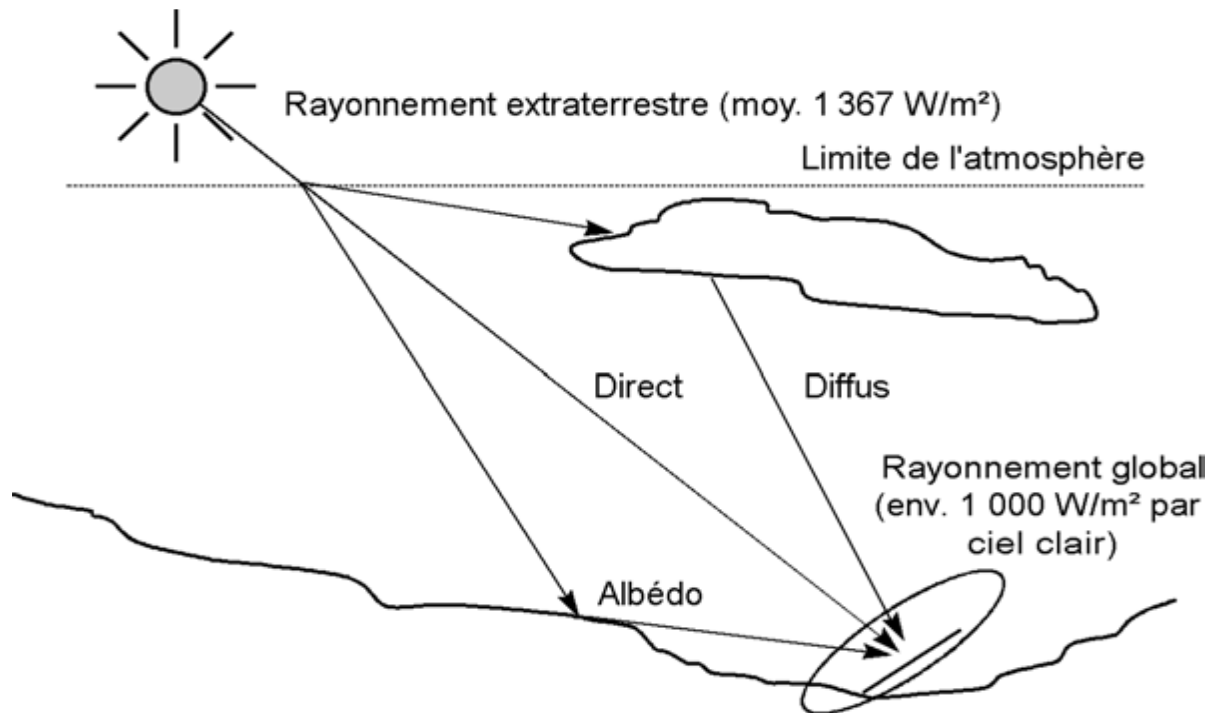
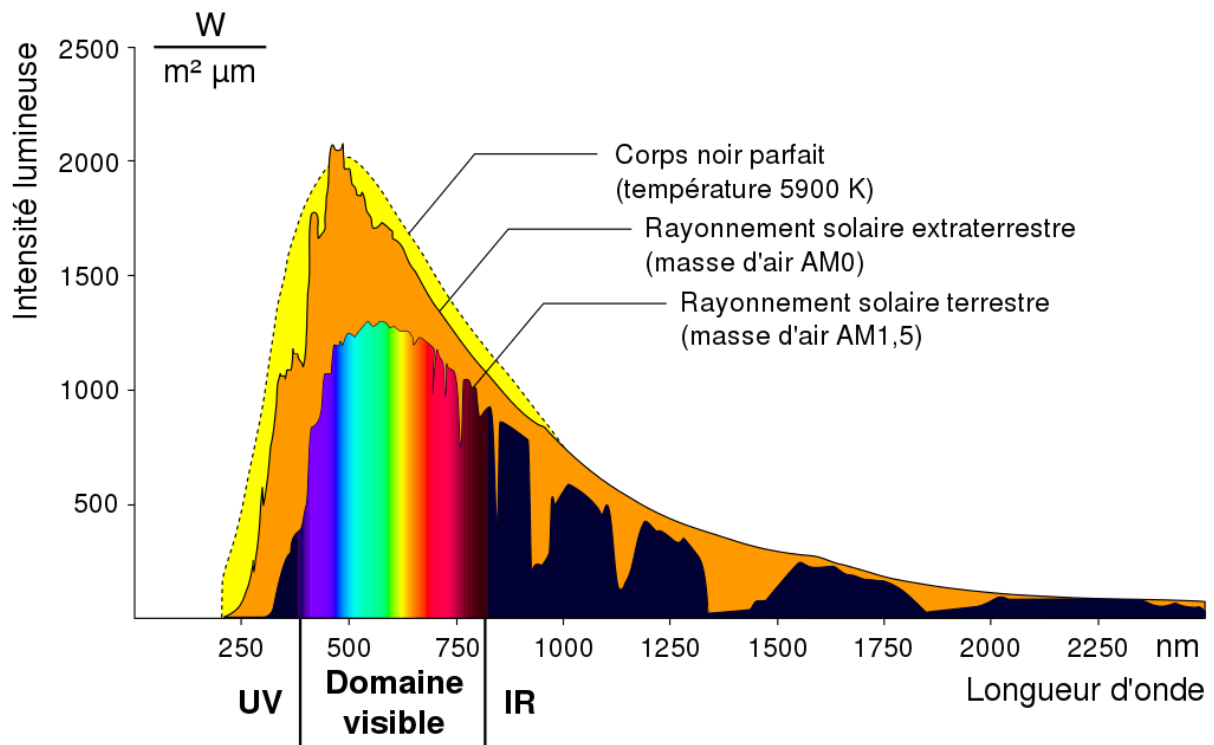
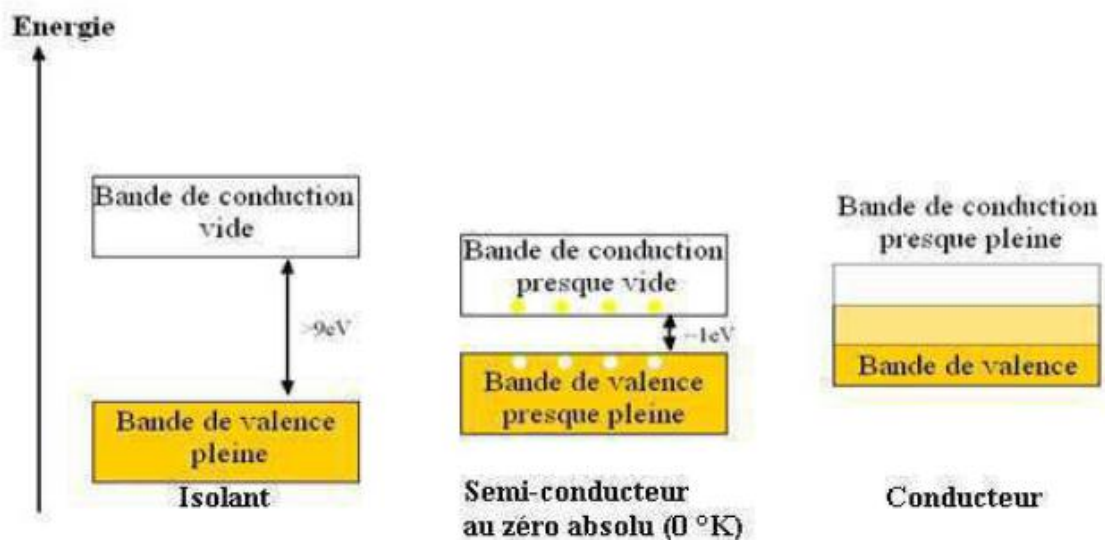


Figure.I.2. Composantes du rayonnement solaire au sol.

- **Le rayonnement global** : est tout simplement la somme de ces diverses contributions, comme le montre la Figure I.2.



I.4.1. Un semi-conducteur :



Pour comprendre la nature d'un matériau, il faut s'intéresser au remplissage des bandes de valences et de conduction et à la taille de la bande interdite, Figure I.4, à l'état fondamental de la matière [4]:

- Si la bande de conduction est partiellement remplie, des électrons au sein du matériau participent à la conduction électrique : le matériau est conducteur.
- Si la bande de conduction est vide :
 - si l'écart de la bande interdite est grand (plusieurs électrons-volt), aucun électron du matériau ne peut participer à la conduction : le matériau est isolant ;
 - si l'écart de la bande interdite est suffisamment petit (de l'ordre de l'électronvolt), le matériau est isolant au repos. Mais la moindre excitation, thermique ou électrique, permet à certains électrons de la bande de valence de franchir l'écart de la bande interdite et le matériau devient conducteur. On parle alors de matériau semi-conducteur.

I.5. Système photovoltaïque :

Le générateur PV est un ensemble d'équipements connectés pour exploiter l'énergie PV afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les panneaux peuvent être assemblés pour constituer un "champ PV". Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement [6].

Mais, très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement mais à d'autres moments qui nécessitent une intensité régulière (éclairage ou alimentation de réfrigérateurs, par exemple). On dote alors le système de batteries qui permettent de stocker l'électricité et de la rétablir en cas de nécessité. Un régulateur est alors essentiel pour parer aux problèmes de surcharges ou les décharges profondes de la batterie. Pour un certain nombre d'applications, le courant continu produit, par le générateur PV, est converti à l'aide d'un onduleur PV en courant alternatif [3].

I.6. La cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques sont des dispositifs électroniques réalisées à l'aide des composants semi-conducteurs qui possèdent la particularité de produire l'électricité quand ils sont éclairés, Figure I.5. Elles sont généralement faites du silicium sous ses différentes formes [7].

La cellule est constituée d'une couche dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au Phosphore) créant ainsi une jonction p-n avec une barrière de potentiel

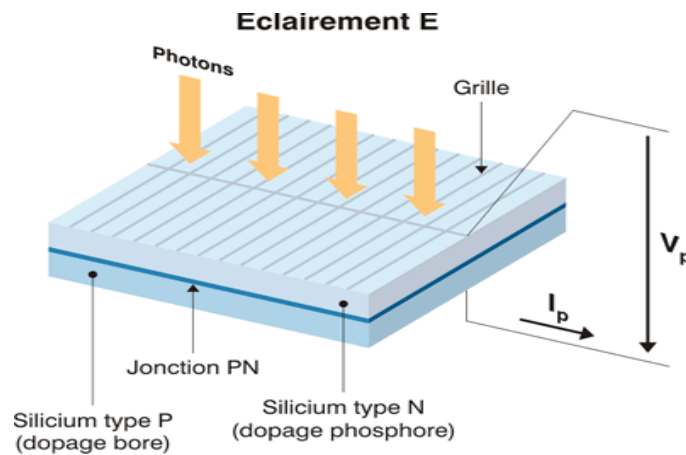


Figure I.5. Schéma d'une cellule photovoltaïque. [8].

I.7. Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque :

Le comportement d'une cellule photovoltaïque peut être modélisé par le schéma électrique équivalent donné à la figure I.6. Il est principalement composé d'un générateur de courant I_{ph} proportionnel au rayonnement solaire reçu, une diode matérialisant le fait que le courant ne circule pas au sens opposé, une résistance parallèle/shunt R_p qui est la conséquence des contacts métalliques et les fuites inévitables sur la périphérie de la cellule, une résistance série R_s due à la contribution des résistances intrinsèque des couches et des contacts avant et arrière [9].

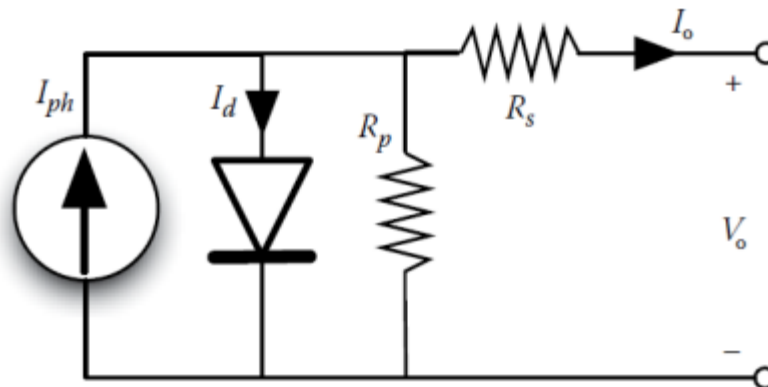


Figure I.6. Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque [10].

À partir de la figure I.6, nous définissons le modèle à une diode du générateur [11]:

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

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (I.1)$$

Avec :

I : Le courant délivré par le module.

I_{ph} : Photo courant.

I_d : Courant de diode.

I_{sh} : Le courant shunt.

La caractéristique courant-tension d'un générateur photovoltaïque est décrite par l'équation suivante :

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_{rs} \left[e^{\frac{q(V + R_s I)}{AKTN_s}} - 1 \right] - N_p \frac{q(V + R_s I)}{N_s R_{sh}} \quad (I.2)$$

La photo courante générée I_{ph} est lié à l'irradiation solaire par l'équation suivante :

$$I_{ph} = \frac{G}{1000} (I_{sc} + k_i (T - T_r)) \quad (I.3)$$

Avec :

I_{rs} est le courant de saturation inverse des cellules.

V est la tension de sortie de cellule (V).

A est la constante d'idéalité de la diode.

T est la température de fonctionnement de la cellule de référence

q est la charge d'électrons ($1.60217646 \times 10^{19} C$).

K est la constante de Boltzmann ($1.3806503 \times 10^{23} J/K$).

R_s et R_p sont les résistances série et shunt de la cellule respectivement.

I_{sc} : Courant de court-circuit de la cellule à la température de référence et à l'irradiation

G : irradiation solaire en W/m^2 .

T_r : Température de référence de la cellule.

k_i : Coefficient de température du courant de court-circuit.

N_p :

I.8. Facteurs influençant sur le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

L'éclairement et la température sont les deux principaux paramètres qui vont modifier les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque, et en particulier la puissance fournie par la cellule photovoltaïque. Pour mieux comprendre le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, on trace ses caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ pour plusieurs valeurs d'ensoleillement et de températures [12].

I.8.1. Influence de l'éclairement E (W/m^2):

Au cours d'une journée, le niveau d'éclairement d'une cellule va varier entre $E = 0 W/m^2$ et $E = 1000 W/m^2$. Il est donc important de connaître l'évolution des caractéristiques courant-tension en fonction du niveau d'éclairement [12].

D'après la Figure I.7, les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ d'une cellule photovoltaïque varient avec l'éclairement solaire (irradiant). On a remarqué que quand l'éclairement augmente, l'intensité du courant photovoltaïque croît. La valeur de courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'éclairement. Quant à la tension, elle est peu sensible aux variations des niveaux d'éclairement. Les courbes $I(V)$ se décalent vers les valeurs croissantes permettant au module de produire une puissance électrique plus importante. La puissance optimale de la cellule photovoltaïque est pratiquement proportionnelle à l'ensoleillement. Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension [12].

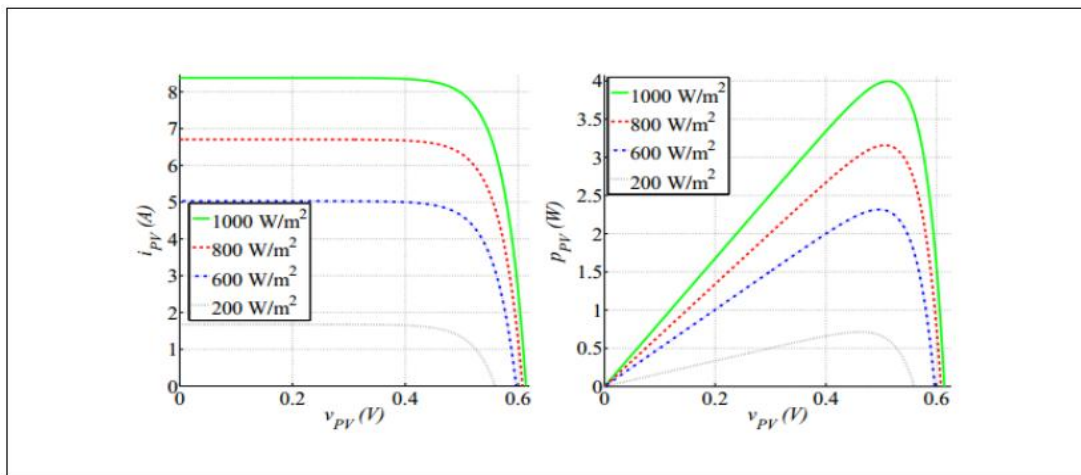


Figure I.7. Influence de l'éclairement sur les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ à $T=25^{\circ}C$ d'une cellule photovoltaïque.

I.8.2. Influence de la température :

La température est aussi un paramètre important dans le comportement des cellules photovoltaïque parce que les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont sensibles à la température [12], Figure I.8.

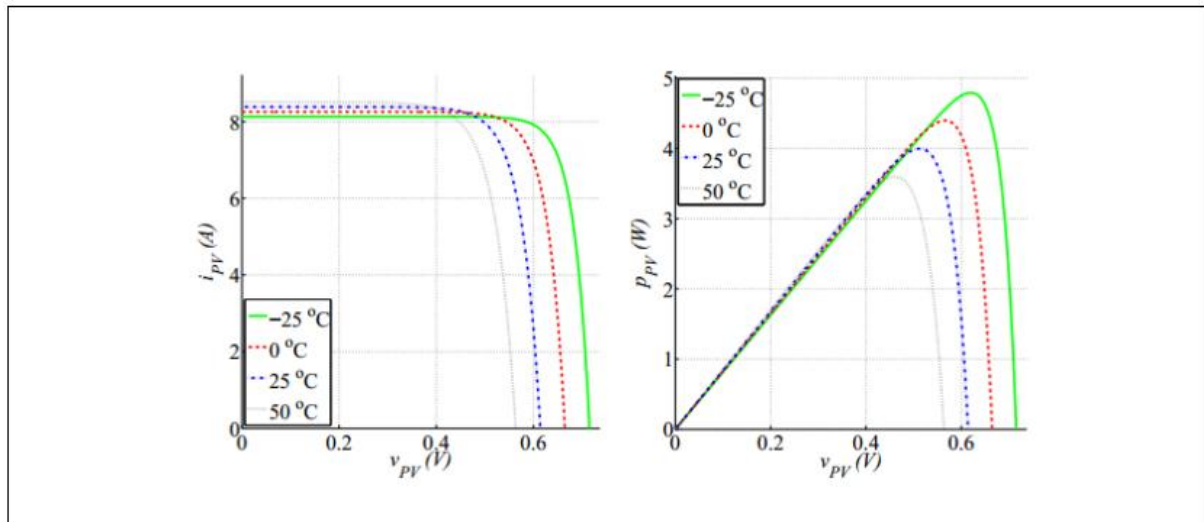


Figure I.8. Influence de la température sur les caractéristiques I(V) et P(V) à $E = 1000 \text{ W/m}^2$ d'une cellule photovoltaïque.

I.9. Paramètres de la cellule solaire :

La cellule solaire est caractérisée par le rendement de conversion (η), une tension à circuit ouvert (V_{oc}), un courant à court-circuit (I_{cc}) et un facteur de suffisance (ff). Ces paramètres sont déterminés à partir des caractéristiques courant-tension. Leurs déterminations permettent les comparaisons de différentes cellules éclairées en conditions identiques [13]:

I.9.1. Le courant de court-circuit (I_{cc}):

Il correspond au courant maximal généré par la cellule. Il est produit dans des conditions de court-circuit ($V_c = 0$). I_{cc} est directement proportionnel à l'éclairement à la température ambiante. Il varie également en fonction de la surface de la cellule. On obtient sa valeur en branchant un ampèremètre aux bornes de la cellule [13].

I.9.2. La tension à vide (V_{oc}):

Elle correspond à la tension maximale générée par la cellule. Elle est produite dans des conditions de circuit-ouvert ($I_c = 0$). La tension en circuit-ouvert d'une cellule photovoltaïque varie de manière logarithmique avec l'éclairement et baisse avec l'augmentation de la température. On obtient sa valeur en branchant directement un voltmètre aux bornes de la cellule [13].

I.9.3. Point de puissance maximale (PPM) :

La partie intéressante de la caractéristique I(V), pour l'utilisateur, c'est celle qui génère de l'énergie. Donc ce ne sera ni au point de tension de circuit ouvert (ou la tension à vide), ni au point de court-circuit, qui ne génèrent aucune énergie puisque la puissance est le produit du

courant par la tension. Le point de puissance maximale est le point de fonctionnement M (VPPM, IPPM) pour lequel la puissance dissipée dans la charge résistive est maximale.

I.9.4. *Factor de suffisance (ff):*

Le facteur de suffisance d'une cellule solaire est défini comme le rapport d'une puissance maximale à la puissance calculée en multipliant la tension de circuit-ouvert par le courant de court-circuit. Cela reflète combien de résistances en série et peu de résistances shunt dans la cellule solaire. Pendant que la cellule solaire se dégrade avec l'âge, sa résistance en série tend à augmenter le résultat en un facteur inférieur de suffisance.

$$ff = \frac{V_{op}I_{op}}{V_{sc}I_{oc}} \quad (I.4)$$

I.9.5. *Rendement de la cellule (η):*

Le rendement d'une cellule solaire est défini comme le rapport de la puissance maximale fournie par la cellule à la puissance lumineuse d'incident [13]:

$$\eta_s = \frac{V_{op}I_{op}}{GA} \quad (I.5)$$

A est la surface génératrice en m^2 et G l'ensoleillement en W/m^2 .

I.10. Les différentes filières photovoltaïques :

Les cellules photovoltaïques sont regroupées en plusieurs filières. Leur différence réside dans les matériaux de conception utilisés, le processus de fabrication et le nombre de jonctions utilisés dans la cellule [14].

I.10.1. *La filière silicium cristallin :*

a) *Le silicium monocristallin :*

La technologie monocristalline est coûteuse car elle nécessite des barres de silicium pur. Il a le rendement le plus élevé (14% à 16%) et a l'avantage de réduire la taille du module sous la même puissance, ce qui est utile dans les situations où un gain de place est nécessaire [14].

b) *Le silicium multi cristallin :*

La technologie poly cristalline est obtenue en refondant les cristaux de silicium de rebut dans l'industrie électronique, et sa consommation d'énergie est deux à trois fois inférieure à la technologie précédente. Mais son coût est plus avantageux, ce qui fait que la technologie domine actuellement le marché. Au niveau des cellules à une seule jonction, les filières silicium ont de meilleurs rendements de conversion. Les cellules à base de silicium sont actuellement les principaux produits sur le marché [15, 16]. Cependant, leur développement est encore limité par des coûts élevés [14].

c) Cellules en couche mince :

Abordons maintenant les technologies couches minces, qui concernent plusieurs matériaux photovoltaïques : le silicium amorphe et microcristallin, le *CIGS* et le *CdTe*. Ces matériaux ont en commun d'utiliser nettement moins de matière que le silicium massif, d'être produits en couches de l'ordre du micron d'épaisseur sur des supports rigides ou flexibles. Pour élaborer les panneaux, ces technologies recourent aussi à des méthodes similaires : dépôts sous vide, structuration des couches par laser, notamment. A l'heure actuelle, ces technologies couches minces représentent moins de 15% de la marche mondiale. Ces technologies sont encore moins chères (surtout le *CdTe*, nous y reviendrons) et ont de nombreux avantages sur le terrain : en effet, il est maintenant démontré par exemple que le silicium amorphe produit plus de kWh par kWc installé que le silicium cristallin du fait de sa meilleure réponse à l'éclairement diffus et de son moindre coefficient de température [14].

1) Simple jonction au silicium amorphe :

Rappelons qu'une simple jonction, dans le cas du silicium amorphe, est une cellule à trois couches minces empilées de type p, i, et n : une couche dopée au bore, une couche intrinsèque (non dopée), et une couche dopée au phosphore. Cette structure est destinée à produire un champ électrique afin de collecter les charges produites sous l'effet de la lumière. On peut empiler plusieurs structures pin comme celle-ci et pour former des multi jonctions [14].

2) Le tellure de cadmium (CdTe):

Entre matériaux cristallins et couches minces amorphes, il existe une autre famille de matériaux, il s'agit des couches minces poly cristallines. Le silicium poly cristallin en couche mince serait intéressant notamment s'il pouvait allier le rendement du silicium cristallin à fort éclairement, la simplicité de fabrication des films minces et leurs bonnes performances à faible éclairement et sous forte température [16].

3) Le di-séléniure de cuivre et indium (CIS ou CIGS):

Le CIS, plus exactement $CuInSe_2$, est un autre matériau photovoltaïque composé d'un alliage de cuivre, d'indium et de sélénium. Il est couple, comme le *CdTe*, à une couche fenêtre en *CdS* de type n. Théoriquement, cette hétérojonction peut atteindre 25% de rendement. Elle a d'excellentes propriétés d'absorption, mais son gap est un peu faible (1,04 eV). C'est pourquoi on ajoute du gallium pour l'augmenter : en effet le gap optique du $CuGaSe_2$ est de 1,65 eV. L'alliage appelé *CIGS*, pour $Cu(In,Ga)Se_2$, est obtenu en ajustant la concentration de gallium pour obtenir un gap optique autour de 1,45 eV [14].

I.10.2. La filière des cellules organiques :

Après avoir observé que la conductivité de la phtalocyanine intrinsèque change avec la température, l'origine du concept de semi-conducteurs organiques remonte à 1984 [17]. L'élément de base de ces configurations est le carbone, avec des liaisons simples et doubles alternées [18]. Les matériaux semi-conducteurs organiques sont divisés en deux catégories : les petites molécules et les polymères conjugués. Les propriétés optiques et électriques de ces matériaux sont similaires et la technique de dépôt fera la distinction entre les petites molécules [19], et les polymères conjugués [20].

I.10.3. La filière des pérovskites :

La pérovskite est un composé minéral composé de calcium et de titane. Sa formule chimique est $CaTiO_3$, découverte par le minéralogiste russe Lev Aleksevich Petrovski (1792-1856). La pérovskite a des propriétés physiques impressionnantes, un taux d'absorption de la lumière élevé et une grande longueur de diffusion de charge. En effet, la pérovskite hybride $CH_3NH_3PbI_3$ ($MAPbI_3$) a un coefficient d'absorption important de $1,5 \times 10^4 \text{ Cm}^{-1}$ à 550 nm , qui se caractérise par une grande longueur de diffusion des électrons et des trous (plus de $1 \mu\text{m}$, éventuellement plus de $100 \mu\text{m}$), et enfin, sa mobilité est très élevée [21].

I.10.4. Cellules multi-jonctions à haut rendement :

Les cellules multi-jonctions se sont rapidement imposées comme la meilleure solution pour atteindre le plus haut rendement. Les travaux se concentre d'abord sur l'unité à double jonction ($GaAs/GaInP$).

Les cellules commerciales ont une efficacité de 22% à une tension de $2,06 \text{ V}$. Il s'agit d'une cellule à trois jonctions ($1,85 \text{ eV} / 1,45 \text{ eV} / 0,67 \text{ eV}$), qui détient le record du monde avec une efficacité de 37,3% (NREL) [22].

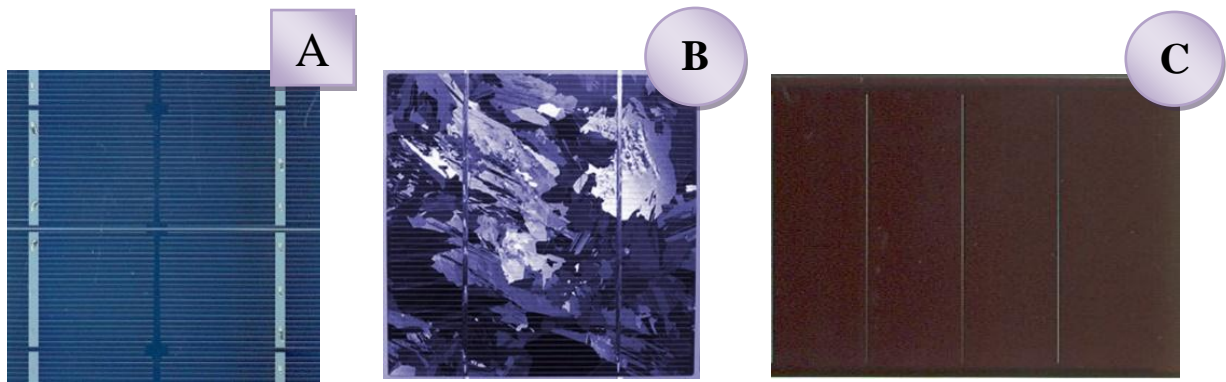


Figure I.9. Les cellules photovoltaïques : A) Silicium monocristalline, B) Cellule polycristalline et Silicium amorphe (C).

I.11. Les différentes technologies de panneaux solaires testés :

Type de module		Rendement constructeur habituel	
		Minimum	Maximum
Photovoltaïque à silicium	Polycristallin	14 %	18 %
	Monocristallin	16 %	25 %
	Amorphe	5 %	7 %
Hybride à eau ou aérovolaïque	Polycristallin	15 %	20 %
	Monocristallin	17 %	28 %
Photovoltaïque à pérovskite		19 %	33 %

Table . Rendement moyen des panneaux photovoltaïques selon la technologie utilisée.

I.12. Le générateur photovoltaïque :

L'interconnexion des modules entre eux, en série ou en parallèle, Figure I.11, pour obtenir une puissance plus grande, définit la notion de générateur photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque se compose de plusieurs modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs [11].

