

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Electrotechnique
Spécialité : Energie et Environnement

Présenté par : *HAMIDOUCHE Abdelfattah et HADDOUCHE Hichem*

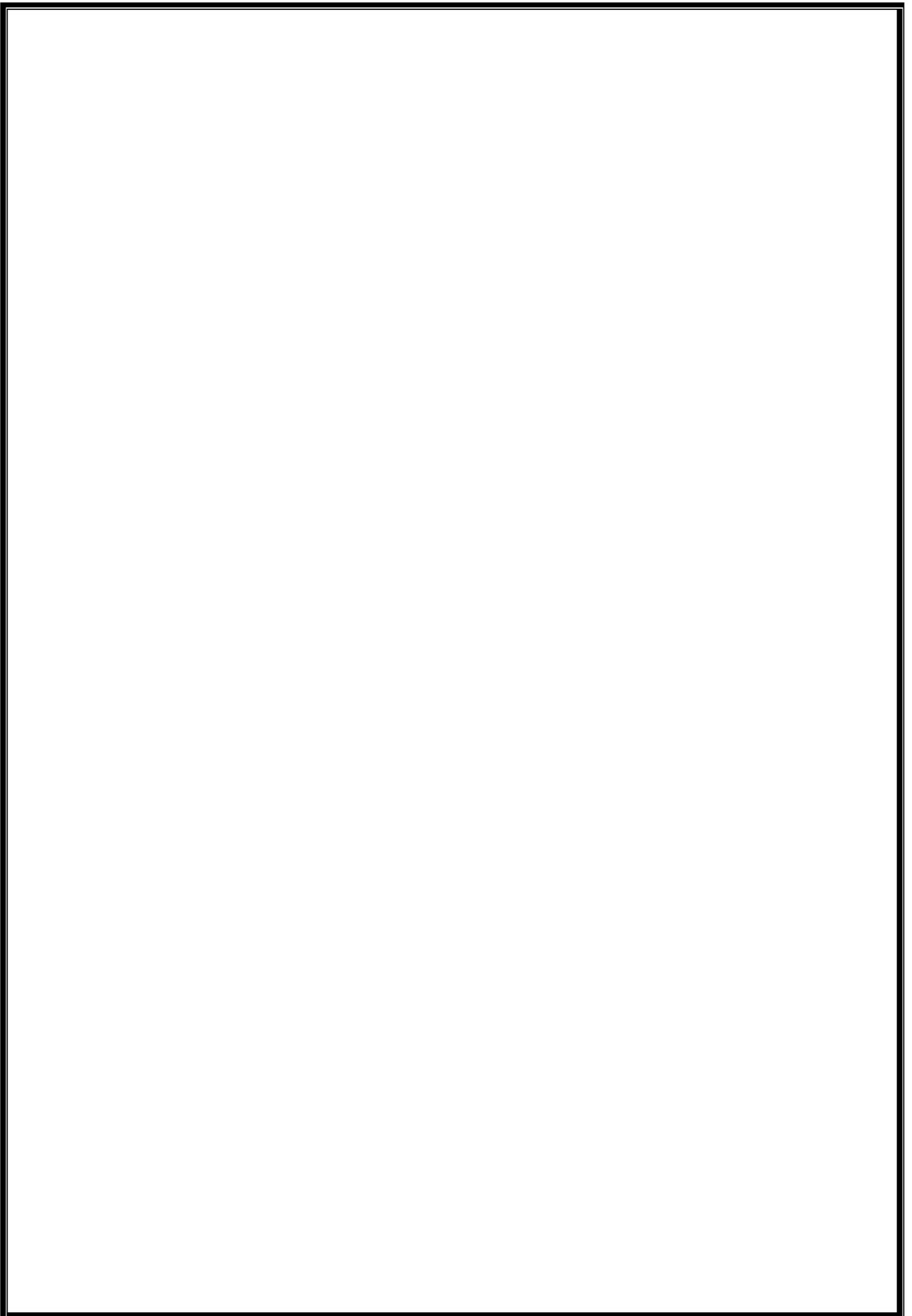
Thème

**Etude d'une alimentation autonome de
l'ESSAT**

Soutenu publiquement, le 03/ 07 / 2022 , devant le jury composé de :

G. ABDELLAOUI	Président	Maître de Conférences	ESSA - Tlemcen
S.BOURI	Encadrant	Maître de Conférences	U.A.B - Tlemcen
I. BOUSMAHA	Examineur	Maître de Conférences	ESSA - Tlemcen
L.MERAD	Examineur	Professeur	ESSA - Tlemcen

Année universitaire : 2021 / 2022



Dedicaces 1

Je dédie ce modeste travail aux être les plus chères, je cite :

Mes meilleurs parents, chère mère LELDJA et chère père OMAR, qui ont sacrifié tout leur temps pour mon bonheur et ma réussite qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde ma reconnaissance, que dieu les gardes et les protèges.

Mon grand père ALLAL et ma grande mère EZOHRA

Mon frère Mohamed EL AMINE

Mes sœurs : Chahrazed, Hadjer et Rahma et ma petite adorable niece INESS.

Tous mes amis et mes collègues et tous ceux que j'aime et spécialement à mon binôme HADDOUCHE Hichem.

HAMIDOUCHE ABDELFATTAH

Dedicaces 2

Je dédie ce modeste travail

A mes parents (cher père et chère mère) pour leur aide et leur patience. Je pense ne jamais pouvoir assez les remercier.

A mes frères, A tous mes amis (es)

A mon binôme Abdelfattah

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la Prospérité de l'humanité.

HADDOUCHE HICHEM

Remerciements

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre projet de fin d'étude d'Ingéniorat au Département de Second Cycle de l'Ecole Supérieure des Sciences Appliquées de Tlemcen.

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude à notre encadrant, Docteur BOURI Sihem Maitre de Conférences à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour nous avoir proposé et dirigé ce travail, nous la remercions pour nous avoir fait profité de son expérience, pour orientations qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous sommes sensibles à l'honneur que nous a fait monsieur Ghouti ABDELLAOUI, Maitre de conférences à l'ESSA Tlemcen, pour avoir accepté de présider et de nous honorer de sa présence au sein du jury de soutenance du présent mémoire ; qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.

Enfin, nous tenons également à adresser nos vifs remerciements au Docteur Iman BOUSMAHA, Maitre de Conférences à l'ESSAT et au Professeur Lotfi MERAD, nous les remercions chaleureusement pour avoir accepté d'examiner le présent mémoire et pour ses observations et remarques pertinentes et constructives.

Merci enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidé et donc ont contribué au succès de ce travail.

HAMIDOUCHE ABDELFAHATTAH HADDOUCHE HICHEM

CONTENTS

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
GLOSSAIRE	ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE	3
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 APERÇU HISTORIQUE	4
I.3 ENERGIE SOLAIRE	4
I.4 DURÉE D'INSOLATION	4
I.5 RAYONNEMENT SOLAIRE	5
I.5.1 Spectre du rayonnement	5
I.6 GISEMENT SOLAIRE	6
I.6.1 L'énergie solaire dans l'espace, hors atmosphère	7
I.6.2 Gisement solaire disponible à la surface de la terre	8
I.7 RAPPEL SUR LE SEMI-CONDUCTEUR	8
I.8 DOPAGE DU SILICIUM	9
I.8.1 Qu'est-ce que le dopage ?	9
I.8.2 Dopage de type N	9
I.8.3 Dopage de type P	9
I.9 CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES	9
I.9.1 Définition	9
I.9.2 Principe de la conversion photovoltaïque	10
I.9.3 Technologies de fabrication de la cellule solaire	11
I.9.4 Types de cellules solaires photovoltaïques	12
I.9.4-a Cellules monocristallines	12
I.9.4-b Cellules polycristallines	12
I.9.4-c Cellules amorphes	13
I.9.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	13
I.9.5-a Tension de circuit ouvert V_{CO}	13
I.9.5-b Courant de court-circuit I_{CC}	13
I.9.5-c Puissance	13

I.9.5-d	Le rendement	14
I.9.6	Le couplage des modules photovoltaïques	14
I.9.6-a	Le montage de modules photovoltaïques en parallèle	14
I.9.6-b	Le montage de modules photovoltaïques en parallèle	14
I.9.7	Module Photovoltaïque	15
I.10	SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE	16
I.10.1	Composition du système photovoltaïque	16
I.10.2	Types de systèmes photovoltaïques	17
I.10.3	Les Systèmes hybrides	18
I.11	LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS DE L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	18
I.11.1	Avantages	18
I.11.2	Inconvénients	19
I.12	CONCLUSION	19
II	PRÉSENTATION D'UN SYSTÈME PV AUTONOME	20
II.1	INTRODUCTION	21
II.2	PRINCIPE D'UN SYSTÈME PV	21
II.3	LES ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUES	21
II.3.1	Module PV	22
II.3.1-a	Définition d'un module PV	22
II.3.1-b	Constitution d'un module PV	22
II.3.1-c	Des cellules au module PV	23
II.3.1-d	Protection des modules photovoltaïques	25
II.3.2	Champ PV	25
II.3.3	Les batteries d'accumulation	26
II.3.3-a	Définition	26
II.3.3-b	Les différents types de batteries	27
II.3.3-c	Définir la capacité de stockage des batteries solaires	32
II.3.3-d	Capacité et durée de vie de la batterie	32
II.3.4	Régulateur de charge et décharge	33
II.3.4-a	Régulateur " tout ou rien "	33
II.3.4-b	Régulateur MLI	34
II.3.4-c	Régulateur PPM	34
II.3.5	Onduleurs de tension	35
II.3.6	Récepteurs et charges	35
II.3.7	Autres composants de base	35
II.3.7-a	La protection contre la foudre	35
II.3.7-b	Fusibles et disjoncteurs	36
II.4	CONCLUSION	36
III	ÉTUDE DE L'ALIMENTATION AUTONOME DE L'ESSAT	37
III.1	INTRODUCTION	38
III.2	LE PROCESSUS DE DIMENSIONNEMENT	38
III.2.1	détermination des besoins électriques	38

III.2.2	Dimensionnement de champ photovoltaïque	39
III.2.2-a	Evaluation du gisement solaire	40
III.2.2-b	Calcul de la puissance crête du champ PV	43
III.2.2-c	Dimensions des modules PV	46
III.2.3	Dimensionnement du parc des batteries	48
III.2.3-a	Choix de la tension du parc de batteries	49
III.2.3-b	Choix de la capacité du parc de batteries	49
III.2.4	Choix et dimensionnement du régulateur	52
III.2.5	Choix et dimensions de l'onduleur	53
III.2.5-a	La puissance nominale de l'onduleur	53
III.2.6	Dimensionnement des câbles	54
III.3	SIMULATION NUMÉRIQUE	57
III.3.1	Présentation du logiciel PVSYST	57
III.3.1-a	Données météorologiques	58
III.3.1-b	Conception de projet	58
III.3.1-c	Orientation des modules PV	59
III.3.1-d	Définition des Besoins utilisateurs	60
III.3.1-e	Définition du système	60
III.3.2	Interprétation des résultats obtenus	67
III.4	SIMULATION DU PLAN ARCHITECTURAL	68
III.5	ETUDE DE RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE	68
III.5.1	Tableaux de l'étude technico-économique des systèmes PV	69
III.5.2	Estimation du cout de système d'appoint (group électrogène)	69
III.5.3	Le cout de nôtre consommation d'énergie électrique (réseau SONELGAZ)	70
III.6	DISCUSSION DES RÉSULTATS	70
III.7	CONCLUSION	70
	CONCLUSION GÉNÉRALE	72
	BIBLIOGRAPHIE	74
	ANNEXES	77

LIST OF FIGURES

I.1	Spectre solaire.	6
I.2	Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie	7
I.3	représentation les couches d'électrons de valence et d'électrons de conduction	8
I.4	Dopage de silicium de type n et p	10
I.5	cellule photovoltaïque	10
I.6	Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule Photovoltaïque	11
I.7	Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque	11
I.8	Chaîne de fabrication de la cellule photovoltaïque	12
I.9	Types de cellules photovoltaïque.	13
I.10	caractéristique d'une cellule PV	14
I.11	Branchement de panneaux en série	15
I.12	Branchement de panneaux en parallèle	15
I.13	Module PV en groupement série - parallèle des cellules	16
I.14	Représentation d'un Module Photovoltaïque	16
I.15	Systèmes photovoltaïques	17
I.16	Schéma d'une installation solaire autonome avec batterie	18
II.1	Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome	21
II.2	schéma d'un système photovoltaïque avec stockage	22
II.3	Structure d'un panneau photovoltaïque face avant et face arrière	22
II.4	Encapsulation des cellules	23
II.5	Les différentes couches de panneau solaire	23
II.6	La constitution d'un module PV	23
II.7	Une association en série de deux cellules	24
II.8	Caractéristiques I(V) résultante de l'association de modules en série	24
II.9	Caractéristiques d'un groupement de (Np) cellules en parallèle	25
II.10	Protection d'un module de 60 cellules associées en série par trois diodes de by-pass	25
II.11	Exemple de structure de champ photovoltaïque	26
II.12	Chambre des batteries	26
II.13	Structure d'une batterie acide-plomb classique	27
II.14	La procédure de la décharger et la recharge d'une batterie au plomb	28
II.15	Une batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd)	29
II.16	Composant d'une batterie lithium-ion (Li-Ion)	31
II.17	Décharge	31
II.18	Charge	32

II.19 Régulateur de charge	34
II.20 Exemple de câblage correct pour la protection contre la foudre	36
III.1 Les étapes de dimensionnement d'une installation solaires photovoltaïques non raccordée au réseau	38
III.2 Orientation du panneau	41
III.3 Différentes inclinaisons du panneau	41
III.4 Inclinaison optimale	42
III.5 Localisation de l'ESSAT vision Satellite	42
III.6 Profil standard du rayonnement solaire (localisation : Tlemcen) obtenu par le logiciel métronome	43
III.7 L'irradiation moyenne par mois	43
III.8 Calcul de la puissance crête nécessaire, mois par mois	44
III.9 L'irradiation moyenne par jour	45
III.10 Diagramme de la puissance crête mois par mois avec groupe électrogène	45
III.11 Batterie	51
III.12 Régulateur de charge MPPT 150/70	53
III.13 l'onduleur solax 15 kW	54
III.14 Carte interactive de métronome pour accéder aux données climatiques	58
III.15 Fenêtre des coordonnées météorologiques dans métronome 8	58
III.16 Le choix du système d'installation "isolec batteries"	59
III.17 Les étapes de dimensionnement par PVsys	59
III.18 Détermination de l'angle d'inclinaison	60
III.19 Les besoins mensuelles en KWh/mois	60
III.20 L'interface pour le dimensionnement	61
III.21 Le choix de modules	61
III.22 le choix de batteries	62
III.23 Le choix du régulateurs	62
III.24 Configuration typique d'une installation isolée	62
III.25 Caractéristiques du module PV choisi	63
III.26 Les dimensions du module PV choisi	63
III.27 Tension de charge/darge selon SOC	64
III.28 Les caractéristiques critiques du régulateur	64
III.29 Le rapport final de la simulation	65
III.30 Paramètres de la simulation	65
III.31 Diagramme journalier d'Entrée/Sortie du syst PV	66
III.32 Simulation : énergie, indice de performance et productible	66
III.33 Le diagramme de perte d'une année	67
III.34 Plan architectural de l'école avec l'emplacement des panneaux solaires	68

Glossaire

Acronyme	Signification
DC	Direct current (Courant continu)
AC	Alternatif current (courant alternatif).
Ah	Ampères heures (unité de la capacité).
Hz	Hertz (unité de la fréquence).
W	Watts (unité de la puissance)
Wc	Watts Crète.
Wh	Watts heures, (unité de l'énergie).
W/m^2	Watts par mètre au carré, (puissance sur une surface), (unité de l'éclairement).
Wh/m^2	Watts heures sur le mètre carré, (l'énergie sur unité de surface), (unité du Rayonnement solaire).
MPPT	Maximum Power Point Tracking.
MLI	modulation de largeur de l'impulsion
TOR	tout ou rien
Ni-Cd	Nikel-Cadmium.
Ni-Zn	Nickel-Zinc.
Ni- Na Cl	Nickel- Chlorure de Sodium.
PV _{system}	Photovoltaïque système
PV	photovoltaïque.
EVA	Éthylène Acétate de Vinyle
PR	le ration de performance
PLOL	probability of "Loss of Load"

Introduction Générale

Depuis le début du 21^{ème} siècle, la consommation énergétique mondiale est en très forte croissance dans toutes les régions du monde. Il semble que, la consommation d'énergie va continuer à augmenter, sous l'effet de croissance économique d'une part, et de l'augmentation du nombre d'habitants d'une autre part. La plus grande partie soit 65 % de cette énergie consommée actuellement provient des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz ou encore le nucléaire. À la fin du 21^{ème} siècle, presque 400 ans après le début de l'industrialisation humaine, la plupart des combustibles fossiles, qui aient mis 400 millions d'années à s'accumuler dans la croûte terrestre, seront épuisés.

L'exploration de ces ressources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre, une pollution plus lourde, le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles qui réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. La fin de l'ère des énergies fossiles est annoncée et les conséquences sur notre vie et sur notre environnement sont déjà visibles, si nous ne mettons pas en place des mesures de protection du climat, le GIEC prévoit d'ici la fin du siècle une augmentation de température comprises entre 1,1 et 6,4 °C, en fonction du comportement humain et ceci quelles que soient les mesures qui seront prise pour la protection du climat, et la sauvegarde de notre planète.

Notons que l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La moyenne annuelle d'insolation dépasse les 3000 heures. C'est aussi le plus important de tout le bassin méditerranéen avec 13.9TWh/an. L'énergie solaire moyenne reçue est de $1700kWh/m^2/an$ au niveau des régions côtières ; $1900kWh/m^2/an$ dans les Hauts-Plateaux et $2650kWh/m^2/an$ au Sahara. Notre pays peut donc couvrir certains de ses besoins en énergie par les systèmes photovoltaïques.

L'énergie solaire photovoltaïque est un thème au centre de l'actualité depuis la prise de conscience mondiale du réchauffement de la planète par effet de serre et de la raréfaction des ressources primaires fossiles (pétrole, gaz, uranium. . .). Face à cette crise environnementale et énergétique, les énergies renouvelables (solaire, géothermie, éolien, hydraulique et biomasse) semblent être des possibilités énergétiques de notre planète puisqu'elles permettent d'éviter les émissions de gaz à effet de serre tout en produisant aucun déchet.

En produisant de l'électricité à partir du rayonnement solaire, l'énergie photovoltaïque contribue amplement à cette nouvelle politique énergétique privilégiant la lutte contre le changement climatique et la préservation des ressources fossiles.

Cependant si on veut utiliser et concevoir un système d'alimentation photovoltaïque autonome, il est impératif de prévoir un dispositif de production (module), stockage (batterie), régulation (régulateur), conversion (onduleur), selon des critères, le cas et les besoins.

L'objectif de ce modeste travail est donc faire une étude de l'alimentation autonome par panneaux photovoltaïques afin d'alimenter l'école supérieure en science appliquée de Tlemcen (ESSAT), ce mémoire est partagé en trois chapitres :

Le premier chapitre consiste à donner des généralités sur l'énergie solaire en général et sur l'énergie photovoltaïque autonome en particulier.

Le deuxième chapitre consiste à donner et définir tous les composants nécessaires pour une installation solaire autonomes.

Le troisième chapitre à pour le but de dimensionner un système photovoltaïque autonome avec la méthode analytique et à l'aide d'un logiciel de simulation (PVsyst), et enfin les résultats seront discutés, ainsi faire une comparaison économique entre le coût d'une installation photovoltaïque autonome et une alimentation via le réseau SONEGAS.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Chapter I

Généralités sur l'énergie photovoltaïque

SOMMAIRE

I.1	INTRODUCTION	4
I.2	APERÇU HISTORIQUE	4
I.3	ENERGIE SOLAIRE	4
I.4	DURÉE D'INSOLATION	4
I.5	RAYONNEMENT SOLAIRE	5
I.5.1	Spectre du rayonnement	5
I.6	GISEMENT SOLAIRE	6
I.6.1	L'énergie solaire dans l'espace, hors atmosphère	7
I.6.2	Gisement solaire disponible à la surface de la terre	8
I.7	RAPPEL SUR LE SEMI-CONDUCTEUR	8
I.8	DOPAGE DU SILICIUM	9
I.8.1	Qu'est-ce que le dopage ?	9
I.8.2	Dopage de type N	9
I.8.3	Dopage de type P	9
I.9	CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES	9
I.9.1	Définition	9
I.9.2	Principe de la conversion photovoltaïque	10
I.9.3	Technologies de fabrication de la cellule solaire	11
I.9.4	Types de cellules solaires photovoltaïques	12
I.9.5	Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	13
I.9.6	Le couplage des modules photovoltaïques	14
I.9.7	Module Photovoltaïque	15
I.10	SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE	16
I.10.1	Composition du système photovoltaïque	16
I.10.2	Types de systèmes photovoltaïques	17
I.10.3	Les Systèmes hybrides	18
I.11	LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS DE L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	18
I.11.1	Avantages	18
I.11.2	Inconvénients	19
I.12	CONCLUSION	19

I.1 Introduction

Le système photovoltaïque est également connu sous le nom de système solaire PV. Il s'agit d'un système énergétique conçu pour capter l'énergie du soleil et la transformer en électricité à l'aide de panneaux photovoltaïques, également connus sous le nom de panneaux solaires [1].

