

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER** en **Génie Civil**

Spécialité : Efficacité Energétique dans les bâtiments de constructions

Par : Ibrahim MAHI et Mohammed El Amine MEZRAOUI

Sujet

**Le système photovoltaïque en Algérie : Etude des cas
des établissements scolaires**

Soutenue, le **21/06/2020**, devant le jury composé de :

Omar MAACHOU
Mohammed Moustafa BOUZAKI
Hachimi DAHHAOUI
Abdeldjalil ZADJAOUI

MA.
MCB.
Dr.
Pr.

UAB. Tlemcen
U. Blida
DAL. Tlemcen
UAB. Tlemcen

Président
Examinateur
Encadrant
Co-Encadrant

“When it comes to making your dream a reality, one of the most powerful weapons at your disposal is dogged, bullheaded insistence”

Marc Randolph

“Be brutally honest about the short term and optimistic and confident about the long term.”

Reed Hastings

REMERCIEMENTS

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions nos encadreurs, qui sans eux, ce projet de fin d'étude n'aurait pas été possible. Il s'agit particulièrement de M. ZADJAOUI ABDELDJALIL, professeur à la faculté de technologie de l'université de Tlemcen et M. DAHHAOUI HACHIMI, chef de projet des énergies renouvelables au niveau de la wilaya de Tlemcen.

Nos remerciements vont également à, Monsieur OMAR MAACHOU, maitre-assistant au département de Génie Civil à l'université de Tlemcen qui a aimablement accepté de présider ce jury composé de notre examinateur :

BOUZAKI MOHAMMED MOUSTAFA, maitre de conférences au département des énergies renouvelables à l'université de Blida 1. Nous vous remercions sincèrement pour le temps consacré à l'examen de ce travail et pour l'ensemble des remarques et suggestions proposées.

Enfin nous tenons à adresser un remerciement à nos très chères familles et aussi nos enseignants du département de Génie Civil qui ont été toujours présents pour nous encourager et nous soutenir.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail en premier lieu à mes parents qui m'ont soutenu pour me permettre de réaliser tous mes objectifs et qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

A mes frères, et toute la famille MEZRAOUI et
BENDAHMANE

A mon neveu Mahrez

A mon binôme Ibrahim

A toute la promotion EEBC

A tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à maintenant surtout nos enseignants du département génie civile.

A tous mes camarades et mes amis

MEZRAOUI MOHAMMED EL AMINE

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail en premier à mon défunt père
« allah yerahmou » et à ma mère qui m'ont soutenu le long de
mon parcours scolaire et universitaire et qui ont toujours été
là à mes côtés, sans eux je n'en serai pas là où j'en suis
maintenant

A mes frères et sœurs

A toute ma famille

A mon binôme Mohamed El Amine

A toute la promotion EEBC

A mes amis

A mes professeurs et enseignants

A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin

MAHI IBRAHIM

RESUMÉ

Le système photovoltaïque en Algérie : Etude des cas des établissements scolaires

Depuis une décennie, l'Algérie mène un programme d'amélioration de la performance énergétique d'équipements publics pour favoriser une utilisation plus responsable de l'énergie.

Elle vise une exploration de toutes les voies pour préserver les ressources et systématiser la consommation utile et optimale. Ce projet de fin d'études vise : 1) Une étude des cas auprès de trois établissements électrifier par l'énergie photovoltaïque 2) Une solution sous forme d'un nouveau cahier des charges basé sur le retour d'expérience pour l'amélioration des installations 3) L'application des recommandations du nouveau cahier des charges pour l'électrification d'une école à Tlemcen.

Les résultats obtenus par simulation sous PVGIS montrent que, comparativement aux projets précédents, l'installation étudiée bénéficie du potentiel d'amélioration de l'efficacité et de l'efficacité en matière de production et d'optimisation d'énergie.

Mots-clés : Photovoltaïque, étude des cas, défauts, Cahier des charges.

SUMMARY

The photovoltaic system in Algeria: Case study of schools

For a decade, Algeria has been carrying out a program to improve the energy performance of public equipment to encourage more responsible use of energy.

It aims to explore all avenues to conserve resources and systematize useful and optimal consumption. This end of studies project aims: 1) A case study for three establishments electrified by photovoltaic energy 2) A solution in the form of a new specification based on feedback for the improvement of installations 3) The implementation of the recommendations of the new specifications for the electrification of a school in Tlemcen.

The simulation results by PVGIS show that, returned to previous projects, the installation studied shows a potential for improving efficiency and effectiveness in terms of energy production and optimization.

Keywords : Photovoltaic, case study , faults, Specifications.

ملخص

النظام الكهروضوئي في الجزائر: دراسة حالة المؤسسات التعليمية

تنفذ الجزائر على مدى عقد من الزمن، برنامجًا لتحسين أداء الطاقة في المرافق العامة لترشيد استعمال الطاقة . في اطار استكشاف جميع السبل للحفاظ على الموارد وتنظيم الاستهلاك المفيد والأمثل. نتطرق من خلال هذه المذكرة الى الأهداف التالية : (1) دراسة حالة ثلاث مؤسسات مزودة بالطاقة الشمسية . (2) اقتراح حل على شكل تعديلات في دفتر الشروط بناء على ما توصلنا اليه من خلال التجارب السابقة. (3) تطبيق المعطيات المقترحة في دفتر الشروط في اطار دراسة تزويد مدرسة على مستوى ولاية تلمسان بالطاقة الشمسية .

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام PVGIS :

أنه ، مقارنة بالمشاريع السابقة ، فإن هذه الدراسة تظهر نتائج إيجابية تتمثل في القدرة على تحسين الكفاءة والفعالية من حيث إنتاج الطاقة وتحسينها.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، دراسة حالة، العيوب ، دفتر الشروط.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACES	II
RESUMÉ	IV
SUMMARY.....	V
TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTES DES ACRONYMES ET SYMBOLES.....	X
LISTE DES FIGURES	XII
LISTE DES TABLEAUX.....	XVI
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : CONTEXTE GENERAL ET DEFINITIONS	1
1.1 Introduction	4
1.2 Contexte général.....	4
1.2.1 Le programme national des énergies renouvelables.....	5
1.2.2 Les perspectives énergétiques pour l'Algérie à l'horizon 2030	5
1.2.3 Priorité de généralisation de l'énergie solaire aux établissements scolaires	6
1.3 Cellule photovoltaïque.....	7
1.3.1 Principe de fonctionnement.....	8
1.3.2 Paramètres de caractérisation	9
1.3.3 Classification	11
1.4 Module photovoltaïque	12
1.4.1 Principe de fonctionnement.....	12
1.4.2 Caractéristiques électriques.....	12
1.4.3 Valeurs limites.....	13
1.4.4 Caractéristiques mécaniques	15
1.4.5 Conditions STC	16
1.5 Champ photovoltaïque	16
1.6 Onduleur	17
1.6.1 L'onduleur autonome.....	17
1.6.2 Onduleur connecté au réseau	20
1.7 Batterie	22
1.7.1 Principe de fonctionnement d'une batterie solaire.....	22