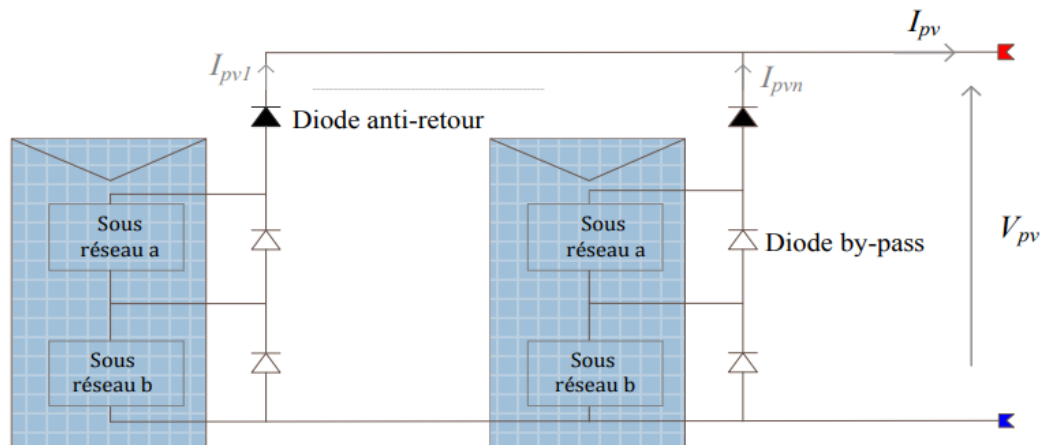


Figure I.10. Exemples d'association sécurisée de deux modules photovoltaïques en parallèle avec leurs diodes de protection [23].

I.13. Le module (ou panneau) :

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connections en série, Figure I. 11. (1), de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle, Figure I.11. (2), accroît le courant en conservant la tension. La puissance crête, obtenue sous un éclairage maximal sera proportionnelle à la surface du module. La rigidité de la face avant (vitre) et l'étanchéité sous vide offert par la face arrière soudée sous vide confèrent à l'ensemble de sa durabilité [11].

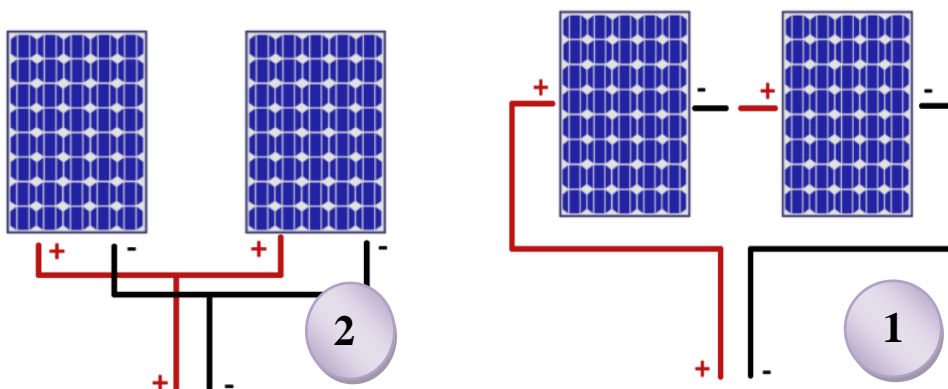


Figure I.11. Type de branchement des panneaux en série (1) et en parallèle (2) [11].

I.14. Composants des systèmes photovoltaïques autonomes :

En général, une installation photovoltaïque autonome est composée de cinq éléments principaux comme la montre la Figure I.13 [12]:

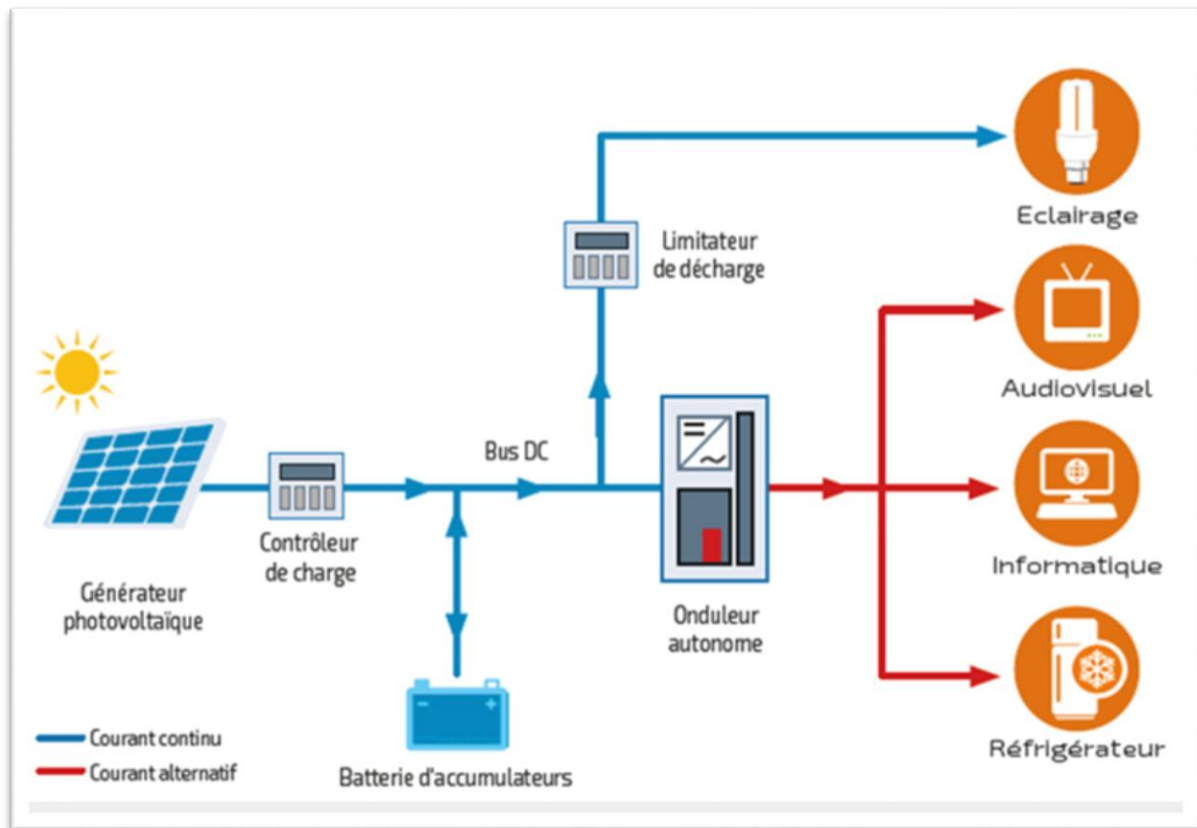


Figure I.12. Schéma de principe d'un système photovoltaïque autonome [12].

- Le panneau solaire : délivre l'énergie à la charge, ainsi qu'à la batterie.
- Le régulateur : régule la charge et la décharge de la batterie.

La structure du régulateur est modulaire et son rôle est de déterminer le point de puissance maximum du générateur photovoltaïque. Le régulateur protège les batteries en limitant l'entrée d'énergie dans le cas d'une tension de batteries suffisamment élevée. Également, il protège les batteries contre une décharge profonde. Le régulateur comprend [24]:

- Une autoconsommation minimum afin de diminuer le rendement global de l'installation.
- Une fonction MPPT pour trouver le point maximum de puissance en fonction de la tension et de l'intensité dépendant de l'ensoleillement sur les modules solaires.
- La modularité permet au régulateur de s'adapter à des champs photovoltaïques d'une puissance allant jusqu'à 2.000 Wc chacun.
- La possibilité de maintenir une tension de flottaison à la batterie en maintenant une tension de flottaison aux bornes de la batterie (pour équilibrer les pertes) quand les batteries ont atteint 100% de charge et que le soleil continue de donner de l'énergie.

Chacune des entrées provient de champs photovoltaïques est protégée par un interrupteur magnétothermique de 50A.

- L'onduleur : assure la conversion continu-alternatif. Il permet d'alimenter les récepteurs en courant alternatif à partir du courant continu.
- La batterie : stocke l'énergie et la restitue lorsque l'ensoleillement est insuffisant

Les batteries sont placées dans un abri technique spécialement adapté à cette fonction. Ce local est bien ventilé en raison de gaz explosif (hydrogène) que la batterie peut dégager. L'état de charge et de décharge des batteries est continuellement signalé par le cadran de visualisation à distance pour une éventuelle intervention pour réduire la consommation non indispensable ou pour actionner le fonctionnement du groupe électrogène

I.15. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présent le principe de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, nous avons également mentionné les types de panneaux solaires ainsi que les différentes configurations de systèmes photovoltaïques et éléments de base des systèmes photovoltaïque autonome.

I.16. Référence :

- [1] (March 15th). *Qu'est-ce que l'énergie solaire ?* Available: <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-solaire#:~:text=L'%C3%A9nergie%20solaire%20est%20une,capt%C3%A9%20par%20des%20panneaux%20solaires.>
- [2] Z. El Jouad, "Réalisation et caractérisation des cellules photovoltaïques organiques," Angers, 2016.
- [3] D. Bonelle, "Rotating a Heliostat Field Around a Tower to Track the Sun," in *Proceedings of the 17th SolarPACES International Symposium*, 2011, pp. 20-23.
- [4]https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/08/Sonne_Strahlungsintensitaet.svg/langfr-1024px-Sonne_Strahlungsintensitaet.svg.png
- [5] G. Kolb, S. Jones, M. Donnelly, D. Gorman, R. Thomas, R. Davenport, *et al.*, "Heliostat cost reduction study, Sandia report," *Albuquerque, New Mexico. doi*, vol. 10, p. 912923, 2007.
- [6] L. Bun, "Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV," Université de Grenoble, 2011.
- [7] F. A. Silva, "Power electronics and control techniques for maximum energy harvesting in photovoltaic systems (Femia, N. et al; 2013)[Book News]," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 7, pp. 66-67, 2013.
- [8] (<https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques/>)
- [9] A. Boudia, "Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique avec un système de stockage à base d'une inductance supraconductrice (SMES)," Univ M'sila, 2020.
- [10] C. H. Tran, "Améliorations d'une chaîne de conversion de l'énergie solaire en électricité autonome en vue d'application dans les pays en voie de développement," Université de Reims Champagne-Ardenne, 2019.
- [11] K. Bouyachou, "Développement d'une approche décisionnelle multicritère pour le choix d'un système énergétique renouvelable à implanter dans les sites isolés," Université du Québec à Rimouski (Canada), 2017.
- [12] L. Bechane, "Etude de l'amélioration des propriétés de matériaux semi-conducteurs pour des applications comme cellules photovoltaïques," 2022.

- [13] (2022, July 04th). *Quels sont les cinq types d'énergies renouvelables ?* Available: <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-sont-cinq-types-energies-renouvelables-4134/>
- [14] A. Goetzberger, J. Knobloch, and B. Voss, *Crystalline silicon solar cells* vol. 1: Wiley Online Library, 1998.
- [15] R. Miles, "Photovoltaic solar cells: Choice of materials and production methods," *Vacuum*, vol. 80, pp. 1090-1097, 2006.
- [16] S. Glenis, G. Tourillon, and F. Garnier, "Photoelectrochemical properties of thin films of polythiophene and derivatives: Doping level and structure effects," *Thin Solid Films*, vol. 122, pp. 9-17, 1984.
- [17] K. Fouad, "Etude et réalisation de cellule photovoltaïque organique," Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologi, 2013.
- [18] A. Mishra and P. Bäuerle, "Small molecule organic semiconductors on the move: promises for future solar energy technology," *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 51, pp. 2020-2067, 2012.
- [19] G. Li, R. Zhu, and Y. Yang, "Polymer solar cells," *Nature photonics*, vol. 6, pp. 153-161, 2012.
- [20] R. S. Roth, "Classification of perovskite and other ABO₃-type compounds," *J. Res. Natl. Bur. Stand*, vol. 58, p. 75, 1957.
- [21] A. Gheno, S. Vedraïne, B. Ratier, and J. Bouclé, " π -Conjugated materials as the hole-transporting layer in perovskite solar cells," *Metals*, vol. 6, p. 21, 2016.
- [22] F. GUESSOUMI and A. SAADI, "Commande de panneau solaire à l'aide d'une carte à pic," 2010.
- [23] A. Houari, "Contribution à l'étude de micro-réseaux autonomes alimentés par des sources photovoltaïques," Université de Lorraine, 2012.
- [24] A. Hamidat, A. H. Arab, and M. Belhamel, "Etude et réalisation d'une mini centrale photovoltaïque hybride pour l'électrification du refuge Assekrem," *Journal of Renewable Energies*, vol. 10, pp. 265–272-265–272, 2007.



Chapitre II :

*Techniques de
stockage d'énergie*

II.1. Introduction :

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieure. L'opération de stockage d'énergie est toujours associée à l'opération inverse consistant à récupérer l'énergie stockée (le déstockage). Le stockage de l'énergie électrique passe le plus souvent par une forme d'énergie intermédiaire (gravitaire, de compression, chimique, cinétique, thermique...) que l'on accumule, puis transforme à nouveau en électricité. Seules l'énergie électrostatique avec les condensateurs ou super condensateurs et l'énergie électrodynamique avec le stockage magnétique supraconducteur, font quelque peu exception en stockant des charges électriques statiques ou en mouvement, ils représentent un stockage direct de l'énergie électrique [1, 2].

II.2. Importance du stockage d'énergie électrique :

Le flux d'électricité provenant des sources primaires (sources de production d'énergie) n'est généralement pas constant mais dépend de différentes conditions, telles que les changements de saison (hiver ou été), les conditions météorologiques, etc. En revanche, la consommation est également variable et dépend de conditions similaires, telles que le jour ou la nuit, la saison, etc [3].

II.3. Le stockage d'énergie permet :

- Répondre aux fluctuations à court terme et aléatoires de la demande et ainsi éviter la nécessité d'une régulation de fréquence par la centrale principale. Elle peut également fournir un « survol » pour les coupures de courant momentanées, réduire les distorsions harmoniques et éliminer les baisses et sursensions de tension.
- Éliminer le besoin d'une centrale principale partiellement chargée et prête à répondre à des demandes soudaines et imprévues, ainsi que les urgences électriques résultante de la défaillance d'unités de production et / ou de lignes de transmission.
- Tenir compte des pics minute-heure dans la courbe de demande quotidienne.
- Stocker le surplus d'électricité généré la nuit (c'est-à-dire pendant les heures creuses) pour répondre à une demande accrue pendant la journée.
- Stocker l'électricité produite par les énergies renouvelables afin d'adapter l'offre fluctuante à l'évolution de la demande [3].

II.1. Les accumulateurs électriques :

Un accumulateur électrique (électrochimique) est un système capable de restituer de l'énergie électrique à partir d'une réaction chimique. Les accumulateurs peuvent être primaires (non-rechargeables) ou secondaires (rechargeables). Lorsqu'un accumulateur est rechargeable, son fonctionnement est réversible : de l'énergie électrique peut être absorbée pour être stockée à nouveau sous forme chimique. Les batteries sont des accumulateurs formés par l'association de plusieurs éléments nommés cellules électrochimiques. Une cellule électrochimique est le composant le plus simple qui peut constituer un accumulateur électrique, elle est composée principalement de deux électrodes immergées dans un électrolyte. Deux autres composants nécessaires au fonctionnement d'une cellule électrochimique sont le séparateur et les collecteurs de courant. Les deux électrodes peuvent réagir par une réaction d'oxydoréduction, mais elles sont séparées et seulement les ions peuvent circuler à travers l'électrolyte. Pour que la réaction chimique puisse avoir lieu, les électrodes sont donc connectées par l'extérieur de la cellule à un circuit électrique (Figure II.1), [4].

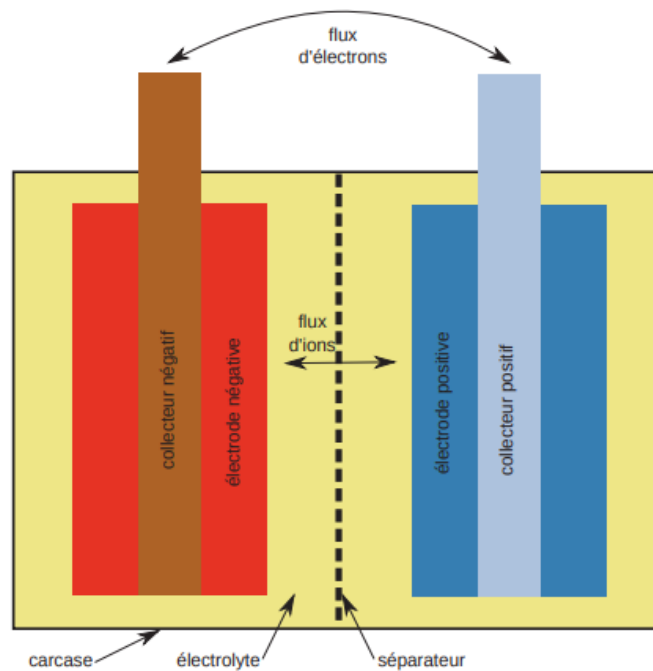


Figure II.1. Schéma de la cellule électrochimique [4].

II.2. Détermination de la capacité de l'accumulateur :

Pour déterminer la capacité de l'accumulateur, multiplier la consommation électrique en Ah de l'application par la durée d'autonomie désirée, et appliquer un coefficient de sécurité, calculée par équation (II.1) suivante :

$$C(Ah) = \frac{\text{Conso du système } 24h (Ah) * \text{Durée d'auto.en jours}}{0.6} \quad (II.1)$$

Le coefficient de 0.6 est une valeur typique, qui dépend énormément de la technologie de l'accumulateur, et surtout de la réduction de sa capacité de stockage aux températures basses, Figure II.2. Introduire ce coefficient revient à dire que la capacité réellement disponible sur le terrain est à tout moment égale à 60 % de la capacité nominale. On appelle capacité utile cette capacité réduite.

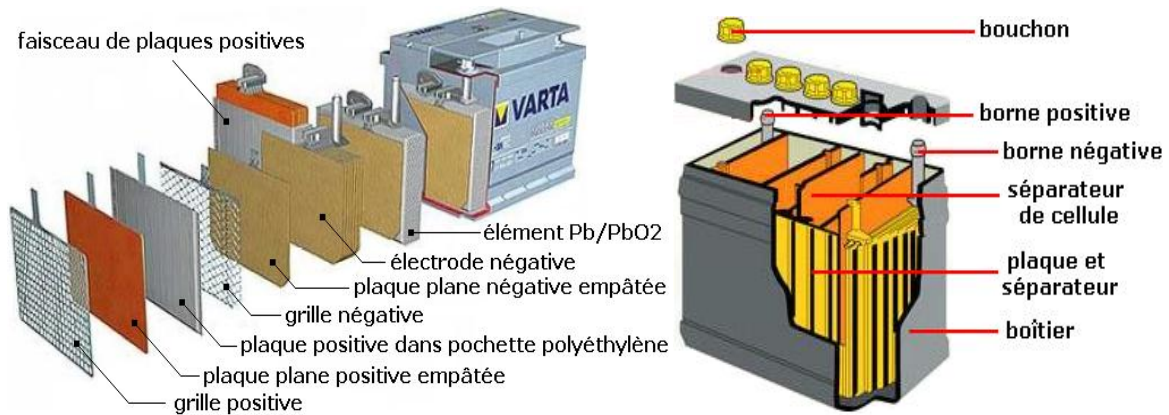


Figure II.2. Représentation interne de l'accumulateur
(<https://sitelec.org/cours/abati/accu/accu.htm>).

II.2.1. Modèle équivalent d'une batterie :

Le modèle de type “circuit électrique” permet de décrire le comportement de la batterie avec une bonne approximation compte tenu des phénomènes électrochimiques à l'intérieur de celle-ci. Différents modèles électriques ont été proposés dans la littérature [5], le circuit avec un étage R/C représenté sur la figure II.3, est le modèle le plus utilisée permettant d'offrir un bon compromis entre la précision de modélisation, la simplicité de structure et la puissance de calcul. Il est composé d'une source de tension (où OCV est 'Open Circuit Voltage' en anglais) qui désigne la tension d'équilibre de la batterie, une résistance R_s représentant la résistance interne de la batterie et une branche R/C traduisant le phénomène de transfert de charge et les effets de double couche [6].

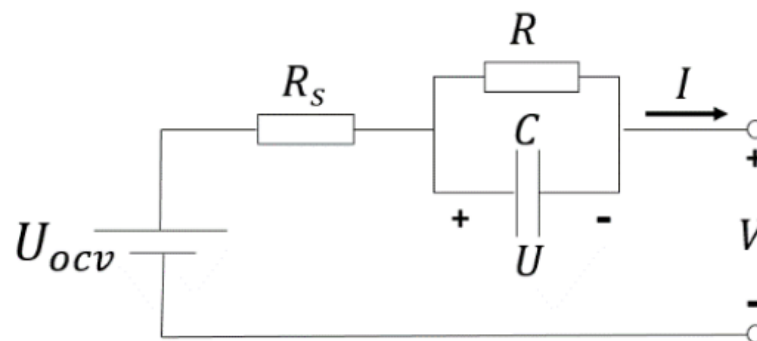


Figure II.3. Modèle électrique équivalent d'une batterie.

Les équations électriques II.2 et II.3 définissant ce modèle sont les suivantes :

$$V = U_{ocv} - R_s I - U \quad (\text{II.2})$$

$$\dot{U} = -\frac{1}{RC}U + \frac{1}{C}I \quad (\text{II.3})$$

U_{ocv} : la tension du circuit ouvert

V : la tension de sortie de la batterie

U : la tension aux bornes de la capacité.

II.2.2. Principe général de fonctionnement d'une batterie :

Une batterie (accumulateur) est un système électrochimique rechargeable constitué d'une électrode positive et une électrode négative isolées électriquement l'une par rapport à l'autre par un séparateur poreux, et le tout imprégné d'un électrolyte conducteur ionique. Le fonctionnement d'une batterie est principalement basé sur des réactions électrochimiques d'oxydation et de réduction se manifestant aux électrodes négatives et positives. La figure II.4 représente une illustration du fonctionnement d'une batterie en mode de charge (Fig II.4.a) et en mode de décharge (Fig II.4.b). Lorsque les électrodes sont reliées à travers une résistance (mode de décharge), des électrons peuvent alors circuler de l'électrode négative vers l'électrode positive. Le manque d'électron fait intervenir une réaction d'oxydation au sein de l'électrode négative. Une réaction de réduction est produite par les électrons en arrivant sur l'électrode positive. Le transfert des espèces ioniques assurant la réaction chimique globale s'effectuent à travers l'électrolyte [7].

On note Red^-/Ox^- et Red^+/Ox^+ deux couples oxydo-réducteurs :

Electrode négative : $Red^- \rightarrow Ox^- + e$

Electrode positive : $Ox^+ + e \rightarrow Red^+$

La réaction globale d'oxydoréduction : $Red^- + Ox^+ \rightarrow Ox^- + Red^+$

En mode de charge, les réactions sont forcées dans le sens inversé. La réaction globale est la suivante : $Red^- + Ox^+ \leftarrow Ox^- + Red^+$

Ce système batterie permet donc d'emmagasiner de l'énergie électrique sous forme chimique durant la phase de charge, puis de convertir cette énergie chimique en énergie électrique durant la phase de décharge [7].

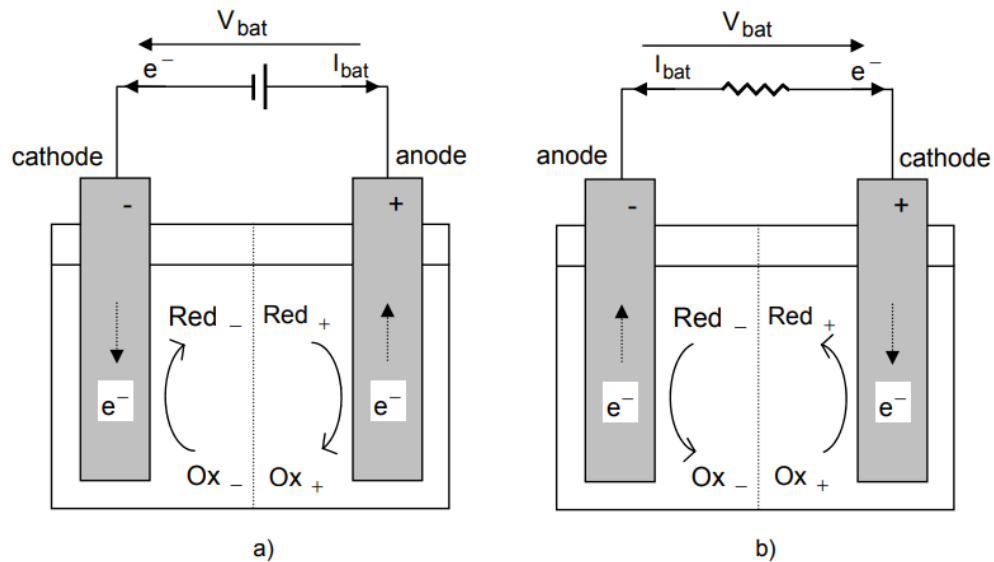


Figure II.4. Schéma d'une batterie en (a) décharge (b) charge [7].

II.3. Caractéristiques principales d'une batterie :

Différentes grandeurs doivent être prises en compte lors du dimensionnement de la batterie vis-à-vis de son installation future et durant son utilisation [8-10]:

II.3.1. Capacité en Ampère heure :

Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures. Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie.

II.3.2. Rapports de chargement et déchargement :

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

II.3.3. Température :

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.

II.3.4. La durée de vie :

- Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) de 7 à 10 ans.
- Dépend de nombreux paramètres tels que la température, les conditions d'utilisation (grandeurs électriques), l'âge de la batterie et les contraintes physiques.

II.3.5. Profondeur de décharge :

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel- Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages. La profondeur de décharge, cependant, affecte même les batteries de cycle profond. Plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

II.3.6. La tension d'utilisation :

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

II.3.7. Valeurs limites :

Ce sont des valeurs de tension, courant et température à ne pas excéder lors de l'utilisation de la batterie. Un dépassement de ces conditions d'utilisation peut provoquer une dégradation significative des performances, voir même la destruction de la batterie.

II.3.8. Énergie stockable :

C'est la quantité d'énergie qu'une batterie est capable d'emmagasiner, et est représentée en Wattheure (Wh). Au contraire à la capacité, cette grandeur prend en considération la variation de tension qui s'opère aux bornes de la batterie.

II.3.9. Rendement énergétique :

Il s'agit du rapport entre l'énergie déchargée et l'énergie chargée.

II.3.10. Autodécharge :

C'est un phénomène qui se produit durant les phases de repos à cause de certains processus électrochimiques, et se traduit par la perte d'une certaine quantité d'énergie ou de charge au

sein de la batterie.

Technologie	Pb-acide	Ni-Cd	Ni-MH	NaS	Li-ion
Coût (€/kWh)	25 - 200	80 - 1000	275 - 1500	300 - 500	459 - 560
Densité de puissance (W/kg)	1 - 300	10 - 1000	10 - 1500	150 - 230	4 - 4500
Densité d'énergie (Wh/kg)	30 - 50	40 - 60	50 - 80	150 - 240	75 - 250
Nombre de cycles	300 - 1500	1000 - 2000	500 - 800	2000 - 5000	1000 - 10000
Température (°C)	20 - 40	-40 - 50	0 - 45	250 - 350	-20 - 60
Efficacité énergétique (%)	70 - 92	60 - 70	60 - 66	80 - 90	95 - 99
Auto-décharge (%/jour)	0,1 - 0,3	0,2 - 0,6	1	20	0,1 - 0,3
Effet mémoire	non	oui	oui	non	faible
Avantages	matière première abondante, très faible coût, pas d'effet mémoire	densité d'énergie moyenne, une efficacité énergétique moyenne	densité d'énergie moyenne	bonne durée de vie, bonne tenue de cyclage, matière première abondante	forte densité d'énergie, bonne tenue de cyclage, peu d'auto-décharge, bonne durée de vie
Inconvénients	faible densité d'énergie, durée de vie limitée, toxicité	effet mémoire, durée de vie limitée, toxicité	effet mémoire, faible efficacité énergétique	sécurité, haute température, forte auto-décharge	sécurité, coût parfois élevé, matière première limitée

Table II-1. Principales caractéristiques de différents types de batteries avec leurs avantages et inconvénients [10].

II.4. Type des batteries :

Le tableau II-1 résume les caractéristiques des différents types de batteries qui existent sur le marché [10].

II.4.1. Batterie Plomb-acide (Lead-Acid Battery):

La batterie au plomb a été découverte en 1859, ce sont les batteries rechargeables électrochimiques, les plus anciennes et les plus utilisées. Dans le cas du chargement, l'un de ses pôles est en plomb, l'autre en oxyde de plomb et l'électrolyte en acide sulfurique.

Une fois les batteries déchargées, les électrodes retournent en sulfate de plomb et l'électrolyte se dissout dans l'eau. Une batterie au plomb acide est un ensemble d'éléments de 2 volts connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation désirée. Ces éléments sont constitués de plaques positives et négatives, assemblées en alternance. Ces plaques sont recouvertes de matières actives-bioxyde de plomb pour la positive et plomb spongieux pour la négative. Ces électrodes plongent dans une solution d'acide sulfurique, la quantité de matières formées donne une capacité plus ou moins grande [11].

Son fonctionnement se base sur la réaction d'oxydoréduction, Eq II. 4 [12], suivante:



PbO2 est l'électrode positive (cathode, pôle +) et Pb l'électrode négative (anode, pôle-), tant en charge qu'en décharge. Afin d'obtenir la tension désirée aux bornes d'un élément, on connecte plusieurs cellules en série à l'intérieur du module ; par contre, si l'on désire augmenter la capacité et le courant, il faut connecter ces cellules en parallèle [12].

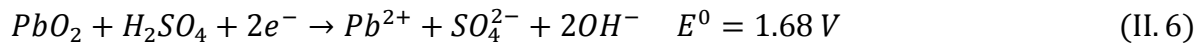
II.4.2. Le fonctionnement des batteries au plomb :

Il est basé sur la réaction d'oxydoréduction, Eqs II. 5, II. 6 et II. 7 [13], suivante:

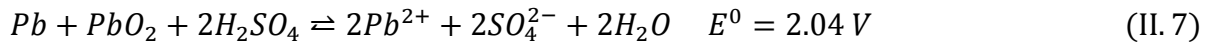
À l'anode :



À la cathode :



Réaction globale :



Lors de la décharge, le plomb de l'électrode négative s'oxyde en Pb^{2+} et perd deux électrons (équation II-5). A la cathode, l'oxyde de plomb PbO_2 gagne deux électrons lors de sa réduction en Pb^{2+} (équation II-6). Les protons produits à l'anode et les ions hydroxydes produits à la cathode se recombinaient en eau H_2O (équation II-7).