Le mot " photovoltaïque " vient de la grecque " photo " qui signifie lumière et voltaïque, qui tire son origine du nom du physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827), alors le photovoltaïque signifie littérairement la lumière électricité [1].

I.2 Aperçu historique

L'effet photovoltaïque a été découvert dans la première moitié du 19ème siècle. En 1839, un jeune physicien français, Alexandre Edmond Becquerel, a observé un phénomène qui permet la conversion de la lumière en électricité, le fonctionnement des cellules solaires est basé sur ce principe, dans les années qui ont suivi, un certain nombre de scientifiques ont contribué au développement de cet effet, les plus importants d'entre eux étant Charles Fritts, Edward Weston, Nikola Tesla et Albert Einstein, qui a reçu le prix Nobel pour ses travaux sur "l'effet photoélectrique" en 1904.

Dans les années soixante, les cellules solaires sont utilisées exclusivement pour fournir de l'électricité aux satellites en orbite terrestre, où elles s'avèrent être une technologie très fiables et compétitive, dans les années soixante-dix, des améliorations sont apportées à la production, performance et la qualité des cellules solaires, tandis que la crise pétrolière contribue à réduire les coûts de production des cellules solaires et ouvre de nombreuses possibilités pour leur mise en œuvre pratique [2].

I.3 Energie Solaire

La quantité de l'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et la position du soleil. Pour récupérer le plus d'énergie possible, il faut positionner le récepteur par rapport aux rayons lumineux, il est donc crucial de connaître la position du soleil en fonction du temps [3].

L'énergie solaire est disponible en abondance partout, du matin au soir, ce qui nous laisse suffisamment de temps pour exploiter l'énergie du soleil [3].

I.4 Durée d'insolation

La durée d'ensoleillement est la période pendant laquelle la surface du sol est irradiée par le rayonnement solaire direct (c'est-à-dire la lumière du soleil atteignant la surface de la terre directement à partir du soleil). En 2003, l'Organisation météorologique mondiale a défini la durée d'ensoleillement comme la période pendant laquelle l'irradiation solaire directe dépasse une valeur seuil de 120 watts par mètre carré (W/m²). Cette valeur est

équivalente au niveau d'irradiation solaire peu après le lever du soleil ou peu avant son coucher dans des conditions sans nuages. Elle a été déterminée en comparant la durée d'ensoleillement enregistrée à l'aide d'un enregistreur d'ensoleillement Campbell-Stokes avec l'irradiation solaire directe réelle [4].

I.5 Rayonnement solaire

Malgré la distance considérable entre le soleil et la terre 150.106 km, la couche terrestre reçoit une quantité importante d'énergie 180.106 GW, c'est pour cela que l'énergie solaire est une bonne alternative aux autres sources d'énergie [1].

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre $d=139.104$ km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80 % d'hydrogène, 19 % d'hélium et 1 % d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène-hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium, la réaction se fait dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [1].

Sa lumière, à une vitesse de 300 000 km/s dans le vide, il faut environ 8 minutes pour atterrir, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présentée un maximum pour une longueur d'onde d'environ $0.5\mu m$, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ $5780^{\circ}k$ [1] :

- Diamètre de soleil : $D = 1.39 \cdot 10^9 m$.
- Diamètre de la terre : $D = 1.27 \cdot 10^7 m$.
- Distance moyenne entre le soleil et la terre : $L_{t-s} = 1.5 \cdot 10^{11} m$.

I.5.1 Spectre du rayonnement

La lumière du soleil consiste en un rayonnement de différentes couleurs avec différentes longueurs d'onde. Les photons, particules de lumière, constituent ce rayonnement électromagnétique.

Le rayonnement émis par le soleil correspond à celui d'un corps noir à une température de $5800^{\circ}K$. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM_o . Sa distribution en énergie est répartie en [4] :

- Ultraviolet : $UV 0.20 < l < 0.38mm 6.4\%$.
- Visible : $0.38 < l < 0.78mm 48.0\%$.

- Infrarouge : $IR0.78 < l < 10mm45.6\%$.

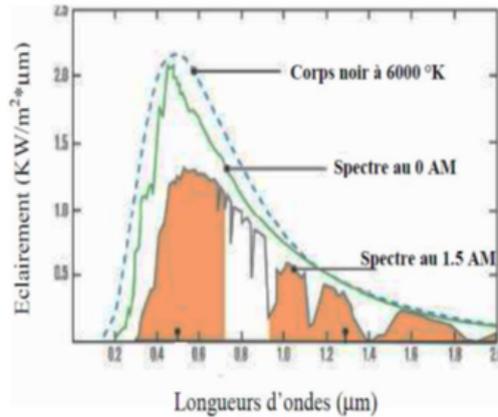


Figure I.1: Spectre solaire.

I.6 Gisement solaire

Le champ solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement Énergie solaire disponible sur une période donnée. Il est utilisé pour déterminer l'énergie reçue par le système solaire et aide Les dimensions sont les plus précises possibles en tenant compte des exigences à respecter.

La connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précise :

- Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données .
- Selon le nombre d'années de mesures disponibles.
- Selon le pas de temps des données (mois, jour, heure).
- Selon la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc ...

A cet effet, en ce qui concerne la mesure du rayonnement solaire en Algérie, le réseau de mesure La population est clairsemée par rapport à la superficie des terres. En effet, il n'y a que sept stations Plus de 60 unités météorologiques du réseau National Werther Service assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire réception horizontale.

Pour pallier les insuffisances des réseaux de mesure, des modèles sont proposées, qui sont principalement basée sur l'utilisation de données météorologiques, en particulier la

durée coup de chaleur.

Les différentes irradiations solaires utilisées par les concepteurs de systèmes solaires, sont :

- L'irradiation directe à incidence normale.
- Les irradiations de base, la composante diffuse et la composante globale mesurées sur plan horizontal.
- L'irradiation solaire globale reçue sur des plans verticaux orientés Est, Ouest et Sud.
- L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu et orienté Sud.

La répartition de l'énergie reçue par l'Algérie en moyenne annuelle, est donnée par la figure I.2. Elle présente les différents niveaux énergétiques qui donnent ainsi un découpage du pays en régions iso énergétiques[5].

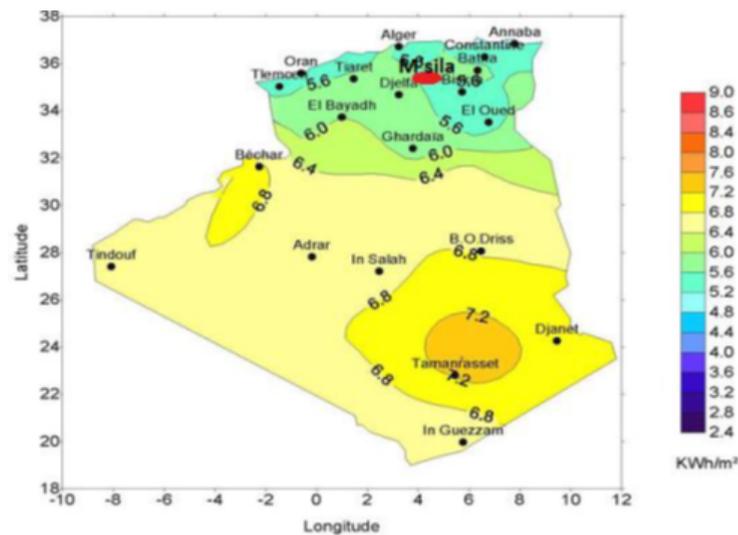


Figure I.2: Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie

I.6.1 L'énergie solaire dans l'espace, hors atmosphère

Le soleil est l'étoile autour de laquelle la terre orbite, son énergie provient de la réaction thermonucléaire dans laquelle l'hydrogène est fusionné à l'hélium, sa température de surface est estimée en moyenne à 5 800 K. L'énergie transportée par le rayonnement solaire dans l'espace a été précisément évaluée grâce aux mesures satellitaires. Un mètre carré exposé face au soleil en dehors de l'atmosphère reçoit tant qu'il le voit 1.353 KW/m², ce qui signifie qu'en 24 heures 32,5 kWh [6].

I.6.2 Gisement solaire disponible à la surface de la terre

L'atmosphère terrestre absorbe une partie de l'énergie qu'elle reçoit du soleil et modifie la nature du rayonnement [6].

I.7 Rappel sur le semi-conducteur

Un semi-conducteur, n'est ni tout à fait un conducteur d'électricité, ni tout à fait un isolant. Il peut être soit l'un, soit l'autre selon diverses conditions. Le caractère conducteur ou isolant prend sa source dans la structure même des atomes : chaque élément du tableau périodique possède un certain nombre d'électrons qui sont agencés autour d'un noyau. C'est cet agencement sous la forme de couches d'électrons, différent selon les éléments, qui est responsable de la conductivité électrique. Les électrons des atomes peuvent avoir plusieurs rôles au sein d'une structure d'atomes [7] :

- **Electrons de cœur** : ceux-ci sont proches du noyau et n'interagissent pas vraiment avec les autres atomes.
- **électrons de valence** : ils sont sur les couches externes de l'atome et permettent de créer des liaisons interatomiques et de former les molécules,
- **électrons de conduction** : ils sont responsables de la circulation du courant électrique [7]. On peut schématiser l'ensemble sous la forme de couches. Sur le schéma suivant, on a représenté les couches d'électrons de valence et d'électrons de conduction :

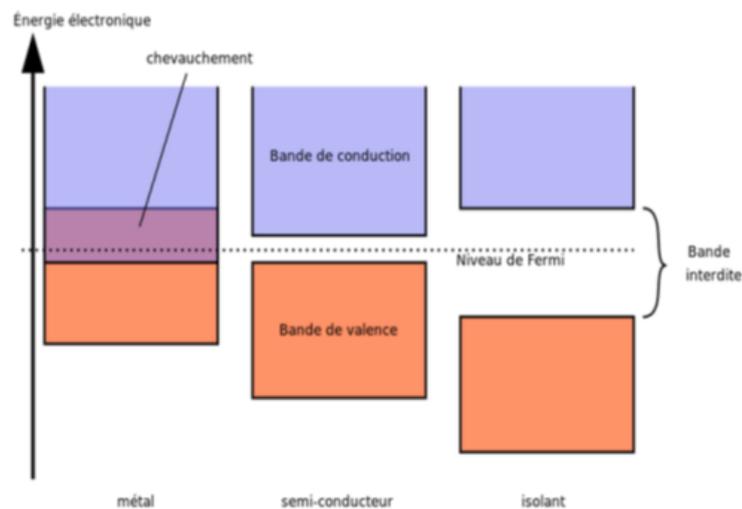


Figure I.3: représentation les couches d'électrons de valence et d'électrons de conduction

On note que dans un métal, certains électrons sont à la fois dans la bande de valence et dans la bande de conduction. Cela signifie qu'un métal peut conduire le courant sans autre forme de traitement-physico-chimique. Dans un isolant, par contre, les deux bandes sont séparées par un espace appelé « bande interdite » : cela signifie que les électrons ne

peuvent pas s'y trouver. Dans le cas des isolants, les électrons externes sont tous dans la bande de valence et aucun ne se trouve dans la bande de conduction : ces matériaux ne peuvent donc pas conduire l'électricité. Enfin, dans le cas des semi-conducteurs, au milieu, il existe une bande interdite aussi, mais ce dernier est très fine. Il suffit de donner de l'énergie aux électrons, en les excitant pour que les électrons de valence puissent passer dans la bande de conduction et ainsi rendre le semi-conducteur. Un semi-conducteur est donc un isolant mais qui peut devenir un conducteur très facilement en excitant les électrons de valence. Ceci peut se faire soit en chauffant le matériau, soit en l'éclairant, ou en le soumettant à une tension électrique bien définie. Par exemple, si on éclaire une plaque photovoltaïque, la plaque devient conductrice et on crée un courant électrique : c'est l'effet photoélectrique [7].

I.8 Dopage du silicium

La silice est un composé chimique nommé aussi dioxyde de silicium, de formule chimique SiO_2 . La silice est l'élément le plus répandu dans la croûte terrestre après l'oxygène. Il représente 25 % de la masse de la croûte terrestre [8].

I.8.1 Qu'est-ce que le dopage ?

Le dopage est une méthode permettant de réaliser la jonction P-N. Cela consiste à introduire des impuretés dans un cristal intrinsèque pour modifier ces propriétés électriques. Le semi-conducteur dopé est alors appelé "semi-conducteur extrinsèque". Il existe deux types de dopage : le type N (Négatif) et le type P (Positif) [8].

I.8.2 Dopage de type N

Le dopage de type N consiste à ajouter un atome de phosphore au sein de la structure cristalline du silicium. Le phosphore disposant de 5 électrons sur sa couche électronique externe va s'associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un électron : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale négative [8].

I.8.3 Dopage de type P

Le dopage de type P consiste à ajouter un atome de bore au sein de la structure cristalline du silicium. Le bore disposant de 3 électrons sur sa couche électronique externe va s'associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un trou : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale positive [8].

I.9 Cellules photovoltaïques

I.9.1 Définition

Les cellules photovoltaïques ou cellules solaires sont les plus petits composants de l'appareil Photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement

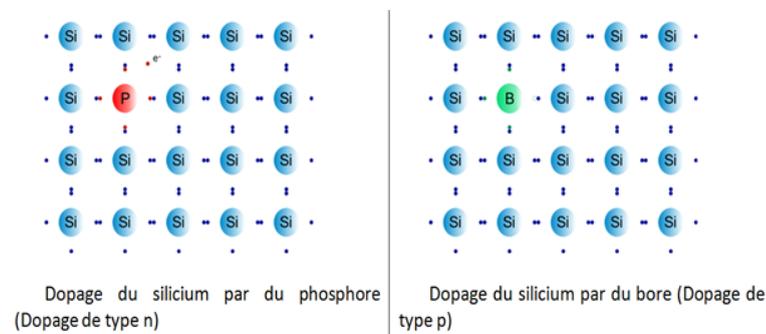


Figure I.4: Dopage de silicium de type n et p

l'énergie lumineuse en énergie électrique.



Figure I.5: cellule photovoltaïque

I.9.2 Principe de la conversion photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet Photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [5].

Une cellule PV sont constituées au moins deux couches de matériau semi-conducteur, généralement du silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore), créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par les semi-conducteurs, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons (charges N) et des trous (charges P) créent alors une différence de potentiel entre les deux couches [1].

Cette différence de potentiel est mesurable entre les connections des bornes positive et négative de la cellule.

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert V_{co} . Le courant maximal se produit lorsque

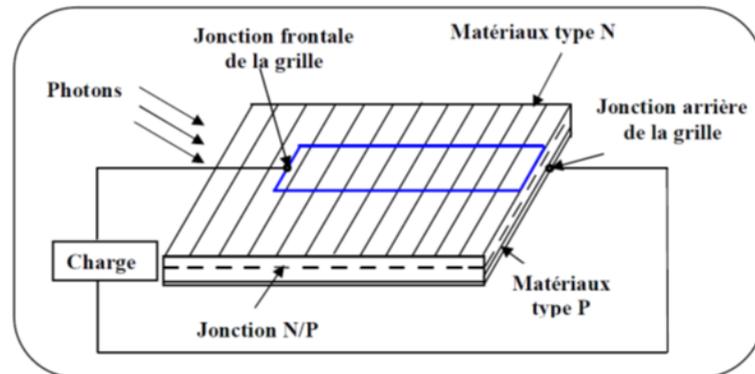


Figure I.6: Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule Photovoltaïque

les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit ICC et dépend fortement du niveau d'éclairement [5].

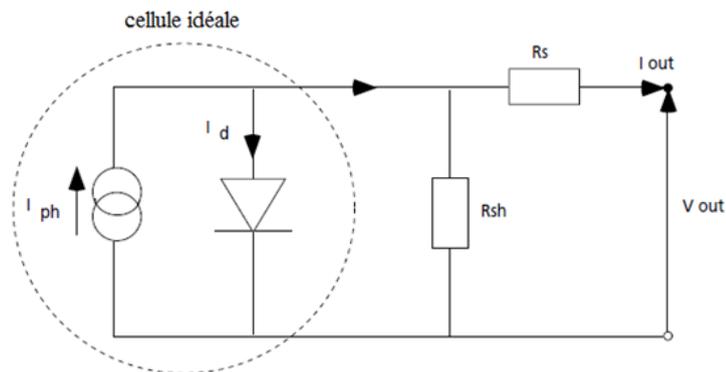


Figure I.7: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

I.9.3 Technologies de fabrication de la cellule solaire

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer des cellules photovoltaïques. On l'obtient par réduction à partir de la silice. Ce composé est le plus abondant dans la croûte terrestre et notamment dans le sable. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin. La première étape est la production du silicium dit métallurgique, pur à 98 % seulement [9].

Le silicium de qualité électronique doit être purifié jusqu'à plus de 99,99 %. Il est produit sous forme des lingots de section ronde ou carrée. Les lingots monocristallins et les briques multi-cristallines sont après la première étape découpés en tranches par une scie à fil, à une épaisseur d'environ 250 μm [9].

La plaque doit être de l'ordre d'une centaine de microns pour absorber les photons incidents. La face arrière est dopée p+ par diffusion d'aluminium et joue aussi le rôle de conducteur ohmique avec l'électrode arrière. La zone avant est dopée n+. Une couche

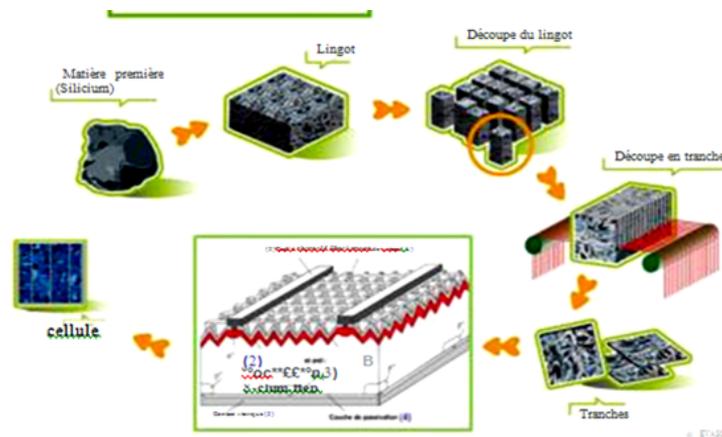


Figure I.8: Chaîne de fabrication de la cellule photovoltaïque

antireflet est déposée dessus [9].

La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti réflexion. Les faces supérieure et inférieure sont équipées d'électrodes pour récolter les électrons [9]

I.9.4 Types de cellules solaires photovoltaïques

Les cellules solaires sont constituées de plusieurs couches de matériau semi-conducteur, le matériau le plus courant pour la production de cellules solaires est le silicium. Le silicium est obtenu du sable et l'un des éléments les plus courants de la croûte terrestre.

Il existe différents types de cellules photovoltaïques (ou cellules solaire), chaque type de cellule a ses propres performances et son propre coût. Cependant, quel que soit leur type, Leur rendement est encore très faible : de 8 % à 23 % de l'énergie qu'ils reçoivent. Il y a trois principaux types de cellules aujourd'hui [5].

I.9.4-a Cellules monocristallines

:

Ce sont les cellules qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le cout le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée [4]. Les cellules ont un meilleur rendement entre 16 % et 24 % [10].

I.9.4-b Cellules polycristallines

:

plus faciles pour réaliser, leur coût de fabrication est moins important, mais moins performantes, leur rendement situé entre 13 % et 18 % [10].

I.9.4-c Cellules amorphes

:

Faible rendement, mais ne nécessitent qu'une très faible épaisseur de silicium et un faible coût pour fabriqué. Ils sont généralement utilisés dans les petits produits de consommation par exemple les calculatrices solaire ou pour des montres [5]. Les cellules ont le moins bon rendement, il est compris entre 6 % et 9 % [10].

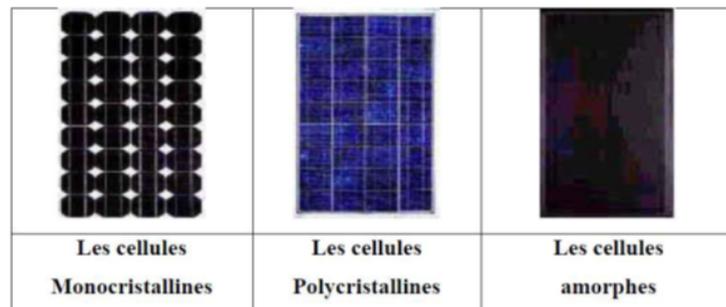


Figure I.9: Types de cellules photovoltaïques.

I.9.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

I.9.5-a Tension de circuit ouvert V_{CO}

Si nous plaçons une cellule sous une source de lumière constante sans aucun récepteur a ses bornes, cela produira une tension continue d'environ $0.6V$, appelée tension de circuit ouvert (il varie légèrement selon l'éclairement). Pour augmenter la tension produit par le module, il faut faire connecter les cellules en série [5].