1.7.2	Utilisation	22
1.8	Régulateur de charge	24
1.8.1	Fonctionnement	25
1.9	Conclusion.....	26
2	CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES : UNE ETUDE DES CAS SUR LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRE	4
2.1	Introduction :	27
2.2	Identification des défauts rencontrés dans les établissements scolaires	27
2.2.1	Cas N° 01 : Etablissement scolaire de type A pour une capacité d'accueil de 120 élèves .	27
2.2.2	Cas N° 02 : Etablissement scolaire de type B pour une capacité d'accueil de 240 élèves .	28
2.2.3	Cas N° 03 : Etablissement scolaire de type C pour une capacité d'accueil de 360 élèves .	29
2.3	Diagnostic et classification des défauts.....	30
2.3.1	Défauts électriques	30
2.3.2	Defaults non électriques	36
2.3.3	Problèmes techniques.....	39
2.4	Vers un nouveau cahier des charges pour l'amélioration de la qualité des installations futures :	39
2.4.1	Cahier des prescriptions techniques	40
2.4.2	Critères d'évaluation des offres	42
2.5	Conclusion.....	44
3	CHAPITRE 3 : ELECTRIFICATION D'UNE ECOLE A TLEMCEN PAR L'ENERGIE SOLAIRE SUIVANT LES RECOMMANDATIONS DU NOUVEAU CAHIER DES CHARGES	33
3.1	Introduction	45
3.2	Position géographique et données climatiques	45
3.2.1	Position géographique	45
3.2.2	Données climatiques.....	47
3.3	Dimensionnement du système PV	48
3.3.1	Besoins journaliers : Bilan de puissance.....	50
3.3.2	Nombre et capacité des batteries	51
3.3.3	Nombre des panneaux photovoltaïques	54
3.4	Spécifications techniques des équipements	55
3.4.1	Panneaux solaires.....	55
3.4.2	Coffret DC.....	58
3.4.3	Onduleur	59

3.4.4	Accessoires.....	62
3.5	Résultats et discussion	64
3.6	Evaluation de la production du système par simulation sous PVGIS.....	65
3.6.1	On grid (connecter au réseau) :.....	67
3.6.2	Off grid (système PV hors réseau)	70
3.7	Conclusion.....	73
CONCLUSION GENERALE		74
BIBLIOGRAPHIES		76

LISTES DES ACRONYMES ET SYMBOLES

Acronymes :

PV : Photovoltaïque

CC : Courant continu

CA : Courant alternatif

MPPT : Maximum Power Point Tracker

MPP : Point de puissance maximale

STC : Conditions standards de Test (Standard Test Conditions).

Ma : Masse atmosphérique

SP : Série-parallèle

(I - V) : Courant-tension

Symboles :

V : Tension aux bornes de la cellule

I : Courant délivré par la cellule

Pmax : Puissance maximale

Vmpp : Tension au point de puissance maximale

Impp : Courant au point de puissance maximale

Voc : Tension de circuit ouvert

Vb : Tension de claquage de la cellule

Isc : Courant de court-circuit

G : Rayonnement solaire

Id : Courant de diode

Isat : Courant de saturation de la diode

M(V1) : Multiplicateur non linéaire

Rs : Résistance série de la cellule

Rsh : Résistance shunt de la cellule

VT : Tension thermique de la diode
Q : Charge de l'électron
T : Température effective de la cellule
K : Constante de Boltzmann
N : Facteur de qualité de la diode
H : Le rendement énergétique
E : L'éclairement en W/m²
S : La surface de la cellule (ou du module)
Wc : La puissance Crête d'un module
Ep : énergie produite
Ec : Energie consommée
K : Coefficient correcteur
Ep : Energie produite par jour
C : Capacité de la batterie
N : Nombre de jour d'autonomie
D : Décharge maximale admissible
U : Tension de la batterie (V)

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1	N° de Page
Figure 1.1 : Principe de fonctionnement de la cellule PV	8
Figure 1.2 : Conversion directe de la lumière en électricité	8
Figure 1.3 : cellules en silicium cristallin	9
Figure 1.4 : Cellule photovoltaïque au silicium cristallin	9
Figure 1.5 : Silicium amorphe	10
Figure 1.6 : Cellule photovoltaïque au silicium amorphe	10
Figure 1.7 : Cellules CIGS	10
Figure 1.8 : Cellules CdTe	10
Figure 1.9 : Cellules photovoltaïques organiques	11
Figure 1.10 : Module photovoltaïque	15
Figure 1.11 : Module photovoltaïque (verre tedlar)	15
Figure 1.12 : Module photovoltaïque « thin film »	16
Figure 1.13 : Le champ photovoltaïque	16
Figure 1.14 : Onduleur	17
Figure 1.15 : Schéma de principe d'un onduleur autonome	17
Figure 1.16 : Schéma de principe d'un onduleur autonome	17
Figure 1.17 : Schéma globale d'une installation PV	21
Figure 1.18 : Batterie solaire	21
Figure 1.19 : Composition d'une batterie au plomb	23
Figure 1.20 : Etat de charge et profondeur de décharge	23
Figure 1.21 : Régulateur de charge	24
CHAPITRE 2	N° de Page
Figure 2.1 : Mauvaise résistance mécanique des supports des modules	28
Figure 2.2 : Mauvais câblage des modules	28

Figure 2.3 : Inversion des liaisons de sorties	28
Figure 2.4 : Ombrage partiel des panneaux solaires	29
Figure 2.5 : Mauvais câblage	29
Figure 2.6 : Connexion desserrée ou cassée	29
Figure 2.7 : Parafoudre inadaptée	29
Figure 2.8 : Module mal fixé et module cassé	30
Figure 2.9 : Câbles non fixés	30
Figure 2.10 : Mauvais câblage	30
Figure 2.11 : Salissure des panneaux photovoltaïque (pollution, sable)	30
Figure 2.12 : Exemples de défauts rencontrés dans des boites de jonction	32
Figure 2.13 : Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage	34
Figure 2.14 : Exemples de défauts des diodes de bypass	34
Figure 2.15 Points chauds	37
Figure 2.16 Fissuration de la cellule PV	37
Figure 2.17 Traces d'escargot "Snail tracks"	38
Figure 2.18 : Module PV atteint par la corrosion	38
Figure 2.19 : Module photovoltaïque présentant une délamination	38

CHAPITRE 3

N° de Page

Figure 3.1 : Position géographique Tlemcen	45
Figure 3.2 : Position géographique de Maghnia	45
Figure 3.3 : Position géographique de Djarabaa	46
Figure 3.4 : Position de L'école de Mansori Abdelkader Dajrabaa	46
Figure 3.5 : Ecole de Mansori Abdelkader Djarabaa Maghnia	46
Figure 3.6 : les trois types de climat en Algérie	47
Figure 3.7 : Diagramme climatique Maghnia 2019	47
Figure 3.8 : Tableau climatique de Maghnia 2019	47
Figure 3.9 : Courbe de température 2019	48