Les décharges trop profondes peuvent conduire à une perte irréversible de capacité. Trois causes possibles sont à l'origine de ce phénomène :

- transformation irréversible d'une partie de la matière active de l'électrode positive (PbO_2) en cristaux de sulfate de plomb ;
- gonflement progressif et perte de cohésion de la matière active de l'électrode positive ;
- passivation électronique du collecteur de courant de l'électrode positive. Lors de la charge, les réactions inverses des précédentes se produisent.

Si la charge se poursuit trop longtemps, la tension peut atteindre 2,4 V, valeur seuil à partir de laquelle on assiste à la décomposition de l'eau (électrolyse) en dioxygène O_2 gazeux à l'électrode positive et en dihydrogène H_2 gazeux à l'électrode négative [14].

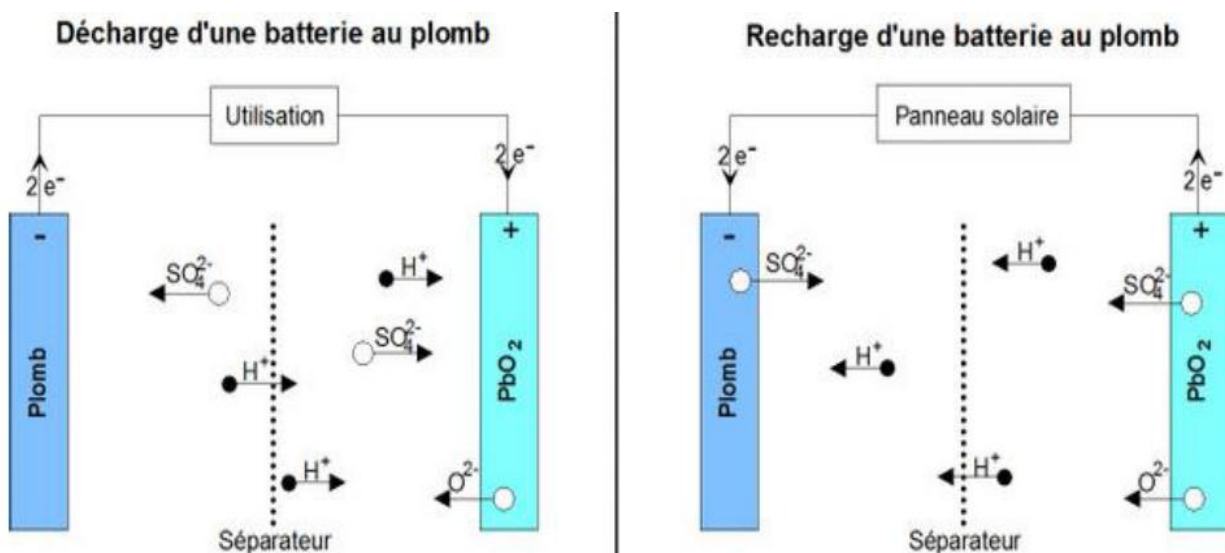


Figure II.5. Principe de fonctionnement d'une batterie Plomb-Acide [15].

II.5. Les différents types de batteries au plomb :

Les accumulateurs au plomb sont divisés en deux grandes familles : les batteries ouvertes (Vented Batteries) et les batteries scellées (Valve Regulated Lead Acid Batteries) [14], Figure II.7.

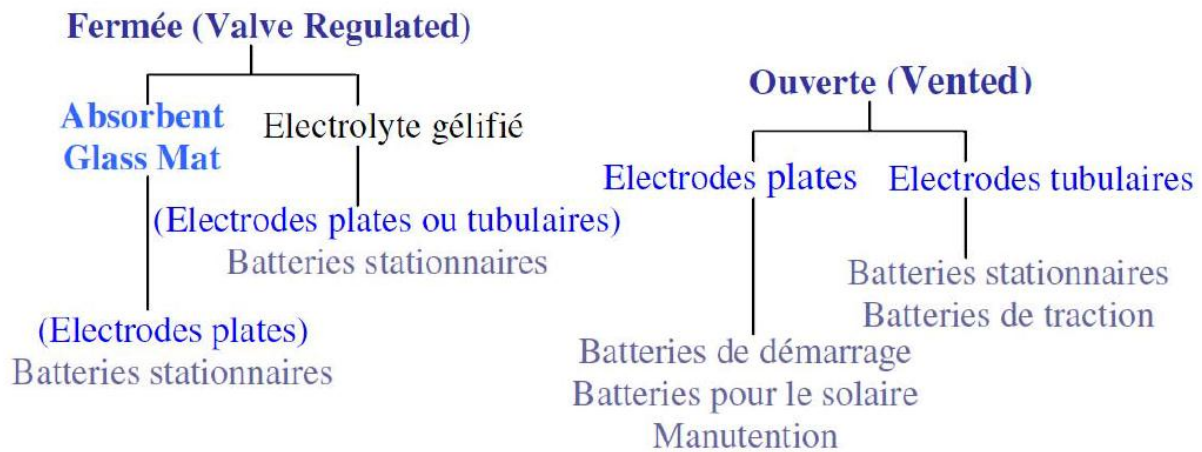


Figure II.6. Les différents types de batteries au plomb [16].

II.6. Batteries « classiques » ou ouvertes :

Batteries VRLA (Valve Regulated Lead-Acid):

II.6.1. Batterie Nickerle-cadmium (NiCd) :

Les batteries *NiCd* sont communément connues comme relativement bon marché et robuste. L'électrode positive en nickel est un hydroxyde de nickel / Oxyhydroxyde de nickel ($Cd(OH)_2 / NiOOH$), tandis que l'électrode négative en cadmium constituée de cadmium métallique (Cd) et l'hydroxyde de cadmium ($Cd(OH)_2$). La batterie au nickel-cadmium a une densité d'énergie élevée (50 à 75 Wh/kg), Haute fiabilité, peu d'entretien. Cependant, la vie de la batterie est petite (2000 - 2500 cycles), et son coût est élevé (environ 1000 \$/kWh), ses inconvénients sont également difficiles à éliminer quand il est endommagé par la toxicité du cadmium, la batterie a un effet de mémoire, elle ne peut pas être complètement chargée seulement après Complètement déchargé plusieurs fois consécutives [17-20].

La batterie *NiCd* a de nombreuses utilisations, telles que dans les appareils électriques, dans l'éclairage de secours, dans le bloc d'alimentation sans coupure, dans les appareils de télécommunication et dans le démarrage du générateur. À l'échelle mondiale, dans les applications à forte puissance nécessitant une grande batterie [3].

II.6.2. Batterie nickel-métal-hydrure (Ni – MH) :

De nombreuses recherches et essais ont été effectués jusqu'à atteindre les batteries nickel-hydrure métallique au lieu des batteries nickel-cadmium. Le cadmium est une substance toxique et la cathode de ce type d'accumulateur est constituée d'un mélange de métaux contenant de l'hydrure de métal (hydrure de métal). Ce mélange contient soit de l'AB5 ou de l'AB2. Le mélange AB2 est composé de deux métaux, titane, zirconium et mélange AB5 composé de métaux des terres rares et de (Lanthane Nickel). Les types à base de mélange AB5 sont largement utilisés dans le commerce. L'anode est en nickel et l'électrolyte est du type de l'hydroxyde de potassium alcalin. (Alkaline Potassium Hydroxide). Ce type de batterie est largement utilisé dans les équipements numériques des téléphones portables et des appareils photo numériques ainsi que dans les véhicules hybrides [3].

II.6.3. Batterie Nickele-zinc (Ni – Zn) :

L'électrode positive est l'oxyde de nickel, mais l'électrode négative est composée de zinc métallique. Outre un meilleur impact environnemental, ce type de batterie présente une densité d'énergie élevée (25% supérieure à celle du nickel-cadmium). La batterie NieZn est meilleur marché que la batterie Ni-Cd et son prix varie entre les techniques NieCd et Plomb-acide. La batterie Ni-Zn a un rapport énergie / masse plus élevé et un rapport puissance / masse plus élevé que la batterie au plomb. Pour ces raisons, la technique NieZn pourrait être utilisée dans les systèmes d'énergie renouvelable au lieu des batteries NieCd et des batteries au plomb [21].

II.6.4. Batterie Sodium- soufre (Sodium Sulphur battery):

Une batterie Sodium- soufre est constituée de soufre liquide (en fusion) au niveau de l'électrode positive et de sodium en liquide (en fusion) au niveau de l'électrode négative en tant que matériaux actifs séparés par un électrolyte solide en céramique de bêta-alumine. L'électrolyte ne laisse passer que les ions sodium positif et se combine avec le soufre pour former des polysulfures de sodium. Pendant la décharge, les ions Na^+ positifs traversent l'électrolyte et les électrons dans le circuit externe de la batterie, ce qui produit 2,0 V. Ce processus est réversible, car le polysulfure de sodium libère les ions sodium positif dans l'électrolyte pour se recombinaison en tant que sodium élémentaire. La batterie est maintenue entre 300 et 350 C [22, 23].

Les batteries Sodium- soufre ont une durée de vie typique de 2500 cycles. Leur densité d'énergie et de puissance typique est comprise entre 150 et 240 et 150 à 230 W/kg , respectivement. Les cellules de batterie NaS sont efficaces (75 à 90%) et ont une capacité de puissance d'impulsion supérieure à six fois leur capacité nominale en continu (pendant 30 s).

Cet attribut permet aux piles NaS d'être utilisées de manière économique dans les applications combinées de qualité de puissance et de pointe [24, 25].

II.6.5. Batterie lithium-ion :

La cathode dans ce type de batterie est un oxyde de métal lithié ($LiCoO_2$, $LiMO_2$, $LiNiO_2$, etc.) et l'anode est en carbone graphitique avec une structure en couches [26]. L'électrolyte est constitué de sels de lithium (tel que $LiPF_6$) dissous dans des carbonates organiques. Quand la batterie est chargée, les atomes de lithium dans la cathode deviennent des ions et migrent à travers l'électrolyte vers l'anode en carbone où ils se combinent avec des électrons externes et se déposent entre les couches de carbone sous forme d'atomes de lithium, Figure II.8. Ce processus est inversé pendant le processus de décharge [27].

Les batteries lithium-ion, proposées pour la première fois dans les années 1960, sont devenues une réalité lorsque Bell Labs a mis au point une anode en graphite pouvant être utilisée pour fournir une alternative au lithium métal (batterie au lithium). Les premières batteries commerciales au lithium-ion ont été fabriquées par Sony en 1990. Depuis, l'amélioration des matériaux a permis d'améliorer considérablement la densité d'énergie (portée de 75 à 200 Wh/kg) et cycle de vie (jusqu'à 10 000 cycles). L'efficacité 100% des batteries Li-ion est un avantage important par rapport aux autres batteries. Bien que les batteries Li-ion occupent plus de 50% du marché des petits appareils portables, la fabrication de batteries Li-ion à grande échelle présente certains défis. Le coût élevé (> 600 USD/kWh), dû à l'emballage spécial et aux circuits de protection interne contre les surcharges, constitue le principal obstacle [3].



Figure II.7. Un système autonome utilisant des batteries lithium-ion (de G à D : armoires de batterie, onduleur/chargeur, onduleurs solaires) (Photo: © Off-Grid Energy Australia).

II.7. Accumulateur Lithium-ion :

II.7.1. Principe de fonctionnement :

La batterie Lithium-ion constitue un système électrochimique fonctionnant selon le principe d'échange d'ions Lithium à travers un électrolyte entre l'anode (électrode négative) composée généralement de graphite ou d'oxyde de titane et la cathode (électrode positive) composée d'un oxyde métallique. À chaque électrode se produit une réaction chimique réversible d'oxydoréduction (Redox), permettant la circulation d'électron dans le système électrique, et le transfert de matière dans le système chimique, comme l'illustre la figure ci-dessous [28], Figure II.9.

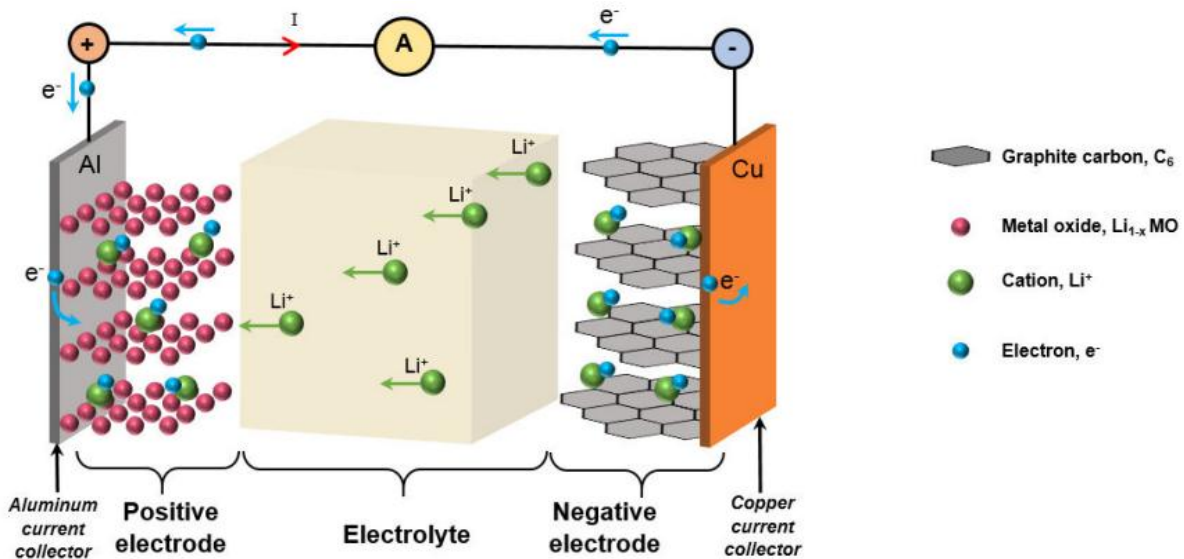
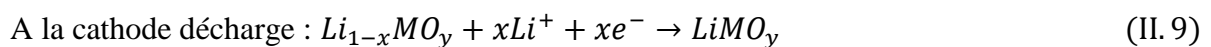
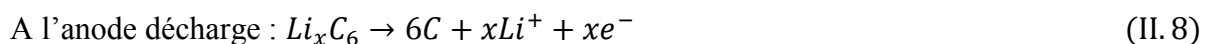


Figure II.8. Principe de fonctionnement général d'une batterie Lithium-ion en décharge [28].

L'énergie est stockée chimiquement dans le sens où elle est libérée par les réactions chimiques aux électrodes. Par exemple, en décharge, lorsque le système électrochimique libère de l'énergie, il se produit une réaction d'oxydation à l'anode (on dit que le matériau de l'anode se réduit) ce qui libère des électrons dans le système électrique. De ce fait, les ions Lithium migrent vers la cathode qui s'oxyde par réaction de réduction. De manière réciproque en charge, les réactions Redox inverses se produisent lorsque la batterie se recharge (réduction à l'anode et oxydation à la cathode). Les équations (II. 8 et II. 9) Redox du système peuvent être résumées comme suit [28]:



Les symboles M et O représentent respectivement le Métal et l'Oxygène. L'électrolyte dans lequel est plongé le système chimique doit avoir une bonne conductivité ionique pour faciliter la migration des espèces en solution et être très stable pour éviter des réactions parasites et garantir la longévité de la batterie.

II.7.2. Performances techniques :

Type	Li Ion (4V)	Li polymère (3V)
Température de fonctionnement	0 à +50 °C	+60 à +90°C
Énergie	80 à 120 Wh/kg 150 à 250 Wh/dm ³	100 à 150 Wh/kg 150 à 220 Wh/dm ³
Nombre de cycles profonds	200 à 1000	300 à 600
Puissance massique permanente / 30s	50 à 200 W/kg	50 à 250 W/kg
Rendement charge / décharge	énergétique : de 85 à 100% faradique : de 90 à 100%	énergétique : de 90 à 100% faradique : de 90 à 100%
Auto-décharge	10 % par mois	2 semaines à chaud quelques % par an à froid
Impact environnemental	<ul style="list-style-type: none"> • sels de lithium et oxydes recyclés • solvants polymère et carbone inerté • utilisation du cobalt ⇒ très toxique 	
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • problème de stabilité mécanique (Li-Ion) • échauffement et risques d'explosion en surcharge (Li) • stockage longue durée : 30 à 50% du SOC 	

Table II-2. Performances des systèmes électrochimiques au lithium [14].

La tension en circuit ouvert :

Chaque accumulateur a une tension nominale de fonctionnement qui le caractérise. Cette tension est définie par les potentiels d'équilibre des électrodes, et correspond à la différence de potentiel entre les deux électrodes. Cette grandeur s'exprime en Volt (V). Ainsi la tension en circuit ouvert (OCV) est définie par la tension d'équilibre de la batterie au repos [28].

Capacité de stockage :

La capacité de stockage, caractérise la quantité maximale des charges électriques disponible dans l'accumulateur pour le décharger complètement à température et courant constant. La capacité des batteries dépend du régime de sollicitation en décharge et de la température. Dans cette étude, la capacité nominale d'une batterie est mesurée lors d'une décharge en une heure et à 25 °C, et s'exprime en Ampère-heure (Ah) [28].

Résistance interne :

L'ensemble : électrodes, électrolyte, séparateur et collecteurs opposent une certaine résistance au passage du courant. Une polarisation se fait entre la tension de la batterie et la tension à vide au niveau des électrodes. Cette polarisation peut se caractériser par le comportement d'une résistance globale qui constitue la résistance interne de l'accumulateur. Cette résistance

dépend du SOC, du régime de charge/décharge, de la température et aussi de l'état de santé de la batterie [28].

II.8. Contrôle de charge [29]:

Le courant circule naturellement du point de tension le plus fort vers le plus faible.

Lorsque la batterie est en période de charge ou déjà chargée, la tension de la batterie a tendance à dépasser la tension délivrée par le photo-générateur. Le courant passerait alors de la batterie vers le photo-générateur, si on ne mettait pas une diode qui bloque le passage du courant dans ce sens. Cela pourrait l'endommager. Cette diode au rôle d'une valve qui évite la décharge de la batterie dans le photo-générateur lorsque la lumière est faible donc la tension du photo-générateur est basse.

II.9. Différentes causes de la défaillance des batteries [29]:

- a) Surcharge des batteries
- b) Décharges profondes
- c) Sulfatation
- d) Court-circuit
- e) Câblage

II.10. Critères de choix du système de stockage :

Le système de stockage a pour fonctions d'assurer une permanence de production que ce soit pour un réseau électrique ou un véhicule et d'absorber les pics de consommation afin d'éviter les déséquilibres énergétiques. La sélection d'un mode de stockage dépend de plusieurs critères parmi lesquels [28]:

- Le coût d'investissement du stockage et de l'électronique de puissance,
- La durée de vie en cyclage et en calendrier,
- Le rendement énergétique (taille du stockage, gestion thermique, ouvrage),
- La sécurité, l'environnement,
- Contraintes de température, d'humidité et/ou de salinité.

Selon l'usage du système de stockage, les sollicitations sur ce dernier ne sont pas les mêmes, et il convient d'adapter le dimensionnement en fonction de l'application donnée. Pour une application au véhicule électrique, les profils de sollicitations sont plutôt en puissance pour faire face aux phases d'accélération. En revanche, pour les applications stationnaires les profils sont très énergétiques en raison des besoins et de la disponibilité énergétique dans le temps [28].

II.11. Impact de la température sur les mécanismes du vieillissement :

La température affecte directement les mécanismes de vieillissement. à basse température des dendrites peuvent se former à l'interface SEI/électrolyte au cours d'un cyclage [30, 31], et à haute température les mécanismes de dégradation s'accélèrent et diminuent la durée de vie de la batterie [31].

Hautes températures :

Lorsque la batterie subit une surcharge à haute température, les oxydes de type lamellaire ont tendance à se décomposer et à libérer de l'oxygène. Cette réaction est hautement exothermique et survient à des températures proches de 180 °C [32]. La matière devient de moins en moins active avec la perte de l'oxygène, ce qui provoque une chute de la capacité. La pression interne de la batterie augmente en risquant de faire exploser l'enveloppement de la batterie.

Basses températures :

À basse température, les performances sont amoindries par la baisse de conductivité ionique de la solution électrolytique. Le transport des espèces en solution est ralenti ainsi que la diffusion du Lithium en phase solide. Les mauvaises performances des cellules Lithium-ion à basse température peuvent être liées à plusieurs facteurs, comme : une mauvaise conductivité des électrolytes, une cinétique lente des transferts de charges, une augmentation de la résistance à l'interface solide/électrolyte, ou une diffusion lente des ions lithium au travers la matière active [33].

II.12. Connexion d'une batterie :

Avant d'être raccordées, les batteries doivent être installées à leur emplacement définitif. Pour les branchements, il faut se munir de câbles électriques adaptés à leur puissance : la section du câble doit être plus ou moins grande en fonction de l'intensité pour limiter les pertes par « effet de Joule ». Il est recommandé d'intégrer un fusible externe entre la batterie et le régulateur, et/ou entre la batterie et les consommateurs pour empêcher tout risque de court-circuit. Ce fusible devra être au plus près des pôles de la batterie. Si les batteries sont plusieurs et qu'elles nécessitent un branchement en série ou en parallèle, Figure II.10, il faut les connecter entre elles avant tout. Elles pourront ensuite être raccordées au régulateur (on connecte toujours les batteries en premier, avant les modules photovoltaïques/éoliennes ou les consommateurs) [34].

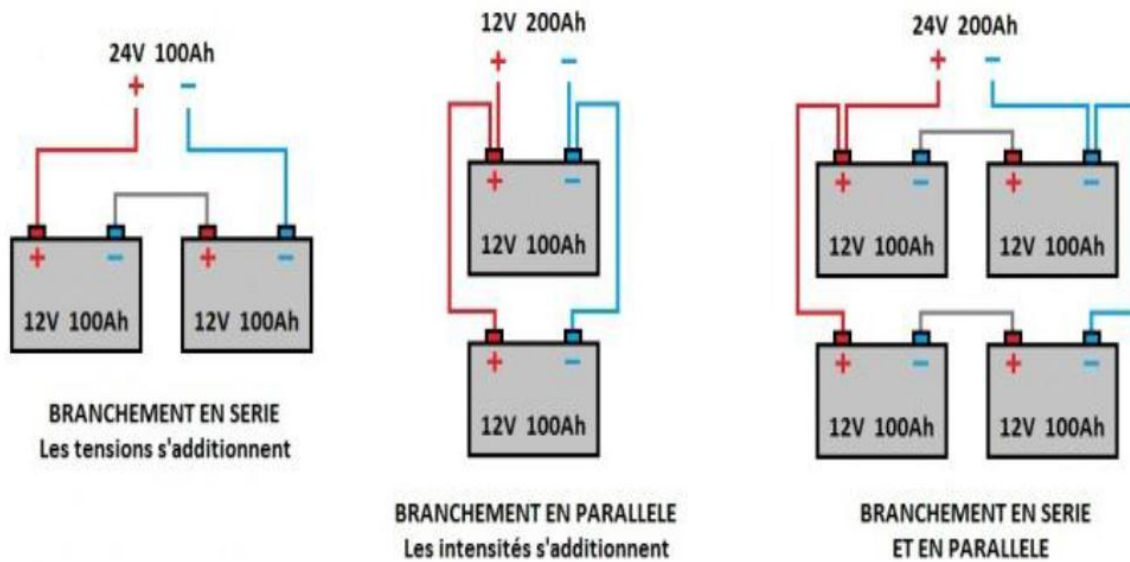


Figure II.9. Connexion des batteries.

II.13. Mesures de sécurité :

Pour être en sécurité pendant la charge d'une batterie, suivez ses mesures [35]:

- Pour toute manipulation portez des protections individuelles ; gants, lunettes...surtout avec des batteries à électrolyte.
- Il est nécessaire de bien ventiler le local où s'effectue cette charge.
- Il ne faut jamais brancher les câbles de chargeur au niveau de la batterie avant d'avoir éteint le chargeur.
- Ne mettez jamais en court-circuit la batterie.
- N'inversez pas la polarité.
- Ne surcharger pas et ne percez pas le boîtier.
- Ne pas faire de décharge profonde.

II.14. Convertisseurs électriques :

Les convertisseurs continu-continu sont nécessaires. Le premier est utilisé pour obtenir la puissance maximale de module PV utilisant un MPPT (Maximum Tracking Power Point algorithme) raison de la nature non linéaire de cette source. De toute évidence, une connexion directe entre le PV et la batterie fonctionne également. Cependant, il n'y a aucune garantie que le PV de fournir la puissance maximale. Pour l'application de l'éclairage de rue, il faut remarquer que la connexion directe entre PV et les LED ne serait jamais nécessaire, car ils ne seront pas fonctionner simultanément [36].

II.14.1. Type des convertisseurs :

Un convertisseur statique est formé essentiellement des composants électroniques de commutation et d'éléments de stockage d'énergie électrique. La conversion est effectuée en stockant l'énergie de la source durant une partie de la période de fonctionnement, puis en transférant celle-ci vers la charge pendant le reste de la période d'horloge. Suivant le type de charge et la nature de la source, on peut distinguer quatre familles de convertisseurs statiques, Figure II.11 [38]:

- Les hacheurs : permettent de convertir une tension continue en une tension continue.
- Les onduleurs : permettent de convertir une tension continue en une tension alternative.
- Les redresseurs : permettent de convertir une tension alternative en une tension continue.
- Les gradateurs : permettent de convertir une tension alternative en une tension alternative.

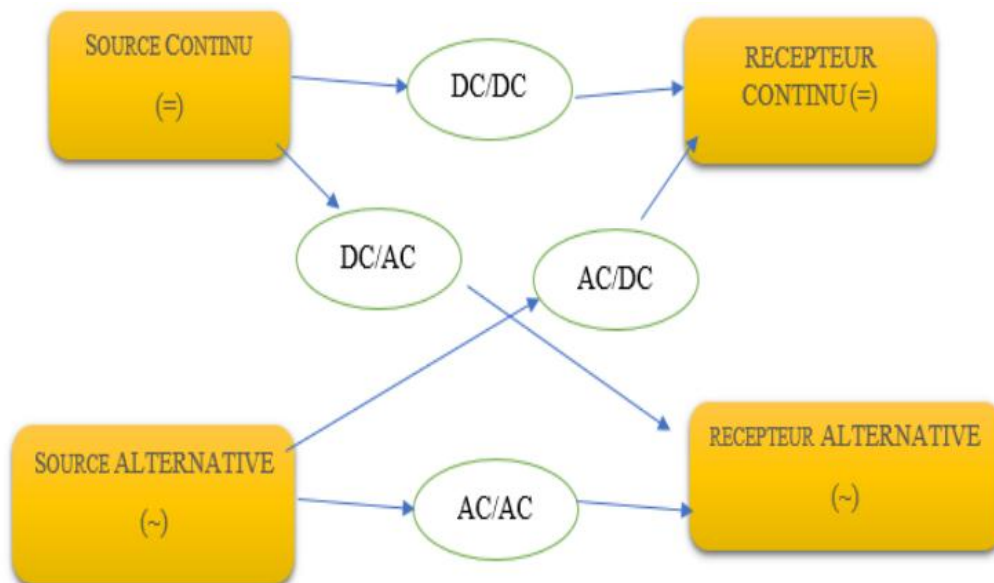


Figure II.10. Les différents types de convertisseurs statiques.

II.14.2. Choix du convertisseur :

Afin d'obtenir la plus grande efficacité de (MPP), il faut choisir le correct convertisseur DC / DC dans une installation photovoltaïque, D'après le travail de [37], le convertisseur DC / DC buck-boost est capable de gérer l'installation à suivre le point de puissance maximale du panneau photovoltaïque à tout moment, indépendamment de la température de la cellule, l'irradiation solaire global et la charge connectée [38]:

a) **Convertisseur Continu-Alternatif (Onduleur):**

Son rôle est de transformer l'énergie électrique continue délivrée par le générateur photovoltaïque en énergie électrique alternative. De tels appareils doivent délivrer un signal le plus proche possible du signal sinusoïdal et avec une fréquence précise. En effet, pour les fonctionnements de la plupart des charges, la présence d'harmoniques est néfaste. Ces appareils appelés couramment onduleurs, présentent généralement deux inconvénients majeurs [39]:

- pertes à vide très élevées,
- rendement acceptable uniquement pour la charge nominale.

Pour les systèmes PV, leur utilisation représente un gaspillage d'énergie important, surtout lorsque la charge est variable au cours du temps et est bien inférieure à sa valeur nominale. Il convient de choisir un onduleur dont les pertes à vide doivent être réduites et le rendement doit être moins sensible au pourcentage de la puissance appelée.

b) **Convertisseur DC/DC (Hacheur):**

Les convertisseurs DC/DC dont pour fonction de fournir une tension continue variables à partir d'une tension continue fixe, Figure II.12. Cette conversion d'énergie s'effectue grâce à un "découpage" haute fréquence caractérisée par un rendement élevé, on distingue trois familles de convertisseurs statiques (hacheurs) [39].

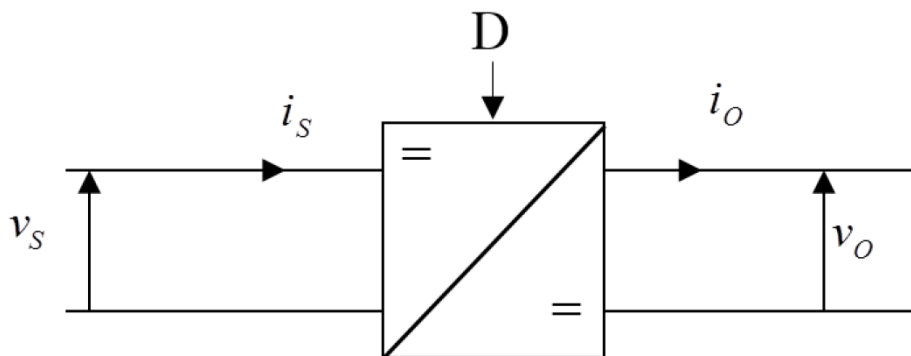


Figure II.11. Symbole d'un hacheur DC/DC.

c) **Hacheur abaisseur (Buck):**

Un convertisseur de Buck ou un régulateur de tension est également appelé un régulateur d'abaissement puisque la tension de sortie est inférieure à la tension d'entrée, Figure II.13.

Dans un exemple simple de convertisseur buck, une diode est connectée en parallèle avec la source de tension d'entrée, un condensateur et la charge, qui représente la tension de sortie.