I.9.5-b Courant de court-circuit I_{CC}

Contrairement au cas précédent, si l'on place une cellule en court-circuit, elle débite un courant maximal à tension nulle. Ce courant est appelé courant de court-circuit.

Pour augmenter les valeurs d'intensité délivrées par le module, il est nécessaire de connecter les cellules en parallèle [5].

I.9.5-c Puissance

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards ($25^{\circ}C$ et un éclairement de $1000W/m^2$)

L'objectif poursuivi par tous les utilisateurs de générateurs photovoltaïques est produire de manière le plus performance. La figure I.10 montre la caractéristique courant tension d'une cellule photovoltaïque

$$Puissance = tension \times courant$$

Pour l'éclairement considéré, le point de puissance maximale MPPT représente le point où la puissance de la cellule est maximale. Ceci est lié à la tension maximale et le courant maximal. C'est cette puissance qui sera toujours recherchée par des régulateurs de charge [11].

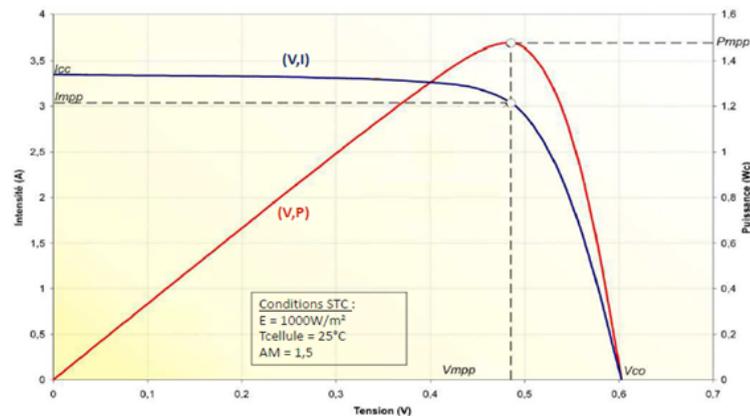


Figure I.10: caractéristique d'une cellule PV

I.9.5-d Le rendement

C'est le rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

I.9.6 Le couplage des modules photovoltaïques

Comme vous le savez, pour qu'un panneau solaire fonctionne dans un système photovoltaïque, plusieurs modules doivent être connectés les uns aux autres. Il existe deux méthodes de connexion : série ou parallèle. Les deux options sont complètement différentes et vous devez utiliser l'une ou l'autre selon vos besoins [12].

I.9.6-a Le montage de modules photovoltaïques en série

Lorsque les modules PV sont connectés en série, cela augmente la tension tout en conservant le même ampérage. Cela se produit généralement entre des modules de même ampérage. Sinon, les composants s'aligneront sur l'ampérage le plus bas [12].

Pour une connexion en série, le pôle positif d'un module doit être connecté au pôle négatif de l'autre module [12].

I.9.6-b Le montage de modules photovoltaïques en parallèle

Lorsque des modules sont installés en parallèle, les intensités (ampères) s'additionnent tandis que la tension (voltage) reste la même. Le résultat est donc le contraire d'une connexion en série. Elle se fait généralement entre modules de même tension pour éviter tout risque de surtension ou de court-circuit. Les intensités peuvent varier car elles

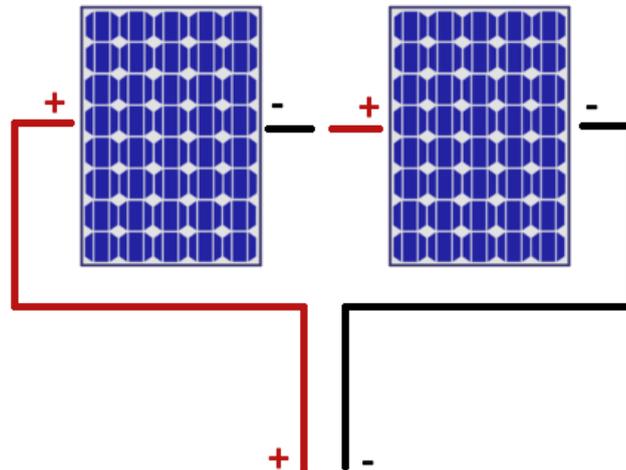


Figure I.11: Branchement de panneaux en série

s'additionnent. Ce type de connexion est utilisé lorsqu'une résistance élevée est requise [12].

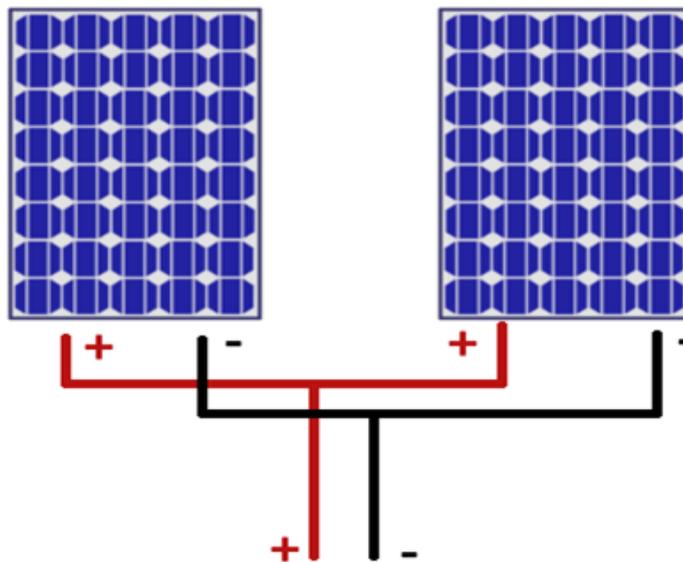


Figure I.12: Branchement de panneaux en parallèle

Pour les connexions parallèles, les bornes positives doivent être connectées ensemble. Il en est de même pour la borne négative. Lors de l'installation d'un système PV dans votre maison, un technicien vous guidera dans le choix du système qui correspond le mieux à vos besoins [12].

I.9.7 Module Photovoltaïque

La tension générée par une cellule étant très faible, pour avoir des tensions compatibles avec des charges à alimenter, il faudra associer en série-parallèle plusieurs cellules [5].

Celles-ci sont encapsulées dans une même structure pour former un module Figure (I.13). L'encapsulation ainsi réalisée va avoir deux rôles principaux [5] :

- Protection des cellules contre les agressions extérieures (chocs, humidité, etc. ...).
- Contrôle de température des cellules qui va permettre une bonne dissipation vers l'extérieur de la partie de l'énergie incidente qui n'est pas transformée en énergie électrique [4].

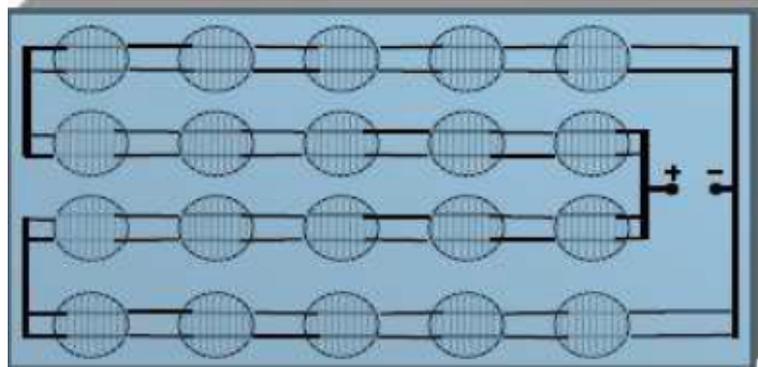


Figure I.13: Module PV en groupement série - parallèle des cellules

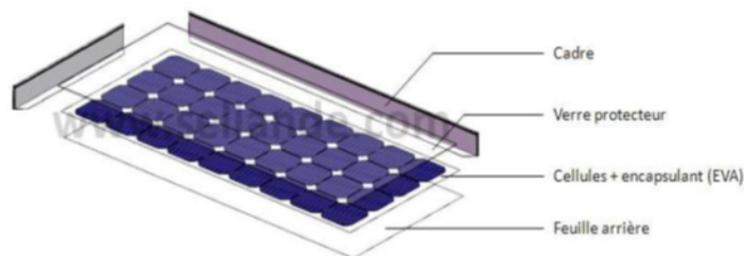


Figure I.14: Représentation d'un Module Photovoltaïque

I.10 Système photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques (solaires) contiennent des semi-conducteurs, tels que le silicium, qui convertit le rayonnement solaire directement en électricité. Contrairement aux sources d'énergie non renouvelables, l'énergie solaire est gratuite, zéro émission et accessible à tous [13].

I.10.1 Composition du système photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques consistent une source d'énergie (générateur photovoltaïque), interface de puissance (convertisseurs statiques DC-DC et DC-AC avec système de contrôle) et la charge [1].

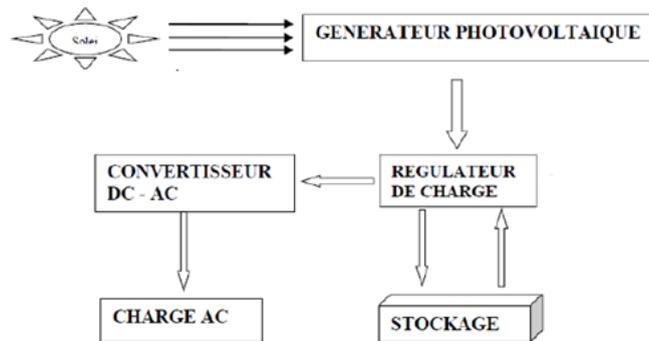


Figure I.15: Systèmes photovoltaïques

I.10.2 Types de systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques peuvent généralement être divisés en deux groupes de base :

- **non autonomes ou grid on:** c'est-à-dire rattachées au réseau de distribution électrique. Dans les systèmes connectés aux réseaux, les consommateurs standards de puissance AC sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur DC/AC). Le surplus d'énergie du générateur photovoltaïque est injecté au réseau public [1].
- **Autonomes ou grid off:** Les installations solaires hors-réseau transforment le rayonnement solaire en électricité sans raccordement au réseau. On a deux cas :
 - **Sans batterie :** Comme leur nom l'indique, elles sont utilisées pour des applications autonomes, qui sont moins coûteuses et plus simples, comme les pompes à eau et les systèmes d'arrosage. Elles ne nécessitent pas de stockage sur batterie car elles sont destinées à un usage spécifique pour une période de temps réduite, et ils sont plus légers et faciles à installer [3].
 - **Avec batterie :** Un système PV autonome produit l'énergie électrique et stocké dans des batteries qui peuvent être utilisées même la nuit, lorsqu'il n'y a pas de lumière du soleil [3].

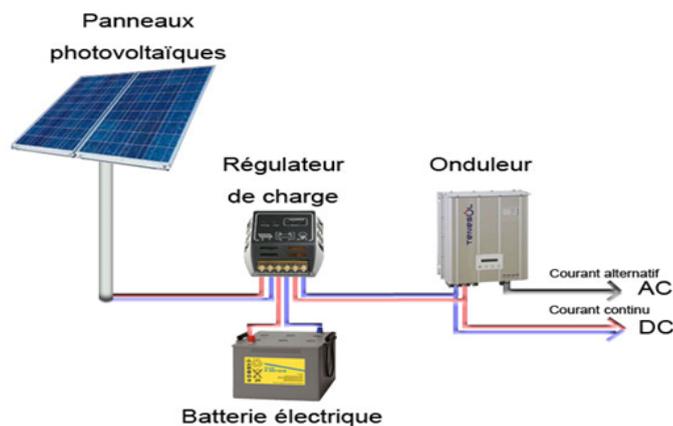


Figure I.16: Schéma d'une installation solaire autonome avec batterie

I.10.3 Les Systèmes hybrides

Les systèmes énergétiques hybrides combinent deux ou plusieurs formes de production d'énergie, ou de stockage, ils peuvent offrir une multitude d'avantages par rapport aux systèmes à source unique, en termes de performance et de réduction des coûts [3].

Les centrales électriques hybrides associent au minimum deux types d'énergie différents. La combinaison de groupes électrogènes diesel et de systèmes d'énergie renouvelable, avec ou sans stockage, est assez courante [3].

I.11 Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

I.11.1 Avantages

- Conversion directe de l'énergie solaire gratuite et inépuisable en électricité [9].
- Absence de bruit, de pollution et d'émissions.
- Maintenance réduite (pas de pièces en mouvement, durée de vie des modules = 20 ans) [14].
- Rentabilité assurée pour les applications de faible puissance (moins de 3–5 kWh/jour).
- Possibilité d'adaptation de la taille de l'installation aux besoins existants, avec possibilité d'extension à la demande, au fur et à mesure que le besoin énergétique augmente.
- Sécurité absolue si l'installation est conforme.
- Le risque de choc électrique est réduit en 12 ou 24 Vcc et le risque d'incendie est moindre qu'avec les groupes électrogènes alimentés au kérosène ou au fuel [14].

I.11.2 Inconvénients

- Le coût initial des systèmes PV est élevé, même si la rentabilité à long terme est assurée. Ils sont donc parfois hors de portée des personnes à faibles revenus [14].
- Dans la plupart des installations, l'électricité doit être stockée dans des batteries. Et ce dernier, requièrent une maintenance régulière, et elle a aussi un durée de vie (environ de 5 ans), Il doit être changé, parce que cela affecte le rendement du système [14].
- Les systèmes PV doivent être conçus et installés par des techniciens car toute erreur de conception ou de réalisation conduirait à créer une diminution du rendement [14].
- Les systèmes PV de forte puissance nécessitent souvent un système d'appoint (autre système de production d'énergie) pour les périodes de forte demande [14].

I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le système photovoltaïque, aussi les types et les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque, et enfin on a parlé des avantages et des inconvénients des systèmes photovoltaïques.

Chapter II

Présentation d'un système PV autonome

SOMMAIRE

II.1 INTRODUCTION	21
II.2 PRINCIPE D'UN SYSTÈME PV	21
II.3 LES ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUES	21
II.3.1 Module PV	22
II.3.2 Champ PV	25
II.3.3 Les batteries d'accumulation	26
II.3.4 Régulateur de charge et décharge	33
II.3.5 Onduleurs de tension	35
II.3.6 Récepteurs et charges	35
II.3.7 Autres composants de base	35
II.4 CONCLUSION	36

II.1 Introduction

La technologie photovoltaïque est utilisée dans plusieurs domaines de différentes manières. Ce mémoire est consacré à l'étude d'un système photovoltaïque autonome installé afin d'assurer le besoin d'énergie électrique de l'école supérieure en sciences appliquées de Tlemcen (ESSAT).

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas assurer grand-chose. Pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à un système complet correspondant à une application bien spécifique. Dans ce chapitre nous décrivons la conception d'un système photovoltaïque et le principe de fonctionnement de chaque élément [15].

II.2 Principe d'un système PV

Un système PV autonome ou isolé est une installation photovoltaïque non reliée à un réseau de distribution (sonelgaz). Le système PV autonome permet de fournir du courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau. Il se révèle particulièrement adapté pour des applications où il n'est pas toujours possible de mettre en place un réseau d'alimentation classique, soit à cause de contraintes techniques, soit pour des raisons économiques.

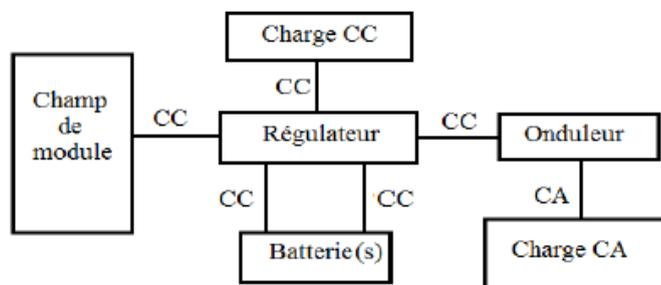


Figure II.1: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome

II.3 Les éléments d'un système photovoltaïques

Les éléments clés d'un système de production d'énergie solaire photovoltaïques sont :

- Modules photovoltaïques
- Onduleurs de tension
- Régulateurs de charge et décharge
- Batteries d'accumulation

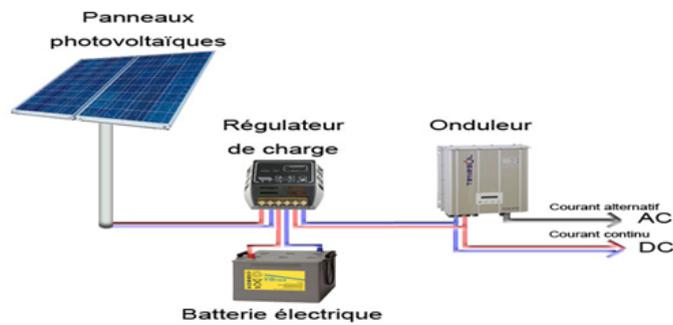


Figure II.2: schéma d'un système photovoltaïque avec stockage

II.3.1 Module PV

II.3.1-a Définition d'un module PV

Le module photovoltaïque est un ensemble de cellules assemblées pour générer une puissance électrique exploitable, lors de son exposition à la lumière.

Un module "classique" contient 36 ou 72 cellules. Mais il existe des modules sur le marché De 40, 54, 60 cellules [TENESOL]. La figure II.3 montre la structure d'un module Photovoltaïque face avant et face arrière contenant 36 cellules [16].

L'association des cellules en modules permet de :

- D'obtenir une tension suffisante
- De protéger les cellules et leurs contacts métalliques de l'ambiance extérieure (humidité,...)
- De protéger mécaniquement les cellules (chocs,...)

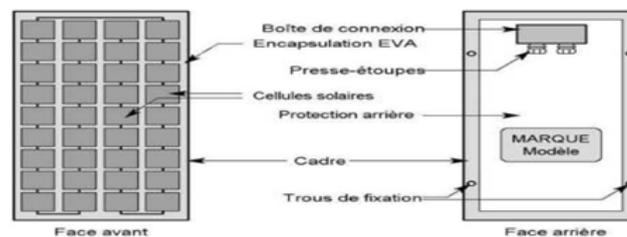


Figure II.3: Structure d'un panneau photovoltaïque face avant et face arrière

II.3.1-b Constitution d'un module PV

Les modules les plus courants sont généralement constitués :

- d'un cadre de support et un joint d'étanchéité (1et2)
- d'une plaque de verre extra claire (favorisant la transmission lumineuse) (3).

- De deux couches d'Ethylène Acétate de Vinyle(EVA) qui enrobent les cellules assurant leur protection contre les intempéries et l'humidité (4).

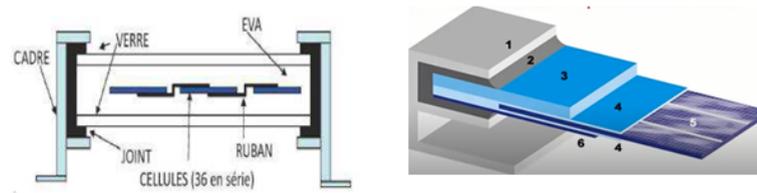


Figure II.4: Encapsulation des cellules

- Des différents strings de cellules (5).
- D'une feuille de TELDAR (ou éventuellement du verre) comme face arrière du module. Ce polymère à haute résistance aux UV et à la haute température assure au module sa résistance mécanique face aux chocs externes (choc, transport,) (6).



Figure II.5: Les différentes couches de panneau solaire

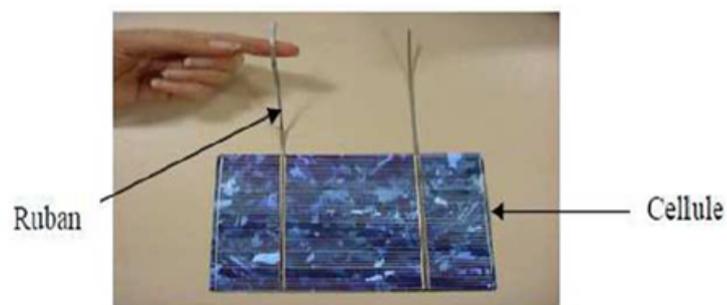


Figure II.6: La constitution d'un module PV

Les cellules sont reliées du contact avant (-) au contact arrière (+) par un fin ruban métallique (cuivre étamé).

II.3.1-c Des cellules au module PV

Afin d'obtenir des modules de puissance élevés, les cellules sont associées en série / parallèle.

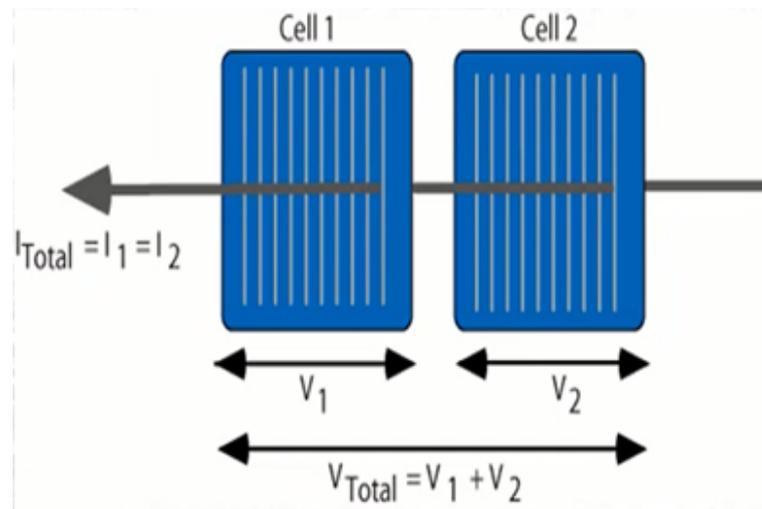


Figure II.7: Une association en série de deux cellules

- a) **Association en série :**

Une association de (N_s) cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultante de groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, un tel regroupement est représenté par la figure.