Figure 3.10 : Ensoleillement Maghnia 2019	48
Figure 3.11 : Schéma des composants d'une installation photovoltaïque	49
Figure 3.12 : Courbe de rendements onduleur RG-MS 5000VA	52
Figure 3.13 : Les batteries	53
Figure 3.14 : le montage des batteries	54
Figure 3.15 : Schéma de notre installation photovoltaïque	55
Figure 3.16 : Panneaux photovoltaïque RG-M265W	56
Figure 3.17 : Fiche technique de panneaux photovoltaïque RG-M265W	56
Figure 3.18 : Cellule photovoltaïque RG-M265W	57
Figure 3.19 : Cadre panneaux photovoltaïque RG-M265W	57
Figure 3.20 : boîte de jonction	58
Figure 3.21 : verre de panneaux photovoltaïque	58
Figure 3.22 : Coffret DC	58
Figure 3.23 : Coffret DC	59
Figure 3.24 : Onduleur RG-MS5000W-48V	60
Figure 3.25 : Fiche technique d'onduleur RG-MS5000W-48V	61
Figure 3.26 : Onduleur RG-MS5000W-48V	61
Figure 3.27 : Chemin de câble avec couvercle à clipser	62
Figure 3.28 : Une connectique	63
Figure 3.29 : Principe de mise en œuvre de l'équipotentialité	63
Figure 3.30 : Structure porteuse des panneaux solaire	64
Figure 3.31 : Logiciel PVGIS	65
Figure 3.32 : Choix de site sur carte	65
Figure 3.33 : Performance du système PV couplé au réseau	68
Figure 3.34 : Rapport de résultats de la simulation	68
Figure 3.35 : Production énergétique mensuelle du système PV fixe	69
Figure 3.36 : Ligne d'horizon	69

Figure 3.37 : Irradiation mensuelle sur plan fixe	70
Figure 3.38 : Performance du système PV hors réseau	70
Figure 3.39 : Résultat de la simulation	71
Figure 3.40 : Production estimée pour un système PV hors-réseau	71
Figure 3.41 : Performance de la batterie du système PV hors-réseau	72
Figure 3.42: Probabilité d'état de charge à la fin du jour	72

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1	N° de Page
Tableau 1.1 : Le potentiel de l'énergie solaire en Algérie	5
Tableau 1.2 : Les perspectives énergétiques pour l'Algérie à l'horizon 2030	6
Tableau 1.3 : Avantages et inconvénients de cellule photovoltaïque au silicium cristallin	9
Tableau 1.4 : Avantages et inconvénients de cellule photovoltaïque au silicium amorphe	10
Tableau 1.5 : Classification des cellules photovoltaïque	11
Chapitre 2	N° de Page
Tableau 2.1 : Défauts dans le module photovoltaïque	31
Tableau 2.2 : Défauts dans la boîte de jonction DLDPV	32
Tableau 2.3 : Défaut dans le système de câblage	33
Tableau 2.4 : Défauts dans le système de protection	34
Tableau 2.5 : Défauts dans l'onduleur	35
Tableau 2.6 : Défauts dans le système d'acquisition	36
Tableau 2.7 : Les principaux paramètres pour la conception du cahier des charges	40
Tableau 2.8 : Paramètres du CPT pour les panneaux solaires et support	40
Tableau 2.9 : Paramètres du CPT pour le régulateur	41
Tableau 2.10 : Paramètres du CPT pour la batterie	41
Tableau 2.11 : Paramètres du CPT pour l'onduleur	41
Tableau 2.12 : Paramètres du CPT pour l'abri compartimenté	41
Tableau 2.13 : Critères d'évaluation des offres pour panneaux solaire	42
Tableau 2.14 : Critères d'évaluation des offres pour le régulateur	43
Tableau 2.15 : Critères d'évaluation des offres pour la batterie solaire	43
Tableau 2.16 : Critères d'évaluation des offres pour l'onduleur solaire	44

Chapitre 3

N° de Page

Tableau 3.1 : Bilan de puissance des classes	50
Tableau 3.2 : Bilan de puissance de bureau	50
Tableau 3.3 : Bilan de puissance de salle d'informatique	51
Tableau 3.4 : Capacité des batteries	54
Tableau 3.5 : Spécifications techniques des panneaux photovoltaïques	56
Tableau 3.6 : Spécifications techniques de l'onduleur	60
Tableau 3.7 : Résultat final	64

INTRODUCTION

GENERALE

Au cours des dernières années, le soutien politique aux énergies renouvelables n'a cessé de croître au niveau international, parallèlement avec le développement des technologies nécessaires pour l'exploitation optimale des ressources énergétiques renouvelables [1].

Les pays du monde entiers se tourne vers la production de l'électricité à partir des sources d'énergie renouvelables. Cela reste insuffisant, car l'électricité à partir des énergies renouvelables ne représente que 18,1 % de l'électricité produite à travers le monde, le reste est produit à partir des énergies fossiles tels que le pétrole et le gaz naturel [2][3].

L'Algérie, avec ses grandes réserves de pétrole et de gaz, ainsi que sa grande surface 2381 741 km² font d'elle un acteur important en Afrique du Nord comme au niveau international. Les principales formes d'énergie disponibles en Algérie sont de type primaire à savoir, l'électricité, le gaz naturel, les produits pétroliers et le gaz propane liquéfié (GPL) [53].

Pour trouver des solutions durables aux défis et aux problèmes de la conservation des ressources énergétiques fossiles d'une part, et contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre d'autre part, l'Algérie s'est fortement intéressée aux énergies renouvelables afin de répondre à l'augmentation de la demande en électricité, principalement dû à l'expansion des activités économiques et la croissance démographique. La consommation d'électricité en Algérie vas avoisiné les 130–150 TWh en 2030, contre 75 à 80 TWh en 2020 [4][5][55].

L'Algérie possède un énorme potentiel d'énergies renouvelables telles que l'énergie éolien, géothermie, biomasse, et l'énergie photovoltaïque vu l'importance du gisement solaire du pays [1][6][7][8]. Cela a fait naitre le Programme algérien pour le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique par le gouvernement algérien en 2012 [9][10]. Un programme qui vise des solutions durables pour les défis d'urbanisation et l'augmentation des

besoins en eau et en énergie, dont une partie à été dédié à l'électrification solaire des écoles primaires sur le territoire national à l'horizon 2030.

Le constat et diagnostic de quelques projets d'électrification par l'énergie photovoltaïque d'écoles primaires, à montrer des limites de dimensionnement, de réalisation mais aussi d'absence d'entretien, faisant de la majorité des installations, des projet qui ne répondait pas aux besoins et objectifs [11] [54].

Ce travail cible donc l'amélioration des installations solaire OFF GRID des écoles primaires isolée du réseau électrique, mais également les installations ON GRID raccordés au réseau. La solution proposée tourne autour d'un nouveau cahier des charges basée sur le retour d'expérience acquis suite aux différentes installations réalisées.

Le manuscrit est composé de trois chapitres :

Le premier Chapitre, de caractère bibliographique présente le contexte général du système photovoltaïque en Algérie, les programmes en cours et les objectifs tracés. Il aborde les définitions de tous les composants du système photovoltaïques.

Le deuxième chapitre est consacré aux défauts des systèmes photovoltaïques. Il s'agit d'une étude des cas avec un diagnostic détaillé, de quelques installations réalisées. A l'issue de ce constat, un nouveau cahier des charges a été proposé, pour éviter de reproduire le maximum d'erreurs pour les prochaines installations.