Un commutateur est connecté entre la source de tension d'entrée et la diode et un inducteur est connecté entre la diode et le condensateur [38].

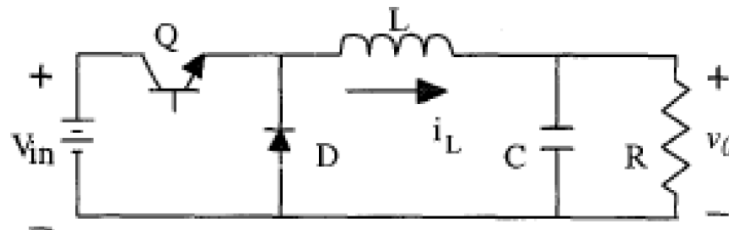


Figure II.12. Hacheur dévolteur

d) Hacheur élévateur (boost):

Comme pour le convertisseur buck, le circuit du convertisseur boost ou step up est composé d'un interrupteur, d'une diode, d'un inducteur et d'un condensateur. Leur position dans le circuit varie en comparaison avec le convertisseur buck, Figure II.14. Dans ce cas, l'interrupteur est en parallèle avec la source de tension d'entrée, le condensateur et la charge. L'inducteur est placé entre la source de tension d'entrée et l'interrupteur et la diode est placée entre l'interrupteur et le condensateur [38].

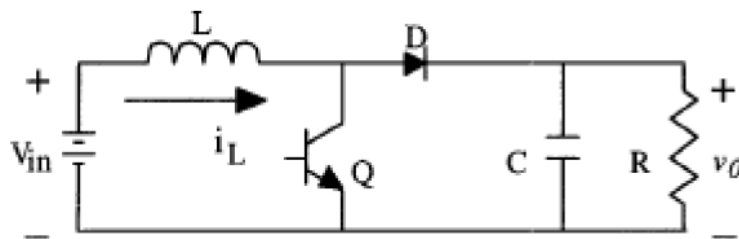


Figure II.13. Hacheur survolteur.

e) Hacheur abaisseur-élévateur (Buck-boost) :

Le dernier et le plus important type de régulateur de commutation est le convertisseur buck-boost, Figure II.15. Dans ce convertisseur, les topologies buck et boosts présentés précédemment sont combinées en une seule. Un convertisseur buck-boost est également construit en utilisant les mêmes composants utilisés dans les convertisseurs couverts avant. Dans ce cas, l'inducteur est placé en parallèle avec la tension d'entrée et le condensateur de charge. Le commutateur ou le transistor est placé entre l'entrée et l'inducteur, tandis que la diode est placée entre l'inducteur et le condensateur de charge dans une direction inverse [38].

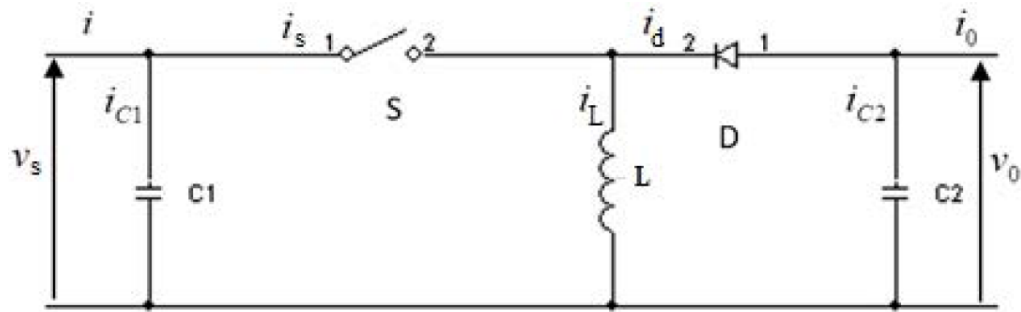


Figure II.14. Circuit équivalent du convertisseur Buck-Boost.

Le convertisseur DC-DC fonctionne comme suiveur de point de puissance maximum et règle la tension de sortie du générateur photovoltaïque. Deux types de topologies des convertisseurs DC-DC, convertisseur Buck ou convertisseur boost sont les plus généralement employés par la majorité des concepteurs du suiveur de puissance maximum. Dans le travail actuel, le convertisseur boost est choisi puisqu'il a d'excellentes caractéristiques telles que les possibilités des tensions élevées et de rendement important, la petite taille et le bas prix [38].

II.15. Régulateur de charge et décharge :

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes, afin de maximiser sa durée de vie. Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation [39].

II.16. Technique de régulation :

Toute la régulation se fait grâce à la mesure de la tension aux bornes de la batterie. Une batterie déchargée possède une tension faible (autour de 11.4V pour une batterie de 12V), alors qu'une batterie chargée possède une tension forte (autour de 13.2 V).

Le régulateur de charge doit donc avoir une lecture précise de la tension aux bornes de la batterie, afin de savoir si elle se trouve dans une période de fin de charge ou en fin de décharge. C'est pour cela que l'on place toujours le régulateur à proximité des batteries, pour éviter les chutes de tension dues à la distance et pour pouvoir prendre en compte la température environnante [40]

II.17. Principe de fonctionnement des régulateurs :

Information sur l'état de charge : La densité de l'électrolyte de la batterie est théoriquement un excellent indicateur d'état de charge, mais souvent cet indicateur ne prend sa valeur caractéristique que plusieurs jours après sa charge. De plus, il faudrait agiter l'électrolyte pour faire une bonne mesure. Enfin, cette mesure est difficile à automatiser [39].

Finalement l'indicateur utilisé est la tension aux bornes de la batterie. Cette grandeur est la seule facilement mesurable capable de donner une estimation de l'état de charge.

La figure II.16 représente un schéma électronique de principe qui traduit le fonctionnement d'un régulateur basé sur un comparateur de tension [41].

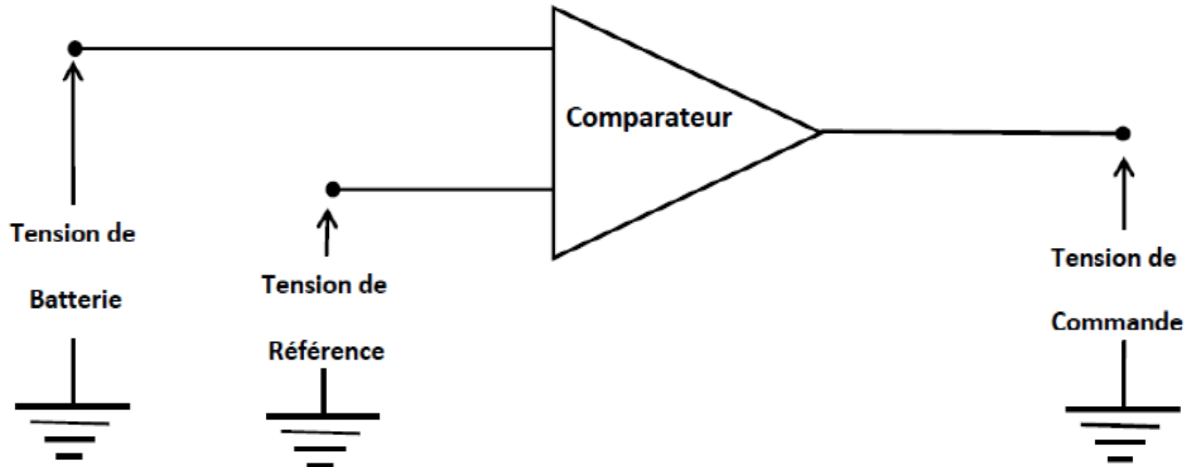


Figure II.15. Schéma de principe d'un régulateur de charge.

Le régulateur doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils, un seuil haut et un seuil bas. Pour éviter tout phénomène de battement de la régulation, ces deux seuils sont doublés de seuils de réenclenchement qui peuvent être ou non confondus. Le choix des seuils de régulation dépend des caractéristiques des batteries et des conditions d'utilisation (régime de charge, décharge, température, ...). Il existe plusieurs types de régulateur, on peut citer deux types, le régulateur série et le régulateur parallèle [39].

II.17.1. Régulateur parallèle :

Le circuit de débordement est connecté en parallèle sur le générateur pour dissiper l'énergie en excès. où la tension de fin de charge est ajustable par la tension de référence appliquée à l'entrée d'un amplificateur opérationnel. Les principaux avantages de ce type de régulateur sont [39-41]:

- La régulation de type proportionnel.
- L'absence de la chute de tension dans le circuit série.
- La consommation du régulateur négligeable.
- Un défaut du régulateur n'interrompt pas la charge.

Le principal inconvénient est le suivant :

- Les composants doivent dissiper la puissance totale du générateur.

II.17.2. Régulateur série :

Est un composant électronique de puissance en série dans le circuit de charge dont la commande est assurée par une tension de référence. Le schéma ci-dessous donne un exemple

possible de circuit série. Le composant électronique série (par exemple : un transistor de puissance) se comporte comme une résistance dont la valeur augmente au fur et à mesure qu'augmente l'état de charge de la batterie. Les principaux avantages en sont [39-41]:

- La régulation de type proportionnel.
- La puissance faible dissipée dans le circuit série comparée à la puissance du générateur PV

Les principaux inconvénients en sont :

- Le circuit série introduit une chute de tension.
- La défaillance du circuit série entraîne l'arrêt de la charge

II.18. Poursuite du point de puissance maximale :

Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour fournir de l'énergie dans de nombreuses applications électriques. Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, l'algorithme de poursuite du point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking : MPPT) est utilisé pour contrôler les variations de la caractéristique courant-tension des cellules. A noter que la caractéristique d'une cellule est affectée par l'éclairement et la température [42].

Une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quelles que soient les conditions météorologiques (température et l'éclairement), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (VPPM, IPPM). Ensuite, nous remarquons le point d'intersection entre les caractéristiques $I(V)$ du générateur et celles des trois types de charges, figure II.17:

1. Point A pour une charge en source de courant,
2. Point B pour une charge résistive,
3. Point C pour une charge de type source de tension,

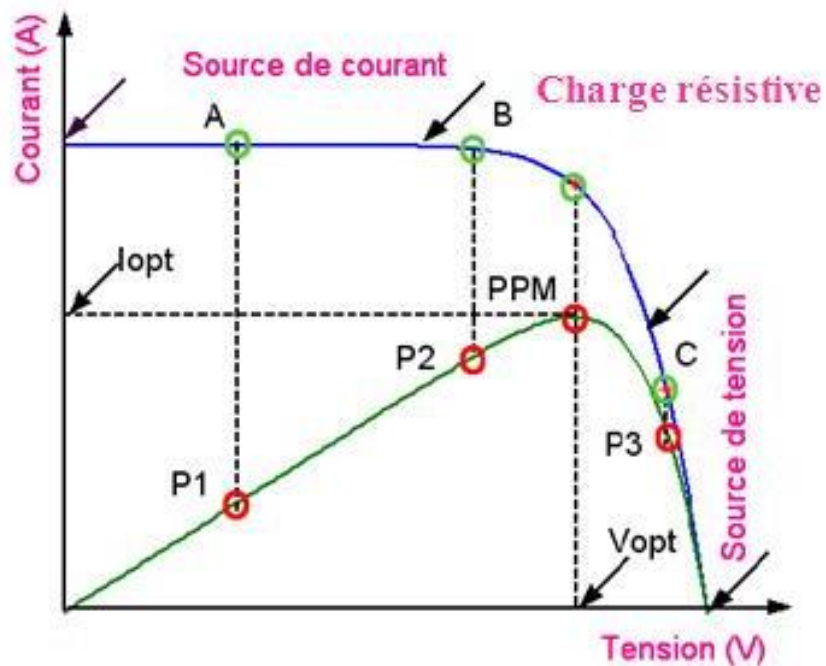


Figure II.16. Caractéristique I(V) et P(V) établissant le principe de la puissance maximale (MPP) [43].

II.19. Cout des batteries et perspectives :

Le développement des véhicules électriques entraîne pendant la décennie 2010-2020 un développement important des batteries au lithium, les économies d'échelle entraînant une diminution rapide des coûts, figure II.18.

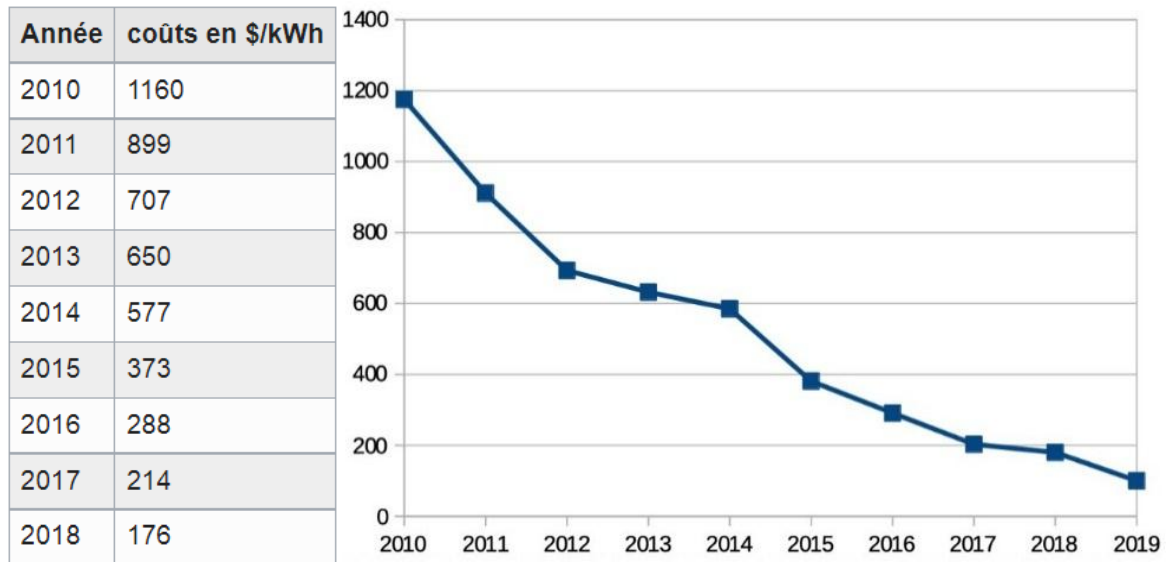


Figure II.17. Prix moyen des batteries lithium-ion.

II.20. Conclusion :

Le stockage d'énergie offre beaucoup de potentiel en raison de la capacité d'améliorer les performances du système. Dans ce chapitre, en présentant les principaux types de batteries et leurs caractéristiques, il a été montré dans le dernier que les batteries au Lithium-ion sont apparues comme la meilleure solution pour répondre au différent besoin du stockage d'énergie en raison de sa grande versatilité et de son coût en forte baisse depuis ces dernières années. Dans ce chapitre nous avons également présenté le régulateur et le principe de son fonctionnement et les types de convertisseur et comment le choisir.

II.21. Référence :

- [1] A. Marquet, C. Levillain, A. Davriu, S. Laurent, and P. Jaud, "Stockage d'électricité dans les systèmes électriques," *Techniques de l'ingénieur. Génie électrique*, vol. 8, pp. D4030. 1-D4030. 29, 1998.
- [2] P. Odru, *Le stockage de l'énergie*, 2 ed. UniverSciences: Dunod, septembre 2013.
- [3] A. Boudia, "Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique avec un système de stockage à base d'une inductance supraconductrice (SMES)," Univ M'sila, 2020.
- [4] E. R. Iglesias, "Étude du vieillissement des batteries lithium-ion dans les applications" véhicule électrique": combinaison des effets de vieillissement calendaire et de cyclage," Université de Lyon, 2017.
- [5] D. M. Rosewater, D. A. Copp, T. A. Nguyen, R. H. Byrne, and S. Santoso, "Battery energy storage models for optimal control," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 178357-178391, 2019.
- [6] H. Doubabi, I. Salhi, M. Chennani, and N. Essounbouli, "Modeling and design of a solar-powered refrigerator for vaccines transportation in remote regions," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 142, p. 041007, 2020.
- [7] J.-F. Reynaud, "Recherches d'optimums d'énergie pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques," Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2011.
- [8] N. Achaïbou, A. Malek, and N. Bacha, "Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV," *N. spécial (CHEMSS)*, pp. 61-66, 2000.
- [9] E. Buchet, "Etude du dimensionnement et développement d'un logiciel d'aide à la conception de systèmes de production d'énergie utilisant la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire," Aix-Marseille 3, 1988.
- [10] H. Doubabi, "Contribution à l'amélioration de l'efficacité d'une chaîne de conversion photovoltaïque," Reims, 2021.
- [11] A. Mohammedi, D. Rekioua, T. Rekioua, and S. Bacha, "Valve Regulated Lead Acid battery behavior in a renewable energy system under an ideal Mediterranean climate," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, pp. 20928-20938, 2016.
- [12] F. Bendioudi and F. Lakhdari, "Etude et simulation d'un système de pompage photovoltaïque avec batteries," *Mémoire de Master*, 2014.
- [13] D. Linden, "Handbook of batteries and fuel cells," *New York*, 1984.
- [14] J. Labbé, "L'Hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés," École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2006.

- [15] C. hung Tran, "Améliorations d'une chaîne de conversion de l'énergie solaire en électricité autonome en vue d'application dans les pays en voie de développement," Reims, 2019.
- [16] A. G. Ter-Gazarian, *Energy storage for power systems*: Iet, 1994.
- [17] J. McDowall, "Integrating energy storage with wind power in weak electricity grids," *Journal of Power sources*, vol. 162, pp. 959-964, 2006.
- [18] D. Mears, "EPRI-DOE storage handbook-storage for wind resources," in *Annual peer review meeting of DOE energy storage systems research. Washington DC, USA*, 2004, pp. 1-18.
- [19] T. Moore and J. Douglas, "Energy storage, big opportunities on a smaller scale," *EPRI J*, pp. 16-23, 2006.
- [20] P. F. Ribeiro, B. K. Johnson, M. L. Crow, A. Arsoy, and Y. Liu, "Energy storage systems for advanced power applications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 89, pp. 1744-1756, 2001.
- [21] R. Kempener and E. Borden, "Battery storage for renewables: Market status and technology outlook," *International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*, vol. 32, 2015.
- [22] J. Jewitt, "Impact of CAES on Wind in Tx, OK and NM," in *Annual peer review meeting of DOE energy storage systems research. San Francisco, USA*, 2005, pp. 1-16.
- [23] J. McDowall, "High power batteries for utilities-the world's most powerful battery and other developments," in *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004.*, 2004, pp. 2034-2037.
- [24] M. Kamibayashi and K. Tanaka, "Recent sodium sulfur battery applications," in *2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. Developing New Perspectives (Cat. No. 01CH37294)*, 2001, pp. 1169-1173.
- [25] B. G. Pollet, I. Staffell, and J. L. Shang, "Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects," *Electrochimica Acta*, vol. 84, pp. 235-249, 2012.
- [26] R. Galloway and C. Dustmann, "ZEBRA battery-material cost availability and recycling," in *Proceeding of international electric vehicle symposium (EVS-20), Long Beach, Canada*, 2003, pp. 1-9.
- [27] A. Ritchie, "Recent developments and future prospects for lithium rechargeable batteries," *Journal of power Sources*, vol. 96, pp. 1-4, 2001.
- [28] D. Allart, "Gestion et modélisation électrothermique des batteries lithium-ion," Normandie Université, 2017.
- [29] B. TITRAOUI and F. Z. BOUDISSA, "Modélisation et simulation d'une batterie à usage solaire photovoltaïque," university of M'sila, 2021.

- [30] A. N. Jansen, D. W. Dees, D. P. Abraham, K. Amine, and G. L. Henriksen, "Low-temperature study of lithium-ion cells using a Li₂Sn micro-reference electrode," *Journal of Power Sources*, vol. 174, pp. 373-379, 2007.
- [31] J. Vetter, P. Novák, M. R. Wagner, C. Veit, K.-C. Möller, J. Besenhard, *et al.*, "Ageing mechanisms in lithium-ion batteries," *Journal of power sources*, vol. 147, pp. 269-281, 2005.
- [32] T. M. Bandhauer, S. Garimella, and T. F. Fuller, "A critical review of thermal issues in lithium-ion batteries," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 158, p. R1, 2011.
- [33] Y. Ji, Y. Zhang, and C.-Y. Wang, "Li-ion cell operation at low temperatures," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 160, p. A636, 2013.
- [34] B. Ibrahim, "Modélisation et commande d'un système De stockage photovoltaïque," *Magister Université Abou-Bakr Belkaid–Tlemcen*. ➤ <https://mon-chargeur-batterie.com>. ➤ <https://solaire.ooreka.fr/comprendre/chargeur-solaire>. ➤ <http://bioneure.fr/chargeur-solaire-batterie/> ➤ <https://www.solaris-store.com/6-panneau-solaire>. *NE*, vol. 555, 2011.
- [35] M. Toufik and K. Dihia, "Réalisation d'un chargeur solaire de batterie au plomb," Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [36] J. Lagorse, D. Paire, and A. Miraoui, "Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, PV and battery," *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 683-691, 2009.
- [37] J. Enrique, E. Duran, M. Sidrach-de-Cardona, and J. Andujar, "Theoretical assessment of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different converter topologies," *Solar Energy*, vol. 81, pp. 31-38, 2007.
- [38] F. ZAOUI, "Utilisation des énergies renouvelables influence de la température sur les performances du module PV," Université Mohamed Khider-Biskra, 2016.
- [39] M. Boukadoum, A. Hamidat, and N. Ourabia, "Le Pompage Photovoltaïque," *Revue des Energies Renouvelables, NS Zones Arides*, pp. 69-73, 2002.
- [40] C. H. Tran, "Améliorations d'une chaîne de conversion de l'énergie solaire en électricité autonome en vue d'application dans les pays en voie de développement," Université de Reims Champagne-Ardenne, 2019.
- [41] A. Hamidat, A. H. Arab, and M. Belhamel, "Etude et réalisation d'une mini centrale photovoltaïque hybride pour l'électrification du refuge Assekrem," *Journal of Renewable Energies*, vol. 10, pp. 265–272-265–272, 2007.
- [42] D. Salim, "Simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone," *Université Ferhat Abbas de Sétif*, 2011.

[43] (July 07th). *ensemble-panneau-batterie*. Available:
<http://electronique1.blogspot.com/2011/03/ensemble-panneau-batterie.html>



Chapitre III :

*Dimensionnement D'une
Installation Photovoltaïque*

III.1. Introduction :

Le dimensionnement d'un générateur PV a pour but de déterminer l'optimum technico-économique entre la puissance crête du champ des panneaux solaires et la capacité de batterie associée à partir des besoins électriques de l'utilisateur d'une part, et d'autre part des données d'ensoleillement du site et du prix et de la qualité des composants dont on peut disposer sur le marché.

Dans ce chapitre, le travail que nous avons effectué est penché vers le dimensionnement des composants de notre système PV :

- Le champ PV
- L'onduleur
- Régulateur
- Les câbles

Ceux-ci seront dimensionnés après l'évaluation des besoins, la détermination de la puissance à installer et le nombre total de panneaux [1].

III.2. Objectif général :

Il s'agit de produire de l'énergie électrique de manière autonome de la résidence des étudiants du centre d'enseignement et de formation professionnels _ Karim Belkacem _ L'aghoat_ pour satisfaire les besoins des différents appareils électriques [1].

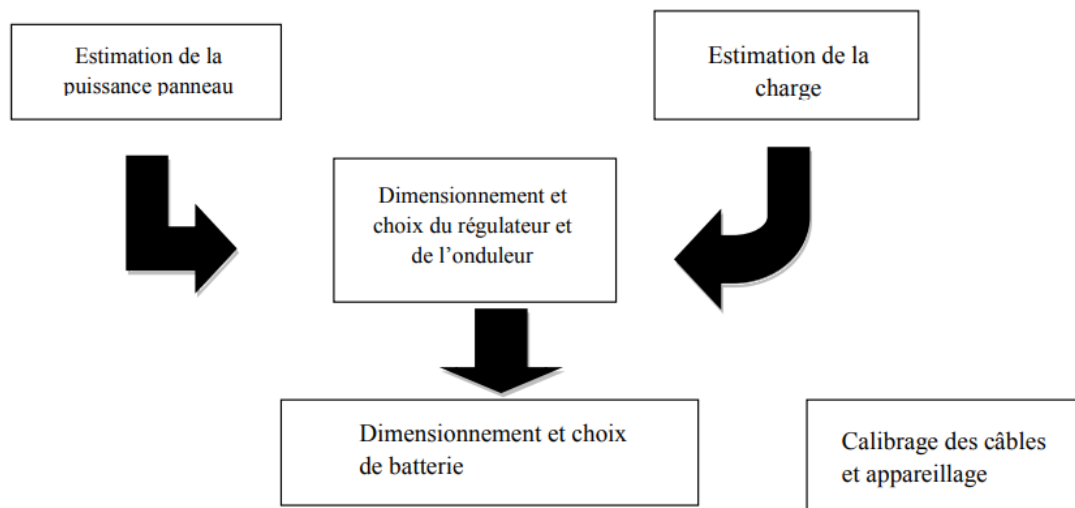


Figure III.1. Processus de dimensionnement d'une installation solaire non raccordée au réseau [2].

III.3. Etapes pour dimensionner l'installation :

Pour le dimensionnement on a suivi les étapes ci-dessous : [1, 3, 4]:

- Calculer la puissance de consommation de la Résidence.
- Déterminer les besoins énergétiques journaliers dans le cas le plus défavorable (la période où les besoins sont les plus importants).
- Calculer le champ des panneaux photovoltaïques nécessaire pour produire les besoins journaliers en considérant l'énergie solaire disponible (le mois) le plus défavorable, selon la situation géographique du site.
- Calculer le parc de batteries pour une autonomie donnée (une semaine).
- Déterminer le ou les convertisseurs (onduleur, chargeur) pour fournir la puissance nécessaire à l'installation.
- Déterminer le coût du système.
- Nous devons dimensionner le régulateur et la section des câbles.

III.4. Détermination de l'irradiation du site pour le dimensionnement :

III.4.1. Période d'ensoleillement :

Lorsque la puissance lumineuse n'augmente plus, la puissance générée par la cellule PV n'augmente plus également. Au contraire, lorsque la température des cellules augmente, alors la puissance générée par les cellules sera faible. La carte ci-dessous nous montre l'irradiation moyenne en Algérie [5].

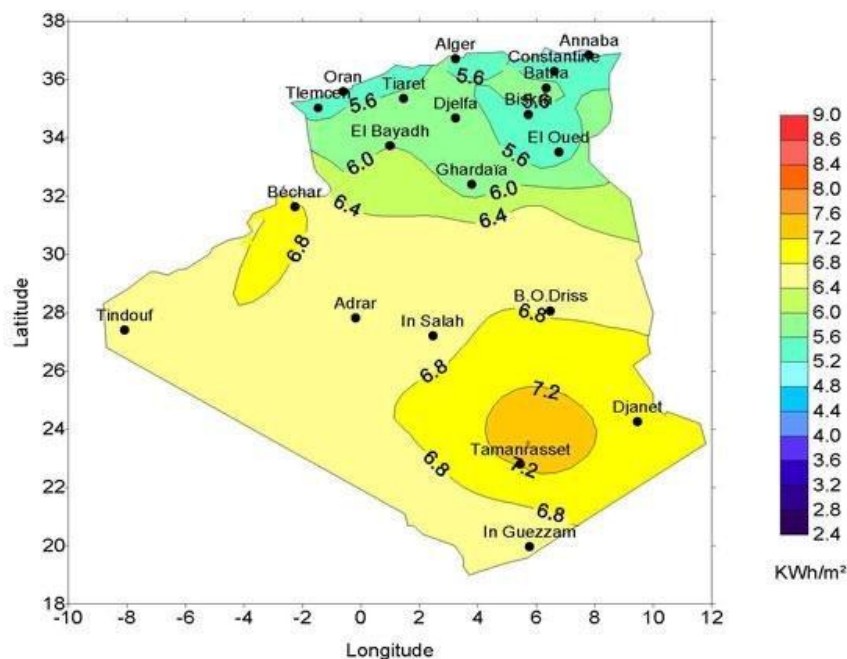


Figure III.2. L'irradiation moyenne en Algérie [6].

III.4.2. Calcul de la consommation énergétique :

Les besoins seront déterminés à partir des équipements électriques bureautiques existants ou envisagés. Un travail de recensement des équipements et d'identification des puissances ou des consommations normalisées est alors réalisé. Puis les consommations donc les besoins sont déterminés, soit par calcul à partir de la puissance des appareils et de leur temps d'utilisation (éclairage, ordinaire...), soit par relevé des consommations normalisées forfaitaires journalières données par les constructeurs [1].

III.4.3. Les besoins de l'application en énergie :

Il est indispensable de connaître précisément le besoin en énergie d'une installation avant de passer au dimensionnement afin de concevoir un système photovoltaïque adapté.

La puissance photovoltaïque du générateur à installer est déduite du calcul de la consommation de l'application. Le calcul de dimensionnement prend en compte la puissance, la tension des appareils ainsi que la durée d'utilisation. Tous les consommateurs disponibles (lampes, radio, réfrigérateur, ordinateur, etc.) sont listés en précisant leur tension, leur puissance et leur durée d'utilisation par jour. Les appareils à faible consommation d'énergie et à haute rendement sont préférés même si leur coût d'investissement est plus élevé.

Pour un meilleur rendement énergétique et d'économie financière, il est préférable d'utiliser des récepteurs fonctionnant en courant continu (12 ou 24 VDC) puisque ce dernier, produit par les panneaux photovoltaïques et/ou stocké dans les batteries, est directement utilisé par les récepteurs CC sans transformation préalable du courant. En revanche, en présence de récepteurs en 230 VAC, il faut rajouter un onduleur CC/CA, devenant lui-même un consommateur d'énergie non négligeable (marche/mode veille) à prendre en compte dans le bilan global de la consommation. Sur le marché, il existe un grand choix de récepteurs CC : lampes, réfrigérateurs, ventilateurs, pompes à eau, postes de radio, téléviseurs etc. Cependant, certains appareils n'existent pas en courant continu ou n'offrent pas la tension souhaitée : dans ce cas, l'onduleur est nécessaire afin de faire fonctionner les récepteurs VAC [1].