L'association série permet donc d'accroître la puissance de l'ensemble.

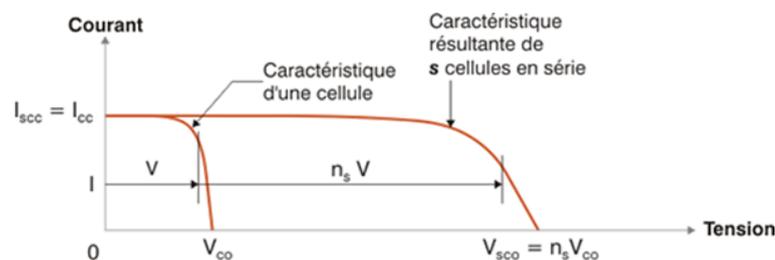
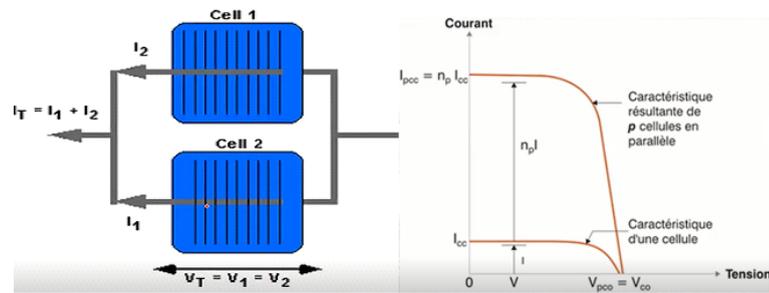


Figure II.8: Caractéristiques I(V) résultante de l'association de modules en série

- b) **Association en parallèle :**

Une association parallèle de (N_p) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créée. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

Figure II.9: Caractéristiques d'un groupement de (N_p) cellules en parallèle

II.3.1-d Protection des modules photovoltaïques

Pour éviter les effets indésirables du phénomène "point chaud" (Hot-spot) connu depuis de nombreuses années, les fabricants ont implantés des diodes dites by-pass dont le principe est de court-circuiter les cellules ombragées.

Les constructeurs des modules implantant généralement entre 2 et 5 diodes by-pass par modules (dans le boîtier de connexion du module). Chacune des diodes by-pass est associée à un sous-réseau des cellules de module. Lorsqu'une des cellules du sous-réseau est ombragée, la diode by-pass devient passante, c'est-à-dire que le courant circule dans la diode en isolant ainsi des circuits électriques le sous-réseau de cellule associé.

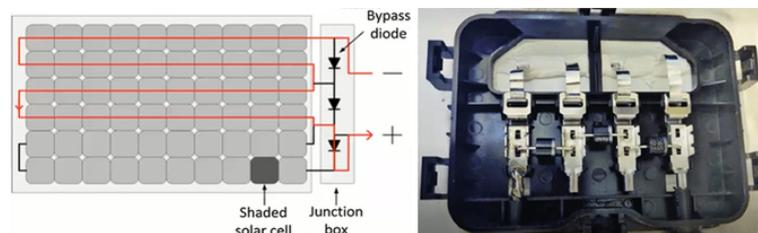


Figure II.10: Protection d'un module de 60 cellules associées en série part trois diodes de by-pass

II.3.2 Champ PV

Pour disposer d'une puissance installée de plusieurs centaines de kilowatts, voire de mégawatts, il est obligatoire d réunir les modules photovoltaïques suivant une architecture connue de l'électricité : c'est l'assemblage série et parallèle. La figure II.11 montre l'architecture série parallèle d'un champ photovoltaïque

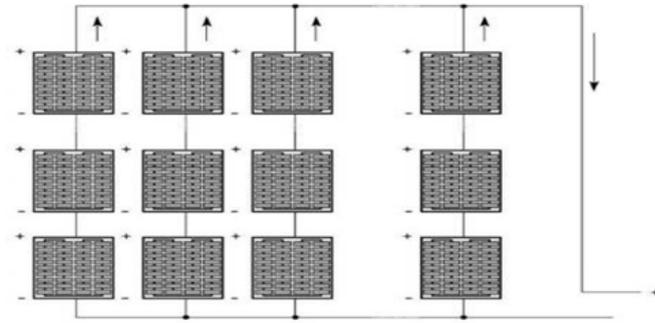


Figure II.11: Exemple de structure de champ photovoltaïque

II.3.3 Les batteries d'accumulation

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes

II.3.3-a Définition

Une batterie est un ensemble d'accumulateurs électriques destinés à stocker de l'énergie et à la restituer ultérieurement. Elle est de type électrochimique et fonctionne grâce aux réactions électrochimiques, Ces réactions sont activées au sein d'une cellule élémentaire entre deux électrodes baignant dans un électrolyte lorsqu'une résistance R y a donc une conversion de l'énergie chimique en énergie électrique. En général, les batteries de stockage



Figure II.12: Chambre des batteries

électriques peuvent être divisées en deux grandes catégories, primaires et batteries secondaires.

Batteries primaires, Ce type sont ceux qui, une fois consommés, doivent être jetés ou recyclés. Et c'est que la réaction chimique sur laquelle soutient ce courant électrique est complètement irréversible. Cela rend la batterie incapable de se recharger. Ils sont principalement utilisés dans des applications où il n'est pas pratique de recharger l'énergie électrique [17].

Batteries secondaire, Contrairement aux primaires, ce type peut être recharge une fois qu'ils sont à court d'énergie. En effet, les réactions chimiques qui se produisent en leur sein sont totalement réversibles. Une certaine tension peut être appliquée pour provoquer à nouveau une sorte de produit qui transforme à nouveau le réactif. De cette façon, la réaction chimique commence.

II.3.3-b Les différents types de batteries

Les types de batteries couramment utilisés dans les systèmes photovoltaïques sont :

1. La batterie à l'Acide-Plomb :

Les batteries de type acide-plomb sont les plus courantes dans les systèmes PV, car ils sont bon marché, fiables et ont une densité de stockage d'énergie relativement bonne.

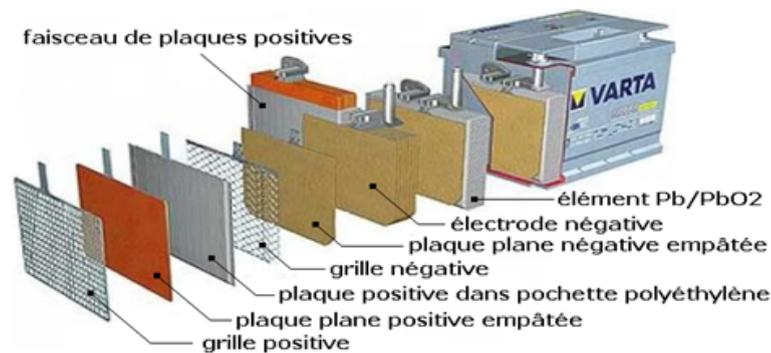


Figure II.13: Structure d'une batterie acide-plomb classique

- (a) **Principe de fonctionnement d'une batterie plomb acide : A la décharge**, les deux polarités se sulfatent, l'électrolyte est consommé (les ions SO_4^{2-} vont sur les électrodes). L'oxygène libéré par l'électrode positive s'unit aux ions H^+ en solution pour former de l'eau. Si la décharge est totale, l'électrolyte ne sera plus composé que d'eau.

Lors de la décharge, des cristaux de sulfate de plomb se déposent sur les deux électrodes :

A l'électrode positive,

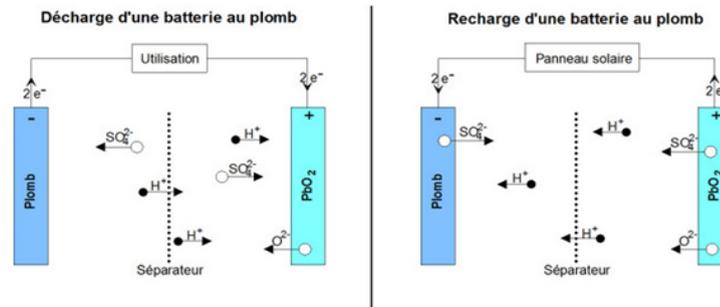
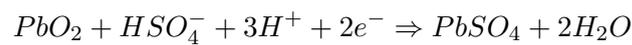
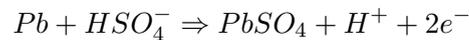


Figure II.14: La procédure de la décharger et la recharge d'une batterie au plomb

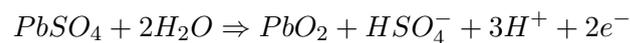


A l'électrode négative,

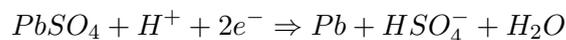


A la recharge, les deux polarités se désulfatent, l'électrolyte est régénéré (mise en solution d'ions SO_4^{2-}). La plaque positive est peroxydée (formation de PbO_2) et des ions sont libérés (augmentation de la concentration H^+ de l'électrolyte).

Lors de la charge, à l'électrode positive, les ions Pb^{2+} du sulfate de plomb sont oxydés en dioxyde de plomb PbO_2 .



A l'électrode négative, le sulfate de plomb est réduit en plomb métal.



[19]

2. La batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd) :

Les batteries nickel-cadmium ont une large gamme de capacité, ce qui facilite la sélection en fonction du temps de décharge et de la tension de fin de décharge. La construction robuste et la généreuse réserve d'électrolyte permettent à la batterie de résister à de grandes variations de température dans le comportement de cyclage stationnaire au cours de sa durée de vie de plus de 20 ans. Construit avec une future plaque de nickel-cadmium, il est totalement fiable, sans risque d'emballement thermique ou de mort subite.

Fonctionnant généralement entre $-40^\circ C$ et $+60^\circ C$, ils peuvent tolérer des températures extrêmes de $-50^\circ C$ à $70^\circ C$ pendant de courtes périodes [18].

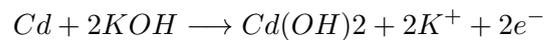


Figure II.15: Une batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd)

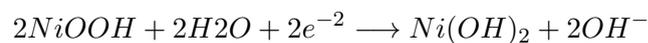
Son fonctionnement est basé sur les deux phénomènes de la charge et de la décharge selon les réactions chimiques suivantes :

Processus de décharge :

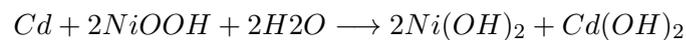
Anode (-):



Cathode (+):

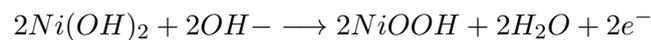


Cellule:

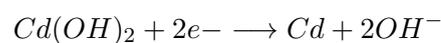


Processus de charge :

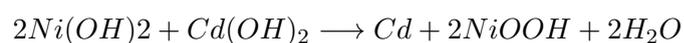
Anode:



Cathode:



Cellule :



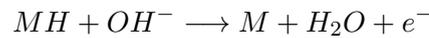
Durant la charge, l'électrolyse du H_2O est en compétition avec les réactions primaires.

3. La batterie Nickel-Métal-Hydrure (Ni-MH) :

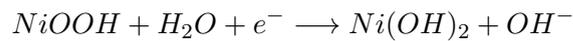
Afin de surmonter les limitations en capacité des batteries Ni-Cd, des recherches sur un nouveau couple Ni-MH ont commencé en 1967, en remplaçant le Cadmium de l'électrode négative par un composé intermétallique hydratatable (MH). Les deux électrodes sont isolées électriquement l'une de l'autre par séparateur afin d'éviter la mise en court-circuit du système. L'électrolyte utilisé est le même que pour le Ni-Cd.

Processus de décharge :

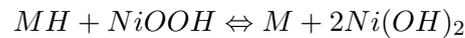
Anode:



Cathode :

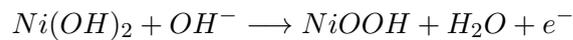


Cellule :

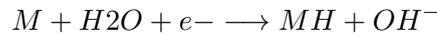


Processus de charge :

Anode:



Cathode:



Cellule :



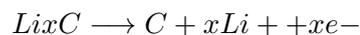
Cependant, l'instabilité et l'incertitude sur le nombre de cycle du Ni-MH rencontrée à ses débuts, ont conduit les scientifiques à développer une batterie pressurisée nickel-hydrogène ($Ni - H_2$) à la place.

4. La batterie lithium-ion (Li-Ion) :

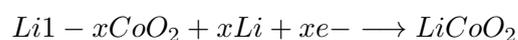
Une batterie est composée de plusieurs piles individuelles connectées les unes aux autres. A son tour, chaque pile comprend trois éléments principaux : une électrode positive (une cathode), une électrode négative (une anode) et un électrolyte liquide. Afin de mieux comprendre l'électrochimie d'un accumulateur Li-Ion, on suit les deux Réactions chimiques de la décharge et de la charge suivantes :

Processus de décharge :

Anode:



Cathode:



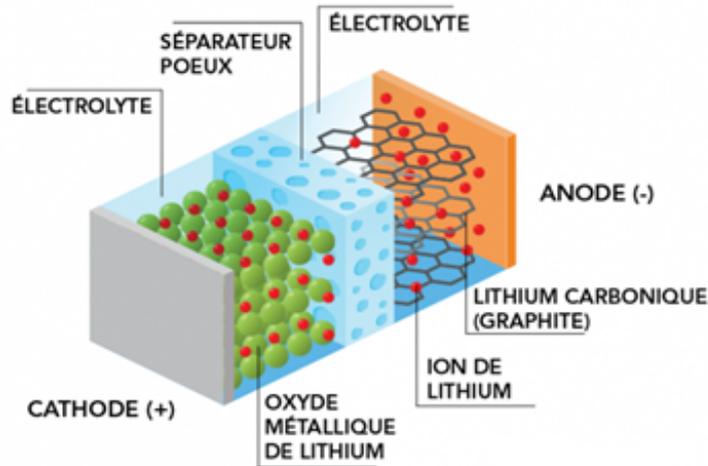


Figure II.16: Composant d'une batterie lithium-ion (Li-Ion)

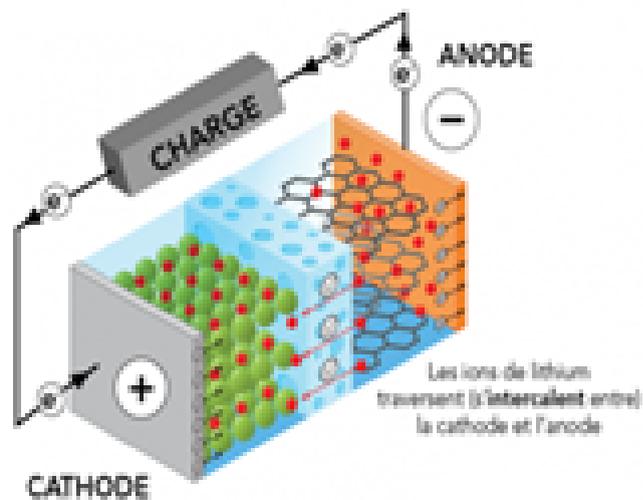


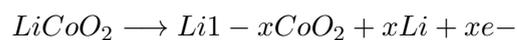
Figure II.17: Décharge

Cellule:



Processus de charge :

Anode:



Cathode:



Cellule:



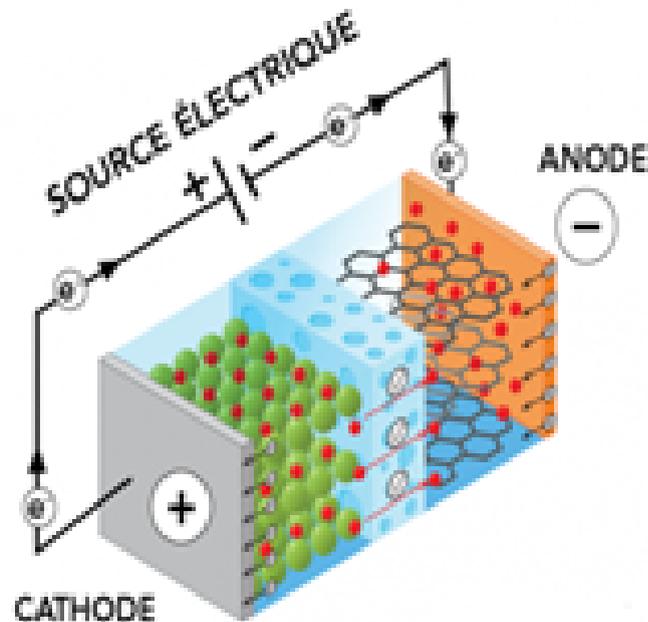


Figure II.18: Charge

II.3.3-c Définir la capacité de stockage des batteries solaires

La première question à se poser est la question de la capacité de stockage d'énergie solaire ou éolienne, dont vous avez besoin.

La capacité d'une batterie solaire est exprimée en Ampères Heure (Ah) ce qui désigne le débit totale d'énergie de la batterie dans des conditions données (10 heures, 20 heures, ...)

Avec un régulateur solaire (qui se branche entre les panneaux solaires et la batterie), vous réglez la charge de la batterie, qui ne doit pas dépasser 90 %, ni ne doit descendre sous les 40 %, car une surcharge comme une décharge trop profonde endommage ces batteries et diminue leur durée de vie.

Donc, si nous reprenons notre exemple, une batterie 100 Ah ? 12V, pourra se décharger au mieux de 60Ah ($60\% \times 100Ah$). Cela représente par rapport à votre besoin quotidien en énergie $60Ah \times 12V = 720Wh$.

II.3.3-d Capacité et durée de vie de la batterie

Une installation photovoltaïque autonome comporte une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie produites par les panneaux photovoltaïques. Ces batteries spécifiques sont appelées "batterie à décharge lente" (ou pour simplifier batterie solaire).

Ces batteries sont conçues pour restituer un courant stable pendant de longues périodes

en conservant leurs aptitudes à la recharge, et ceci à un grand nombre de reprises (cycles), on parle de batteries stationnaires ou à décharge lente.

Une batterie solaire comporte des électrodes positives et négatives composées d'alliages dissemblables plongées dans un électrolyte (acide). L'ensemble est encapsulé dans un bac scellé ou muni d'un bouchon de remplissage et d'un évent. Les réactions d'oxydoréduction, qui gouvernent le fonctionnement d'une batterie sont réversibles, dans la mesure où celle-ci n'a pas été longtemps ni complètement déchargée, ni trop surchargée. Un fonctionnement prolongé dans l'un ou l'autre de ces états aboutirait à la destruction des capacités de la batterie.

Il existe des batteries solaires fonctionnant en 2 Volts, 6 Volts ou 12 Volts (tension nominale), dont la capacité (en Ampères heure) est inversement proportionnelle à la tension : les batteries ayant la capacité de stockage la plus élevée sont les batteries 2V.

Ces batteries sont différenciées par la géométrie des plaques positives (planes ou tubulaires) et par la forme de l'électrolyte (liquide, gel) [20].

II.3.4 Régulateur de charge et décharge

Le régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

On trouve sur les installations plusieurs technologies de contrôleur de charge :

- Régulation tout ou rien (TOR) par coupure électromécanique. Ce type de régulateur n'est plus commercialisé et est amené à disparaître.
- Régulation MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) avec deux types de couplage sur la batterie.
- Couplage par adaptateur d'impédance appelé régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Dans un système PV, en l'absence d'un régulateur, les accumulateurs seront exposés à une perte d'eau donc un vieillissement prématuré et à la sulfatation des plaques.

Le régulateur dans un système photovoltaïque peut assurer aussi le rôle de la compensation thermique. Il est situé entre le champ de modules et les batteries accumulateurs.

II.3.4-a Régulateur " tout ou rien "

Lorsque le module photovoltaïque est Branché aux bornes d'une batterie, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection entre les deux caractéristiques courant-tension ; Par conséquent, afin d'éviter d'endommager la batterie par dépassement de sa tension maximale admissible, il convient de déconnecter le module photovoltaïque. C'est ainsi que fonctionne le régulateur "tout ou rien" lors de la charge des batteries : soit il



Figure II.19: Régulateur de charge

connecte le champ photovoltaïque au parc de batteries, soit il le coupe lorsque la tension devient trop importante.

II.3.4-b Régulateur MLI

Le régulateur MLI a été conçu, vers la fin des années 1990, afin de lever l'inconvénient majeur des régulateurs "tout ou rien" vis-à-vis de la fin de charge. Sa valeur ajoutée est donc une fin de charge optimale avec un état de charge de 100 % (au lieu de 75 % pour le régulateur "tout ou rien").

En début de charge, le régulateur MLI fonctionne comme le régulateur "tout-ou-rien".

En fin de charge (à partir d'un état de charge de l'ordre de 70 %), Le régulateur MLI est un hacheur qui abaisse la tension du champ photovoltaïque afin que celle-ci soit supportable par le parc de batteries.