Finalement, **le troisième chapitre** est dédié au dimensionnement et l'électrification solaire de l'école primaire « Mansouri Abdelkader » à Maghnia, Tlemcen, en se basant sur les principales recommandations du nouveau cahier des charges. La simulation du système avec logiciel PVGIS, permet l'évaluation de la production de cette école.

CHAPITRE 1 :

CONTEXTE GENERAL ET

DEFINITIONS

1.1 Introduction

Le programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique et les systèmes photovoltaïques sont étroitement liés, car une partie du programme consiste à électrifier toutes les écoles primaires du pays par l'énergie solaire.

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système photovoltaïque, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand-chose, pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer à un système complet correspondant à une application bien spécifique.

Cette étude bibliographique a pour but de présenter un aperçu sur le contexte général des énergies renouvelables en Algérie, le détail du programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Les définitions de tous les éléments qui constituent un système photovoltaïque ainsi que leurs principes de fonctionnement seront détaillés.

1.2 Contexte général

Les énergies renouvelables sont très favorisées du fait qu'elles sont abondantes et non polluantes. Néanmoins, le manque de technologies et de mains d'œuvre qualifié d'une part, et le coût élevé des systèmes à énergies renouvelables, ralentissent l'expansion de ces systèmes en Algérie. Parmi les énergies renouvelables, celle qui est la plus abondante, la plus répandue, et surtout la mieux maîtrisée techniquement en Algérie, l'énergie solaire[12]. C'est une énergie qui est très intéressante car elle très abondante dans notre pays, et elle peut être employée dans différents secteurs : L'agriculture, l'habitat, les centrales électrique...etc. Et pour différents domaines : chauffage, électricité, chauffe-eau, dessalement des eaux salines... ; De plus nous, avons le choix entre différentes installations pour optimiser son rendement selon son utilisation.[13][14]

Par la suite dans ce chapitre on va montrer les mécanismes employés par l'état algérien pour encourager et démocratiser l'utilisation des énergies renouvelables, essentiellement l'énergie solaire, et on va aborder les définitions de tous les composants du système photovoltaïque.

Tableau 1.1 : le potentiel de l'énergie solaire en Algérie [6]

Zones	Zone côtière	Hauts plateaux	Sahara	Totale
Surface (%)	4	10	86	100
Superficie (Km ²)	95270	238174	2048297	2381741
Durée moyenne d'ensoleillement quotidienne (h)	7.26	8.22	9.59	
Durée moyenne d'ensoleillement (h / an)	2650	3000	3500	
Énergie moyenne reçue (kWh / m ² / an)	1700	1900	2650	
Densité d'énergie solaire quotidienne (kWh/m ²)	4.66	5.21	7.26	
Énergie quotidienne potentielle (TWh)	443.96	1240.89	14870.63	16555.48

1.2.1 Le programme national des énergies renouvelables

L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile, via le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables. Il a été adopté par le Gouvernement en février 2011 et révisée en mai 2015[9].

1.2.2 Les perspectives énergétiques pour l'Algérie à l'horizon 2030

A travers ce programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique. 37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable.[15]

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois. La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des

connaissances, qui permettra à terme, d'employer le génie local algérien, notamment en matière d'engineering et de management de projets.

Ce programme, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects, mais aussi préparer la transition vers d'autres sources d'énergies autre que l'énergie fossile.

La consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour le marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, répartie par filière comme suit :[6]

Tableau 1.2 : Les perspectives énergétiques pour l'Algérie à l'horizon 2030 [6][8]

	1 ^{er} phase 2015/2020 [MW]	2 ^{ème} phase 2021/2030 [MW]	Totale [MW]
Photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CSP	-	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
Totale	4525	17475	22000

1.2.3 Priorité de généralisation de l'énergie solaire aux établissements scolaires

Dans le cadre de la stratégie de transition énergétique établi par les pouvoirs publics algériens, qui a pour but de diversifier les sources d'énergie et émerger des énergies propres et durable, les collectivités locales constituent un maillon fort pour le déploiement à grande échelle des énergies renouvelables et des mesures d'efficacité énergétique à travers des actions sur leur patrimoines (éclairages publics , écoles , mosquées , infrastructures administratives) et leurs territoires tels que les zones isolées et éparses.[51]

L'enjeu est d'engager les collectivités locales dans une dynamique de croissance verte en réduisant leur facture énergétique qui représente une moyenne de 25 milliards de dinar par an, qui est l'équivalent de 10% de la consommation nationale en énergie électrique, mais aussi pour développer le marché des énergies renouvelables et créer des emplois.

Pour assurer cette transition énergétique, une feuille de route a été mise en place par le ministère de l'intérieur, des collectivités locales et de l'aménagement du territoire, elle s'articule autour de 04 axes stratégiques, à savoir :

1. Arrêter un programme d'investissement pluriannuel sur le patrimoine de la collectivité locale et sur les territoires isolés, intégrant les énergies renouvelables et les mesures d'efficacité énergétique.
2. Mettre en place un montage financier qui mobilisera plusieurs sources de financement (caisse de garantie et de solidarité des collectivités locales, budgets locaux, programmes communaux de développement...).
3. La mise en œuvre d'un cadre organisationnel et de mesures initiatives permettant de donner un élan au programme mené par les collectivités locales et d'assurer la durabilité des systèmes installés.
4. L'accompagnement des collectivités locales par la formation, la sensibilisation et l'assistance technique des élus et des cadres locaux.

La réussite de cette première phase a poussé le ministère à tracer un programme plus ambitieux, consistant et ayant une visibilité sur une échéance phare, 2030, pour coïncider avec la date butoir pour l'atteinte des objectifs de développement durable (ODD).

Ce programme d'investissement décennal des collectivités locales, a pour objectifs à l'horizon de 2030 de :

1. Lancer une grande opération pour changer les lampes classiques par des lampes économique dans toutes les infrastructures des collectivités locales.
2. Equiper au moins une mosquée model dans chaque wilaya par un système photovoltaïque qui va l'alimenter en électricité.
3. La réalisation de pas moins de 300 poteaux d'éclairage publics alimenté par l'énergie solaire et 700 poteaux LED dans chaque wilaya.
4. Installer des systèmes photovoltaïques individuels pour les zones isolé et L'électrification solaire de toutes les écoles primaires existantes au niveau de tout le pays.

1.3 Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), génère de l'électricité. C'est l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. Le courant obtenu est fonction de la lumière incidente. L'électricité produite est fonction de l'éclairement, la cellule photovoltaïque produit un courant continu. [16][17]

Une cellule photovoltaïque transforme l'énergie lumineuse du soleil en courant électrique grâce au matériau semi-conducteur qu'elle contient. [16]

La conversion de l'énergie solaire en électricité, appelée "effet photovoltaïque" est découverte en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891).