Pour chaque appareil consommateur, la consommation journalière (en Wh/j), est définie à partir de sa puissance (en W) et de sa durée d'utilisation (en h/j), afin d'en déduire la consommation totale journalière. Cette dernière est ensuite réajustée en fonction du taux d'occupation de l'habitat au cours d'une année (week-end, vacances, etc.). A partir de cette valeur, il est possible de calculer la puissance photovoltaïque (pour en déduire le nombre de panneaux à installer) et de dimensionner le stockage (calcul de la capacité de la batterie et de la profondeur de décharge), le régulateur et de câblage [6].

III.5. Dimensionnement d'un système PV :

Le dimensionnement d'un système PV dépend généralement de plusieurs paramètres, entre autres, du profil de charge à alimenter, mais aussi des caractéristiques électriques des modules PV et de l'agencement série/parallèle de ces derniers. En effet, le groupement série permet d'augmenter la tension de sortie du système PV alors qu'une association parallèle augmentera son courant. La consommation journalière s'écrit [7]:

$$Cons = Pxt(wh/J) \quad (III.1)$$

La puissance crête est donnée par :

$$P_c = \frac{Cons}{K.E} \quad (W_c) \quad (III.2)$$

Avec :

Cons : consommation journalière (*Wh / J*).

E : l'énergie incidente sur le plan des modules (*Kwh/m²/J*).

K : facteur de correction compris entre 0.55 et 0.65.

III.6. Détermination du nombre de panneaux photovoltaïques :

Pour pouvoir comparer la puissance entre panneaux, on utilise le Watt crête, une mesure qui correspond à la puissance maximale que pourra débiter le panneau dans les conditions d'éclairage optimal. Pour déterminer le nombre de panneaux, on s'intéressera d'abord à deux paramètres qui sont: la consommation moyenne journalière, et l'irradiation incidente moyenne journalière reçue [8, 9]. On effectue le calcul sur la période la plus défavorable avec une inclinaison raisonnable des modules ou panneaux. La consommation d'énergie de la résidence [9].

$$E_p = \frac{E_c}{K} \quad (III.3)$$

E_p : est l'énergie produite E_c : l'énergie consommée et k : le coefficient de l'incertitude météorologique.

Ce coefficient k prend en compte l'incertitude météorologique, l'inclinaison non corrigée des modules, la non optimalité du point de fonctionnement des modules (vieillesse, poussières, etc.), le rendement de charge et de décharge des batteries, le rendement du régulateur et de l'onduleur, et des pertes dans les câbles et les connexions. k est en général compris entre 0.55 et 0.65.

$$P_c = 1000 \times \frac{E_p}{I_r} \quad (III.4)$$

Où, est la puissance consommée, E_p l'énergie produite et I_r représente l'irradiation. En effet, l'irradiation est exprimée en kWh, et la puissance du module en W_c d'où la nécessité de

multiplier par ce facteur 1000. Pour connaître le nombre de module, il suffit de diviser cette puissance par la puissance du module, le tout multiplié par 1000. Le nombre N_m de Panneaux est alors donné par la Relation suivante :

$$N_m = \frac{E_u}{E_m} \times 1000 \quad (\text{III.5})$$

Avec, E_u représentant l'énergie utile ou nécessaire et E_m l'énergie d'un module.

On obtient le nombre de modules en série N_{MS} grâce à la relation suivante :

$$N_{MS} = \frac{T_{FR}}{V_{max}} \quad (\text{III.6})$$

N_{MS} : nombre de modules en série T_{FR} ; la tension du régulateur utilisé et V_{max} : la tension maximale du module. Le nombre de branches en parallèle N_{BP} : est déterminé comme suit :

$$N_{BP} = \frac{N_M}{N_{MS}} \quad (\text{III.7})$$

Dans cette relation N_{BP} : est nombre de branches en parallèle N_M : est nombre total de modules et N_{MS} : le nombre de modules en série.

Le calcul du nombre de modules à mettre en série et parallèle est donné par :

$$n_s = \frac{U_u}{U_m} = \text{modules en série} \quad (\text{III.8})$$

$$n_p = \frac{P_c}{P_{c_{mod}} \times n_s} = \text{modules en parallèle} \quad (\text{III.9})$$

Le nombre de modules solaire à installer est alors le produit

$$n_p \times n_s \quad (\text{III.10})$$

Le rendement solaire est donné par :

$$\eta = \frac{P_c}{G \times S} \quad (\text{III.11})$$

Avec :

P_c : Puissance crête du module (W)

G : Irradiation (Wh/m^2)

S : Surface (m^2)

U_u : Tension utile du module (V)

U_m : Tension du module (V)

$P_{c_{mod}}$: Puissance du module (W)

III.7. Orientation et inclinaison des panneaux :

Respecter l'inclinaison optimale de son champ solaire et poser les panneaux photovoltaïques en toute sécurité. L'inclinaison du panneau solaire. En règle générale, la meilleure inclinaison est entre 15 et 35°c l'orientation plein Sud [5].

III.8. Dimensionnement du parc batteries :

Pour réaliser le dimensionnement de la batterie, on procède de la façon suivante [9]:

$$C = \frac{E_c \times N}{D \times U} \quad (\text{III.12})$$

Etape 1 : On calcule l'énergie consommée (E_c) par les différents récepteurs

Etape 2 : On détermine le nombre de jour d'autonomie nécessaire

Etape 3 : On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisée

Etape 4 : On calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous :

C : capacité de la batterie en Ampère-heure (Ah)

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batterie (V) [10].

III.9. Détermination du régulateur de charges :

Le contrôleur de charge est l'élément central d'un système photovoltaïque autonome. Il contrôle les flux d'énergie. Les panneaux solaires n'envoient pas à tout moment de la journée un flux continu d'électricité. Le contrôleur de charge régule donc le flux afin d'alimenter les batteries avec régularité et les protéger. Par ailleurs, lorsque le ciel est très couvert, et que les panneaux ne délivrent plus d'énergie, il peut arriver que l'utilisateur ait besoin d'énergie. Ce qui occasionnerait une importante décharge des batteries. Le régulateur intervient alors pour prévenir d'une trop profonde décharge qui endommagerait les batteries. Le contrôleur de charge assure à la fois les fonctions de surveillance et de protection [9].

III.10. Dimensionnement de l'onduleur :

Le convertisseur de courant se dimensionne en fonction de plusieurs critères [11]:

- La tension d'entrée : c'est la même que la tension des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48V DC).
- La tension de sortie : en Algérie nous utilisons du 220/230 V, 50Hz.
- La puissance nominale : c'est la puissance que les appareils consomment en électricité pour fonctionner de façon "normale". Il faut toujours choisir un convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils.
- La puissance maximale : l'onduleur doit être capable de fournir une grande puissance (généralement 2 ou 3 fois la puissance nominale). Cette particularité est utile pour les appareils qui possèdent un moteur (réfrigérateur, micro-onde, lave-linge, ...), car leur consommation augmente très fortement lors du démarrage.

- Le rendement : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%.

III.11. Calcul de la section des câbles :

Il est important de calculer correctement la section du câble utilisé lors des installations électriques. En effet un câble trop faible va entraîner un échauffement dû à la résistance du câble (ce qui peut créer un incendie) et une perte de tension, une section trop importante peut entraîner un problème de poids et de coût. La résistance R d'un conducteur (en ohms) est directement proportionnelle à [1]:

- Sa résistivité ($0.01786 \text{ 'mm}^2/m$ à $20^\circ C$ pour le cuivre).
- Sa longueur L (en mètres).
- Inversement proportionnelle à la section S (en mm^2) de ce conducteur.

$$R = \frac{\rho L}{S} \quad (\text{III.13})$$

III.12. Etude et dimensionnement de l'installation d'un système solaire pour résidence à l'institut de formation professionnelle

Projet :

Dans ce projet, nous effectuons le processus de dimensionnement de la résidence en calculant sa consommation Journalière pour l'installation d'un système à énergie solaire.

Objectif du projet :

Notre objectif est d'équiper la résidence d'énergie solaire pour réduire le coût de la facture d'électricité car l'énergie solaire est respectueuse de l'environnement et ne nécessite pas beaucoup d'efforts dans son installation et présente des avantages à long terme. Tableau III-1 et III-2 représentée des équipements disponibles dans la résidence et la quantité d'énergie consommée par jour pour chaque équipement, respectivement.

Tableau III-1. Liste des équipements disponibles dans la résidence

Les appareils	Les étages	1	2	3
Les lampes		24	20	20
Ordinateurs		10	10	10
Les chargeurs mobiles		20	20	20

Tableau III-2. La quantité d'énergie consommée par jour pour chaque équipement

Les équipement	Nombre de charges	Puissance nominal (W)	Temps d'utilisation (h/Jours)	Energie (Wh/jour)
Les lampes	64	$64 \times 20 W = 1280 W$	6 h/Jours	7680 Wh/Jours
Ordinateurs	30	$30 \times 45 W = 1350 W$	4 h/Jours	5400 Wh/Jours
Les chargeurs mobiles	60	$60 \times 15 W = 900 W$	3 h/Jours	2700 Wh/Jours

III.12.1. Caractéristiques du panneau solaire à utiliser :


 CanadianSolar	
موديل اللوح الشمسي	
MODEL TYPE: CS6U-330P Assembled in China with Chinese cells	
Nominal Maximum Power (Pmax):	330 W قدرة اللوح الشمسي
Optimum Operating Voltage (Vmp):	37.2 V جهد التشغيل المثالي
Optimum Operating Current (Imp):	8.88 A تيار التشغيل المثالي
Open Circuit Voltage (Voc):	45.6 V قيمة جهد الدائرة المفتوحة
Short Circuit Current (Isc):	9.45 A دائرة تيار القصر
Maximum System Voltage	IEC 1000V & UL 1000V أقصى جهد للنظام
Maximum Series Fuse Rating	: 15 A أقصى تيار فيوز
All electrical data at Standard Test Conditions (STC): Irradiance of 1000W/m ² , spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.	
Maximum Temperature:	85 °C أقصى درجة حرارة
Module Fire Performance:	TYPE 1 (UL1703) / CLASS C (IEC61730)
Application Class:	CLASS A درجة الحماية
System Fire Class Rating. See Installation Instructions for Installation Requirements to Achieve a Specified System Fire Class Rating with this Product.	

Figure III.3. Caractéristiques techniques du panneau solaire à utiliser.

III.12.2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque :

$$N_T = \frac{E_{total}}{E_{paneaux}} \quad (III.14)$$

E_{total} : Energie totale consommée par jour (Wh/J).

N_T : Nombre totale de panneau.

$$\begin{aligned} E_{total} &= E_{total} + (E_{total} \times 0.15) \\ &= 15780 + (0.15 \times 15780) \\ &= 18147 \text{Wh/J} \end{aligned}$$

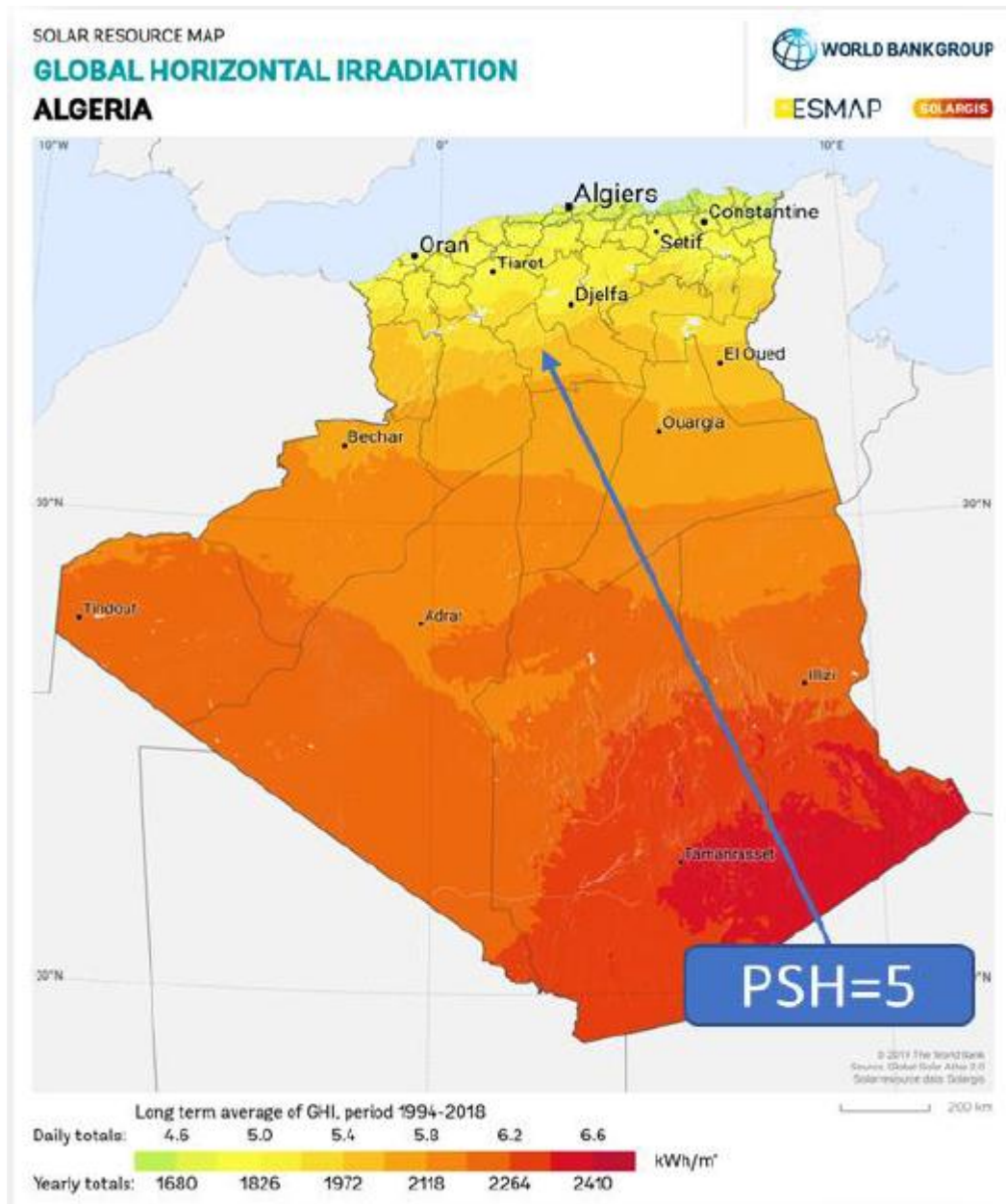


Figure III.4. Une figure montrant le rayonnement solaire moyen en Algérie.

$$E_{\text{panneaux}} = P_c \times \text{Ensoleillement}$$

$$= 330 \times 5$$

$$= 1650Wh$$

P_c : puissance crête de panneau.

$$N_T = \frac{18147}{1650}$$

$$= 10.998 \longrightarrow \text{Donc nous avons besoin de 12 panneaux de 330W.}$$

Le nombre de modules en série : [12]

$$N_{MS} = \frac{V_{bat}}{V_{max}}$$

N_{MS} : Nombre du module en série

$$= \frac{48}{37.2} = 1.29 = 2 \text{ modules}$$

Le nombre de module en parallèle : [12]

$$N_{MP} = \frac{N_T}{N_{MS}}$$

$$= \frac{12}{2} = 6$$

Donc notre champ photovoltaïque est composé de 6 branches de panneaux solaires on parallèles dans chaque branche contient 2 panneaux solaires en série.

III.12.3. Choisir la tension de fonctionnement du champ photovoltaïque :

La tension de fonctionnement est choisie en fonction de la puissance crête du champ photovoltaïque. [12]

- Pour moins de 500 Wc : elle est de 12V.
- De 501 à 2000 Wc : elle est de 24V.
- De 2001 à 10000 Wc : elle est de 48 V.

La puissance crête nécessaire à l'installation est 3530Wc est Supérieure à 2001 Wc alors la tension de fonctionnement du champ photovoltaïque sera de 48 V.

III.12.4. Dimensionnement du système de stockage :

Pour dimensionner le système de stockage [10], il faut :

➤ Calculer la capacité (C_{Ch}) de la batterie, en appliquant la formule suivante :

$$C_{Ch} = \frac{E_{total} \times N}{D \times U}$$

C_{Ch} : Capacité du champ de batterie en Ampère heure (Ah).

E_{total} : Energie totale consommée par jour (Wh/J)

N : Nombre de jour d'autonomie

D : Décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

U : Tension de la batterie (V) [10]

$$C_{Ch} = \frac{18147 \times 1}{0.8 \times 48} = 472.578125 \approx 500Ah$$

Nous choisissons des batteries de 12V/250 Ah.

III.12.5. Caractéristiques de la batterie solaire à utiliser :

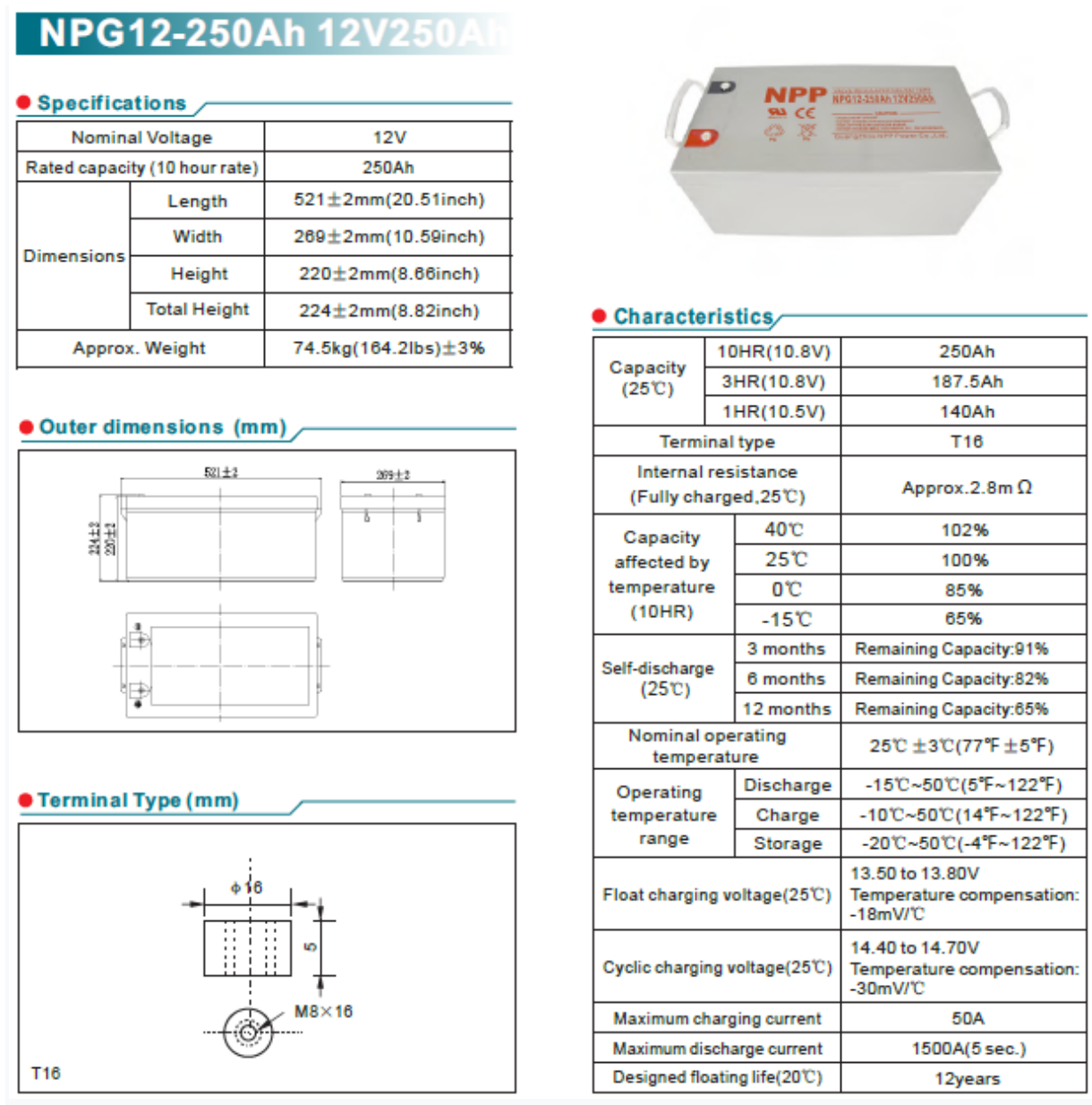


Figure III.5. Caractéristiques technique de la batterie solaire à utiliser

➤ Calcul du nombre de batteries en série :

$$\begin{aligned}
 N_{BS} &= \frac{V_{insta}}{V_{bat}} \\
 &= \frac{48}{12} \\
 &= 4 \text{ batteries}
 \end{aligned}$$

➤ Calcul du nombre de batteries en parallèle :

$$\begin{aligned}
 N_{BP} &= \frac{C_{Ch}}{C} \\
 C &= \frac{500}{250} = 2
 \end{aligned}$$

Notre système de stockage sera composé de deux branches, à chaque branche 4 batteries en série.

III.12.6. Dimensionnement du régulateur :

La tension nominale doit être celle du champ photovoltaïque, donc 48V [12].

Le courant d'entrée est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de fournir. Mais par mesure de sécurité il est préférable de prendre 1,5 fois le courant maximal, donc : $I_{Reg} = 8.88 \times 12 \times 1.5 = 159.84A$

Le courant de sortie du régulateur doit être supérieur à la valeur maximale que peuvent consommer les appareils alimenter simultanément.

$$I_S = 1.5 \frac{P_t}{V_{insta}} = 1.5 \times \frac{3530}{48} = 110.3125A$$

V_{insta} : Tension d'installation (V).

I_S : le courant de sortie du régulateur (A).

P_t : puissance totale de la charge lorsque tous les appareils fonctionnent au maximum de leur puissance de fonctionnement (W).

Donc nous avons besoin d'un (1) régulateur de 60A/48V.

III.12.7. Dimensionnement de l'onduleur :

Pour le dimensionnement de l'onduleur on doit choisir la tension d'entrée qui est égale à celle de la batterie ou du régulateur, dans notre cas c'est 48V. Pour la tension de sortie on doit respecter les normes utilisé en Algérie c'est-a-dire 220V, 50 Hz [12].

Nous ajoutons un pourcentage de sécurité de -25% à 30%.

$$\begin{aligned} P_{ond} &= P_t \times 1.3 \\ &= 3530 \times 1.3 \\ &= 4589 \cong 5KW \end{aligned}$$

Nous prenons un onduleur de 5KW/48V.

III.12.8. Dimensionnement économique de l'installation photovoltaïque :

Pour notre installation on a opté pour des équipements de la marque CONDOR disponible dans le marché algérien au prix suivant :

Les équipement	Le nombre des équipement	Le prix (DA)	Totale (DA)
Panneau	12	30 000.00	360 000.00
Batterie	8	20.000.00	160 000.00
Régulateur	2	68 500.00	137000.00
L'onduleur	1	115000.00	115000.00
Câbles	15 m	200.00	3000.00
Total		775000.00	

III.13. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordé le dimensionnement de notre projet qui porte sur l'alimentation en énergie photovoltaïque d'un bloc au sein d'une résidence d'un centre de formation (Krim Belkacem) à Laghouat.

Ce projet nous à permit d'alimenter une partie de la résidence et ainsi de réduire la facture globale en électricité, le chapitre suivant sera dédié à la simulation sous Matlab Simulink de ce projet.

III.14. Référence :

- [1] N. Fellah and O. Sidibe, "Intitulé du sujet Etude de dimensionnement de l'installation photovoltaïque du DECANAT de la faculté ST," MEMOIRE, DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE, Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
- [2] B. Azzedine and M. Meziane, "Dimensionnement et conception d'une installation photovoltaïque pour la FGEI et optimisation de la consommation," Université Mouloud Mammeri, 2017.
- [3] M. Amjahdi and J. Lemale, *Adopter le solaire: thermique et photovoltaïque*: Dunod, 2011.
- [4] L. Zrourou, S. Tamadrari, R. Alkama, and M. Arkoub, "Dimensionnement d'une installation solaire pour maison isolée à Béjaia."
- [5] A. A. Hissein, "Etude et dimensionnement de l'installation photovoltaïque du laboratoire de faculté ST," MEMOIRE, GENIE ELECTRIQUE, Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, University Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, July 11, 2020.
- [6] https://www.researchgate.net/figure/Irradiation-solaire-globale-recue-sur-un-plan-incline-a-la-latitude-du-lieu-24_fig24_285322379.
- [7] S. Brigand, *Installations solaires photovoltaïques: dimensionnement, installation et mise en oeuvre, maintenance*: Le Moniteur, 2011.
- [8] M. T. Vaïtchemé, "Modélisation et simulation d'un système de stockage intégré dans un micro-réseau autonome solaire-éolien," 2019.
- [9] S. Semaoui, "Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque," Ouargla, Université Kasdi Merbah. Faculté des Sciences et Sciences de L ..., 2004.
- [10] D. SORO, M. YAPI, B. FOFANA, and N. YAO, "Dimensionnement d'une installation solaire pour la réalisation de travaux pratiques dans les lycées et collèges en zone isolée," *Afrique SCIENCE*, vol. 14, pp. 335-345, 2018.
- [11] B. ABDELFETTAH and A. AMJED, "Etude technicoéconomique d'une installation photovoltaïque pour application dans la région de Ouargla," Mémoire, Génie Electrique, KASDI MERBAH OUARGLA, KASDI MERBAH OUARGLA, 2019/2020.
- [12] R. Belabed, "Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque," Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2017.
- [13] C. Djaffer and M. Anis, "Dimensionnement d'un kit photovoltaïque autonome," Université Mouloud Mammeri, 2015.

Chapitre IV:

Simulation, résultats et discussions

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons simuler le système solaire pour la résidence Karim Balkacem.

Nous allons simuler :

- une cellule solaire et démontrer ses caractéristiques
- 12 panneaux solaires de 330W
- un convertisseur Boost.
- Le system MPPT
- Un pack de 8 Batteries
- Onduleur 5Kw/48V
- le système avec et sans MPPT

IV.2. Simulation d'une cellule solaire

IV.2.1. Modèle a une seule diode :

a) Schéma à une seule diode :

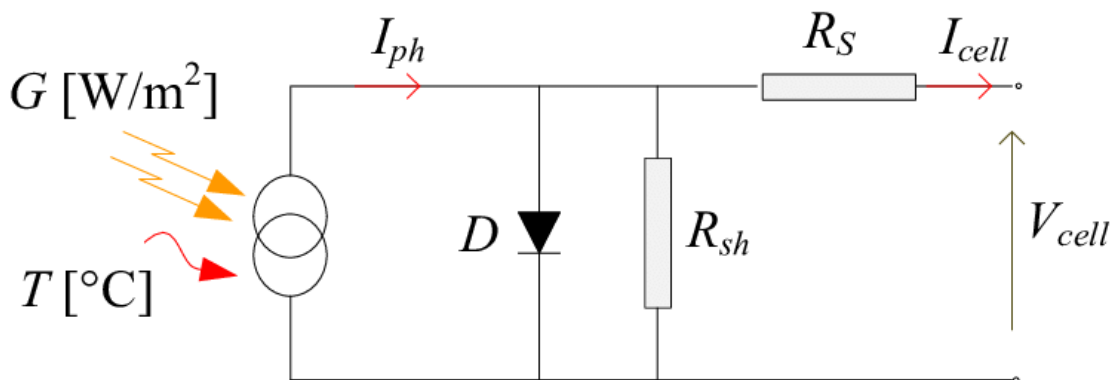


Photo-courante :
$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i * (T - 298)] * \frac{G}{1000}$$

Courant de saturation :
$$I_0 = I_{rs} * \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 * \exp\left[\frac{q * E_{g0} * (1/T_n - 1/T)}{n * K}\right]$$

Courant de saturation Inverse :
$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{q * V_{oc}}{n * N_s * K * T}\right) - 1}}$$

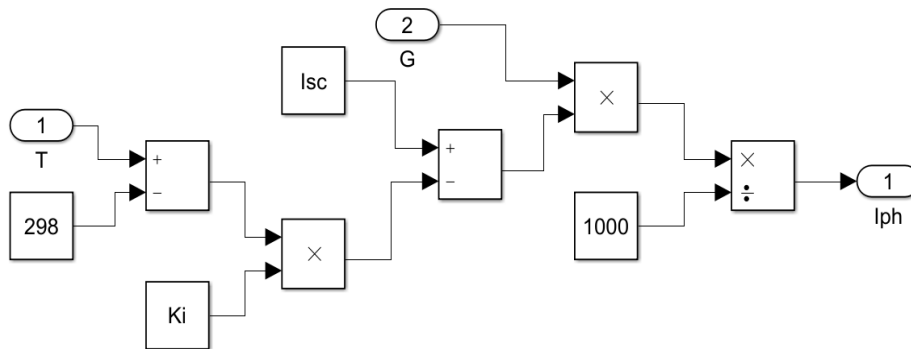
Courant à travers la résistance shunt :
$$I_{sh} = \left(\frac{V + I * R_s}{R_{sh}}\right)$$

Courant de sortie :
$$I = I_{ph} - I_0 * \left[\exp\left(\frac{q * (V + I * R_s)}{n * K * N_s * T}\right) - 1 \right] - I_{sh}$$

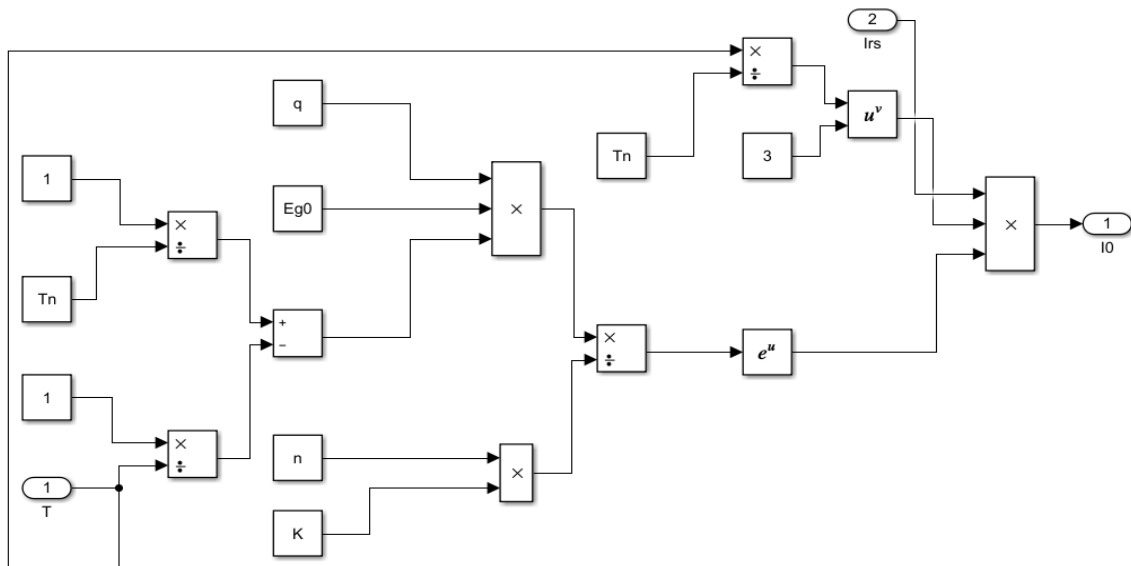
b) Simulation du GPV sous Matlab/Simulink :