II.3.4-c Régulateur PPM

C'est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. Dans ce régulateur, un circuit mesure en permanence la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale. Ceci permet de garantir une récupération maximal d'énergie, quelque soient la température et l'ensoleillement. Ces régulateurs fonctionnent soit en élevant, soit en réduisant la tension. Un premier circuit ajuste la demande au point de puissance maximale de l'ensemble des panneaux et le deuxième circuit transforme le courant et la tension pour les adapter au type de batterie. Le régulateur MPPT coûte en général beaucoup plus cher qu'un régulateur standard. C'est pour cette raison que son utilisation n'est pas généralisée, et qu'il n'est pas recommandé pour les petites installations (les pertes ne sont pas assez importantes).

II.3.5 Onduleurs de tension

La tension produite par les modules photovoltaïques est continue et celle fournie par les batteries pour l'alimentation des charges est aussi de nature continue. Dans ces conditions, il faudra intégrer forcément un onduleur au système PV pour alimenter des charges alternatives. L'onduleur est un convertisseur DC/AC, c'est-à-dire convertir la sortie continue (DC) du champ de module ou des batteries en électricité alternative (AC) standards comme celle fournie par SONELGAZ

II.3.6 Récepteurs et charges

Les récepteurs ou charges (utilisation) font partie du système PV. Leurs tensions d'usage et leurs puissances déterminent les caractéristiques des éléments du système. Il doit être soigneusement choisi et étudié. Lorsque c'est possible, il faut choisir les récepteurs de grand rendement. Après le choix des charges à alimenter par notre mini-centrale PV, nous relèverons leur caractéristiques qui nous permettront de déterminer la puissance à installer.

II.3.7 Autres composants de base

II.3.7-a La protection contre la foudre

La foudre est un phénomène que l'on ne peut -bien sur- empêcher de se produire, engendrant ainsi un champ électromagnétique perturbateur.

La foudre génère donc des surtensions pouvant se propager par :

- conduction (lignes électriques aériennes ou remontée de potentiel de terre)
- rayonnement (couplage électromagnétique).

La protection des modules photovoltaïques et de l'onduleur doit être réalisée en respectant les quatre principes de base suivants :

- Canaliser le courant de foudre vers la terre par le trajet le plus direct
- Réaliser d'un réseau équipotentiel reliant toutes les masses des modules [section mini $6mm^2$]
- Réduire les surfaces de boucle de masse (règles de câblage...)
- Limiter l'onde de surtension par un (ou des) parafoudre

En effet, pour réduire les surtensions induites par la foudre, la surface de boucle doit être aussi faible que possible lors de l'interconnexion des modules photovoltaïques, mais aussi entre chaque câble DC et le conducteur d'équipotentialité.

Cette règle est à respecter tant pour le champ photovoltaïque que pour le cheminement des câbles jusqu'aux appareils de protection (coffrets DC et AC) et l'onduleur.

Les câbles doivent pour cela cheminer le plus près possible les uns des autres. Dans l'exemple de 6 modules en série ci-contre, on voit clairement que la liaison entre les modules

3 et 4 ne s'effectue pas par le chemin le plus court, mais par le chemin induisant la surface de boucle la plus faible [21].

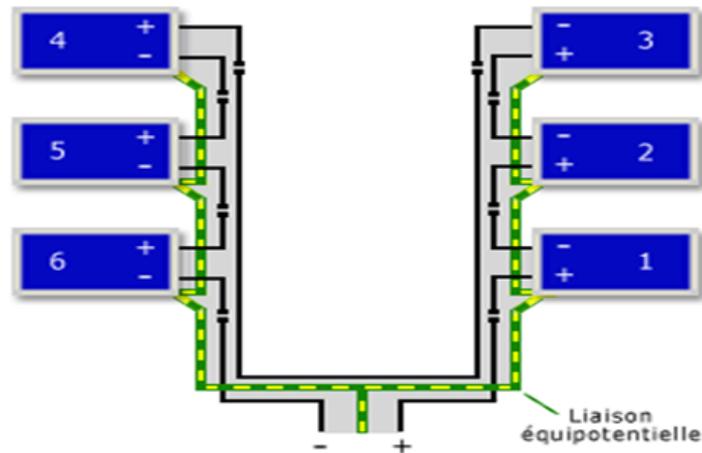


Figure II.20: Exemple de câblage correct pour la protection contre la foudre

II.3.7-b Fusibles et disjoncteurs

Une distribution électrique à partir d'énergie solaire demande les mêmes protections que pour un réseau classique. Cependant, les protections coté DC sont particulières car le courant continu (qui ne passe pas par 0 à chaque alternance) est plus difficile à interrompre si un arc ce produit. En 12 VDC, le danger d'arc est assez faible mais dès 24 V, avec un régulateur série, les panneaux seront parfois en tension ouverte à plus de 40 V et un arc peut se produire si deux câbles sont mal isolés ou si une connexion se détériore avec le temps. Dans les systèmes à tension continue de plus de 100 V, un mauvais choix dans les équipements de protections a été la cause de plusieurs incendies.

Dans un système autonome, le risque principal est la forte densité d'énergie présente dans une batterie qui peut fournir plus de 100A si les câbles ne fondent pas. Il est impératif de toujours ajouter un fusible sur la borne non à la terre de la batterie. Dans le choix d'un disjoncteur ou d'un fusible, il faut s'assurer que la valeur du courant et de la tension nominale est valable en tension continu. Pour les grands systèmes à tension DC élevée, le matériel le plus adéquat est celui utilisé dans les transports pour l'équipement de tramway, trolleybus et train.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une présentation générale des systèmes photovoltaïques, ainsi que les éléments constituant ce système pour finir après avec les différents systèmes photovoltaïques

Chapter III

Etude de l'alimentation autonome de l'ESSAT

SOMMAIRE

III.1 INTRODUCTION	38
III.2 LE PROCESSUS DE DIMENSIONNEMENT	38
III.2.1 détermination des besoins électriques	38
III.2.2 Dimensionnement de champ photovoltaïque	39
III.2.3 Dimensionnement du parc des batteries	48
III.2.4 Choix et dimensionnement du régulateur	52
III.2.5 Choix et dimensions de l'onduleur	53
III.2.6 Dimensionnement des câbles	54
III.3 SIMULATION NUMÉRIQUE	57
III.3.1 Présentation du logiciel PVSYST	57
III.3.2 Interprétation des résultats obtenus	67
III.4 SIMULATION DU PLAN ARCHITECTURAL	68
III.5 ETUDE DE RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE	68
III.5.1 Tableaux de l'étude technico-économique des systèmes PV	69
III.5.2 Estimation du cout de système d'appoint (group électrogène)	69
III.5.3 Le cout de nôtre consommation d'énergie électrique (réseau SONELGAZ)	70
III.6 DISCUSSION DES RÉSULTATS	70
III.7 CONCLUSION	70

III.1 Introduction

Dimensionner un système PV c'est déterminer en fonction de sollicitations telles que l'ensoleillement et le profil de charge, l'ensemble des éléments de la chaîne PV, à savoir, la taille du générateur, la capacité de stockage, voir l'inclinaison des modules et le dimensionnement des différents convertisseurs.

Dans ce chapitre est présentée en détaillé la conception d'une installation photovoltaïques autonome par deux méthodes, une méthode analytique qui nous permet de dimensionner tous les éléments de notre système (modules PV, batteries, régulateurs, onduleurs, câblage), en suivant une méthode simple et claire, une méthode basée sur le logiciel PVsyst 7.2.

L'objectif générale est d'alimenter l'école ESSAT de manière autonome, à partir de l'énergie solaire en utilisant des systèmes photovoltaïques.

III.2 Le processus de dimensionnement

Il faut absolument faire un plan de l'installation avant d'installer les équipements photovoltaïques. Sinon, les équipements risquent d'être inadaptés et moins efficaces.

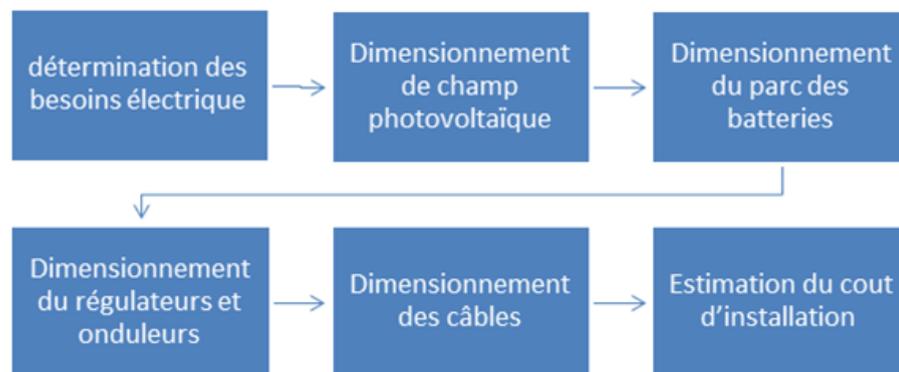


Figure III.1: Les étapes de dimensionnement d'une installation solaires photovoltaïques non raccordée au réseau

III.2.1 détermination des besoins électriques

Cette étape est très importante pour assurer un bon dimensionnement et éviter le problème de surdimensionnement. Dans notre cas d'étude on a utilisé des données mensuelles du besoin énergétique l'ESSAT extraite des factures d'électricités pour l'année 2019/2020

Table III.1: L'énergie consommée par mois en [kWh]

Mois	Consommation en [kWh/mois]
Janvier	13813
Février	14477
Mars	11754
Avril	10368
Mai	8353
Juin	9873
Juillet	11298
Aout	6618
Septembre	8669
Octobre	10958
Novembre	13317
Décembre	14111

D'après ces données, on obtient :

- Consommation énergétique annuelle : 133609 kWh/ans
- Consommation énergétique moyenne par mois : 11134 kWh/mois
- Consommation journalière moyenne : 371.13 kWh/jour

III.2.2 Dimensionnement de champ photovoltaïque

Après l'estimation des besoins mensuels on peut maintenant passer à la deuxième étape qui est très importante "le dimensionnement de champ photovoltaïque".

Pour que le dimensionnement de champ photovoltaïque soit exact et correct il faut suivre la règle de dimensionnement suivante :

L'énergie électrique journalière produite par le champ photovoltaïque (E_{elec}) doit être au minimum égale à l'énergie journalière consommée par les appareils électriques (E_{besoin}).

$$E_{elec} \geq E_{besoin}$$

Ne pas respecter cette règle signifie qu'on consomme plus d'énergie qu'on en produit : l'installation photovoltaïque est décadente.

On peut calculer l'énergie électrique par la formule suivante :

$$E_{elec} = \frac{P_c}{P_i} \times E_i \times PR \quad (III.1)$$

Avec :

E_i : est l'irradiation solaire journalière, exprimée en $KWh/m^2/jour$, reçue par le champ photovoltaïque.

E_{elec} : est l'énergie électrique journalière potentiellement produite par l'installation photovoltaïque, exprimée en $KWh/jour$.

P_c : est la puissance crête du champ photovoltaïque.

P_i : est la puissance radiative dans les conditions standards de test (conditions STC), exprime en KW/m^2 . Donc $P_i = 1KW/m^2$.

E_i : est l'irradiation solaire journalière reçue par une surface unitaire ($1m^2$) du champ photovoltaïque, en prenant en compte l'orientation et l'inclinaison de celui-ci

PR : est le ratio de performance de l'installation photovoltaïque.

Ainsi, la règle se formalise mathématiquement par :

$$\frac{P_c}{P_i} \times E_i \times PR \geq E_{besoin} \quad (III.2)$$

Notre objectif étant de calculer la puissance crête P_c de l'installation photovoltaïque, nous exprimons P_c en fonction des autres paramètres :

$$P_c \geq \frac{E_{besoin} \times P_i}{E_i \times PR} \quad (III.3)$$

III.2.2-a Evaluation du gisement solaire

Le gisement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire disponible, dépend de trois facteurs, la localisation, l'inclinaison et l'orientation du champ photovoltaïque.

1. Orientation :

Il est très important de bien placer les modules photovoltaïques, car leur orientation influe directement sur leur production énergétique.

En Algérie, la meilleur orientation possible est l'orientation vers le sud afin de capter un maximum de rayonnement solaire tout-au-long d'une journée.

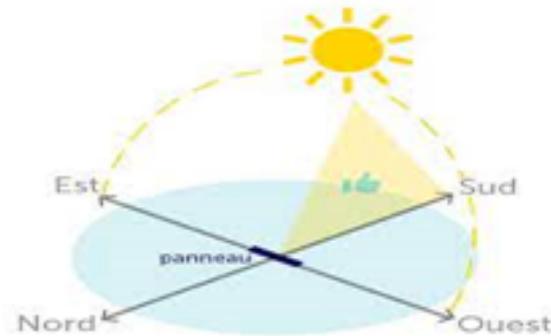


Figure III.2: Orientation du panneau

L'orientation sud est la plus exposée au rayonnement solaire

2. Inclinaison optimale :

Dans une installation solaire autonome, l'inclinaison du champ photovoltaïque est un paramètre très important qui doit être défini de façon subtile en adéquation avec les besoins.

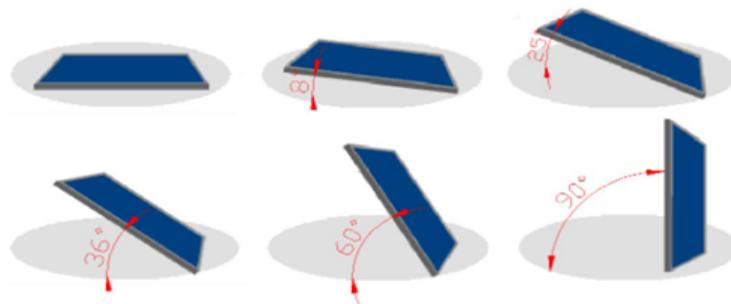


Figure III.3: Différentes inclinaisons du panneau

L'inclinaison correspond à la pente du module par rapport à l'horizontale.

Pour maximiser l'irradiation solaire reçue en hiver et lorsque l'orientation est plein sud, l'inclinaison optimale doit être calculée par la formule suivante :

$$\text{latitude de lieu} + 10^\circ$$

Mais dans notre cas d'étude, on va installer des panneaux fixes donc on ne peut pas varier l'angle d'inclinaison en fonction de l'irradiation. Pour cette raison, on a choisi l'angle optimale qui est égale à la latitude de notre site qui est 35° .

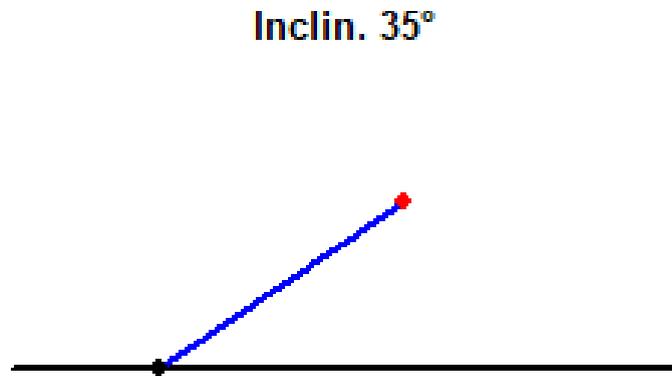


Figure III.4: Inclinaison optimale

3. Localisation :

Dans le cadre de notre étude, Le lieu est L'école supérieure des sciences appliquées de Tlemcen (ESSAT) qui se situe à Bel-Horizon - Wilaya de Tlemcen.



Figure III.5: Localisation de l'ESSAT vision Satellite

Table III.2: les cordones de l'école

Latitude	Longitude	Altitude	Fus horaire
34.88 No	-1.33 Wo	811 m	UTC+1

4. Détermination du gisement solaire :

Les 3 données précédentes vont nous permettre de déterminer le gisement solaire du site. Pour ce faire, nous utilisons les données du logiciel métronome. Après avoir déterminé la localisation (Tlemcen) ainsi que l'inclinaison et l'orientation, nous obtenons les valeurs de rayonnement solaire suivantes :

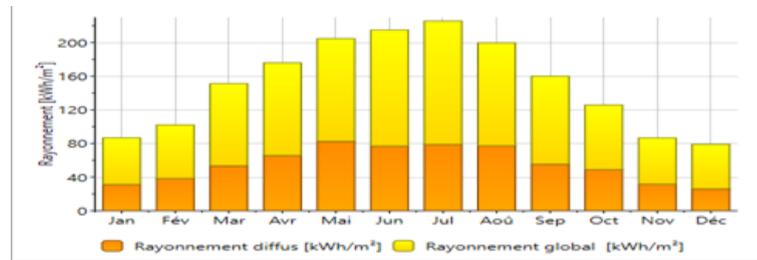


Figure III.6: Profil standard du rayonnement solaire (localisation : Tlemcen) obtenu par le logiciel métronome

Pour plus de précision, on utilise le site PVWatts Calculator (nrel.gov) pour se procurer les données récentes et fiables (localisation : Tlemcen) exprimées en $kWh/m^2/jour$.

Month	Solar Radiation ($kWh / m^2 / day$)
January	3.63
February	4.13
March	4.81
April	5.39
May	5.93
June	6.25
July	6.24
August	6.06
September	5.07
October	4.50
November	3.79
December	3.35
Annual	4.93

Figure III.7: L'irradiation moyenne par mois

III.2.2-b Calcul de la puissance crête du champ PV

à partir des calculs des données de consommation quotidienne et de rayonnement solaire, nous pouvons utiliser la formule III.3 pour calculer la puissance crête nécessaire au bon fonctionnement de notre système PV, mois par mois.

- **Calcul de ration de performance PR :**

Le PR est un coefficient qui permet de quantifier les pertes intrinsèques de l'installation électrique, Le PR est donc un nombre entre 0 et 1. Plus il est proche de 1, plus l'installation est performante d'un point de vue électrique.

Il existe deux paramètres qui influent sur le choix de PR, la présence ou non d'un dispositif MPPT et le mode d'intégration. Nous pouvons utiliser le tableau suivant pour choisir le PR de notre installation :

Table III.3: Les valeurs de PR en fonction de types de ventilation et la présence de MPPT

	Ration de performance	
	Absence de MPPT	Présence de MPPT
Modules très peu ventilés	0.55	0.6
Modules peu ventilés	0.60	0.65
Modules ventilés	0.65	0.70
Modules bien ventilés	0.70	0.75

Dans notre cas, les modules seront posés sur châssis, nous considérons que le champ photovoltaïque sera bien ventilé. Donc, nous évaluons la ration performance PR = 0.75

Nous effectuons donc les calculs mois par mois, qui sont donnés dans le tableau suivant :

Mois de l'année	Calcul de puissance crête nécessaire
janvier	$P_c = \frac{445.6 \times 1}{3.63 \times 0.75} = 163.7 \text{ KWc}$
février	$P_c = \frac{517.03 \times 1}{4.13 \times 0.75} = 167 \text{ KWc}$
mars	$P_c = \frac{379.16 \times 1}{4.81 \times 0.75} = 93.8 \text{ KWc}$
avril	$P_c = \frac{345.6 \times 1}{5.39 \times 0.75} = 85.5 \text{ KWc}$
Mai	$P_c = \frac{269.45 \times 1}{5.93 \times 0.75} = 60.6 \text{ KWc}$
Juin	$P_c = \frac{329.1 \times 1}{6.25 \times 0.75} = 70.2 \text{ KWc}$
juillet	$P_c = \frac{364.45 \times 1}{6.24 \times 0.75} = 76 \text{ KWc}$
aout	$P_c = \frac{213.48 \times 1}{6.06 \times 0.75} = 47 \text{ KWc}$
septembre	$P_c = \frac{228.96 \times 1}{5.07 \times 0.75} = 60.2 \text{ KWc}$
octobre	$P_c = \frac{353.48 \times 1}{4.5 \times 0.75} = 104.7 \text{ KWc}$
novembre	$P_c = \frac{443.9 \times 1}{3.79 \times 0.75} = 156.2 \text{ KWc}$
décembre	$P_c = \frac{455.19 \times 1}{3.35 \times 0.75} = 181.2 \text{ KWc}$

Figure III.8: Calcul de la puissance crête nécessaire, mois par mois

On constate qu'une puissance de 104.7 kWc est largement suffisante pour assurer les besoins électriques pendant les moins de mars à octobre (66,66 %), mais pour garantir un approvisionnement en énergie électrique correspondant à la demande journalière de l'école tout au long de l'année, il faut installer un champ photovoltaïque avec une puissance crête supérieur ou égale à 181.2 kWc, une telle puissance est surdimensionnée pour le reste de l'année.