Toutefois, ce n'est qu'en 1954 qu'apparaît la première cellule photovoltaïque à haut rendement.[18][19]

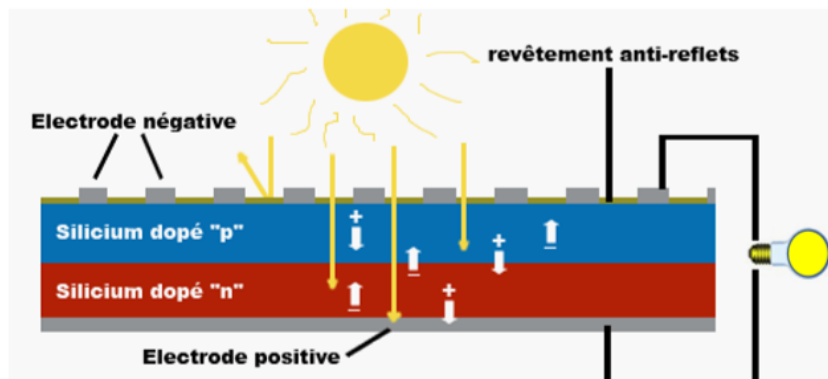


Figure 1.1 : Principe de fonctionnement de la cellule PV

1.3.1 Principe de fonctionnement

Le matériau permettant de fabriquer le courant électrique est le semi-conducteur. Lorsqu'il est pur, ce dernier est presque isolant. Il faut lui ajouter des impuretés ou "dopants" afin de provoquer sa conductivité. Cependant, même présentes à faible concentration, si elles sont métalliques, les impuretés peuvent détériorer le semi-conducteur.[20][21][22]

Le fonctionnement de la cellule repose sur la jonction entre deux zones d'un matériau dopées différemment, dite jonction P-N, ou sur la jonction entre deux matériaux différents appelée hétérostructure ou hétérojonction. La couche la moins épaisse est soumise au rayonnement. Après absorption de la lumière, des porteurs de charges sont générés dans le semi-conducteur (électrons et trous), puis ils sont collectés.[20][21]

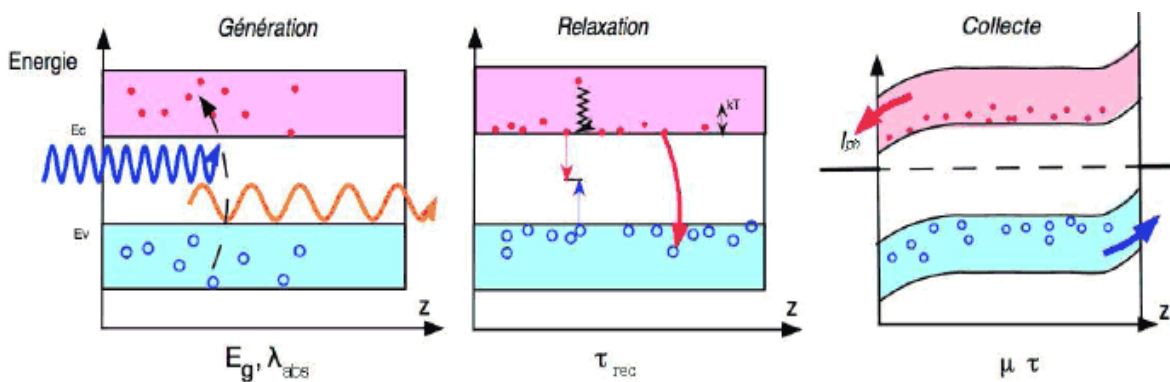


Figure 1.2 : Conversion directe de la lumière en électricité

1.3.2 Paramètres de caractérisation

❖ Première génération : cellules en silicium cristallin

Elles sont réalisées à partir de la réduction de la silice provenant du quartz. Le silicium doit être pur à plus de 99%, ce qui nécessite des transformations lourdes : fusion, équarrissage. Il est obtenu sous forme de lingot après transformation puis est scié de manière à obtenir des plaques d'une épaisseur de 200 μm environ. L'injection de dopants (phosphore, arsenic, antimoine, bore) le rend semi-conducteur. Une couche anti-reflet est ensuite déposée [Figure 1.4].[23][18][19][24].

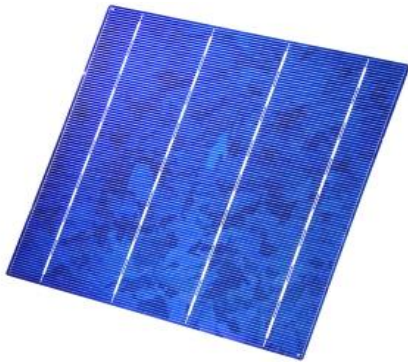


Figure 1.3 : Cellules en silicium cristallin

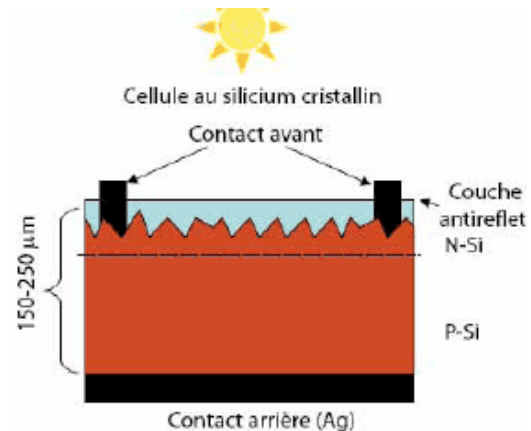


Figure 1.4 : Cellule photovoltaïque au silicium cristallin.

Tableaux 1.3 : Avantages et inconvénients de cellule photovoltaïque au silicium cristallin

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Rendement : 12 à 20%. - Robustesse et longévité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Absorbe peu de lumière. - Une grande épaisseur est nécessaire pour avoir une pureté et une cristallinité importantes. - La moitié des lingots est jetée lors de la réalisation des plaquettes. - Coût élevé.

❖ Deuxième génération : cellules en couches minces

• Silicium amorphe :

Lors de sa transformation, le silicium émet un gaz projeté sur une feuille de verre en présence d'hydrogène pour contrôler le dopage de types n et p. La technique utilisée est la vaporisation sous vide [Figure 1.6].[23][18][21].



Figure 1.5 : Silicium amorphe

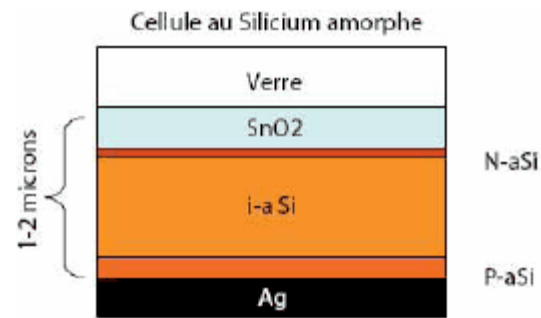


Figure 1.6: Cellule photovoltaïque au silicium amorphe

Tableaux 1.4 : Avantages et inconvénients de cellule photovoltaïque au silicium amorphe

Avantages	Inconvénients
- Fonctionnement avec un faible éclaircment. - Fabrication à un prix raisonnable.	- Diminution de performance au cours du temps. - Rendement faible en plein soleil.