Les figures suivantes donnent la traduction des équations précédentes en Matlab/Simulink :

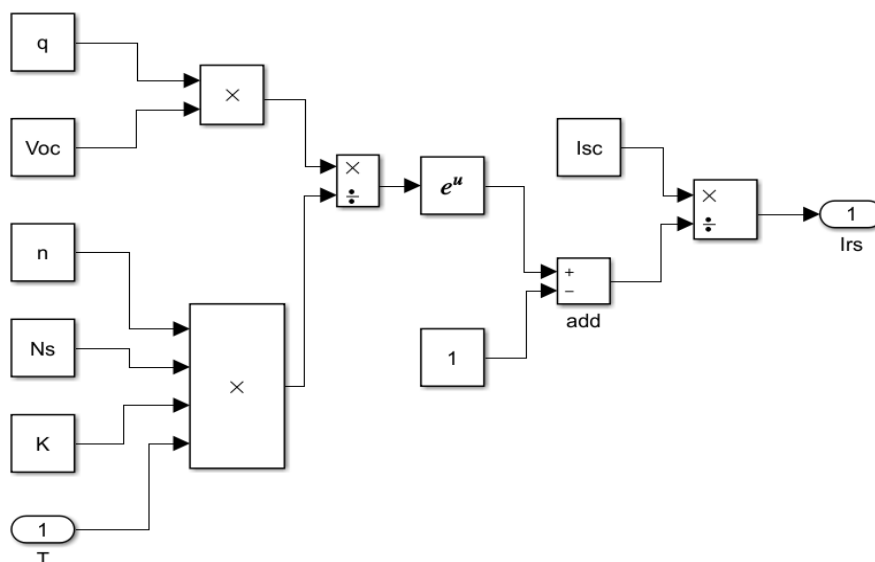
Photo-courante :



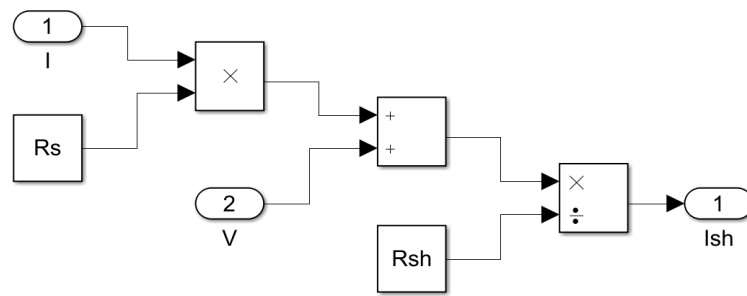
Courant de saturation :



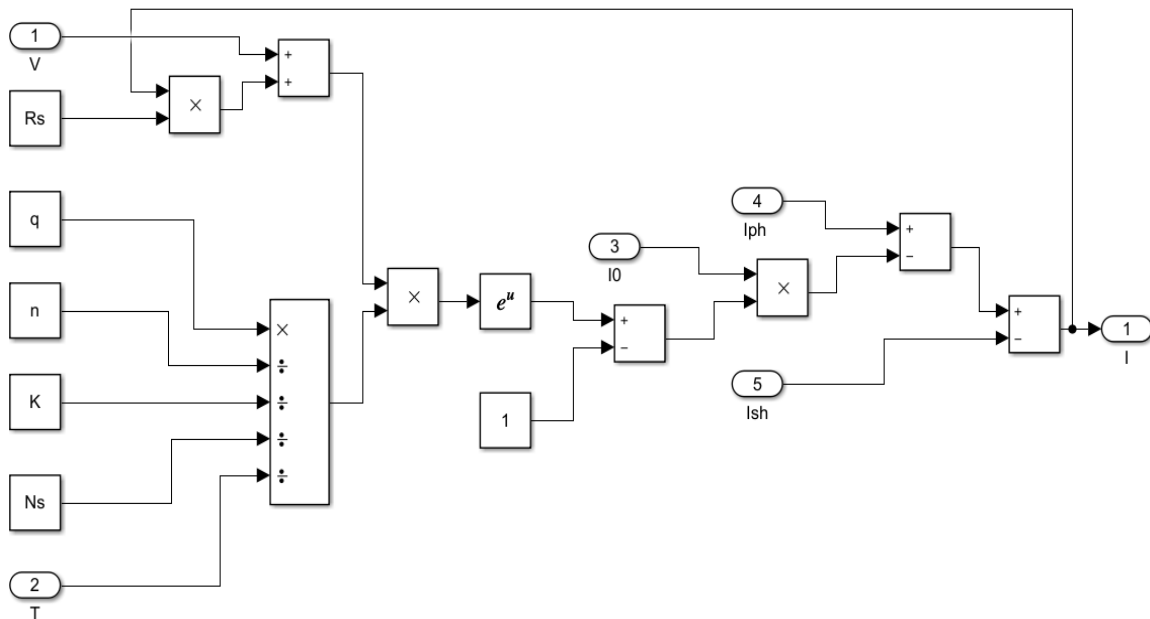
Courant de saturation Inverse :



Courant à travers la résistance shunt :



Courant de sortie :



Les diagrammes précédents sont regroupés dans un seul bloc qui représente notre GPV illustré par la figure suivante :

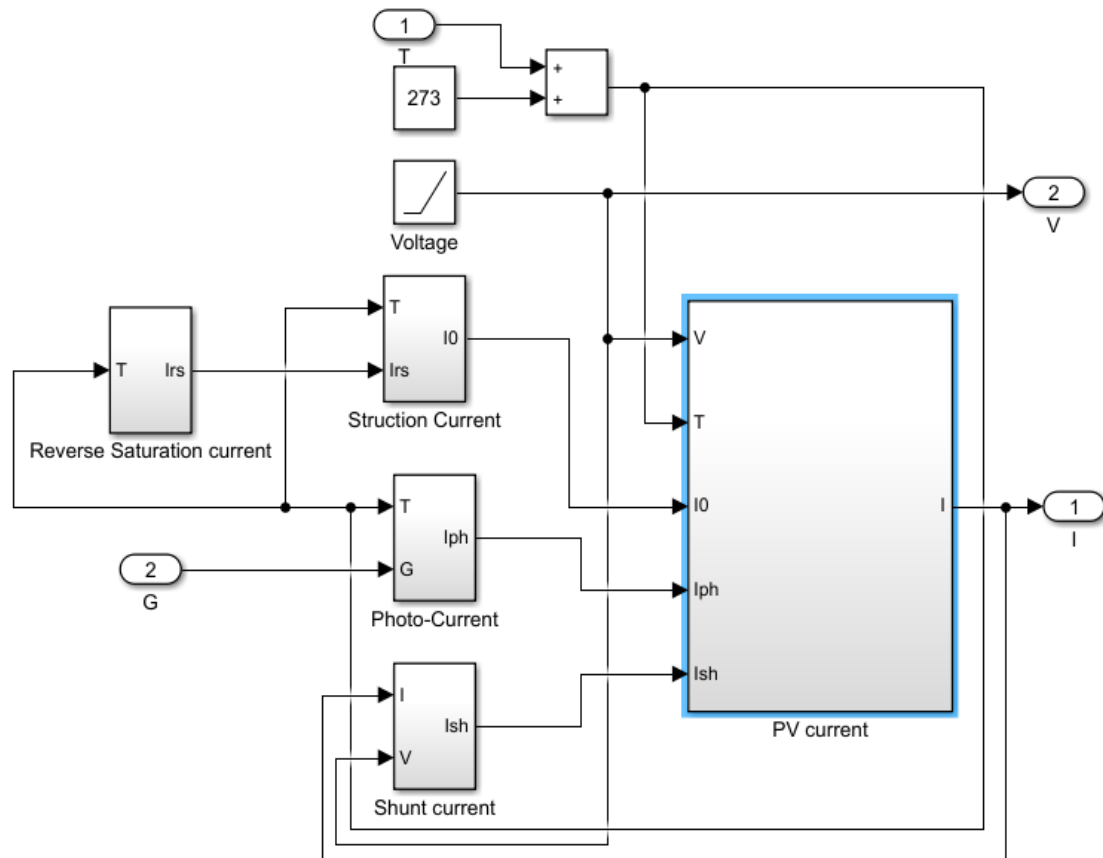


Figure IV.1. Modèle représente le GPV.

Où :

I : Courant de sortie (A).

I_d : Courant de diode (A).

I_s : Courant de saturation inverse de la diode (A).

I_{ph} : Photo-courant (A).

V : Tension de sortie (V).

k : Constante de Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K).

n : Facteur de qualité de la diode.

q : Charge de l'électron ($1,6 \times 10^{-19}$ C).

T : Température de la cellule en (K).

En circuit ouvert : $V = V_{oc}$ et $I = 0$

$$\text{Soit : } V_{oc} = \frac{nKT}{q} \log \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right)$$

V_{oc} : Tension de circuit ouvert (V).

c) Schéma de simulation (I-V ; P-V) :

Les graphes ci-dessous (Figure IV.2 et Figure IV.3), présentent les caractéristiques I-V et P-V de la cellule utilisée. Le courant en A , la tension en V, et la puissance en W.

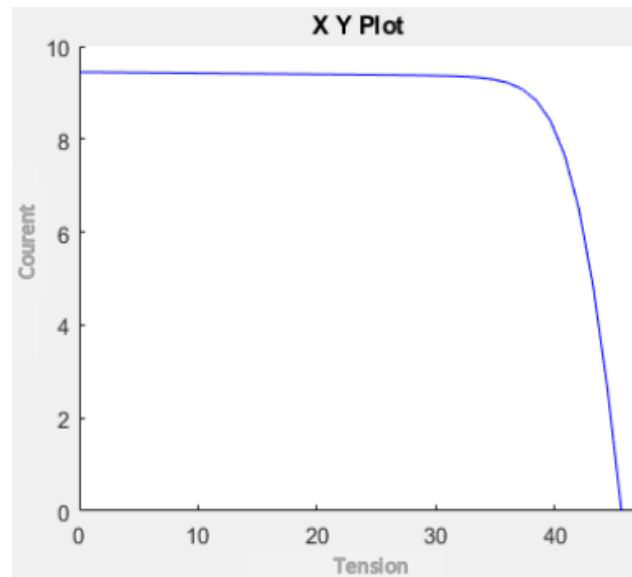


Figure IV.2 Caractéristique I-V de la cellule PV.

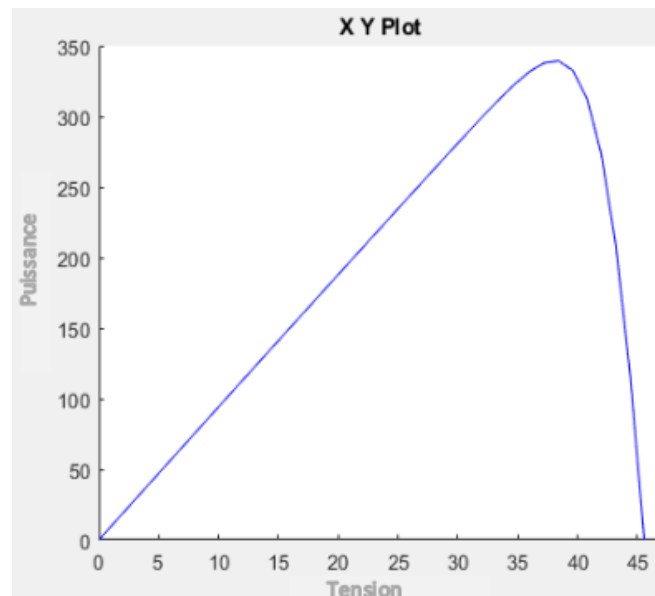


Figure IV.3 Caractéristique P-V de la cellule PV.

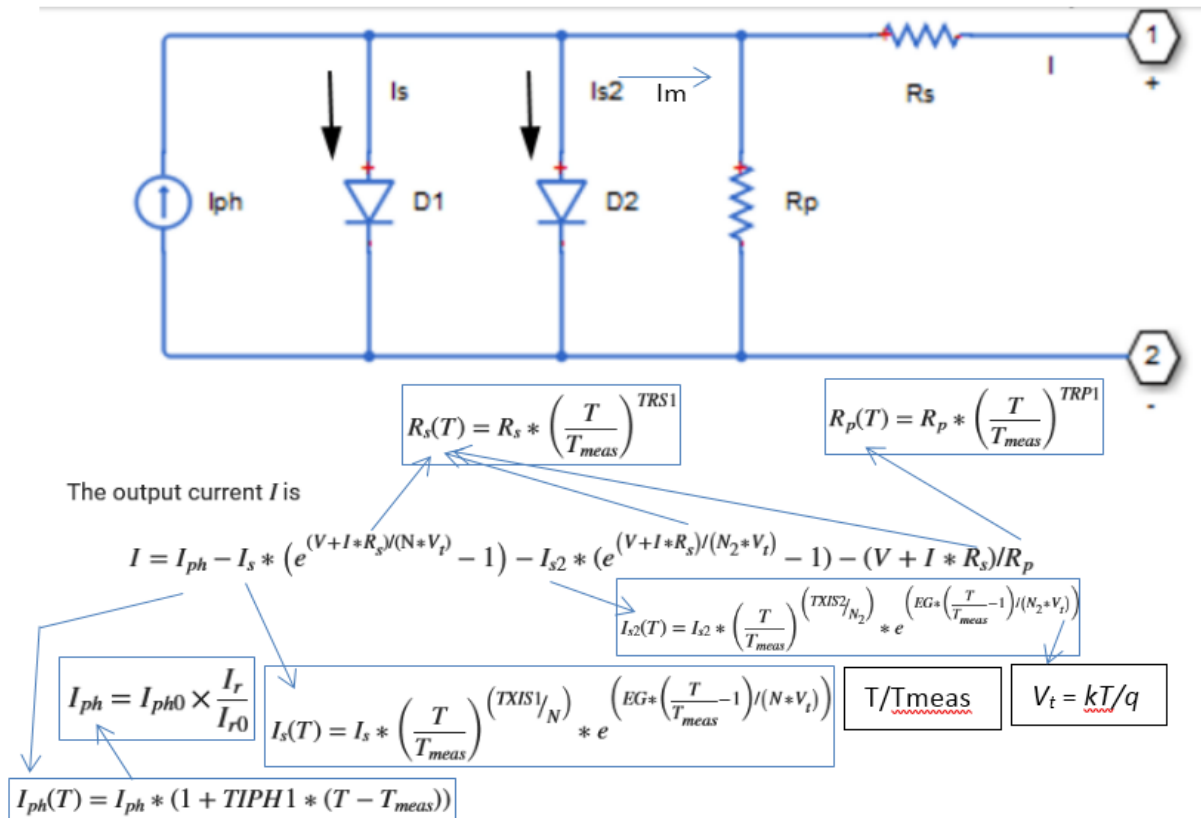
A travers ces deux figures, on constate que les valeurs de puissance et de courant sont compatibles avec leurs valeurs dans le tableau des caractéristiques du panneau solaire.

On remarque que les allures des figure VI.2 et la figure VI.3 illustrent les paramètres de la cellule solaire.

IV.2.2. Modèle a deux diodes :

a) Schéma à deux diodes :

Ce modèle a en plus une deuxième diode attachée en parallèle à la source de courant. Cette diode est utilisée pour améliorer la précision des caractéristiques de la cellule PV. Ce modèle est représenté par la figure suivante :



Ou :

I_r : Irradiation (W/m^2)

T : Température ($^{\circ}K$)

I : Le courant fourni par la cellule PV (A)

V : La tension fournie par la cellule PV (V)

I_{ph0} : Courant de photo génération (A)

I_{r0} : Irradiation 1000 (W/m^2)

K : constant de Boltzmann ($1,38e-23 J/K$)

Q : la charge élémentaire $q = 1.602 \times 10^{-19} C$

EG : Energie de gap

Tmeas : température mesuré 25 (degC)

Is : Courant de saturation (A)

Is2 : Courant de saturation 2 (A)

Isc : Courent de cour sirciut (A)

Voc : Voltage de circuit ouvert (V)

Ns : Nombre des cellules en série

Np : Nombre des cellules en parallèle

N : Facteur de qualité de première diode

N2 : Facteur de qualité de deuxième diode

Rs : Résistance série (ohm)

Rp : Résistance parallèle (ohm)

b) Schéma de simulation (I-V P-V) :

Le graph ci-dessous (figures IV.4 et IV.5) présentés les caractéristiques I-V et P-V de la cellule utilisée, respectivement. Le courent en A, la tension en V, et la puissance en W.

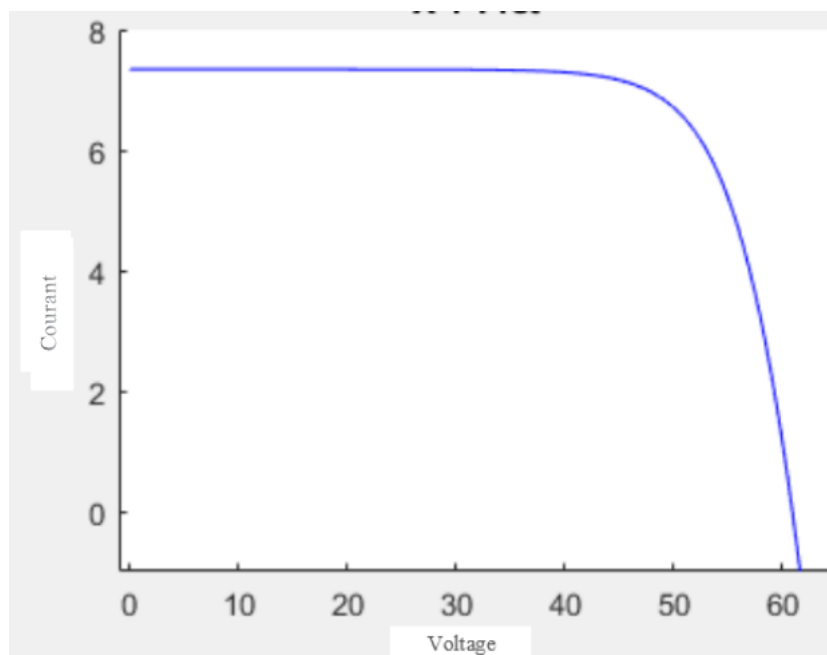


Figure IV.4. Caractéristique I-V de la cellule PV.

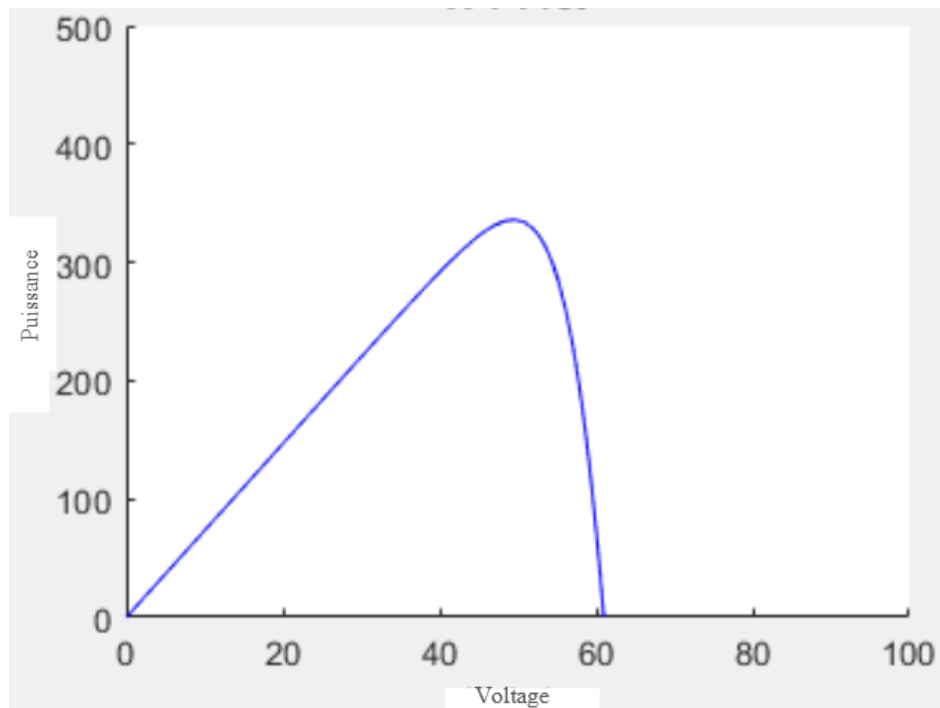


Figure IV.5. Caractéristique P-V de la cellule PV.

A travers ces deux figures, on constate que les valeurs de puissance et de courant sont compatibles avec leurs valeurs dans le tableau des caractéristiques du panneau solaire.

IV.3. Simulation de notre projet :

IV.3.1. Simulation des panneaux solaire :

La figure ci-dessous représente le GPV du système, qui contient 12 panneaux solaires de type CanadianSolar (CS6U-330P), six (6) en parallèle et deux (2) en séries.

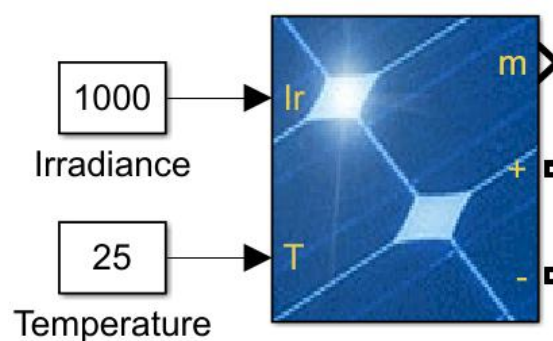


Figure IV.6. Simulation du GPV de notre système

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. Figures IV.7 représente respectivement les caractéristiques I-V et P-V d'un module

PV avec variation de l'éclairement, à une température constante $T=25^{\circ}\text{C}$.

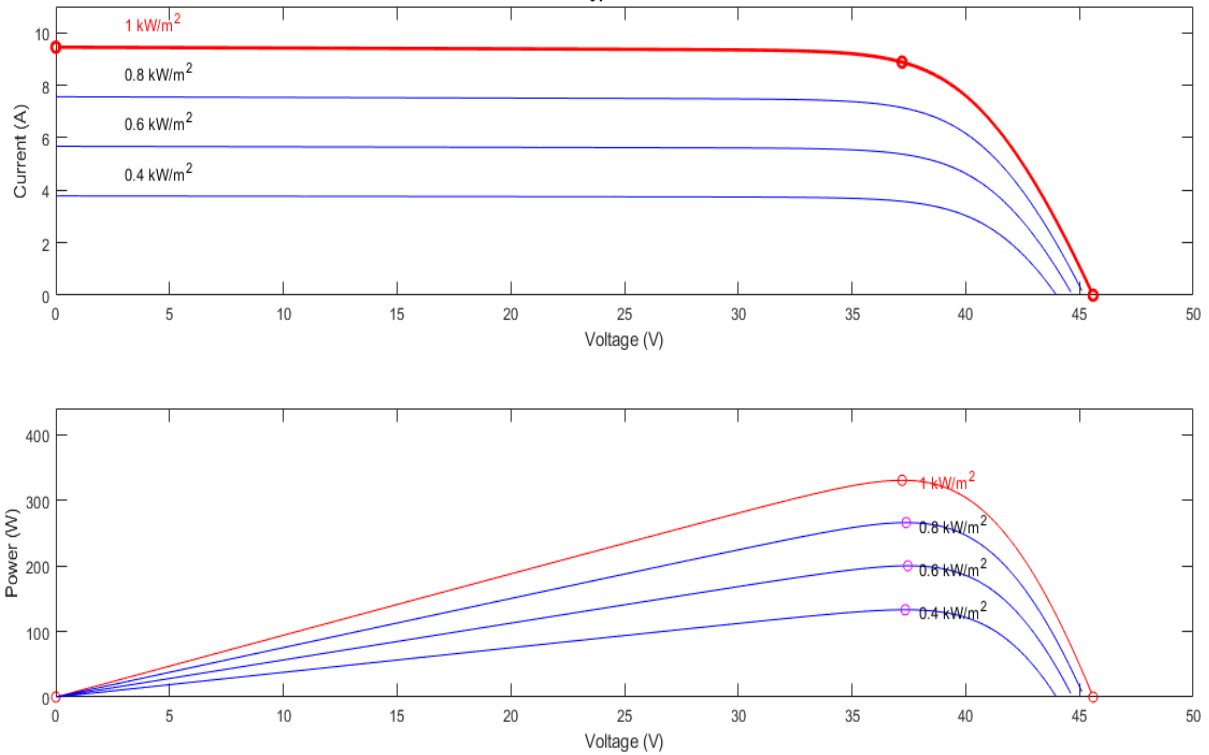


Figure IV.7. Caractéristique I-V et P-V d'une module PV pour différents éclairements.

Figures IV.8 représente respectivement les caractéristique I-V et P-V de notre system des modules PV (12 Modules) avec variation de l'éclairement, à une température constante $T=25^{\circ}\text{C}$.

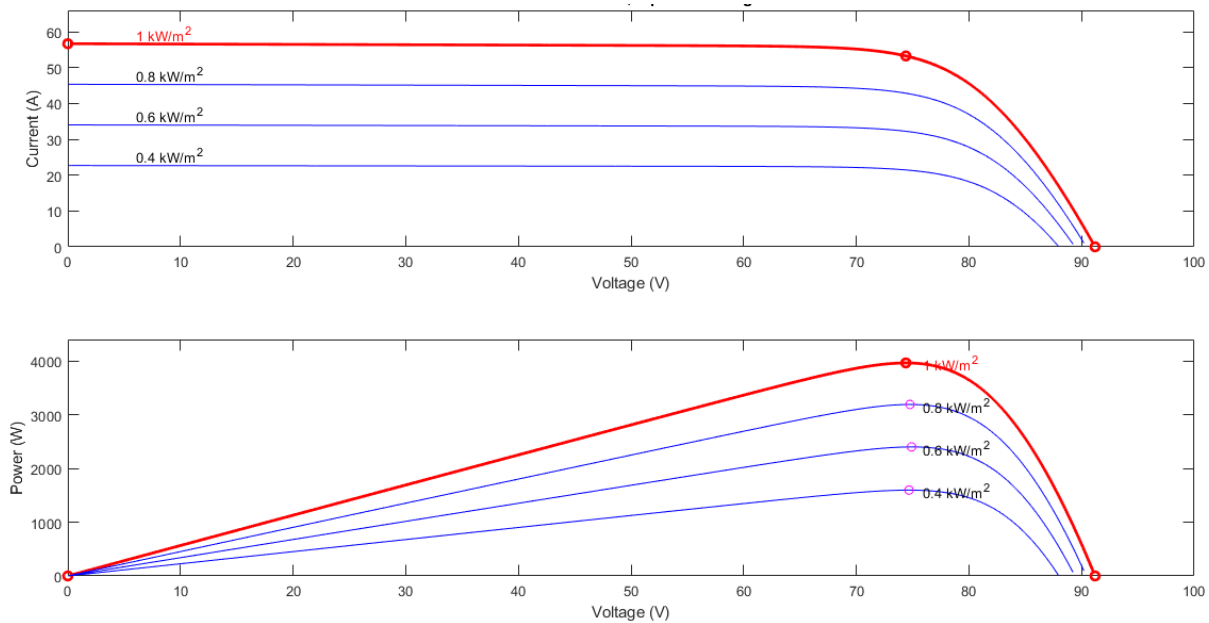


Figure IV.8. Caractéristique I-V et P-V de notre system PV pour différents éclairements.

Discussions :

Ces quatre courbes figures IV.7 et Figure IV.8. Mettent en évidence l'effet positif de la lumière sur les panneaux solaires (plus le rayonnement est élevé, plus la puissance est importante) mentionné dans le premier chapitre. Ils montrent également que les valeurs de puissance et de courant sont cohérentes avec leurs valeurs dans le tableau des caractéristiques des panneaux solaires.

La température est un paramètre important puisque les modules sont exposés au rayonnement solaire. Les courbes dans la figure IV.9 représentent l'évolution du courant et de la tension en fonction de la température du module PV (5, 25, 45, 65 °C) durant le même éclairement ($I_{rr} = 1000 \text{ W/m}^2$).

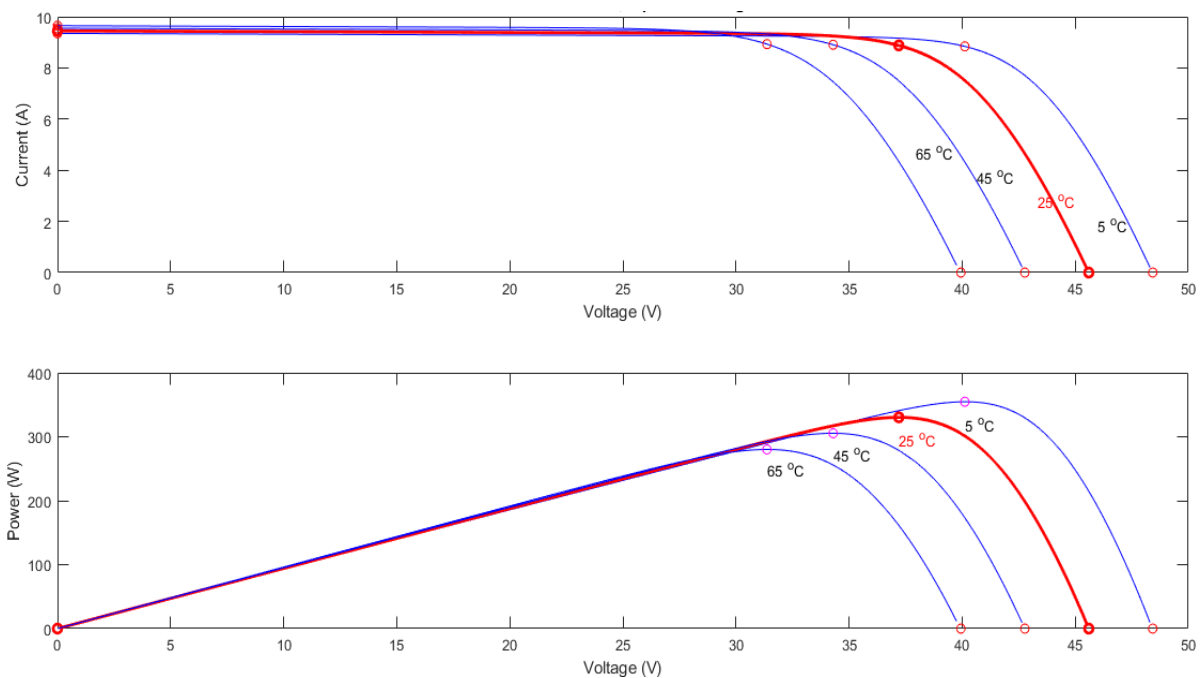


Figure IV.9. Caractéristique I-V et P-V d'un module PV pour différentes températures.