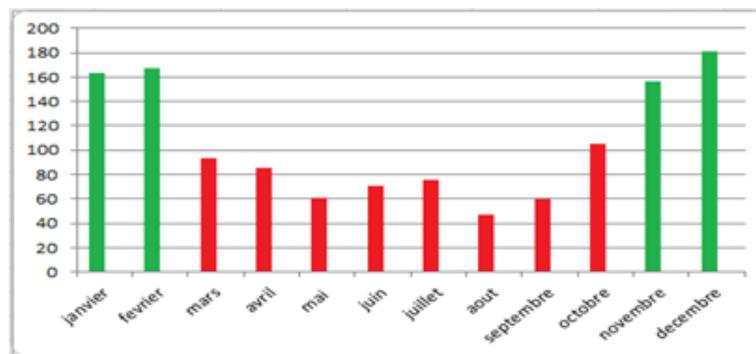


Figure III.9: L'irradiation moyenne par jour

Pour éviter le problème de surdimensionnement nous suggérons :

- D'installer un champ photovoltaïque avec une puissance crête de 105 kWc afin d'assurer les besoins électriques pendant la période de mars à octobre.
- Ajouter un groupe électrogène comme une source d'appoint pour le reste des mois (de novembre à février).

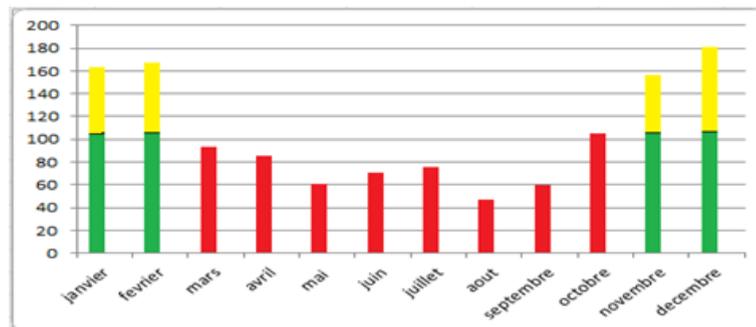


Figure III.10: Diagramme de la puissance crête mois par mois avec groupe électrogène

La partie jaune montre les besoins électriques couverts par le groupe électrogène.

Il existe une autre solution pour limiter la perte d'énergie causée par le surdimensionnement de champ photovoltaïque :

Ajouter deux compteurs intelligents, le premier compteur est installé à la suite de l'onduleur. Il calcule l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques. Il est suivi du compteur de vente qui détermine la quantité d'électricité non consommée

et injectée dans le réseau.

Cette solution nous permet de compenser les pertes résultant de le surdimensionnement en vendant l'électricité excédentaire. Cependant, cette solution ne peut être en uvre pour plusieurs raison liées à la politique des entreprises productrices et distributrices d'électricité en Algérie.

Pour notre étude, nous avons choisit d'ajouter un groupe électrogène afin de réduire le cout du projet.

- **La tension de système photovoltaïque :**

Elle est choisie en fonction de la puissance crête :

Table III.4: Tension de service en fonction de la puissance crête

Puissance crête KWc	0 – 0.5	0.5 – 2	2 – 10	> 10
tension V	12	24	48	> 48

Dans notre cas d'étude la puissance crête est supérieure à 10 KWc, Nous prendrons donc une tension supérieure à 48 V.

III.2.2-c Dimensions des modules PV

Cette opération consiste à calculer le nombre de module PV pour que l'on devra posséder pour couvrir les besoins de l'école en électricité :

Dans cette étude on a choisi le module JINKOSOLAR JKM410M-72H qui comportent 72 cellules photovoltaïques de type monocristallin, ces caractéristiques électriques résumé dans le tableau ci-dessous :

Table III.5: Les caractéristiques de panneau solaire

La puissance crête (Wc)	$I_{cc}(A)$	$V_{co}(V)$	$I_{mpp}(A)$	$V_{mpp}(V)$
410	10.6	50.4	9.690	42.30

A partir de la puissance crête, on peut calculer le nombre de module photovoltaïques par la formule suivante :

$$N_{tot} = \frac{P_c}{P_u} \quad (III.4)$$

Avec :

P_c : la puissance crête en KWc

P_u : la puissance crête unitaire d'un panneau

N_{tot} : le nombre total de panneaux solaires

Donc :

$$N_{tot} = \frac{105000}{410} = 256.09 \simeq 257 \text{ Modules}$$

Assemblage de panneaux :

• **Modules connectés en série :**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n} \quad (\text{III.5})$$

Avec:

V_{ch} : tension total du champ (on prend la tension de 144V pour que le champ PV délivre une tension compatible avec le matériel utilise)

V_n : la tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque.

Donc :

$$N_s = \frac{144}{36} = 4$$

• **modules connectés en parallèles :**

$$N_p = \frac{N_{tot}}{N_s} \quad (\text{III.6})$$

Avec :

N_{tot} : nombre total de panneaux photovoltaïque

N_s : nombre de panneaux connectés en série

$$N_p = \frac{257}{4} = 64.25 \simeq 65$$

il faut prendre en considération les différentes pertes dues aux matériels du système, le rendement de l'onduleur et du régulateur est généralement de 98 %. Donc, il faut ajouter une puissance de:

$$105000 \times 0,04 = 4200W_c$$

Donc, il faut ajouter 11 modules pour compenser ces pertes.

Le nombre total de panneaux 268.

Le courant total fourni par les panneaux solaires calculé par la formule suivante :

$$I_{tot} = N_p \times I_{mpp} = 67 \times 9.69 = 649.23A$$

Ce courant est très élevé et ne peut être supporté par un seul régulateur. Pour adapter ce courant aux matériels existant, nous allons diviser notre système en sous générateurs qui délivreront un courant moins important.

Donc, on opte à diviser le champ PV en 9 sous générateurs. On aura donc 9 sous générateurs de 28 panneaux, 4 en série et 7 en parallèle avec les caractéristiques suivantes :

- tension $V_{pv} = 231.84V$
- courant $I_{pv} = 85.33A$
- $P_c = 11480W_c$

Et le 10^{ème} sous générateurs de 12 panneaux, 4 en série et 3 en parallèle avec les caractéristiques suivantes :

- tension $V_{pv} = 231.84V$
- courant $I_{pv} = 36.57A$
- $P_c = 4920W_c$

III.2.3 Dimensionnement du parc des batteries

Le choix de la batterie est un facteur très important pour le fonctionnement total du système, car toute l'énergie produite et retirée doit passer par les batteries. Les principaux facteurs qui influencent la durée de vie des batteries sont la décharge profonde, la surcharge, le faible niveau d'électrolyte et la température élevée de la batterie.

Le choix des batteries dans le système photovoltaïque se fait selon les deux critères les plus importants : la tension (en V) et la capacité de la batterie (en Ah)

Pour obtenir la tension ou la capacité souhaitée, il est souvent nécessaire d'assembler plusieurs batteries. Le montage des batteries peut se faire en série ou en parallèle :

- Le montage en parallèle permet d'additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en V).
- Le montage en série permet d'additionner la tension des batteries (en V), tout en gardant la capacité en Ah d'une seule batterie.

III.2.3-a Choix de la tension du parc de batteries

La formule suivante permet de calculer la tension du parc de batteries :

$$U_{batterie} = \sqrt{\frac{\rho \times 2 \times L \times P}{S \times \varepsilon}} \quad (\text{III.7})$$

Avec :

ρ : résistivité du matériau conducteur, puisque nous utiliserons des câbles en cuivre, donc $\rho = 0.01851 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

L : longueur des câbles entre le parc de batterie et l'onduleur, exprime en m. dans notre cas on estime que la longueur L entre le parc de batteries et l'onduleur par $L = 4\text{m}$ (choix d'implantation)

P : la puissance électrique nominale traversent les câbles

S : la section des câbles, exprime en mm^2

ε : chute de tension maximum tolérée dans les câbles, exprime en %

III.2.3-b Choix de la capacité du parc de batteries

Le calcul de la capacité du parc de batterie s'affectée grâce à la formule suivante :

$$C_{td} \geq \frac{N_j \times E_{besoin}}{P_d \times K_t} \quad (\text{III.8})$$

Avec :

C_{td} : est la capacité de la batterie associée à la durée de la décharge T_d

N_j : autonomie de réserve (jours)

E_{besoin} : énergie journalière consommée (Ah/jour)

P_d : profondeur maximale de décharge

K_t : coefficient de température de la capacité

T_d : durée de décharge exprimé en heure. $T_d = N_j \times 24$

Pour prolonger la durée de vie de batterie il faut éviter les décharges profondes.

Dans notre cas d'étude :

- Premièrement, nous avons calculé les besoins journaliers de 455,19 KW/jour, exprime en Ah/jour. La tension étant de 48V.

$$E_{besion} = \frac{455.19}{48 \times 1000} = 9483.125Ah/jour$$

- Deuxièmement, nous souhaitons une autonomie de 4 jours, cela signifie que peut alimenter, indépendamment du champ photovoltaïque pendant 4 jours.
- Troisièmement, nous considérons une profondeur de décharge égale à 0,8.
- Quatrièmement, nous considérons que la batterie sera amenée à fonctionner à 10 C

Table III.6: Détermination du coefficient de température K(C) (données constructeur)

Température de fonctionnement des batteries	-20	-10	0	10	20	30	40
Coefficient correctif	0.8	0.85	0.9	0.95	1	1.04	1.1

Donc:

$$Ctd \geq \frac{4 \times 49483.125}{0.8 \times 0.95} = 49911.19Ah$$

cette capacité du parc de batterie capable de couvrir l'ensemble des besoins électriques pendant la durée de l'autonomie de réserve qui est de 4 jours sans aucun apport d'énergie solaire et sans jamais dépasser la profondeur maximale de décharge qui est 80 % et aussi dans les conditions de température du site.

Dans notre cas nous allons choisir une batterie de 12V/296 voir Annexe A.



Figure III.11: Batterie

- Nombre de batterie en série :

$$N_{bat-s} = \frac{V_n}{V_u} \quad (\text{III.9})$$

Avec :

N_{bat-s} : nombre d'élément en série.

V_n : tension de parc de batterie

V_u : tension par élément de batteries

Donc :

$$N_{bat-s} = \frac{48}{12} = 4$$

- Nombre de batterie en parallèle :

$$N_{bat-p} = \frac{C_{td}}{C_{bat-u}} \quad (\text{III.10})$$

Avec :

N_{bat-p} : nombre d'élément en parallèle

C_{td} : capacité totale du système de stockage

C_{bat-u} : capacité par élément de batteries.

Donc :

$$N_{bat-p} = \frac{49911.19}{296} = 168.61 \simeq 169 \text{ éléments}$$

Donc le nombre total de batteries est 676 éléments.

III.2.4 Choix et dimensionnement du régulateur

Pour assurer une protection adéquate des batteries contre les surcharges de courant des modules PV, le régulateur doit être compatible avec tous les éléments du système. Pour cela, il faut bien dimensionner le régulateur.

Le dimensionnement du régulateur s'affecte selon les 4 critères suivants:

1. La puissance maximale du champ PV doit être inférieure à la puissance nominal du régulateurs.
2. La tension à vide du champ photovoltaïque doit être inférieure à la tension maximale admissible par le régulateur.
3. Le courant de sortie du champ PV ne doit pas dépasser le courant maximal admissible par le régulateur, c'est le courant d'entrée pour le régulateur I_e .
4. Le régulateur doit être compatible avec la tension du parc de batteries.

Pour les grandes puissances il est recommandé d'utiliser un régulateur MPPT.

Le courant de sortie du sous champ PV de régulateur :

- Les 9 sous générateurs :

$$I_{er} = I_{mpp} \times N_p = 67.83A$$

- Le 10^{ème} sous générateurs :

$$I_{er} = I_{mpp} \times N_p = 29.07A$$

Donc on utilise 10 régulateurs MPPT qui support un courant de 100A/250V. (Voir AnnexeB).



Figure III.12: Régulateur de charge MPPT 250/100

III.2.5 Choix et dimensions de l'onduleur

Les panneaux photovoltaïques et les batteries fournissent une tension continue. Les appareils électriques normaux ont besoin d'être alimentés en courant alternatif de 220 V, Donc un onduleur est nécessaire pour notre installation.

On a mentionné dans le chapitre précédent que il existe deux types d'onduleur, mais pour une installation PV sur site isolé, on installera un onduleur autonome.

III.2.5-a La puissance nominale de l'onduleur

L'onduleur doit être dimensionnée de manière à ce que sa puissance d'entre maximale correspond à la puissance maximale que peut recevoir du champ PV. Une marge de dimensionnement de 20 à 30 % est recommandée pour assurer le bon fonctionnement de l'onduleur à des températures ambiantes supérieures à 25°.

Le dimensionnement de l'onduleur se fait aussi en fonction des critères suivants :

- Tension d'entrée : égale à la tension de régulateur
- Tension de sortie : l'onduleur imposera une tension alternative égale à 220V de fréquence 50 Hz (en Algérie).

Il faut prendre en considération le rendement de l'onduleur, qui complit généralement entre 0.9 % et 0.98 %. Dans notre cas, on utilise un onduleur qui fabrique chez Solax de 15kW et un rendement égal à 98 % . Donc :

$$N = \frac{P_{ch}}{P_{ond}} = \frac{109200}{15000} = 7.28 \approx 8$$

Avec:

P_{ch} : la puissance de la charge

P_{ond} : la puissance unitaire de l'onduleur choisir

Le nombre d'onduleur est 8 onduleurs de 15 kW. (Voir les annexes)



Figure III.13: l'onduleur solax 15 kW

III.2.6 Dimensionnement des câbles

Afin de minimiser les pertes dans l'installation, il faut bien calculer les sections des câbles entre les différents appareils. Le choix de la section des câbles de l'installation s'effectue selon 2 critères principaux :

- La chute de tension tolérée (ne doit pas dépasser 3 %).
- Le courant maximal admissible dans les câbles.

Le calcul des sections des câbles du champ PV ne peut se faire qu'en connaissant au préalable un certain nombre de paramètres :

- Les propriétés électriques des modules utilisés (I_{cc} , I_{mpp} , U_{mpp})
- Le nombre de modules PV et leur assemblage (en série et en parallèle).
- La distance entre les différents appareils de notre installation.

Les sections habituelles des câbles sont $1.5mm^2$, $2.5mm^2$, $4mm^2$, $6mm^2$, $10mm^2$, $16mm^2$, $25mm^2$, $35mm^2$, etc.

- Section des câbles coté DC :

La section des câbles de partie DC sera calculé par la formule suivante :

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\varepsilon \times V} \quad (\text{III.11})$$

Avec :

I : Intensité de courant (A)

ε : Chute de tension, devrait être inférieure à 3 %, idéalement 1 %.

ρ : résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) en service normal, soit 1.25 fois la résistivité à 20°C ($\rho_{cu} = 0.0225\Omega.mm^2/m$ pour le cuivre et $\rho_{al} = 0.036\Omega.mm^2/m$ pour l'aluminium).

S : Section du câble (mm^2)

L : Longueur du câble (m)

V : Tension à l'origine du câble (V).

- Section des câbles coté AC :

La section des câbles de partie AC sera calculé par la formule suivante :

$$S = B \times \rho \times I_b \times \frac{L}{\varepsilon \times V} \times \cos \theta \quad (\text{III.12})$$

Avec:

B : coefficient qui vaut 1en triphasé et 2 en monophasé.

$\cos \theta$: Facteur de puissance (le déphasage entre la tension et le courant en alternatif)

I_b : Courant maximale d'emploi (A).

En ce qui concerne la longueur, nous le mettons approximativement par rapport aux dimensionnements de l'école.

Les câbles que on a utilisé sont des câbles en cuivre. Donc:

$$\rho_{cu} = 0.0225\Omega.mm^2/m, \rho_1 = 1.25 \times 0.0225 = 0.028125\Omega.mm^2/m.$$

On prend $\varepsilon = 0.02$ et $\cos \theta = 0.8$

- Section des câbles Coté DC

- Section des câbles entre Les panneaux et la boite de raccordement (L=5m) :

Calcul du courant:

$$I = 1.25 \times I_{cc} \times 7 = 84,78A$$

Calcul de la section:

$$S = \frac{1.25 \times 0.0225 \times 5 \times 84.78}{0.02 \times 36 \times 4} = 4.13mm^2$$

Donc on choisit le câble de $S = 6mm^2$

- Section des câbles entre la boite de raccordement et le régulateur DC/DC (L=8m) :

Calcul du courant :

$$I = I_{maxpv} \times N_{pv,s,sch} = 9.69 \times 7 = 67,83A$$

Calcul de la section:

$$S = \frac{1.25 \times 0.0225 \times 8 \times 67.83}{0.02 \times 36 \times 4} = 5.3mm^2$$

Donc on choisit le câble de $S = 6mm^2$

- Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et Section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L=4 m):

* Calcul de la tension de la Batterie:

$$V_{batt} = V_{batt,u} \times N_{batt,serie} = 12 \times 4 = 48V$$

* Calcul du courant de batterie :

Calcul de $1 - \alpha$:

$$1 - \alpha = \frac{V_{batt}}{V_{pv}} = \frac{48}{36 \times 4} = 0.33$$

$$I_{batt} = \frac{I}{1-\alpha} = \frac{67.83}{0.33} = 203.51A$$

* Calcul de la section:

$$S = \frac{1.25 \times 0.0225 \times 4 \times 203.51}{0.02 \times 48} = 23.85mm^2$$

Donc on choisit le câble de $25mm^2$

- Section des câbles Coté AC

Section des câbles entre l'onduleur et la charge (L = 15 m):

Calcul du courant :

$$I_{bt} = \frac{P_{charge}}{3 \times V}$$

$$I_{bt} = \frac{105000}{3 \times 220} = 159.09A$$

Calcul de la section:

$$S = 2 \times 0.0225 \times 159.09 \times \frac{15}{0.02 \times 48} \times 0.8 = 33.74mm^2$$

Donc on choisit le câble de $S = 35mm^2$

III.3 Simulation numérique

III.3.1 Présentation du logiciel PVSYST

PVSYST est connu être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet. PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles. [37]

Le logiciel comprend principalement deux modes de fonctionnement. Le premier est une application de pré dimensionnement assez simple à prendre en main et accessible au néophyte. Le deuxième permet une étude beaucoup plus approfondie et prend en compte beaucoup plus de paramètres. De plus il se base sur du matériel concret pour ses calculs,

contrairement au premier mode qui effectue ses calculs pour un cas très général.

Pour chacun des deux modes, le principe est le même : on donne la localisation géographique de l'installation, puis on entre les données concernant l'installation. Vient ensuite une partie résultats o l'on choisit les données qui nous intéresse.

III.3.1-a Données météorologiques

Tout d'abord, il faut se procurer des données climatiques fiables et récentes, dans notre travaille on a choisi la base de données de logiciel Métronome. [1]

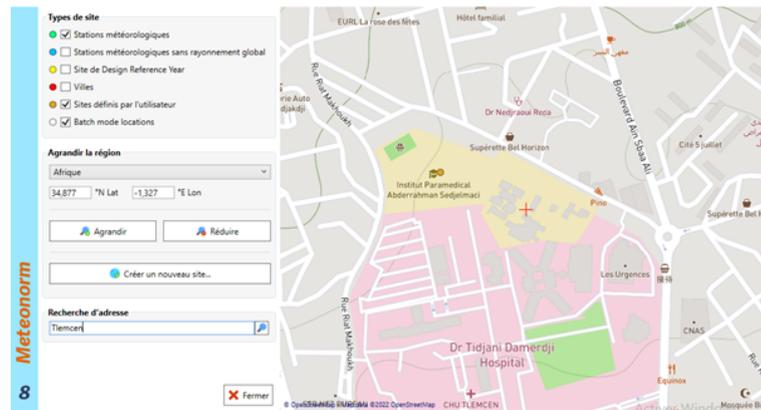


Figure III.14: Carte interactive de métronome pour accéder aux données climatiques

	Gh kWh/m ²	Gk kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
Janvier	87	138	31	132	9,7	1,8	3,6
Février	102	144	38	129	10,8	1,5	3,6
Mars	151	183	53	167	12,1	2,2	3,6
Avril	176	185	66	171	13,7	3,7	3,6
Mai	205	194	82	177	16,8	6,3	3,6
Juin	215	195	77	198	20,7	7,3	3,7
Juillet	226	210	79	205	24,6	6,8	3,7
Août	200	202	77	176	25	9	3,5
Septembre	160	184	55	170	22,3	9,6	3,2
Octobre	126	167	49	143	17,8	8,1	3,1
Novembre	87	131	32	124	13,5	5	3,4
Décembre	79	131	26	130	10,4	2,8	3,4
Année	1810	2063	667	1922	16,4	5,3	3,5

Figure III.15: Fenêtre des coordonnes météorologiques dans métronome 8

On peut importer ces donnes météorologiques vers le logiciel PVsyst, pour commencer la simulation.

III.3.1-b Conception de projet

Pour une simulation complète et correcte il faut suivre les étapes suivantes :

1. Choisir l'option " isolé avec batteries "
2. Donner un non au projet et importer les données météorologiques de logiciel métronome 8

3. Préciser les spécifications de système : orientation, besoins utilisateurs, système et ombrage proches pour perfectionner les résultats de notre simulation.