- **Cellules CIGS :**

Le matériau cuivre indium gallium sélénium est le semi-conducteur utilisé, la cellule CIGS résultante est polycristalline, à hétérojonction. Ces cellules peuvent être réalisées par impression ou par déposition sous vide (spray) qui s'avèrent être des procédés relativement économiques. Le substrat peut être flexible.[19][21]

- **Cellules CdTe :**

Le matériau cristallin est constitué de cadmium et de tellure. La cellule CdTe est à hétérojonction. Le coefficient d'absorption de ce matériau est relativement élevé ce qui permet de réduire la quantité de matière première.[23][18].

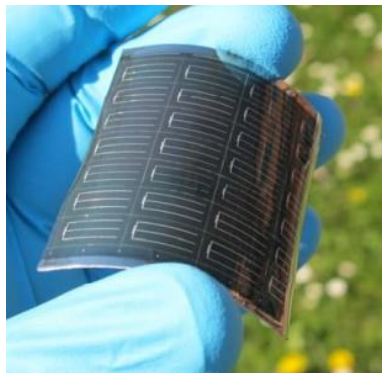


Figure 1.7 : Cellules CIGS



Figure 1.8 : Cellules CdTe

❖ **Troisième génération : cellules à haut rendement**

• **Cellules photovoltaïques organiques :**

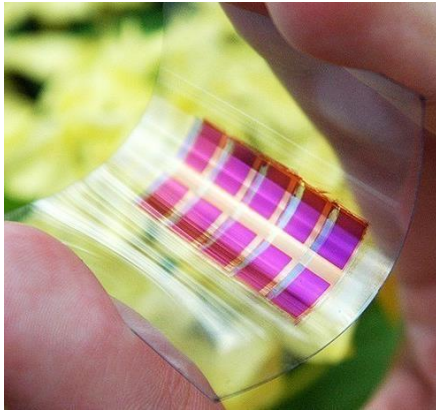


Figure 1.9 : Cellules photovoltaïques organiques

Le semi-conducteur utilisé est un polymère comme par exemple le poly acétylène, Des recherches sont en cours afin que toutes les couches de la cellule soit de nature polymère.

Objectif : manipuler un seul type de matériau et donc une même technologie tout au long du processus de fabrication. Les avantages sont une forte absorption optique, des substrats variés ainsi que des techniques de dépose assez simple. L'inconvénient est que la longévité de ces cellules n'est toujours pas maîtrisée.[25][21][24]

• **Cellules à jonctions**

Dans ces cellules, sont superposés différents types des cellules précédentes :

Cellules tandem : deux couches de semi-conducteurs (amorphe et semi-cristallin) qui absorbent dans des domaines spectraux proches, sont combinées, ce qui améliore le rendement par rapport aux cellules simples.

Cellules multi-jonctions : deux ou trois semi-conducteurs différents sont utilisés, un semi-conducteur par couche. [23][18]

1.3.3 Classification

Tableau 1.5 : classification des cellules photovoltaïque

Type de cellules	Domaines d'application
Silicium monocristallin	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances, espace (satellites)
Silicium poly cristallin	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (reliés réseau ou sites isolés)
Silicium amorphe	Appareils de faible puissance, production d'énergie embarquée (calculatrice, montre.) modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
CIS	Appareils de faibles puissances, modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
Tellure de Cadmium (CdTe)	Modules de grandes dimensions (intégrations dans le bâtiment)
D'Arséniure de Gallium (GaAs)	Systèmes de concentrateur, espace (satellites).

1.4 Module photovoltaïque

1.4.1 Principe de fonctionnement

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés, délivre au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module ou un panneau photovoltaïque. En effet, les modules PV sont composés d'un ensemble de cellules mises en série, réalisant la conversion proprement dite de la lumière du soleil en électricité. Ils sont eux-mêmes associés en série et parallèle pour former un champ photovoltaïque d'une puissance crête définie selon des conditions spécifiques d'éclairement, de température et de spectre solaire (1000 W/m^2 , 25°C et AM 1.5). [23][26]

1.4.2 Caractéristiques électriques

La connexion en série des cellules permet d'augmenter facilement la tension de l'ensemble, tandis que la mise en parallèle permet d'accroître le courant. Le câblage série/parallèle est donc utilisé pour obtenir globalement un générateur PV aux caractéristiques souhaitées.

La plupart des modules commercialisés sont constitués de deux à quatre réseaux de cellules en silicium cristallins connectés en série. Chacun de ces sous-réseaux est lui-même constitué d'un groupe de cellules connectées en série 18 cellules pour le module. Le nombre de cellules de chaque sous-réseau correspond à un compromis économique entre protection et perte d'une partie importante du générateur photovoltaïque en cas de défaut partiel d'ombrage.[27]

1.4.3 Valeurs limites

Le rendement d'une cellule ou d'un module photovoltaïque est le rapport entre l'énergie électrique produite par cette cellule ou module et l'énergie lumineuse reçue sur la surface correspondante :

$$\eta [\%] = P_{\text{produite}}[\text{kW}] / P_{\text{incidente}}[\text{kW}]$$

Le rendement réel varie donc continuellement, en fonction notamment de l'énergie solaire incidente.

Pour permettre une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, on définit ces caractéristiques dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions). Ces conditions sont : émission lumineuse de 1 000 W/m², température de 25 °C, conditions spectrales Air Mass 1.5 (composition du spectre identique au spectre solaire lorsqu'il traverse une épaisseur et demie d'atmosphère, ce qui correspond à un angle d'incidence de 41.8° par rapport à l'horizontale).

La puissance crête est définie comme la puissance électrique produite par la cellule (ou un panneau) lorsqu'elle est soumise aux conditions STC. Cette valeur est utilisée comme référence pour comparer les panneaux photovoltaïques entre eux.

On obtient alors le rendement par la formule suivante :

$$\eta_{\text{STC}} [\%] = \text{Puissance crête} [\text{W/m}^2] * / \text{Puissance du spectre STC} [\text{W/m}^2]$$

Avec : Puissance du spectre STC = 1 000 [W/m²].

❖ Influence de l'éclairement

La luminosité influence considérablement les performances des cellules. Comme le montre ce graphique, le courant de court-circuit (icc) croît proportionnellement avec l'éclairement, alors que la tension à vide (vco) varie très peu (environ 0,5 V).

Ainsi, au plus la couverture nuageuse est importante, au plus l'intensité du courant généré est faible.

❖ Influence de la température

La température a une influence considérable sur le comportement de la cellule et donc sur son rendement. Cette influence se traduit principalement par une diminution de la tension générée (et une très légère augmentation du courant).

Suivant les modèles, ce comportement induit, par degré, une perte de 0.5 % du rendement par rapport au rendement maximum de la cellule.

La perte de tension d'un module ou d'une cellule peut être estimée par la formule suivante :

$$U(T^\circ) = U(25^\circ\text{C}) + (\Delta T^\circ * a)$$

Avec :

ΔT : augmentation de température par rapport aux conditions STC (25°C)

a : coefficient de température Voc [mV/K], valeur fournie par le fabricant

❖ Limite de Shockley-Queisser pour le silicium

La limite de Shockley-Queisser est une limite physique bornant à $\approx 30\%$ le rendement atteignable par les panneaux solaires photovoltaïques courants (composés de cellules en Silicium à jonction simple).