Les courbes dans la figure IV.10 représentent l'évolution du courant et de la tension en fonction de la température (5, 25, 45, 65 °C) pour notre système des modules PV (12 modules) durant le même éclairement ($I_{rr} = 1000 \text{ W/m}^2$).

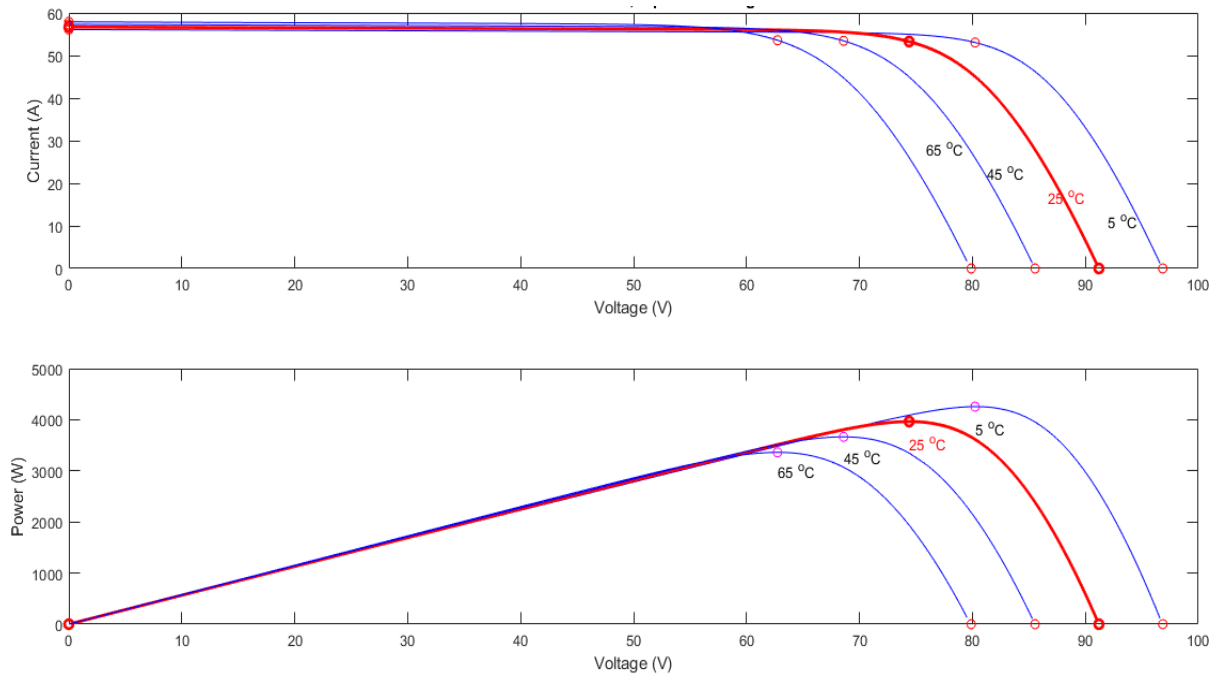


Figure IV.10. Caractéristique I-V et P-V du notre system PV pour déifrent température.

Discussions :

Ces quatre courbes de Figure IV.9 et Figure IV.10 illustrent l'effet négatif de la chaleur élevée sur les panneaux solaires (plus la chaleur est élevée, plus le rendement du panneau solaire est faible), que nous avons décrit dans le premier chapitre. Nous notons également que les valeurs de courant et de la puissance indiquées dans les deux figures sont les mêmes que le résultat du calcul obtenu dans le troisième chapitre.

IV.3.2. Modélisation du convertisseur DC-DC Boost :

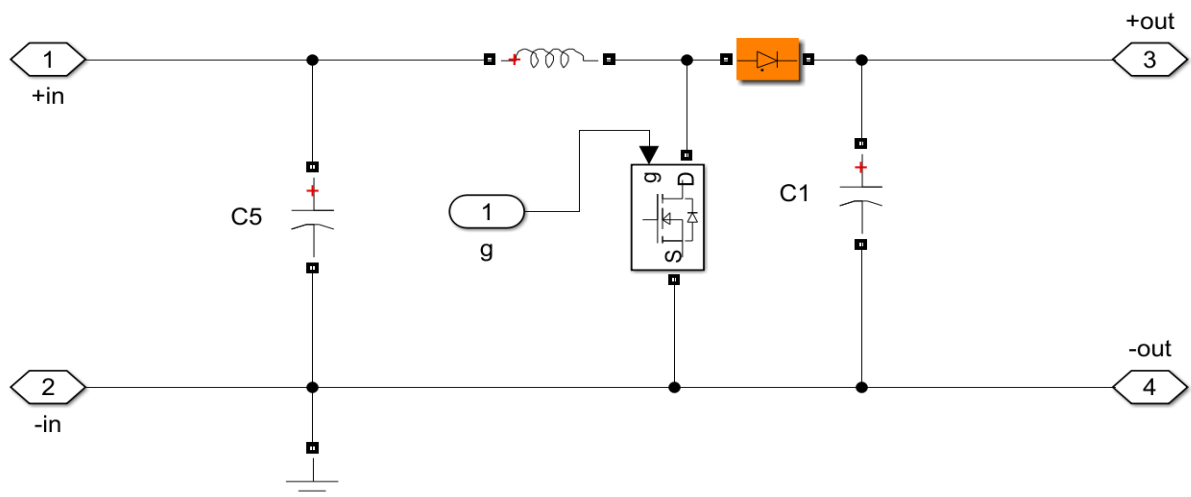
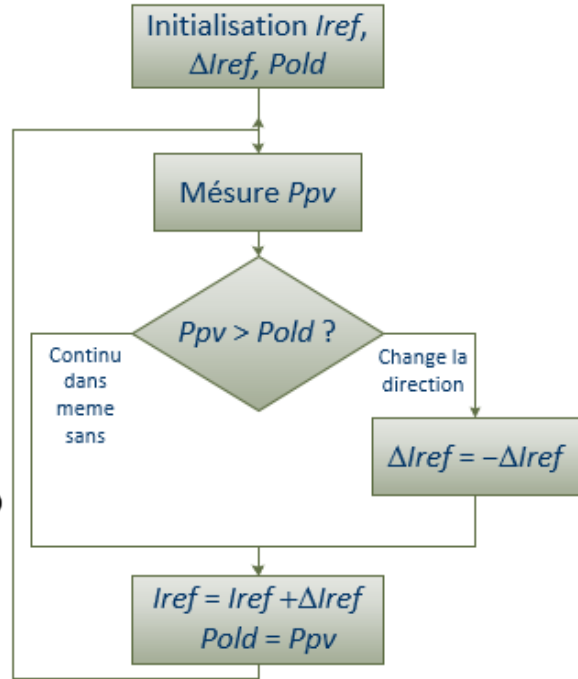
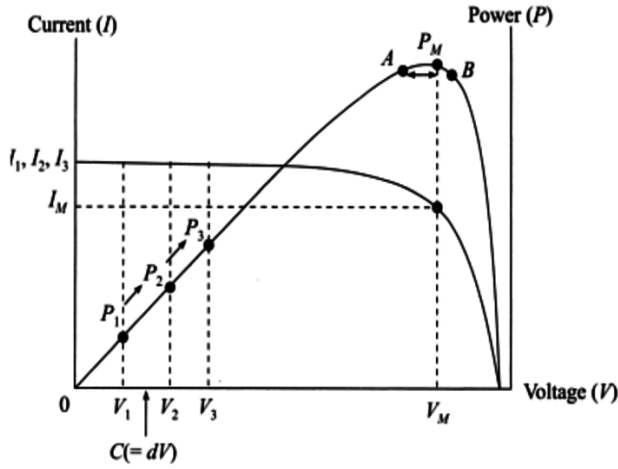


Figure IV.11. Simulation de convertisseur DC-DC (Boost).

IV.3.3. Algorithme de suivi MPPT :



Étape toujours Iref dans le sens d'augmentation de la Ppv

Le rôle du MPPT : MPPT signifie « Maximum Power Point Tracking » ; le régulateur MPPT compare la tension électrique produite par le panneau photovoltaïque plusieurs fois par heure. Son but est de trouver le point de sortie maximum puissance fourni par le panneau. Puis de faire en sorte de toujours utiliser cette pleine puissance.

IV.3.4. Simulation des batteries solaire :

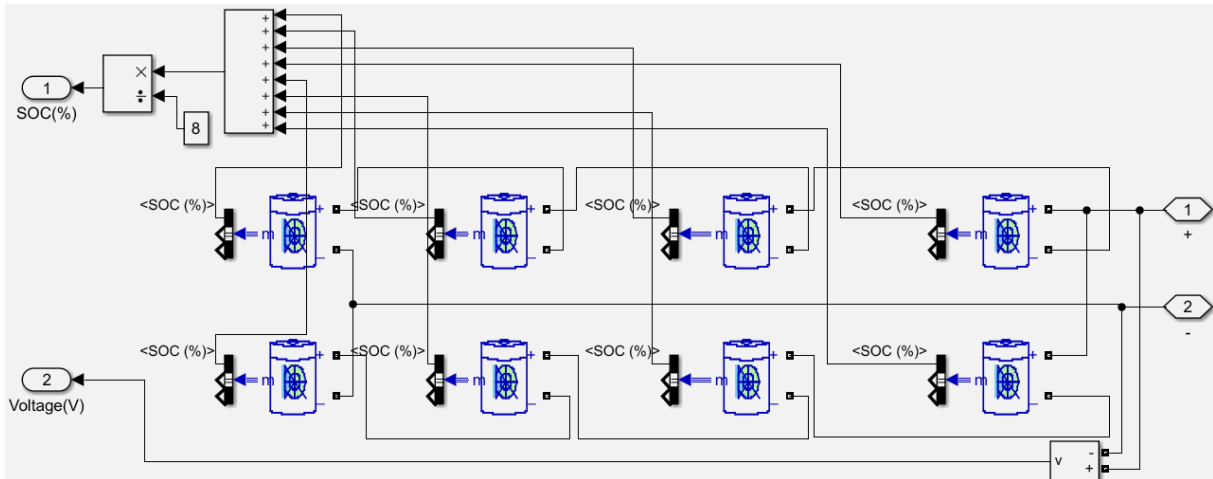


Figure IV.12. Simulation de pack des batteries de notre système.

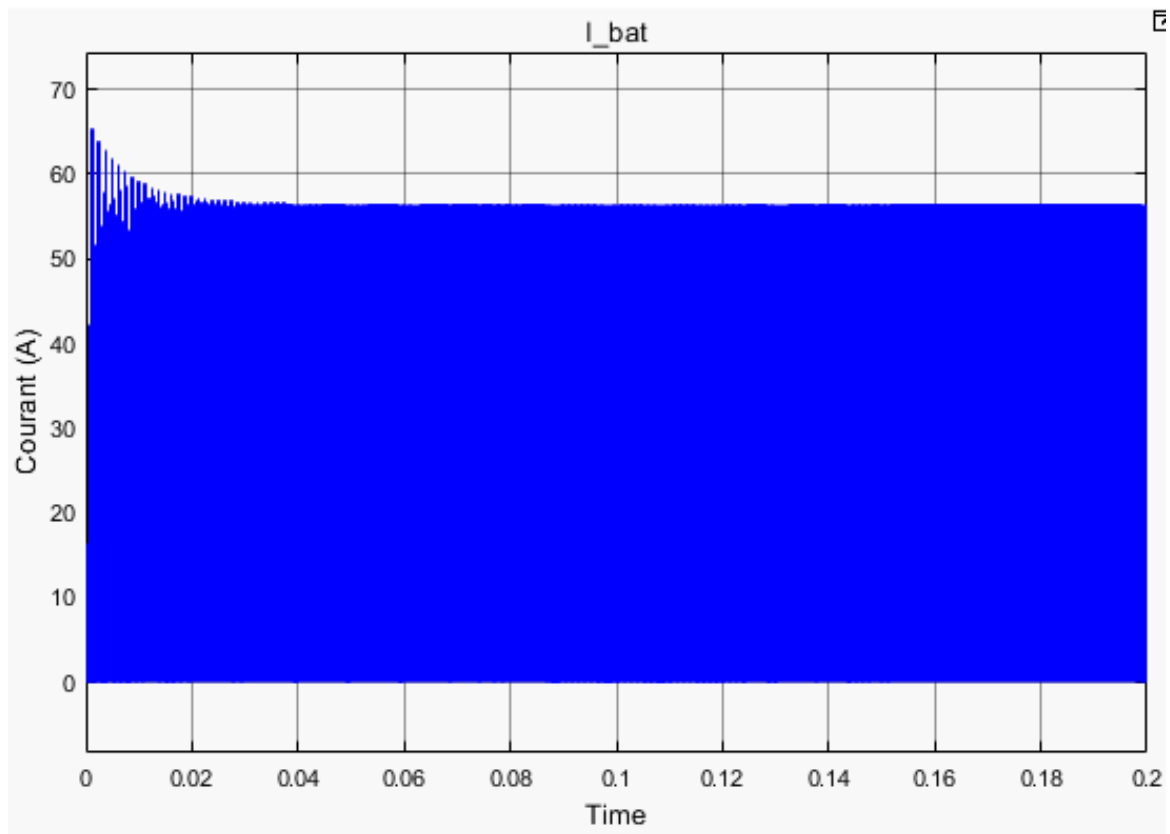


Figure IV.13. Courant de la batterie.

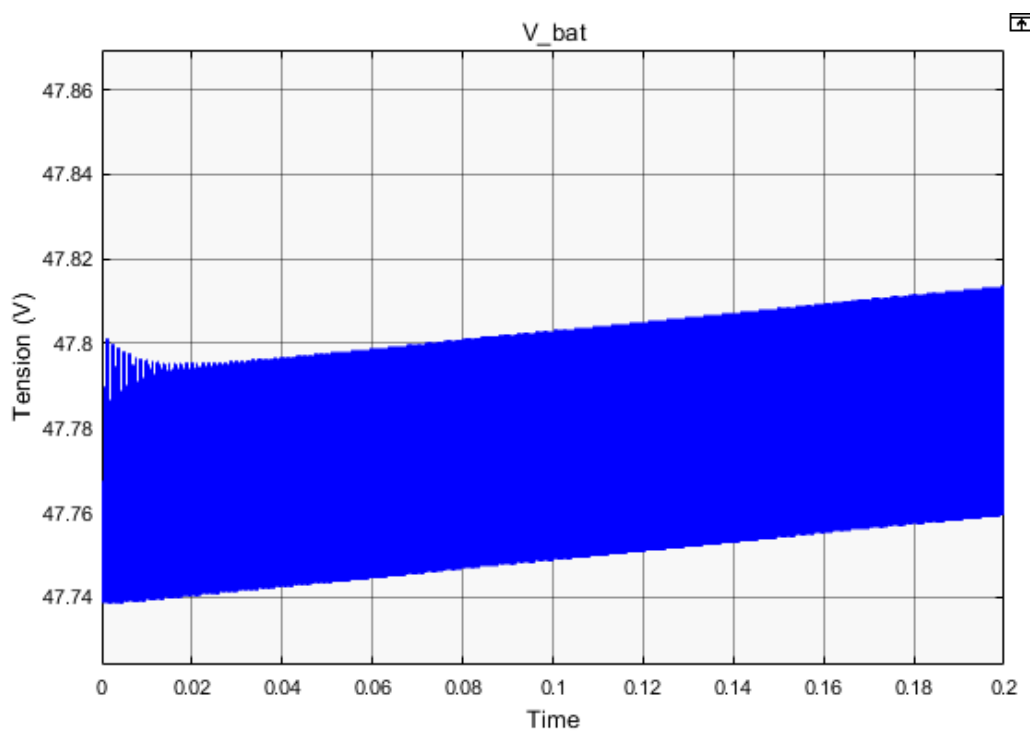


Figure IV.14. Tension de la batterie.

La valeur de tension indiquée dans la figure ci-dessus (figure IV.15) correspond à la valeur de tension de la somme des batteries calculée dans le dimensionnement.

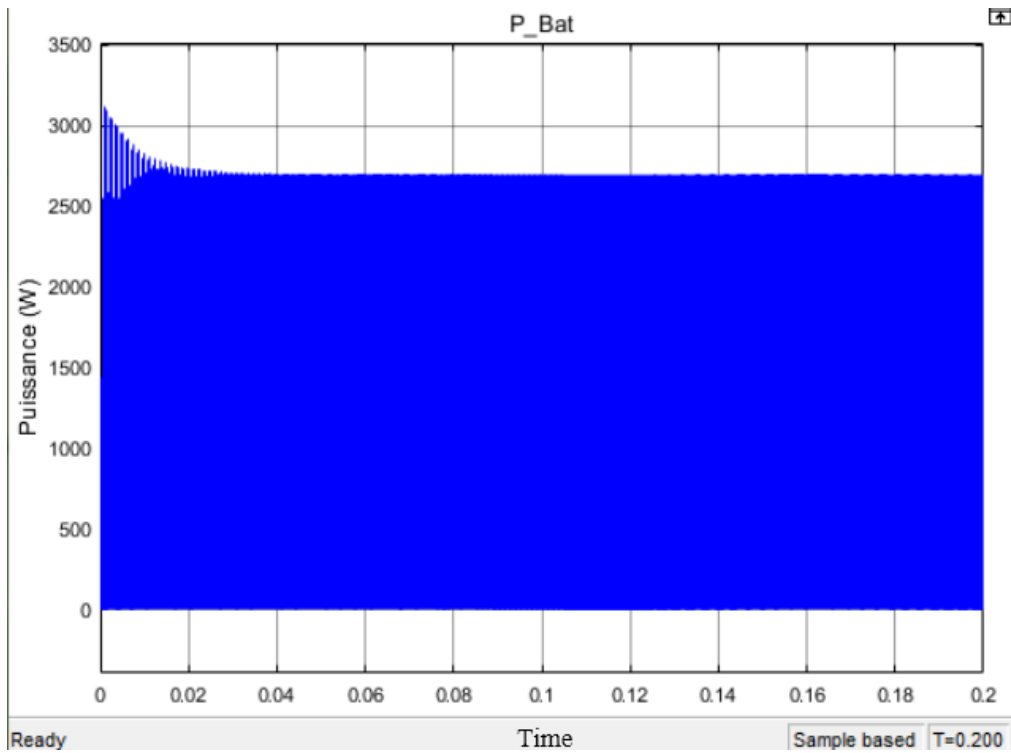


Figure IV.15. La puissance de la batterie.

Cette figure (figure IV.16) représente la valeur de capacité de parc des batteries, qui est une valeur qui correspond au résultat des calculs dans le troisième chapitre.

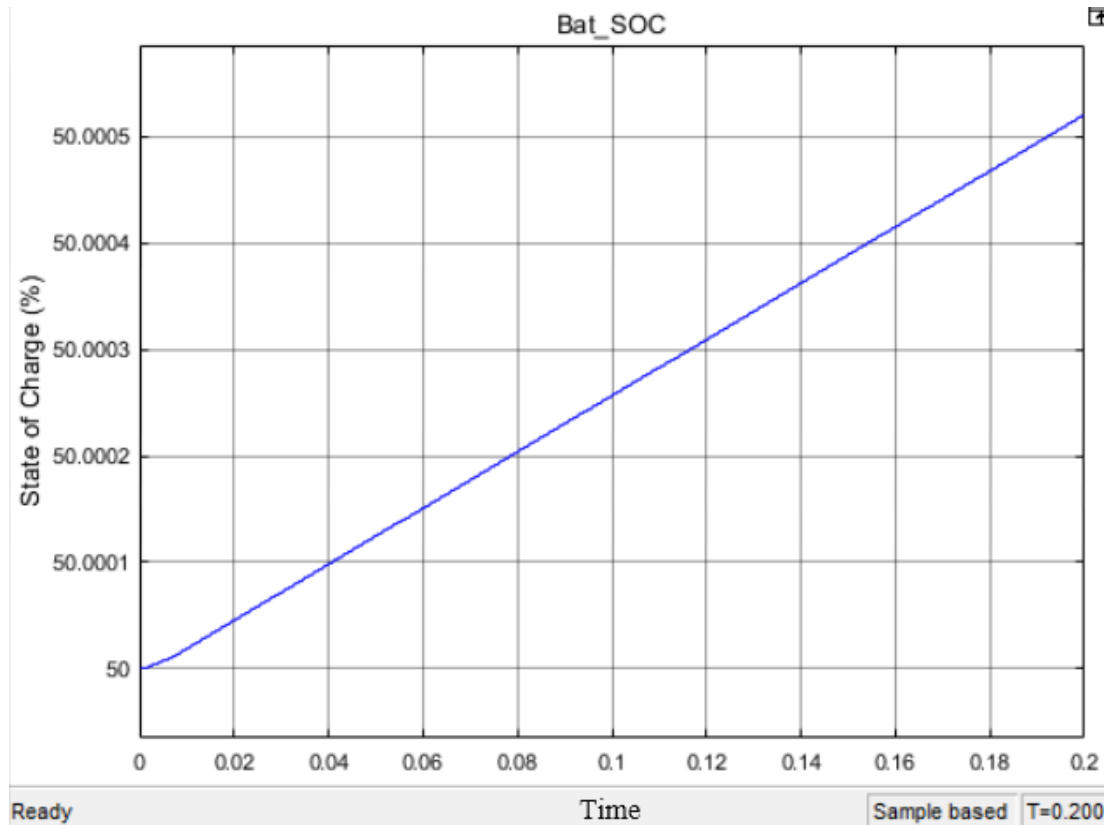


Figure IV.16. Etat de charge (SOC) de la batterie.

IV.3.5. Simulation de l'installation PV avec batteries :

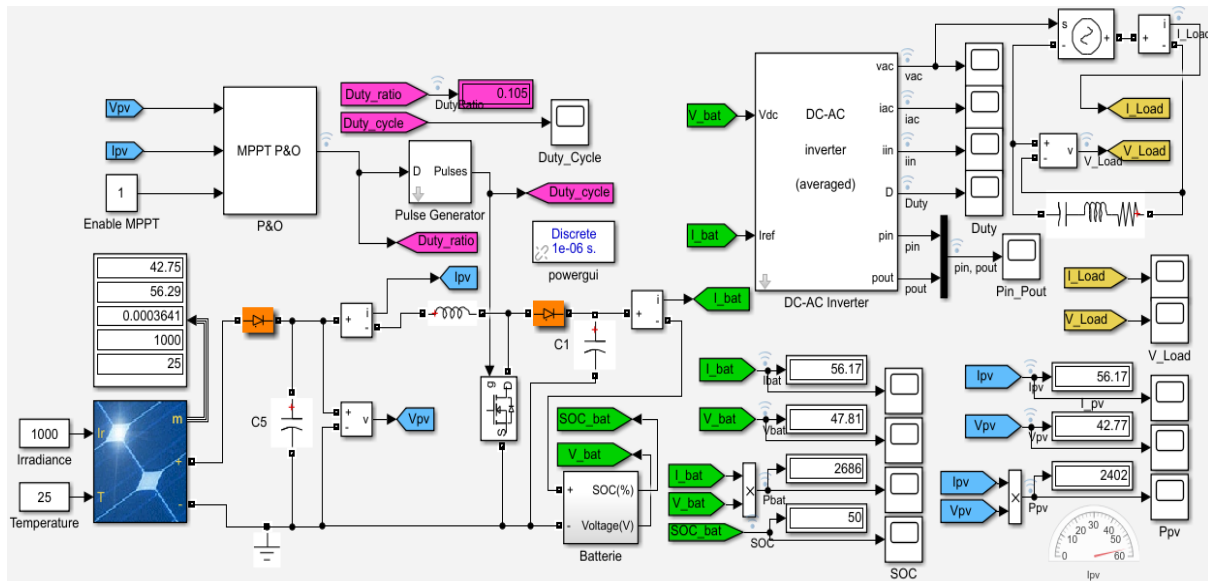


Figure IV.17. Simulation d'une installation PV avec batteries.

Cette figure représente le schéma général du système solaire de la résidence, qui contient 12 panneaux solaires, 8 batteries, un convertisseur et un Régulateur, l'objectif de ce schéma est de simuler le système complet et de s'assurer que les résultats de la simulation sont cohérents avec les résultats de conception.

IV.3.6. Les résultats de simulation d'une installation PV avec batteries (Irradiance=1000 W/m²; température=25°C):

Il est à noter que dans les graphs suivants :

- L'intervalle [0 → 0.1] : sans MPPT, et
- L'intervalle [0.1 → 0.2] : avec MPPT

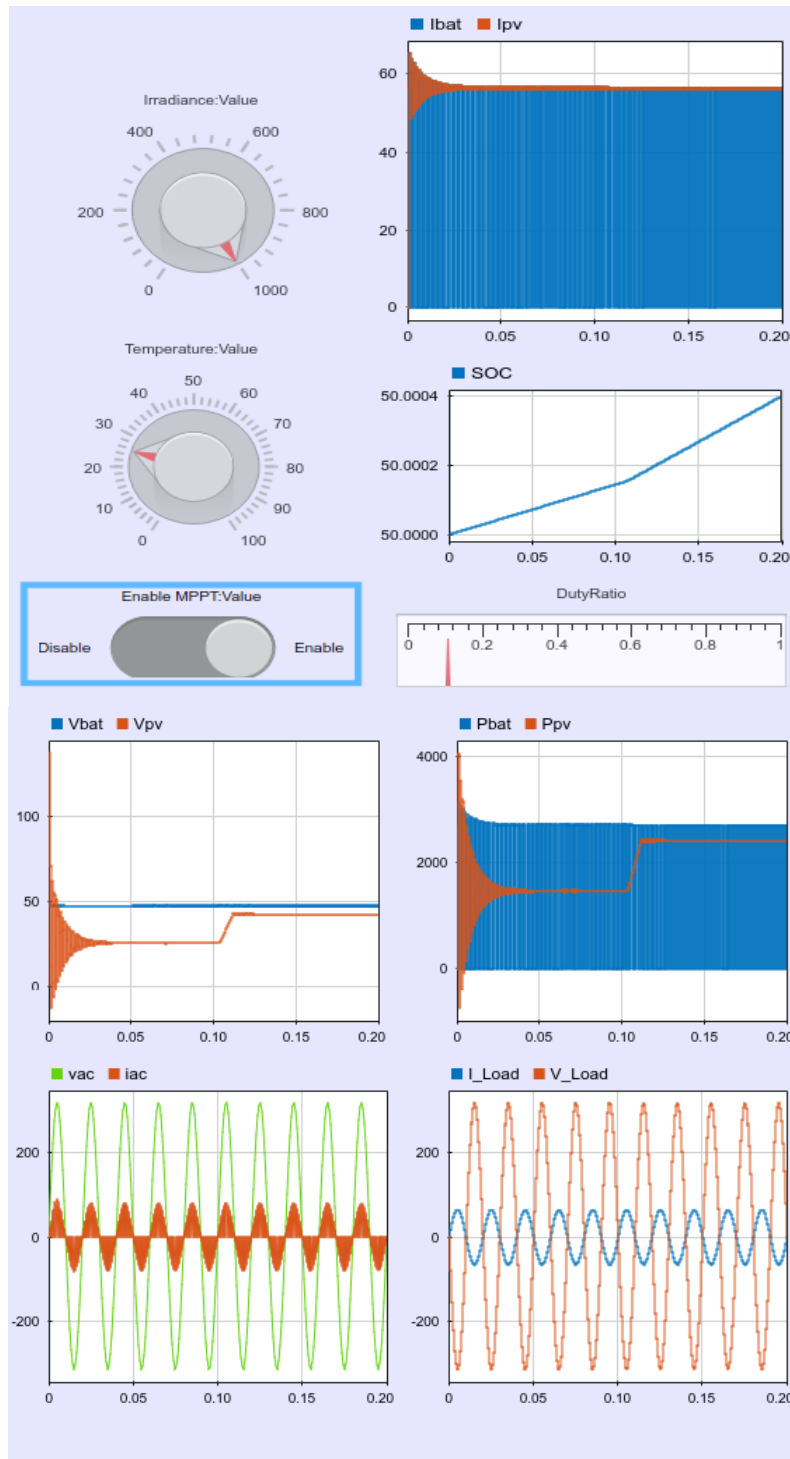


Figure IV.18. Les graphes de simulation I-V-P en fonction du temps dans les conditions STC ($1000\text{W}/\text{m}^2$, 25°C).