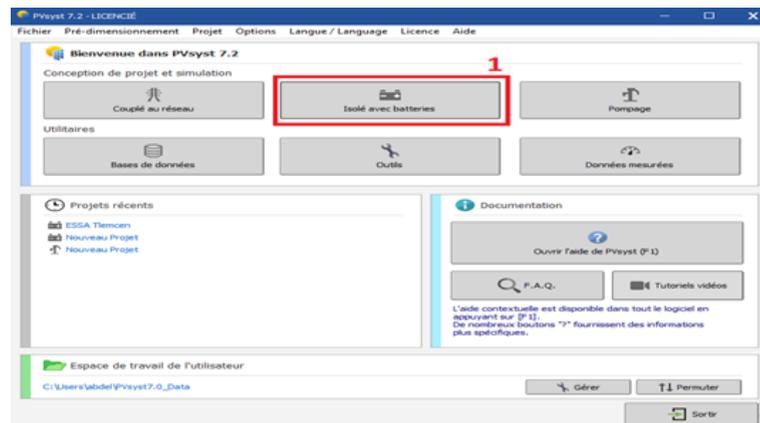


Figure III.16: Le choix du système d'installation "isolec batteries"

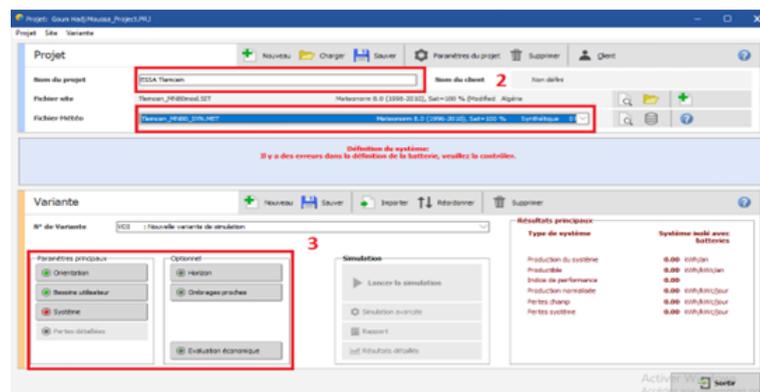


Figure III.17: Les étapes de dimensionnement par PVsys

III.3.1-c Orientation des modules PV

Il faut bien choisir l'orientation et l'inclinaison favorable à la production d'énergie.

Pour la simulation de notre système PV, nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison 35° (par rapport à l'horizontale), c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVsyst.

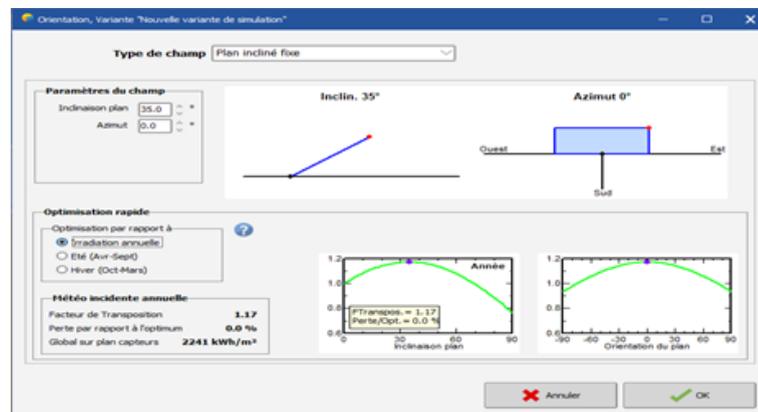


Figure III.18: Détermination de l'angle d'inclinaison

III.3.1-d Définition des Besoins utilisateurs

On définit les besoins utilisateurs grâce aux factures d'électricité de l'école ESSAT fournit par sonelgaz.

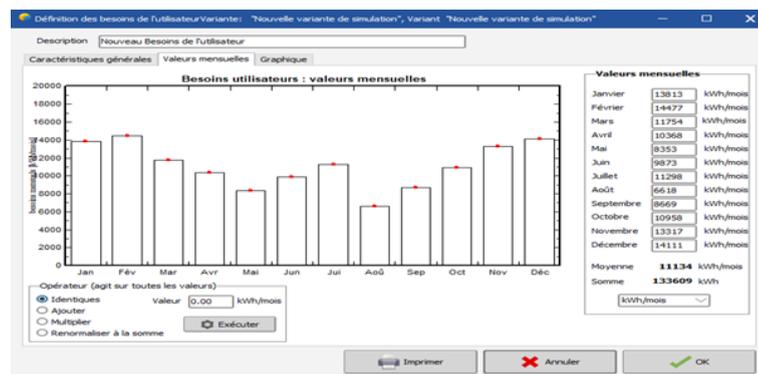


Figure III.19: Les besoins mensuelles en KWh/mois

III.3.1-e Définition du système

Une fois que nous avons fini de définir l'orientation du système et les besoins utilisateurs, l'option 'Système' devient rouge, ce qui signifie qu'on peut définir notre système.

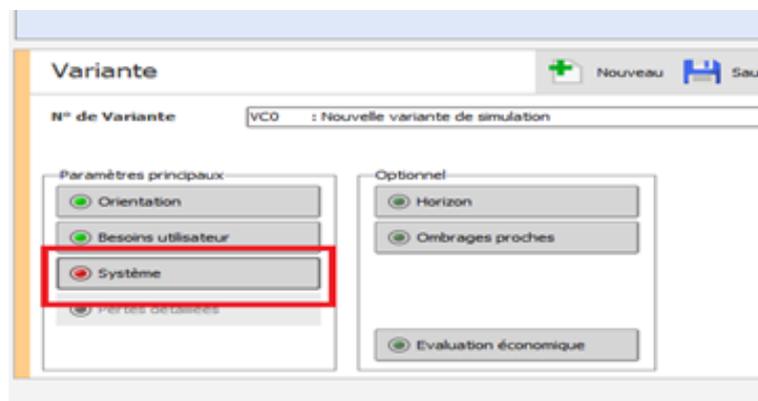


Figure III.20: L'interface pour le dimensionnement

1. Champ PV

- Pour la section " aide au dimensionnement ", on peut définir la puissance déserte ou bien la surface disponible.
- L'option " sélection du module PV " permet de définir le choix du module photovoltaïques, pour notre étude on a choisi un module de Jinkosolar JKM410M-72H qui comporte 72 cellules photovoltaïques de type monocristallin.
- Pour le choix de régulateur, PVsyst conseil de commencer avec un régulateur universel, mais on peut choisir un type de régulateur adéquat avec notre système.



Figure III.21: Le choix de modules

2. Stockage

Dans cette partie, on va définir le pack de batterie en respectant la tension du système et la capacité conseillée par le logiciel.

Le choix de la batterie se fait en fonction de la disponibilité dans le marché.

Trier les batteries selon tension capacité fabricant
 Tous les fabricants 12 V 296 Ah Pb Sealed Plates 12-CS-11PS Rolls Ouvrir
 Pb-acide
 4 batteries en série Nombre de batteries 676
 169 batteries en parallèle Nombre d'éléments 4056
 100.0 % Etat d'usure initial (nb. de cycles)
 100.0 % Etat d'usure initial (statique)
 Tension du pack batteries 48 V
 Capacité globale 50024 Ah
 Energie stockée (80 % DOD) 1921 kWh
 Poids total 90584 kg
 Nbre de cycles à 80 % DOD 1984
 Energie totale stockée durant la vie de la batterie 4229 MWh

Figure III.22: le choix de batteries

3. Choix du rateur :

Choisissez le mode de régulation et le régulateur
 Régulateur universel Victron Convertisseur de puissance MPPT
 Mode d'opération
 Couplage direct
 Convertisseur MPPT
 Convertisseur DC-DC
 Courants max. de charge - décharge
 MPPT 4000 W 48 V 70 A 70 A SmartSolar MPPT 250/70 48V D Ouvrir
 Nbre régulateurs 29
 Tension de fonctionnement MP63-245 V Puissance régulateur 116 kW
 Tension entrée maximale 250 V Batterie associée 48 V

Figure III.23: Le choix du régulateurs

Définition de la PLOL acceptable : "Loss of Load", on a mis 0 % c'est-à-dire la probabilité que les besoin ne soient pas couverts par l'installation.

Définition de l'autonomie requise : on entre ici le nombre de jours d'autonomie, généralement entre 3 et 5 jours.

4. schéma de l'installation PV

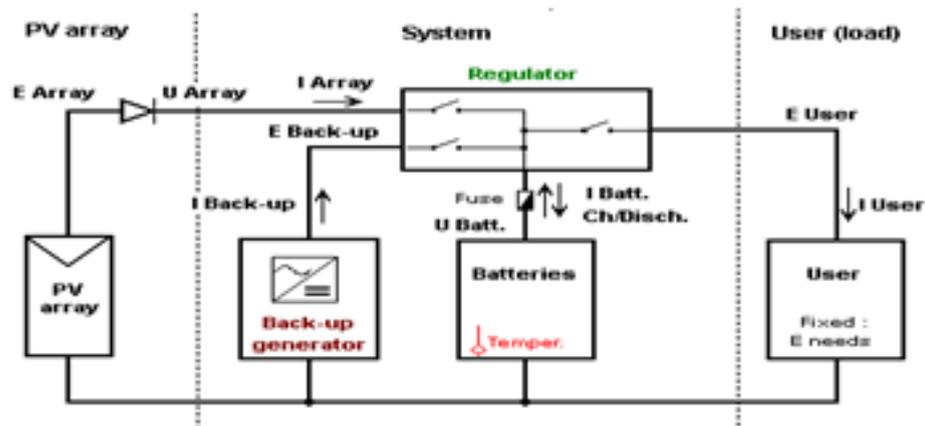


Figure III.24: Configuration typique d'une installation isolée

5. Paramètres de simulation

- Caractéristiques du module PV :

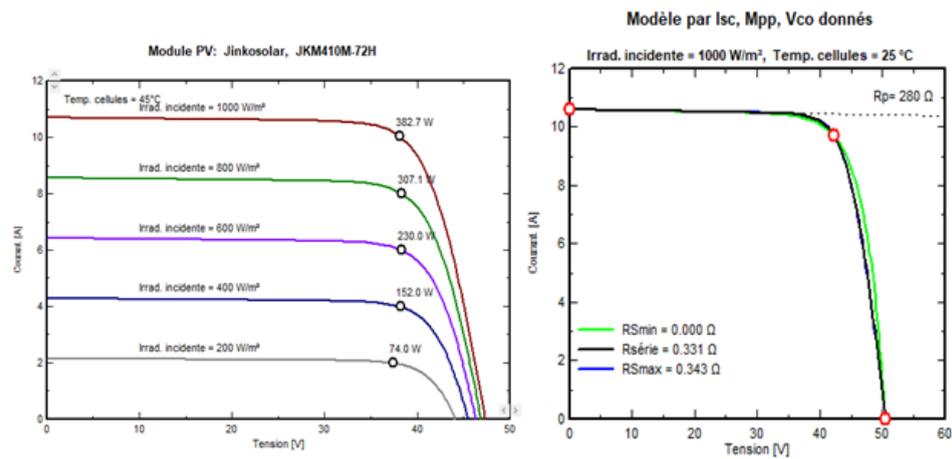


Figure III.25: Caractéristiques du module PV choisi

Description **Jinkosolar, JKM410M-72H**

Module		Cellules	
Longueur	2008 mm	En série	72
Largeur	1002 mm	En parallèle	2
Épaisseur	40.0 mm	Surface cellule	124.0 cm²
Poids	22.50 kg	Nbre cellules total	144
Surf. module	2.012 m²	Surface cellules	1.786 m²

Figure III.26: Les dimensions du module PV choisi

- Caractéristiques de batteries :

On a choisit le modèle : 12-CS-11PS 12V/296 Ah

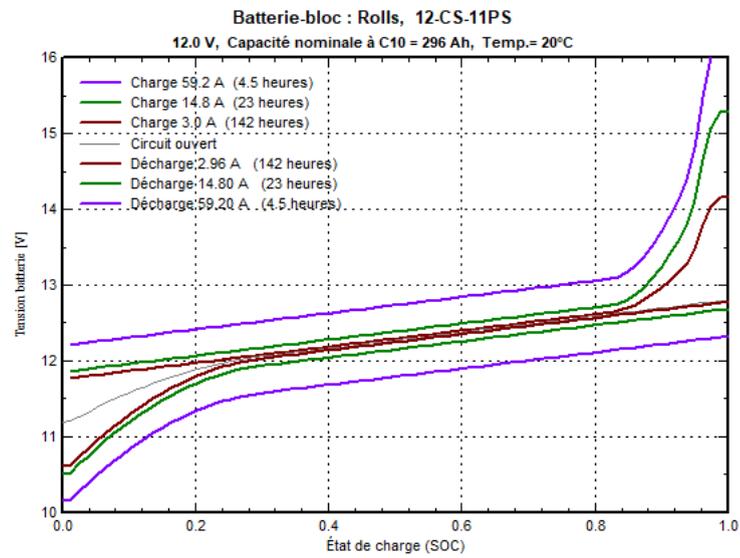


Figure III.27: Tension de charge/darge selon SOC

- Caractstique du régulateur :

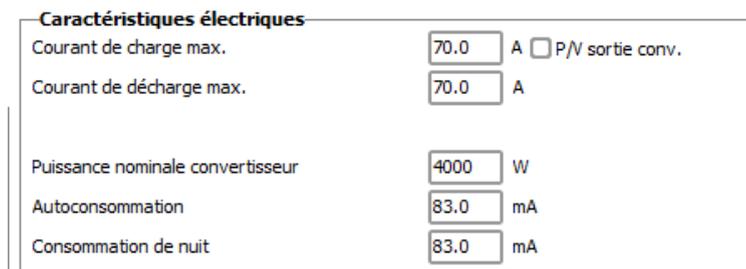


Figure III.28: Les caractstiques ctriques du rlateur

6. Résultats et discussion de la simulation

Une fois que tous les paramètres sont correctement entrés, on lance la simulation.

Le logiciel PVsyst affichera tous les résultats détaillés sous forme d'un rapport en version PDF.

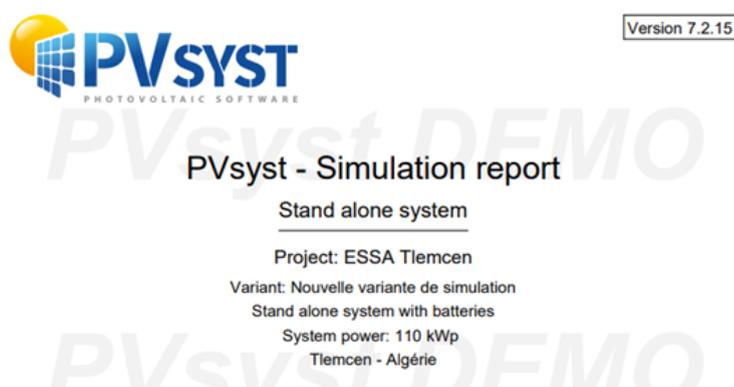


Figure III.29: Le rapport final de la simulation

Caractéristiques du système PV :

Les paramètres de dimensionnement du champ PV sont résumés dans la figure ci-dessous.

PV Array Characteristics	
PV module	
Manufacturer	Jinkosolar
Model	JKM10M-72H
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	410 Wp
Number of PV modules	268 units
Nominal (STC)	110 kWp
Modules	67 Strings x 4 In series
At operating cond. (50°C)	
Pmpp	101 kWp
U mpp	149 V
I mpp	673 A
Controller	
Manufacturer	Victron
Model	SmartSolar MPPT 250/70 48V
Nb. units	29 units
Technology	MPPT converter
Temp coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.
Converter	
Maxi and EURO efficiencies	99.0 / 97.0 %
Total PV power	
Nominal (STC)	110 kWp
Total	268 modules
Module area	539 m ²
Cell area	479 m ²
Battery	
Manufacturer	Rolls
Model	12-CS-11PS
Technology	Lead-acid, sealed, plates
Nb. of units	169 in parallel x 4 in series
Discharging min. SOC	10.0 %
Stored energy	2161.0 kWh
Battery Pack Characteristics	
Voltage	48 V
Nominal Capacity	50024 Ah (C10)
Temperature	Fixed 20 °C
Battery Management control	
Threshold commands as	Battery voltage
Charging	58.2 / 50.4 V
Corresp. SOC	0.96 / 0.80
Discharging	44.8 / 48.4 V
Corresp. SOC	0.09 / 0.35

Figure III.30: Parames de la simulation

Donc, le système PV sera constitué de:

- 268 modules PV de type monocristallin (410W/36V) répartis sur une surface de 539m², comme suite :
 - 04 modules en séries
 - 67 modules en parallèle
- 676 unités (12V/296Ah) avec une capacité globale de 50024 Ah.
- 69 régulateur MPPT (4000W/250V/100A).
- Le dimensionnement de l'onduleur se fait manuellement.

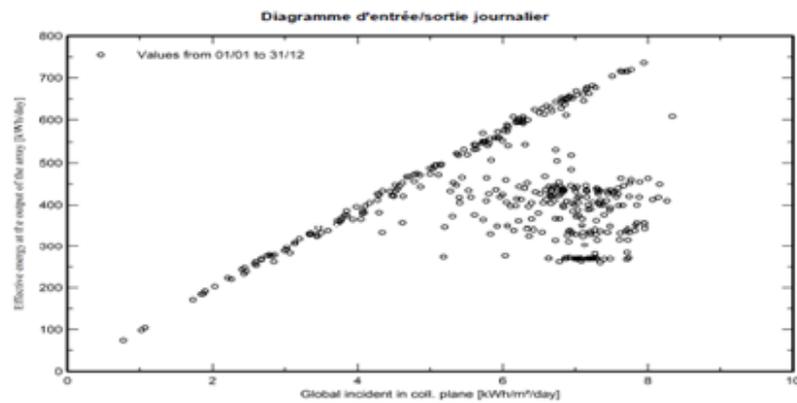


Figure III.31: Diagramme journalier d'EntrSortie du syst PV

Le diagramme d'entrée/sortie implique l'énergie produite par le système en fonction de l'irradiation d'entrée. Idéalement, l'énergie absorbée devrait augmenter d'une façon linéaire avec l'irradiation à tout moment. Ce graphique permet d'avoir une idée de la façon dont fonctionne le système et il donne des indications sur les jours inefficaces, et aussi il doit être aussi fort que possible sous-entendant fraction d'absorption bénéfique de l'énergie solaire, en d'autres termes une bonne efficacité de module.

Tous les points, il existe 365 correspondants à tous les jours de l'année, ils représentent la moyenne d'irradiation incidente de chaque jour et l'absorption correspondante.

Pour notre cas, le schéma illustre un système qui fonctionne bien et efficace indiqué par la plupart des points conservés sur la ligne la plus raide. Il y a cependant quelques jours qui diffèrent de la tendance, mais la partie principale des jours se situe près de la ligne linéaire.

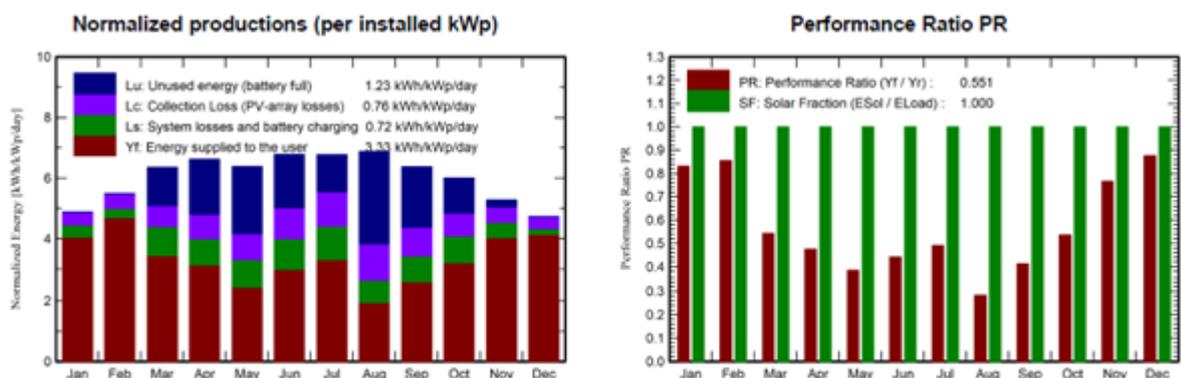


Figure III.32: Simulation : énergie, indice de performance et productible

Les graphiques en haut montrent l'énergie produite par la centrale PV (énergie utile) ainsi que les pertes de champ PV, de système et de système de stockage, et le ration

de performance sur l'année qui est défini par le rapport de la production du système par l'énergie incidente de référence.