Ce plafond de verre provient de deux phénomènes :

Le panneau photovoltaïque ne valorise pas l'entièreté du spectre d'émission solaire (une partie du rayonnement est systématiquement perdue par transformation en chaleur).

La seconde loi de la thermodynamique qui limite le rendement des "machines thermiques" en fonction des températures de la source chaude (soleil) et de la source froide (la cellule).

Actuellement, en fonction des installations et des technologies utilisées, le rendement de cellules se situe en moyenne entre 10 % et 20 % (avec un record en Labo à 26,6 %).

Pour s'affranchir de cette limite, des cellules multi-jonctions voient le jour permettant d'atteindre des plafonds théoriques de l'ordre de 80 % de rendement. Ce type de cellule, en condition laboratoire a déjà dépassé le cap des 40 % de rendement.

1.4.4 Caractéristiques mécaniques

L'association des cellules en modules permet :

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

Les modules les plus courants (communément appelés panneaux) sont généralement constitués :

- D'un cadre de support et un joint d'étanchéité (1 et 2).
- D'une plaque de verre extra claire (favorisant la transmission lumineuse) (3).
- De deux couches d'Éthylène-Acétate de Vinyle (EVA) qui enrobent les cellules assurant leur - protection contre les intempéries et l'humidité. (4)
- Des différents strings de cellules (5).
- D'une feuille de tedlar (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 (vent, transport...) (6).

Le type de module le plus courant, rencontré entre autres pour le montage en toiture est le module verre tedlar. Il existe cependant d'autre type de module comme : Les modules « verre-verre », utilisés pour leur propriété « translucide » : verrières, façade....

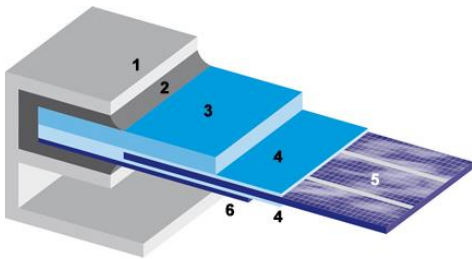


Figure 1.10 : Module photovoltaïque



Figure 1.11 : Module photovoltaïque (verre tedlar)

Des modules tuiles/ardoises solaires où les cellules sont directement intégrées dans des modules de formes traditionnelles de toiture. Celles-ci sont cependant plus exigeantes en termes de main d'œuvre (chaque tuile doit être raccordée manuellement).

D'autres modules de types « thin film » ont aussi récemment fait leur apparition sur le marché. Ils sont en général disposés sur un support souple (téflon...).

1.4.5 Conditions STC

Les conditions standards de test définissent la façon dont les modules photovoltaïques sont examinés en laboratoire afin d'en dégager les propriétés électriques. Il s'agit de conditions normalisées qui permettent de comparer des modules entre eux.[23]

Les conditions STC donnent un certain nombre de conditions de tests dont notamment :

Niveau d'éclairement du module : $P_i=1000 \text{ W/m}^2$

Température des cellules : 25°C

Coefficient Air Masse = 1.5

1.5 Champ photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module soit en série ou bien en parallèle ou les deux à la fois. Si toutes les cellules sont identiques et fonctionnent dans les mêmes conditions, nous obtenons le module photovoltaïque qui fournit un courant I_{pv} sous une tension V_{pv} . [28][29]

Donc un champ photovoltaïque est l'ensemble des panneaux montés en série et en parallèle pour atteindre une tension et un courant plus élevé. [28]



Figure 1.12 : Module photovoltaïque « thin film »



Figure 1.13 : champ photovoltaïque

1.6 Onduleur

Un onduleur permet de normaliser l'électricité photovoltaïque produite. Il transforme le courant continu produit par les installations photovoltaïques en courant alternatif qui peut ensuite être réinjecté sur le réseau de distribution électrique.

L'onduleur solaire se présente sous la forme d'un boîtier métallique muni d'un radiateur ou d'un ventilateur. Il est généralement placé le plus près possible des modules photovoltaïques pour réduire les pertes d'électricité. Il peut faire un léger bruit de ronronnement, et son champ électromagnétique est très faible, inférieur à celui d'une plaque à induction.

Il existe trois sortes d'onduleurs : 1) L'onduleur autonome ; 2) L'onduleur relié au réseau et 3) L'onduleur sur batterie

L'onduleur dure en moyenne 8 à 12 ans. C'est l'un des éléments du panneau photovoltaïque qui nécessite un contrôle régulier pour s'assurer de son bon fonctionnement. Une panne de l'onduleur peut se manifester de différentes façons, par une baisse de la production, des pertes de couplages au réseau, des dépassements de plage de tension.

1.6.1 L'onduleur autonome

Un onduleur pour site isolé a pour fonction principale de convertir une tension continue comme celle d'une batterie en tension alternative semblable à celle du réseau électrique.

En partant d'un parc batterie en 12V, 24V ou 48V on obtient une tension de sortie alternative sinusoïdale, 230Vac en monophasé et 400Vac en triphasé sous une fréquence de 50Hz.[30]



Figure 1.14 : Onduleur

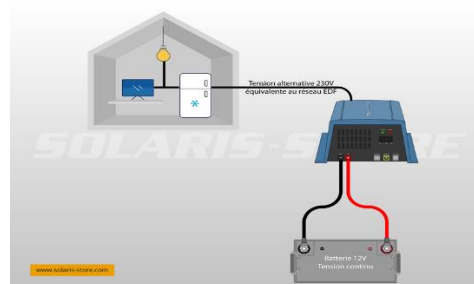


Figure 1.15 : Schéma de principe d'un onduleur autonome

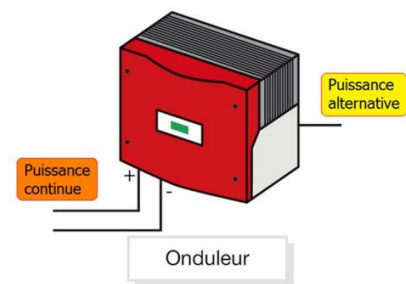


Figure 1.16 : Schéma de principe d'un onduleur autonome

❖ **Fonctionnement**

La création d'une sinusoïde à partir d'une tension continue s'obtient grâce à des impulsions de tension de largeur bien déterminée, cette technologie fait appel à la MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) ou PWM (Pulse with Modulation).[31]

En pratique, l'onduleur est composé d'un ensemble de composants actifs (interrupteurs électroniques) et de composants passifs (transformateur).

L'onduleur doit tolérer une large plage de tension en entrée (-10% à +30%) à cause des variations de tension nominale de la batterie selon les différentes conditions de fonctionnement.

❖ **Utilisation**

- **Puissance nominale**

La puissance nominale d'un onduleur est en général exprimée en Volt/Ampère (VA), puissance apparente, ou en Watt (W). C'est la puissance que le convertisseur peut délivrer en régime constant à une température donnée (souvent 25°C).[27]

- **Capacité de surcharge**

Appelé plus communément (puissance crête/de pointe) cette fonction est la capacité de l'onduleur à supporter un courant d'appel plus élevé que son courant nominal sur une courte période. Elle est en moyenne deux fois supérieure à la puissance nominale.