IV.3.7. Les résultats de Simulation d'une installation PV avec batteries

(Irradiance= $600\text{W}/\text{m}^2$; température= 25°C):

Il est à noter que dans les graphes suivants :

- L'intervalle $[0 \rightarrow 0.1]$: sans MPPT, et
- L'intervalle $[0.1 \rightarrow 0.2]$: avec MPPT

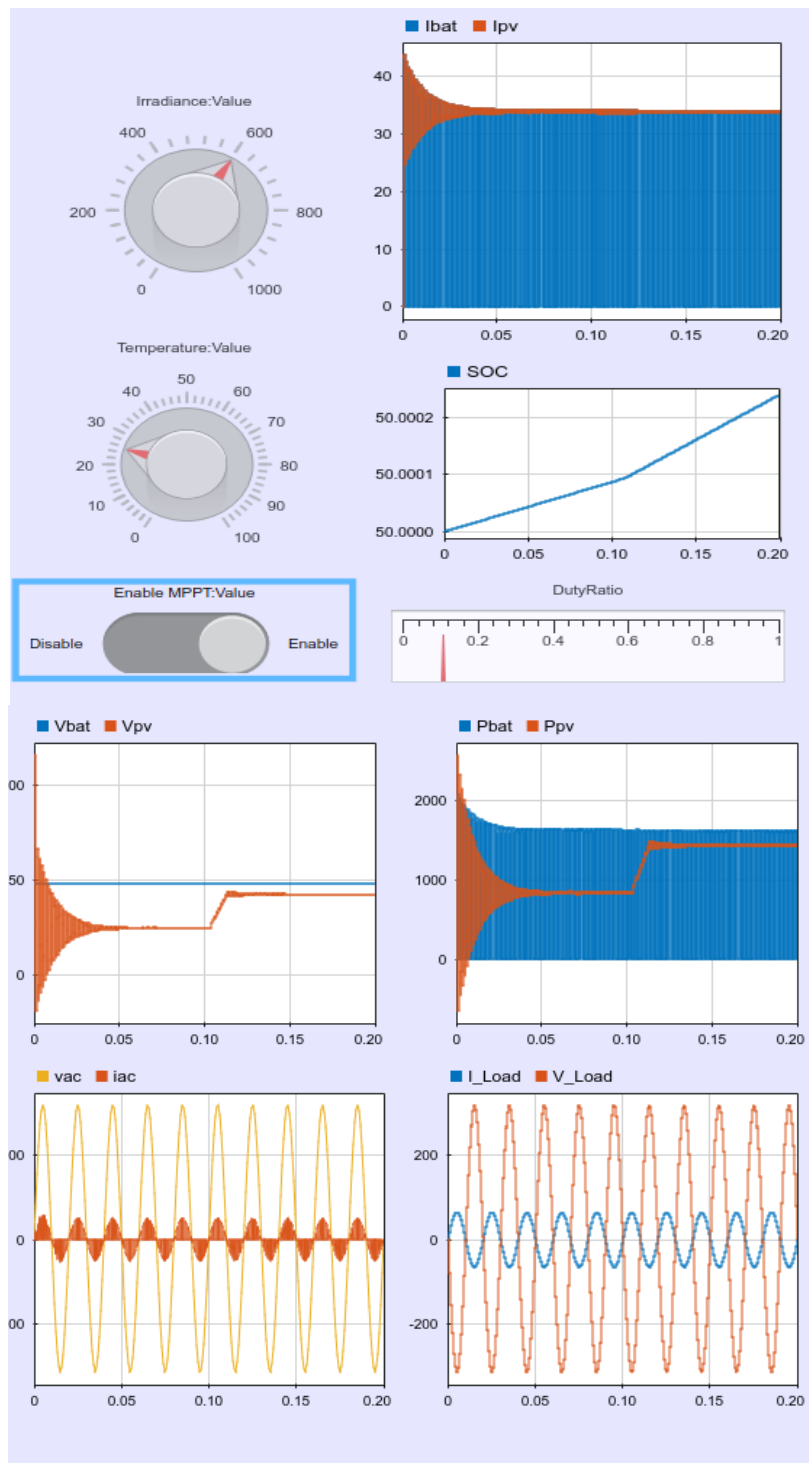


Figure IV.19. Les graphes de simulation I-V-P en fonction du temps dans les conditions STC ($600W/m^2$, $25^{\circ}C$).

D'après les simulations précédentes nous pouvant constater en premier lieu l'influence de l'irradiation (pour $1000 W/m^2$ on obtient une tension de sortie nettement plus supérieure que celle pour une irradiation de $600 W/m^2$ se qui correspond aux résultats des simulation précédentes.

En deuxième lieu on peut voir le rôle du MPPT sur la puissance de sortie du GPV dans le deuxième intervalle de « 0.1 à 0.2 » ou notre algorithme à tracker le point de puissance maximale pour une variation de l'irradiation.

Nous pouvons également constater que la charge de la batterie est plus rapide dans le deuxième intervalle où le MPPT est actif.

Nous pouvons également constater que la tension utilisée par la charge est constante dans tous les cas avec une valeur de 220V et une fréquence de 50 Hz.

IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, après avoir simulé le système solaire pour la résidence, nous avons également simulé le panneau solaire à une diode, le panneau solaire à deux diodes, la batterie et le convertisseur survolteur (boost), nous avons remarqué que :

- Une température élevée affecte négativement sur les performances du panneau solaire et de la batterie.
- Plus le rayonnement solaire est important, plus le rendement du panneau est élevé, et donc plus la quantité d'électricité produite est importante.
- Le modèle d'une cellule PV à deux diodes nous donne de meilleures précisions qu'un modèle à une diode.

Nous avons montré aussi pour qu'un générateur photovoltaïque (PV) fonctionnant dans les conditions réelles, il doit être doté d'un quadripôle d'adaptation. Cette adaptation se réalise en cherchant de façon automatique le point de puissance maximale (PPM) du générateur PV et ceci lorsque le système est placé dans un environnement où les conditions météorologiques (ensoleillement, température) et charge sont variables. Le problème qui se pose est la conception et la réalisation d'une commande qui converge le système PV vers les conditions optimales indépendamment des variations météorologiques et de la charge. Les performances du générateur augmentent avec l'augmentation du rayonnement solaire.

Conclusion Générale :

La demande mondiale en systèmes solaires d'alimentation électrique croît constamment depuis 20 ans. Aujourd'hui, l'industrie mondiale du photovoltaïque (PV) repose essentiellement sur les besoins des régions isolées en alimentation électrique fiable et peu coûteuse. Le module PV est l'élément commercial principal du marché photovoltaïque.

La contribution des énergies renouvelables dans la régularisation de ce défi est primordiale. C'est pour cela, il est fortement indispensable de s'intéresser à ce type d'énergie durable en développant les technologies nécessaires pour assurer une bonne exploitation de celle-ci, dans le but d'arriver à un rendement efficace. Aussi, la contribution des énergies renouvelables nous permet d'une part, de garder un environnement propre et sain et d'autre part, pour assurer la protection de la biodiversité.

Dans ce Mémoire, nous avons parlé des types de batterie, de ses caractéristiques et le principe de fonctionnement de ce dernier, il s'est avéré que la batterie joue un rôle important et efficace dans le système solaire et est considéré comme la meilleure solution au problème de la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables et présente de nombreux avantages par rapport aux autres types de stockage.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude du système de production d'électricité décentralisé photovoltaïque de la résidence karim Belkacem capable d'un fonctionnement autonome.

Cette étude a touché les paramètres essentiels de l'optimisation du système photovoltaïque dans son transfert d'énergie vers une charge ; elle se résume par ses différents points :

- ✓ L'énergie photovoltaïque devient progressivement une source d'énergie à part entière, de plus en plus sollicitée pour produire de l'énergie électrique allant du domestique à de grandes centrales connectées au réseau. Cependant, il reste encore pas mal de freins à son développement en termes de manques de production, de taux de pannes ou bien même de coûts prohibitifs rendant cette source d'énergie chère et peu fiable.
- ✓ La modélisation et la conception d'un module ou générateur PV nécessite une étude bien approfondie pour analyser le fonctionnement de système PV et voir l'influence de différents facteurs sur le module surtout la variation de l'éclairement et de la température.

C'est dans ce cadre qu'a été effectuée une étude :

- ✓ De modélisation du panneau solaire,
- ✓ Du dimensionnement du système PV avec stockage
- ✓ De modélisation du MPPT, du convertisseur boost et des batteries.
- ✓ De simulation sur MATLAB/Simulink du système photovoltaïque dans un fonctionnement autonome.

Après quoi on peut remarquer que :

- ✓ Les performances du générateur se dégradent avec l'augmentation de la température, la diminution de l'intensité de l'éclairement et les variations de la charge.
- ✓ Le convertisseur DC-DC et la commande MPPT effectuent correctement leurs rôles.
- ✓ Nous avons démontré lors de notre simulation l'importance du stockage de l'énergie photovoltaïque.

Annexe

a) Modélisation de l'onduleur :

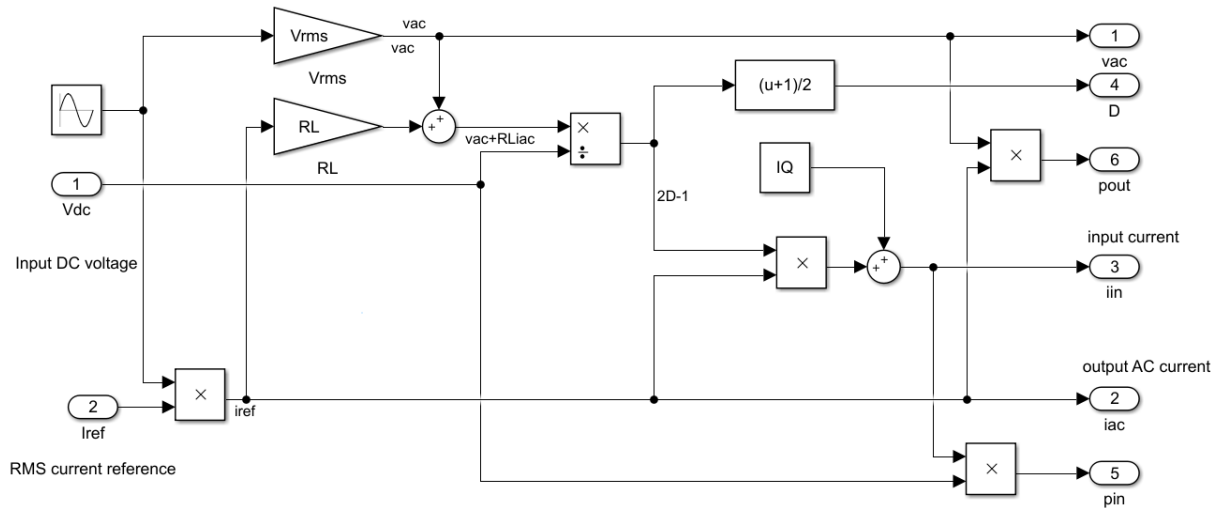


Figure V.1 Simulation de l'onduleur (convertisseur DC-AC).

b) Simulation du GPV à deux diode sous Matlab/Simulink :

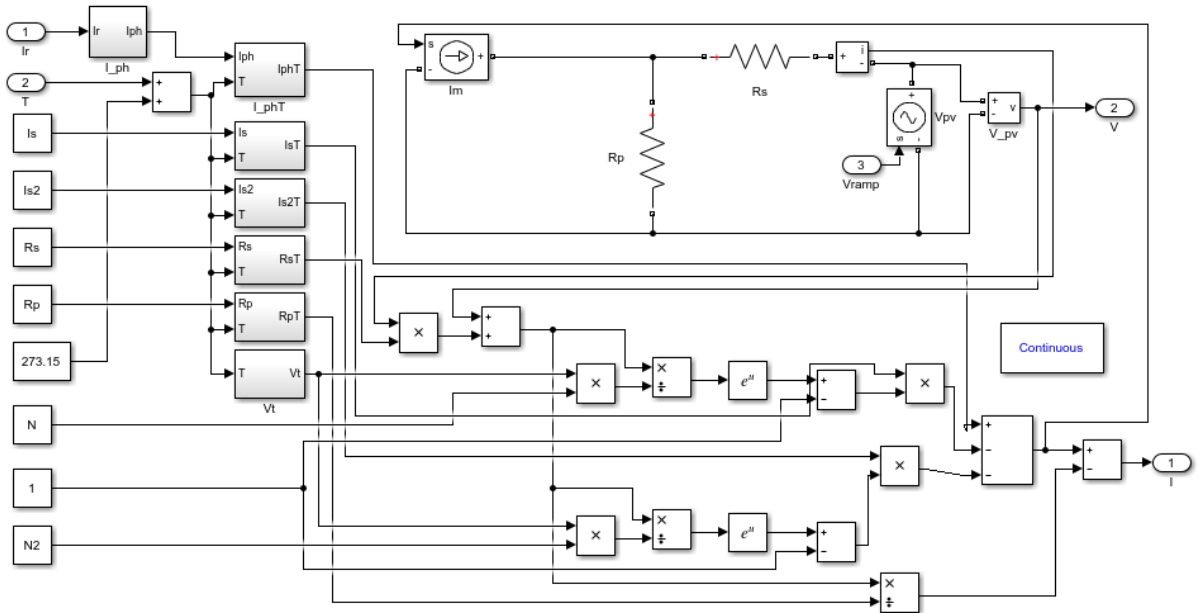


Figure V.2. Simulation du GPV sous Matlab/Simulink.

c) Schéma bloc de simulation de panneau :

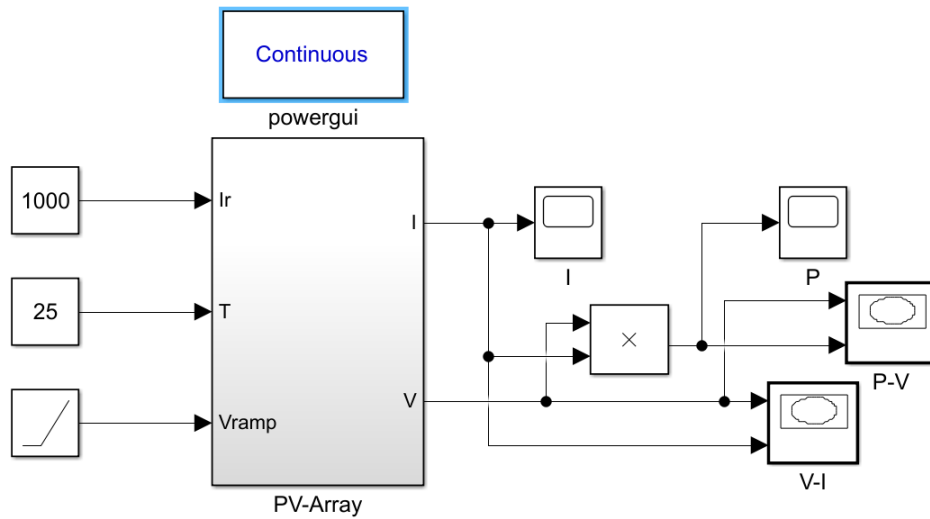
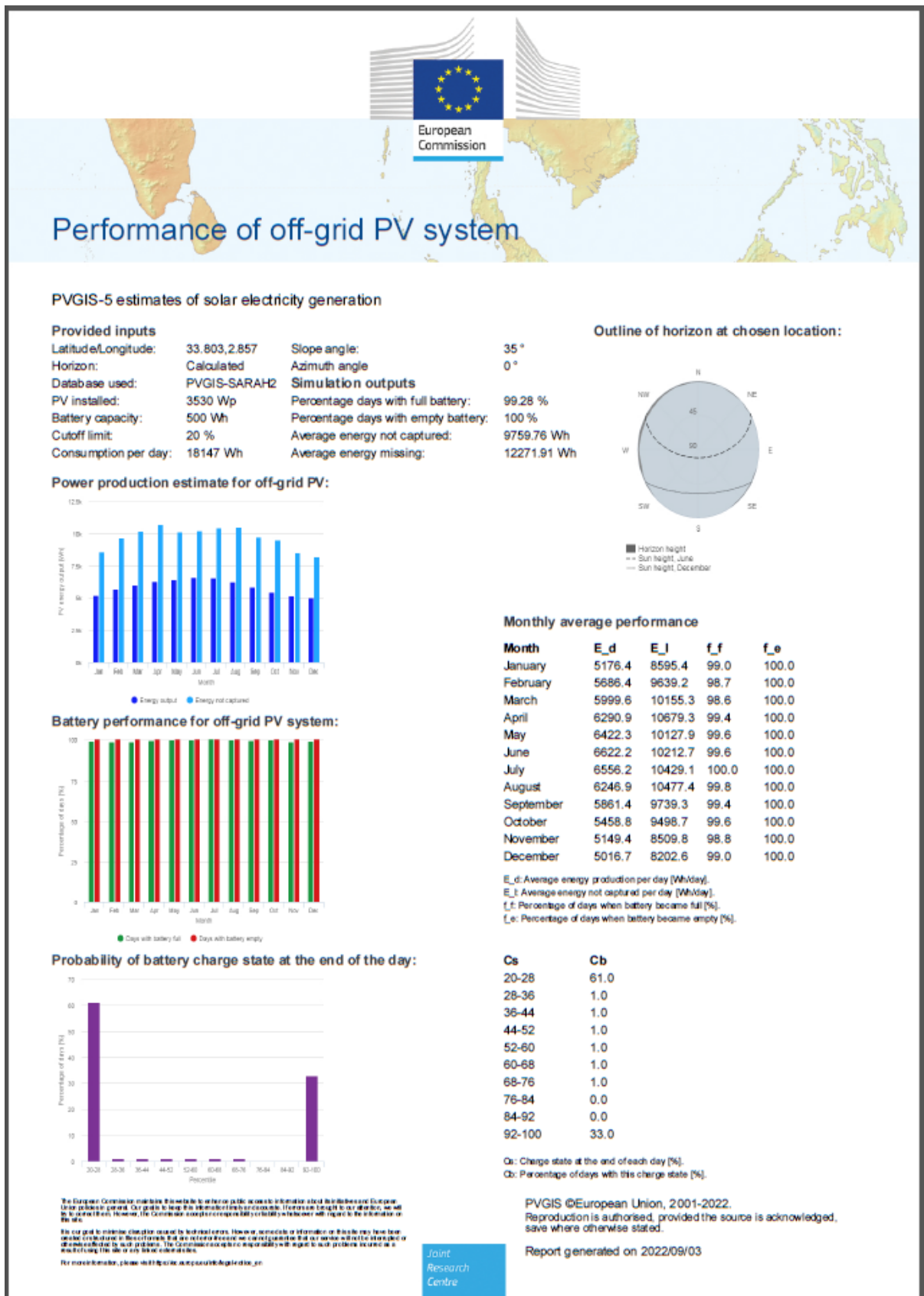


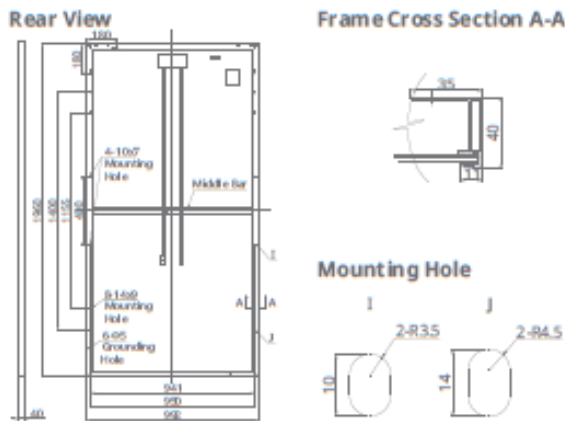
Figure V.3. Schéma bloc de simulation d'un panneau photovoltaïque.

d) Estimations PVGIS-5 de la production d'électricité solaire :

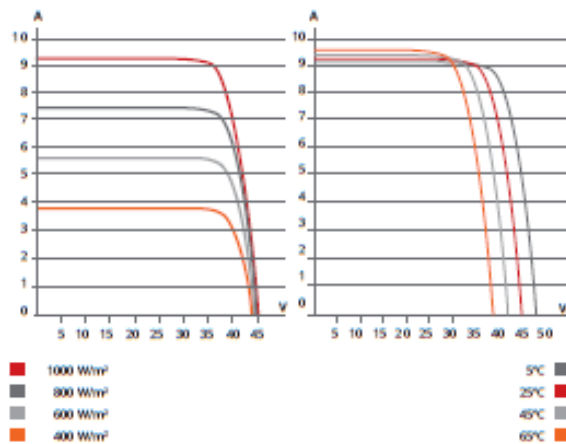


e) Caractéristiques techniques du panneau solaire à utiliser :

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6U-320P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Module Efficiency	16.20%	16.46%	16.72%	16.97%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6×12)
Dimensions	1960×992×40 mm (77.2×39.1×1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000V(UL), 1160 mm(45.7 in)
Connector	T4 (IEC/UL)
Per Pallet	26 pieces, 635kg (1400lbs)
Per container (40' HQ)	624 pieces

ELECTRICAL DATA / NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	228 W	232 W	236 W	239 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.4 V	33.6 V	33.7 V	33.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.84 A	6.91 A	6.98 A	7.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.5 V	41.6 V	41.8 V	41.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.44 A	7.50 A	7.57 A	7.66 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.0 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

PARTNER SECTION



f) la méthode de choisir le câble :

ELAND CABLES 20 7241 8500 or email
ical@elandcables.com.

STANDARD
International Standard IEC 60364-5- ▾

CONDUCTOR
Copper ▾

PHASE
Single phase ▾

VOLTAGE (V)
230 ▾

INSTALLATION METHOD
Enclosed in conduit on a wall ▾

ELAND CABLES ▾


INSTALLATION METHOD
Enclosed in conduit on a wall ▾

CONFIGURATION
Multicore cable ▾

FORMAT
2x loaded cores ▾

LOAD
110 A ▾

LENGTH (m)
15

Calculate 

RESULTS Reset

 Thermoplastic (PVC) - Single-core 70°C
Cable size: Not suitable 

 Thermoplastic (PVC) - Multicore 70°C
Cable size: 35mm
Cables include: NYM-J/O, N2XY, RV-K, R2V, RVMV-K, NYY 

 Thermoset (XLPE, LSZH or EPR) - Single-core 90°C
Cable size: Not suitable 

 Thermoset (XLPE, LSZH or EPR) - Multicore 90°C
Cable size: 25mm
Cables include: N2XH, N2XCH, H07ZZ-F, N2XRH, NHXMH-J/O, Ymz1K 

g) Estimations PVGIS-5 de la production d'électricité solaire pendant des mois :

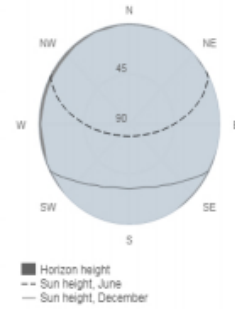
Performance of off-grid PV system

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

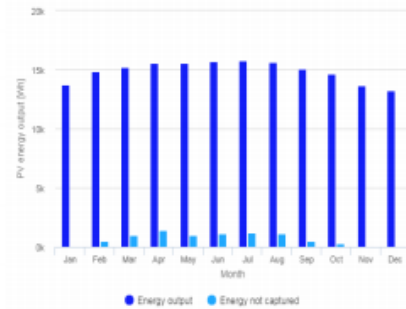
Provided inputs

Latitude/Longitude:	33.803,2.857	Slope angle:	35 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used:	PVGIS-SARAH2	Simulation outputs	
PV installed:	3530 Wp	Percentage days with full battery:	37.02 %
Battery capacity:	24000 Wh	Percentage days with empty battery:	28.72 %
Cutoff limit:	20 %	Average energy not captured:	1845.1 Wh
Consumption per day:	15780 Wh	Average energy missing:	3118.71 Wh

Outline of horizon at chosen location:



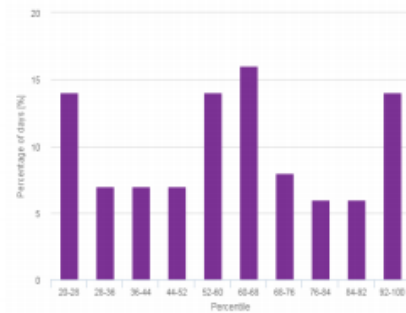
Power production estimate for off-grid PV:



Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



Monthly average performance

Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	13737.5	34.3	2.0	61.3
February	14848.4	477.2	24.6	29.5
March	15188.0	967.0	44.4	17.7
April	15533.5	1436.7	59.8	9.4
May	15551.0	999.2	51.0	8.1
June	15734.8	1100.1	61.7	3.5
July	15768.7	1216.6	73.6	1.0
August	15619.8	1104.4	63.7	4.0
September	15075.0	525.7	32.9	20.8
October	14650.3	307.2	27.2	26.8
November	13647.0	12.1	2.1	67.7
December	13219.3	0.0	0.0	95.1

E_d: Average energy production per day [Wh/day].

E_l: Average energy not captured per day [Wh/day].

f_f: Percentage of days when battery became full [%].

f_e: Percentage of days when battery became empty [%].

Cs	Cb
20-28	14.0
28-36	7.0
36-44	7.0
44-52	7.0
52-60	14.0
60-68	16.0
68-76	8.0
76-84	6.0
84-92	6.0
92-100	14.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].

Cb: Percentage of days with this charge state [%].

The European Commission makes this website to enhance public access to information about its activities and European Union policies in general. Our goal is to make this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimize disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in a way or format that are not error-free and we cannot guarantee that our services will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit <https://ec.europa.eu/info/faq>

PVGIS ©European Union, 2001-2022.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/10/03

Joint
Research
Centre

h) La base de données d'irradiation géotemporelle PVGIS-5 pour le mois de décembre a été le moins productive parmi les mois :

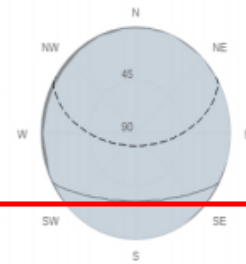
Daily irradiance data

PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

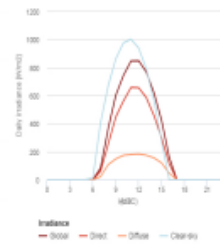
Provided inputs

Latitude/Longitude: 33.803,2.857
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 Month: December

Outline of horizon at chosen location:



Daily average irradiance on fixed plane with slope 35° and azimuth 0°

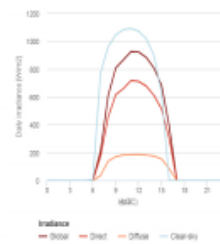


Irradiance on a fixed plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G(f)	0	0	0	0	0	0	0	81	362	602	743	847	848	769	621	424	161	0	0	0	0	0	0	0
G _b (f)	0	0	0	0	0	0	0	60	252	447	561	658	656	586	458	299	114	0	0	0	0	0	0	0
G _d (f)	0	0	0	0	0	0	0	21	107	148	174	180	183	174	156	120	46	0	0	0	0	0	0	0
G _{cs} (f)	0	0	0	0	0	0	14	405	668	862	975	1001	939	790	566	278	0	0	0	0	0	0	0	0

G(f): Global irradiance on a fixed plane [W/m²]
 G_b(f): Direct irradiance on a fixed plane [W/m²]
 G_d(f): Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m²]
 G_{cs}(f): Global Clear-sky irradiance on a fixed plane [W/m²]

Daily average irradiance on sun-tracking plane

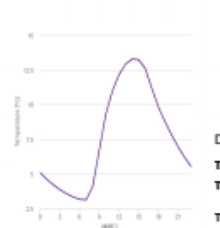


Irradiance on sun-tracking plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G(n)	0	0	0	0	0	0	0	208	609	808	865	925	921	883	807	684	392	0	0	0	0	0	0	0
G _b (n)	0	0	0	0	0	0	0	171	456	646	659	717	711	677	611	513	302	0	0	0	0	0	0	0
G _d (n)	0	0	0	0	0	0	0	35	139	171	183	184	186	182	174	155	85	0	0	0	0	0	0	0
G _{cs} (n)	0	0	0	0	0	0	7	770	959	1045	1083	1090	1071	1017	899	625	0	0	0	0	0	0	0	0

G(n): Global irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m²]
 G_b(n): Direct normal irradiance [W/m²]
 G_d(n): Diffuse irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m²]
 G_{cs}(n): Global Clear-sky irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m²]

Daily average temperature



Daily average temperature

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
T2m	5.06	4.61	4.21	3.86	3.57	3.34	3.16	3.12	4.07	6.09	9.3	10.98	12.15	12.91	13.28	13.23	12.6	11.8	9.83	8.77	7.81	6.95	6.18	5.51

T2m: Daily average temperature [°C]

The European Commission makes the website to enhance public access to information about its activities and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimize disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in a way that is not error-free and we cannot guarantee that our users will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems, incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/college-notice_en

PVGIS © European Union, 2001-2022.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/10/03

Joint
Research
Centre

الملخص:

- تعد الطاقة الشمسية مصدر مهم لإنتاج الكهرباء وخاصة في الجزائر وذلك لتوفر الإشعاع الشمسي الكافي، إلا أن مشكلة أو سلبية مثل هذه المصادر هو التقطع وعدم ضمان الإنتاج المستمر للكهرباء، لذلك تهدف هذه الدراسة الى:
1. توضيح أهمية تخزين الطاقة في محطات الطاقة الكهروضوئية وخاصة في محطات الطاقة الكهروضوئية الذاتية ودورها الفعال في حل مشكلة التقطع.
 2. تحجيم التركيب الكهروضوئي لبناية واحدة داخل إقامة كريم بالقاسم.
- كلمات مفتاحية: تخزين الطاقة المتجددة، تصميم المنظومة الشمسية، الألواح الكهروضوئية.

Résume :

L'énergie solaire est une source importante de production d'électricité, en particulier en Algérie, en raison de la disponibilité d'un rayonnement solaire suffisant. Cependant, le problème ou le négatif de ces sources est l'intermittence et le manque de garantie de production continue d'électricité, donc cette étude vise à :

1. mettre en évidence l'importance du stockage de l'énergie dans les centrales photovoltaïques, en particulier dans les centrales photovoltaïques autonomes, et son rôle efficace dans la résolution du problème intermittent.
2. Mise à l'échelle de l'installation photovoltaïque d'un seul bâtiment à l'intérieur de la résidence de Krim Belkacem.

Most clés :

Stockage d'Énergie renouvelable, dimensionnement optimal, panneau photovoltaïque.

Abstract:

Solar energy is an important source for the production of electricity, especially in Algeria, due to the availability of sufficient solar radiation. However, the problem or negative of such sources is intermittency and lack of guarantee of continuous production of electricity, so this study aims to:

1. Clarify the importance of energy storage in photovoltaic power plants, especially in photovoltaic power plants, and its effective role in solving the intermittent problem.
2. Scaling the photovoltaic installation of a single building inside Krim Belkacem residence.

Key words: Solar panels, Simulation renewable energy storage, optimal sizing, photovoltaic panels.