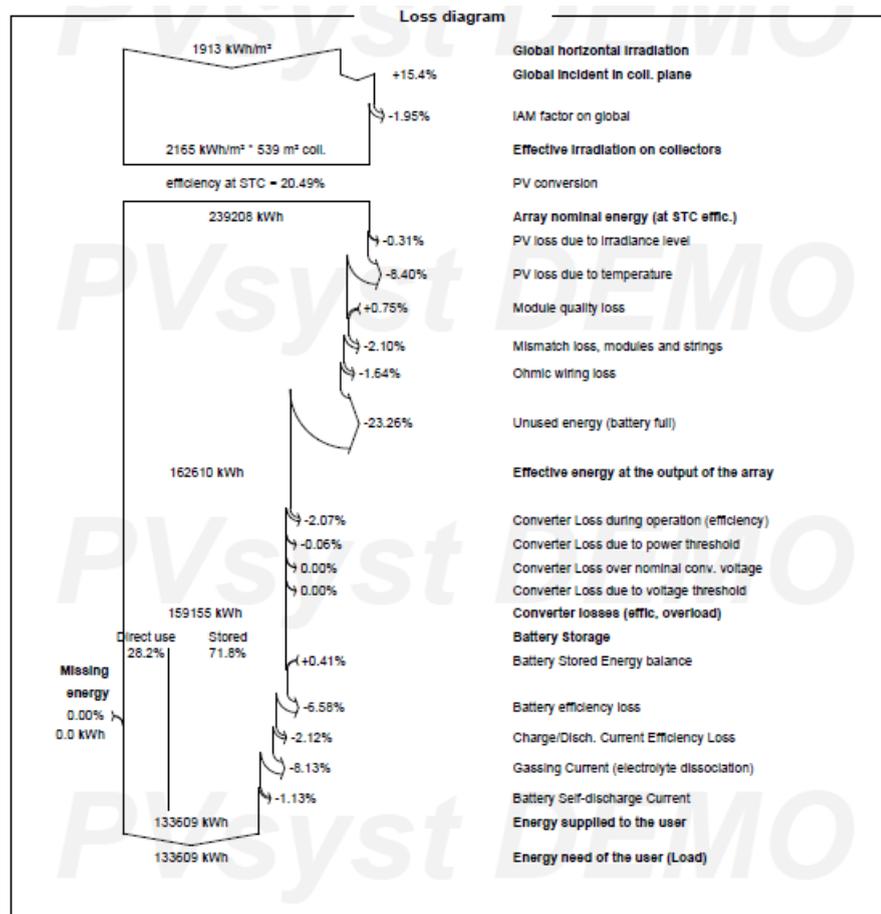


Figure III.33: Le diagramme de perte d'une année

Le diagramme de perte est très important pour bien évaluer notre étude, on va examiner en détail pour chaque résultat si une amélioration peut être apportée dans la conception de notre système.

III.3.2 Interprétation des résultats obtenus

Le lancement de la Simulation nous permet d'accéder aux différents résultats de la conception de notre système photovoltaïque d'une puissance de 110 kWc.

Le système photovoltaïque est exposé à plusieurs paramètres de dégradation qui sont interprétés par des facteurs de pertes:

- Perte champ (Température, qualité des modules, résistance, ... etc),
- Perte Onduleur globales,
- pertes d'IAM qui est de 1.95 %,
- perte due au niveau de l'irradiation (0.31 %),

- pertes dans les batteries . . .

On voit que l'énergie produite qui varie proportionnellement avec l'énergie solaire incidente est due à l'importance de l'éclairage pour un bon rendement des cellules quel que soit leur technologie avec des rendements différents, le bon choix de l'implantation de la centrale et de ses composants.

III.4 Simulation du plan architectural

La deuxième simulation tient compte de relevés précis pour permettre un dessin dans l'espace et tenir compte des pertes d'ombrages pour perfectionner notre étude.

On a utilisé le logiciel Sketchup pour dessiner un plan en 3D qui donne une vision globale de notre projet.



Figure III.34: Plan architectural de l'école avec l'emplacement des panneaux solaires

III.5 Etude de rentabilité économique

Suite à notre étude du système d'installation d'une chaîne photovoltaïque, il est important d'évaluer le coût annuel total de notre système. Alors, nous procédons à la détermination économique et énergétique du coût global actualisé du kWh fourni. Le prix du kWh produit par cette installation solaire photovoltaïque dépend des coûts fixes à l'investissement initial (achat du matériel et travaux) et surtout de la durée considérée pour l'amortissement de l'investissement (exemple 25 ans).

Cette partie a pour objectif de déterminer si les installations photovoltaïques sont rentables d'un point de vue économique (financier), énergétique et environnemental. Afin de réaliser une étude complète du photovoltaïque.

III.5.1 Tableaux de l'étude technico-économique des systèmes PV

Les prix des équipements et matériels sont obtenus auprès des entreprises fabricants et des bureaux d'études. Voir les annexes

Table III.7: Estimation du cout des composants de notre installation

Désignation	Caractéristiques	Quantité	Prix unitaire DZD	Montant DZD
Module monocristallin	410W / 36V	268	28.000,00 DZD	7.504.000,00 DZD
Support pour les modules		268	5.000,00 DZD	1.340.000,00 DZD
Génie civile (enclos pour les modules)			5.000,00 DZD	1.340.000,00 DZD
Batteries	12V/ 296A	676	90.577,52 DZD	61.230.403,52 DZD
Régulateurs	250V/100 A	29	50.000,00 DZA	1.450.000,00 DZD
Onduleurs	15KW	8	270.900,00 DZD	2.167.200,00 DZD
Câbles et divers				100.000,00 DZD
Eléments de protection				400.000,00 DZD
Cout total				75.531.603,52 DZD

III.5.2 Estimation du cout de système d'appoint (group électrogène)

L'énergie d'appoint de chaque mois est déterminée en calculant la différence entre l'énergie produite par le champ PV et les besoins de chaque mois :

$$E_{elec} = \frac{P_c}{P_i \times E_i \times PR}$$

Le prix d'un litre de diesel en Algérie est 29.01 DA

Table III.8: Calcul de la consommation de carburant du groupe électrogène d'appoint

Mois	Energie d'appoint (kWh/jour)	Carburant Litres/mois(1) → DZD/mois
janvier	2855.72	294.4 litres /mois → 8540.54 DZD
Février	4579.4	472.1 Litres/mois → 13695.62 DZD
novembre	2712.6	279.65 Litres/mois → 8634.83 DZD
décembre	3153.01	325.05 Litres/mois → 9429.7 DZD
TOTAL	13300.73 kWh/an	1371.2 Litres/mois → 39778.5 DZD

Donc le cout total d'investissement est :

$$75531603.52 + 39778.5 = 75571382.02DZD$$

III.5.3 Le cout de nôtre consommation d'énergie électrique (réseau SONELGAZ)

Le tableau suivant représente le cout annuel (4 saisons) de la consommation d'électricité pour l'année 2019/2020. (Voir les annexes)

Table III.9: Calcul de la consommation de carburant du groupe électrogène d'appoint

mois	Consommation en kWh	Le cout DA
Janvier	13813	65672.32
février	14477	66771.44
mars	11754	57684.69
avril	10368	49862.51
mai	8353	39496.64
juin	9873	48306.31
juillet	11298	52215.37
aout	6618	33548.50
septembre	8669	42496.04
octobre	10958	51490.18
novembre	13317	64731.79
décembre	14111	67642.26
TOTAL	133609	639.918.05

Comme la durée de vie moyenne d'une installation photovoltaïque est de 25 ans, alors le coût de consommation énergétique pour une même durée est de :

$$639918.05 \times 25 = 15997951.25DA$$

III.6 Discussion des résultats

On compare entre le prix de la SONELGAZ au prix de l'installation photovoltaïque on voit que le projet de l'installation photovoltaïque autonome pour alimenter l'école ESSAT est trop chers que l'alimentation par le réseau SONELGAZ.

III.7 Conclusion

Les installations photovoltaïques par leur caractère d'autonomie doivent êtres dimensionnées pour qu'elles fournissent de l'énergie dans les conditions les plus défavorables, afin d'aboutir à une meilleure optimisation des installations photovoltaïques qui demeurent l'objectif de tout installateur photovoltaïque.

Dans ce chapitre nous avons essayé de dimensionner notre installation photovoltaïque à l'aide de deux méthodes différentes, soit par un calcul analytique, ou par un logiciel de calcul. Les deux méthodes sont correctes et conduisent aux mêmes résultats.

Enfin, pour une étude complète on a estimé aussi le cout d'installation et le temps nécessaire pour l'amortissement, Ces derniers sont jugés raisonnables par rapport au montant des factures établies par le fournisseur de l'énergie électrique SONEGAS.

Conclusion Générale

L'important gisement solaire en Algérie favorise le développement de l'utilisation de l'énergie solaire. La production de l'électricité par énergie solaire est la voie la plus prometteuse pour renforcer les autres ressources énergétiques et répondre à un besoin en évolution quasi exponentielle.

L'autoconsommation d'électricité consiste à produire une partie de l'électricité que l'on consomme, ce qui implique des économies de factures pour les consommateurs.

L'objectif général de notre étude était de produire de l'énergie électrique de manière autonome à l'école supérieure en science appliquées de Tlemcen (ESSAT) à partir de l'énergie solaire en utilisant une installation des systèmes photovoltaïques.

Afin de réussir une installation photovoltaïque autonome, nous avons mené une étude détaillée concernant la méthode de dimensionnement du système PV autonome en tenant compte de la consommation énergétique de l'école.

Dans un premier volet, nous avons cité les différentes technologies des cellules solaires. Ensuite, nous avons décrit le fonctionnement des systèmes photovoltaïque en s'étant sur chaque composant du système.

Dans le troisième chapitre nous avons dimensionné l'installation de notre système PV. Ensuite, nous avons appliqué une étude par simulation numérique de l'installation PV de puissance 110kw. Le logiciel de simulation que nous avons utilisé PVsyst répond correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec meilleures perspectives, nous avons établi une étude technico-économique et nous avons constaté que notre système photovoltaïque va nous coûter plus cher en comparant à une alimentation par SONEGAS. Mais une telle installation représente une solution intéressante qui peut jouer un rôle très important pour résoudre le problème de l'électrification des sites isolés ou loin du réseau électrique.

Perspectives :

On envisage d'améliorer deux axes très importants dans notre étude qui sont :

- le dimensionnement électrique des éléments de protection de l'installation
- le choix optimal des sections des câbles

Afin de minimiser les chutes de tensions et les pertes énergétiques.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Mr.Boukhlifa Hamza. Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300 KW. Mémoire de Master Université Mohamed Bougara-Boumerdes. 2017.
- [2] BONNEAUX Déodat DAVID Lucien DUMAS Adrien GERMAIN Simon. Etudes des Cellules Photovoltaes. mémoire, Lycée Jean Monnet-Annemasse Vétraz-Monthoux. France 2004.
- [3] Belhadj Mohammed. Modélisation d'un syst de captage photovoltaïque autonome. mémoire de magister. Centre Universitaire De Bechar Institut des Sciences Exactes. 2007.
- [4] Mohamed El Amine Khaled BENALOUACH. Modélisation, Simulation et Optimisation d'un Système Energétique de Production Photovoltae associé á un Accumulateur. mémoire de magister. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen. 2013.
- [5] MERABET Houssam SILEM Mouhssin. Etude de faisabilité d'une installation solaire photovoltaïque autonome par PV Système pour établissement scolaire. Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Université Mohamed Boudiaf - Msila. 2019.
- [6] Naveen Shankarappa, Mufassireen Ahmed, Shashikiran, Dr. H Naganagouda. Solar Photovoltaic Systems ? Applications Configurations. International Research Journal of Engineering and Technologie (IRJET) ,2017.
- [7] <https://couleur-science.eu/consulter> le 15-05-2022
- [8] <https://www.encyclopedie-energie.org/>. consulter le 20-05-2022

- [9] <https://www.photovoltaique.info/fr/consulter> le 23-05-2022
- [10] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/consulter> le 25-05-2022
- [11] <https://mon-panneau-solaire.info/panneaux-solaires/cellules-photovoltaïques/> 25-05-2022
- [12] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/consulter> le 29-05-2022
- [13] http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol_elec.htm. consulter le 27-05-2022
- [14] Mark Hankins. Stand-Alone Solar Electric Systems : The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation. 2010.
- [15] Tounsia Ben Khemmou. Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque intégrée au bâtiment : Cas d'un laboratoire au CDER. Mémoire de master académique. Université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou. 2014
- [16] Michareassan. Développement d'un outil de supervision et de contrôle pour une installation solaire photovoltaïque. Electronique. Université de Perpignan. 2014.
- [17] <https://www.renovablesverdes.com/fr/tipos-de-pilas/consulter> le 28-05-2022
- [18] <https://rema.energy/specification/batterie-ni-cd/consulter> le 28-05-2022
- [19] <https://www.batterie-solaire.com/Accumulateur-plomb-principe-fonctionnement.html> consulter le 28-05-2022
- [20] lampadaire autonome, notice d'utilisation pour mesures en pied de mat
- [21] http://sigma-tec.fr/textes/texte_para_foudre.html consulter le 30-05-2022

Annexe A : datasheet de la batterie



Series	5000	Warranty	5 Years
Volts	12	BCI	SPEC
Cells	6	Plates/Cell	11
Terminal Type	Flag L		
Included Hardware	S/S Hex Cap Screw, Nut, Lock & Flat Washer		
Size & Thread	5/16"-18		
Cables	19' 4/0 interconnect cables *RE incl.		

Specifications			
 @ 94% DOD ISO 9001 Quality	Weight	123 kg	271 lbs
	Length	55.9 cm	22"
	Width	28.6 cm	11.25"
	Height Inc. Term.	46.4 cm	18.25"
Product measurements & weights are calculated based on sample data. Individual specifications are subject to vary due to the manufacturing process, battery components & electrolyte levels.			
Electrolyte Reserve	95 mm	3.75"	
Container (Inner)	Polypropylene		
Cover (Inner)	Polypropylene - heat sealed to inner container		
Container (Outer)	High Density Polypropylene		
Cover (Outer)	High Density Polypropylene snap fit to outer container		
Handles	Molded		
Notes	IEC 61427-1:2013		

Annexe B : datasheet du régulateur

Contrôleur de charge SmartSolar avec interface VE.Can	250/70	250/85	250/100
Tension de la batterie	12/24/48 V Sélection automatique (36 V : sélection manuelle)		
Courant de charge nominal	70 A	85 A	100 A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	1000 W	1200 W	1450 W
Puissance nominale PV, 24 V 1a, b)	2000 W	2400 W	2900 W
Puissance nominale PV, 36 V 1a, b)	3000 W	3600 W	4350 W
Puissance nominale PV, 48 V 1a, b)	4000 W	4900 W	5800 W
Courant max. de court-circuit PV 2)	35 A (30 A max. par connexion MC4) 70 A (30 A max. par connexion MC4)		
Tension PV maximale de circuit ouvert	250 V : maximum absolu dans les conditions les plus froides 245 V : maximum au démarrage et en fonctionnement		
Efficacité maximale	99 %		
Autoconsommation	Moins de 35 mA @ 12 V / 20 mA @ 48 V		
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable avec : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)		
Tension de charge « maintien »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)		
Tension de charge « d'égalisation »	Configuration par défaut : 16,2 V / 32,4 V / 48,6 V / 64,8 V (réglable)		
Algorithme de charge	Algorithme adaptatif à étapes multiples (huit algorithmes préprogrammés) ou algorithme défini par l'utilisateur.		
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C		
Protection	Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe		
Température d'exploitation	-30 à +60 °C (puissance nominale en sortie complète jusqu'à 40 °C)		
Humidité	95 %, sans condensation		
Altitude maximale	5000 m (sortie nominale complète jusqu'à 2000 m)		
Conditions environnementales	Intérieur, sans climatisation		
Niveau de pollution	PD3		
Communication de données	VE.Can, VE.Direct et Bluetooth		
On/off à distance	Oui (connecteur à deux pôles)		
Relais programmable	DPST Puissance nominale CA : 240 VCA / 4 A Puissance nominale CC : 4 A jusqu'à 35 VDC, 1 A jusqu'à 60 VDC		
Fonctionnement en parallèle	Oui, fonctionnement en parallèle synchronisé avec le VE.Can (25 unités maxi.) ou le Bluetooth (10 unités maxi.)		

Annexe C : Facture d'électricité délivrée par la SONEGAS

الشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز
Société Algérienne de Distribution de l'Électricité et du Gaz

Capital social de 2500000000000 DA

FACTURE N° 721901000254

Fourniture d'Electricité
Période : Janvier 2019

Direction Distribution: TLEMCEM
Adresse : AVE 10 FEVRIER IMAMA
N° RC: 13767-0805455806 N° IS : 096913519045512
N° RIP: 0079999900003806245 N° RIB: 00100512030010172251

Fax : 043221458
Tél : 043221472
Dépannage Electricité :

Référence : 132011300137185 N° Client: 7290137
N° Poste 7055 N° RC: N° IS : Tél :

Désignation du lieu de consommation: BEL HORIZON TLEMCEM
Nom et Adresse du Destinataire de facture: ECOLE SUPERIEURE SC APPLI
EPST BP 165 RP BEL HORIZON 13000 TLEMCEM

Tarif: 42 Comptage : Période de consommation du: 27-12-2018 au: 28-01-2019

CONSUMMATION:

Compteurs	Numéro	Coeff. de lecture	Index Premier cadran		Index Second cadran		Index Troisième cadran	
			Ancien	Nouveau	Ancien	Nouveau	Ancien	Nouveau
ACTIF-T-TARIF	2998	1.00	242523	245827	103106	104927	486451	494504
REACTIF-S-T	2998	1.00	607502	618300				
LND PUISSANCE	2998	1.00		50.00				

Energies	Consommations			Périodes tarifaires	
	Cadran 1	Cadran 2	Cadran 3	H. POINTE	POINTE
CONSON. ACTIVE	3304	1821	8053	11893	11920
P. E. C ACTIVE	63	35	153		
P. A. V ACTIVE	120	64	200		
CONSON. REACTIVE	10798				12995
P. E. C REACTIVE	431				
P. A. V REACTIVE	1766				

FACTORATION

Veuillez régler avant par

Virement au compte CCP bancaire sus indiqué. Cheque CCP ou bancaire versé à notre unité.

TLEMCEM le 10-02-2019

Le Directeur de Distribution

Energie consommée	Quantité	P.U (cDA)	A déduire	A ajouter
H. POINTE	11893	180.64		21483.52
POINTE	1920	872.02		16742.78
Facteur de puissance	94.08%			
MAJORATION	6088	45.53		2771.87
Puissance mise à disposition	120	3870.00		4644.00
Puissance maximale atteinte	50	18058.00		9029.00
Primes fixes				515.65
Montant énergie HT				55186.82
TVA énergie taux 19 %				10485.50
Location (comptage, transformateur)				
Entretien de poste transformateur				
Frais de coupure et remise				
Montant prestation HT				
TVA prestation taux				
Taxe d'habitation				
Taxe sur vente de produits énergétiques				
Intérêts moratoires				

Distribution aux cotis permanents du client: 102 59 DA

TOTAL FACTURE 65672.32 DA

Sur ce document il prend à votre connaissance La présente facture est arrêtée à la somme de :

Annexe D : datasheet de l'onduleur

	X3-8.0P	X3-10.0P	X3-12.0P	X3-15.0P
INPUT (DC)				
Max PV array power [Wp]	12000	15000	18000	22500
Max DC voltage [V]	1000	1000	1000	1000
Nominal DC operating voltage [V]	600	600	600	600
Max. input current [A]	12/24	12/24	12/24	12/24
Max. short circuit current [A]	14/28	14/28	14/28	14/28
MPPT voltage range [V]	160-850	160-850	160-850	160-850
Start operating voltage [V]	180	180	180	180
No. of MPPT trackers/Strings per MPPT tracker	2(1/2)	2(1/2)	2(1/2)	2(1/2)
OUTPUT AC				
Nominal AC power [VA]	8000	10000	12000	15000
Max. AC power [VA]	8800	11000	13200	16500
Nominal grid voltage AC voltage range [V]	3/N/PE, 230/400(310-480)			
Nominal grid frequency range [Hz]	50/60 ±5			
Nominal AC current [A]	11.8	14.5	17.4	21.7
Max. AC current [A]	12.8	15.9	19.1	23.9
Displacement power factor	0.8 leading-0.8 lagging			
THDi, rated power [%]	<3			
EFFICIENCY				
MPPT efficiency [%]	99.9			
Euro efficiency [%]	97.8			
Max. efficiency [%]	98.3			
POWER CONSUMPTION				
Standby consumption (Night) [W]	<3			



Résumé :

Dans ce mémoire, nous allons procéder à l'étude de l'alimentation autonome de l'école supérieure en sciences appliquées de TLMECEN par panneaux photovoltaïques.

Après une description détaillée des systèmes photovoltaïques et de leurs applications et la présentation de tous les composants de base qu'ils contiennent, nous proposons une conception complète du système solaire autonome avec les batteries, après quoi nous présenterons une étude économique de notre projet.

Mots clé : Système photovoltaïque, dimensionnement du système photovoltaïque.

ملخص:

يهدف عملنا المقدم في هذه الأطروحة إلى تقديم دراسة متكاملة عن تصميم منظومة شمسية مستقلة من أجل إمداد المدرسة العليا في العلوم التطبيقية بتلمسان بالكهرباء.

بعد وصف مفصل للأنظمة الكهروضوئية و تطبيقاتها و تقديم جميع المكونات الأساسية فيها, نقدم تصميم كامل لمنظومة شمسية خاصة بالمدرسة بتخزين ذاتي عن طريق البطاريات, لنقدم بعدها دراسة اقتصادية لمشروعنا.

الكلمات المفتاحية : أنظمة كهروضوئية, تصميم منظومة شمسية

Abstract:

In this context, we want to realize an autonomous photovoltaic installation in order to provide the High School of Applied Sciences with electricity, located in the city of Tlemcen (Algeria).

After a detailed description of PV systems and their applications and the introduction of all the basic components in them, we offer a complete design of the school's solar system by self-storage through batteries, after which we will present an economic study of our project

Keywords: PV systems, solar system design