Exemple : Un onduleur 800VA pourra supporter 1600VA pendant 5 secondes.

Le but est d'assurer le démarrage des charges ayant un courant d'appel élevé tel que les compresseurs de Frigo (jusqu'à 20 fois sa puissance nominale au démarrage) ou les moteurs de pompe.

- **Signal de sortie**

La qualité de la sinusoïde est importante car elle influe directement sur l'alimentation des récepteurs sensibles comme les cartes électroniques et les alimentations de PC par exemple. Cette tension de sortie sinusoïdale est définie par le taux d'harmoniques, il doit être inférieur à 5%.

- **Rendement**

Comme tous les convertisseurs d'énergie, l'onduleur à un rendement exprimé en %, il est le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie restituée avec un facteur de puissance donné (Cos Phi).

Exemple : Un onduleur avec un rendement de 90% sur lequel est branché un récepteur de 100W aura besoin de 110W pour pouvoir l'alimenter.

Ce rendement est variable en fonction des modèles mais il dépend aussi :

- De la puissance nominale de l'onduleur
- De la tension DC en entrée
- De la technologie utilisée
- De la présence ou non d'un transformateur

- **Consommation**

L'onduleur consomme de l'énergie qu'il y a une charge de connecté ou qu'il soit en veille. Lorsqu'il est à vide, c'est à dire qu'aucun récepteur n'est alimenté, sa consommation varie entre 0.5 et 1% de sa puissance nominale en fonction des modèles. Soit environ ~10W pour un onduleur de 1000W, ce qui n'est pas négligeable sur site autonome.

Pour réduire cette consommation, il existe des modes "stand-by". L'onduleur envoie des impulsions à intervalle régulier, toutes les 2 secondes par exemple, pour détecter la présence d'un consommateur. Lorsqu'une charge est branchée, démarrage d'un frigo par exemple, l'onduleur détecte le passage de courant au moment de l'impulsion de tension et se met en marche.

- **Protections**

Les onduleurs intègrent de base plusieurs sécurités :

- Protection contre la surcharge
- Protection contre le court-circuit
- Protection en température
- Protection contre une tension trop élevée ou trop faible (paramétrable le plus souvent)

1.6.2 Onduleur connecté au réseau

Comme pour un onduleur dans une installation photovoltaïque autonome, un onduleur réseau a pour principe de transformer une tension continue en une tension alternative, mais dans ce cas avec une fréquence et une valeur équivalente à celle du réseau.[32]

Les différences essentielles sont que l'onde sera obligatoirement sinusoïdale et que cette tension alternative qui va « charger » le réseau, devra se mettre en phase avec ce dernier et répondre à un ensemble de prescriptions et d'impératifs de sécurité plus contraignants.[32]

❖ Le principe de fonctionnement

Les onduleurs couplés au réseau utilisent deux techniques de génération du signal alternatif :

-Soit la sinusoïde est produite par l'onduleur qui utilise le passage par zéro du réseau pour se synchroniser.

-Soit le réseau est utilisé comme source du signal et de synchronisation.

Certains onduleurs utilisent un transformateur pour isoler les panneaux solaires du réseau. D'autres, possède un système de test en continu du courant délivré par les panneaux.

En cas de fuite, l'onduleur s'arrête pour éviter tout court-circuit entre les panneaux et le réseau.

Chaque onduleur utilise pour son fonctionnement interne, une certaine quantité d'énergie fournie, soit par les panneaux photovoltaïques, soit par le réseau ce qui contribue à influencer les pertes de rendement annuelles.[32]

Pour la sécurité du système, les compagnies d'électricité exigent en général une surveillance de tension et de fréquence produites et une coupure très rapide en cas d'absence de réseau.

La limitation de puissance à 3,5 kW par phase implique une limitation du courant produit. Comme pour les onduleurs les plus sophistiqués dans une installation autonome, les onduleurs réseau sont de type MPPT (Maximum Power Point Tracking) et leur microprocesseur peut faire varier le point de puissance maximale du générateur en direction de la tension ouverte et ainsi limiter la puissance à l'entrée.[32]

Un onduleur n'a pas un rendement constant, Il est plus efficace aux trois-quarts de sa puissance maximale, et moins efficace à faible puissance.[32]

❖ Les différents types d'onduleurs réseau

• Les onduleurs « module » :

Ce sont les modèles les plus petits (100-200 W). Ils se fixent derrière le panneau solaire qui produit alors directement du 230 VAC. Ses avantages sont un câblage réduit uniquement en alternatif, une liaison simplifiée au bâtiment et une moins grande sensibilité aux ombrages.

• L'onduleur « chaîne » :

Branché sur chaque chaîne de panneaux solaires en série, c'est une sorte d'onduleur « module » plus puissant. Il permet d'économiser sur le câblage et les protections DC (Direct courant). Son concept est proche de l'onduleur « module » avec l'avantage de travailler à plus grande puissance et tension, pour un meilleur rendement.

• L'onduleur central :

C'est le modèle de taille intermédiaire (1 à 5 kW). En général monophasé et destiné aux villas et petits bâtiments, il a l'avantage de séparer de façon claire la partie DC de la partie AC. Il présente aussi une maintenance simplifiée. Les inconvénients sont la grande complexité du câblage et une sensibilité accrue aux ombrages. Les modèles type « centrale solaire » sont en triphasés pour des puissances pouvant dépasser plusieurs centaines de kW. Ils sont réservés à des installations de production installées en pleine nature.

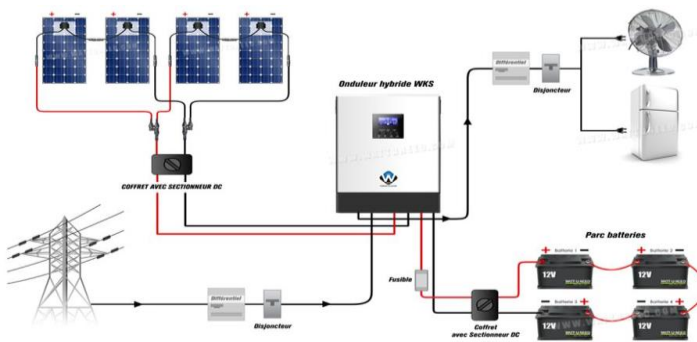


Figure 1. 17 : Schéma globale d'une installation PV (raccordé au réseau, avec stockage)



Figure 1.18 : Batterie solaire

1.7 Batterie

1.7.1 Principe de fonctionnement d'une batterie solaire

Une batterie d'accumulateurs appelé plus communément "batterie", est un assemblage d'accumulateurs électrochimiques.[33]

Un accumulateur électrochimique est un "générateur réversible", il peut stocker l'énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à la réversibilité de la transformation.[33]

Cette réaction est activée au sein d'une cellule élémentaire entre deux électrodes baignant dans un électrolyte, lorsqu'une charge est branchée à ses bornes.

L'accumulateur est basé sur un système électrochimique réversible et donc rechargeable, contrairement à une pile.[34][35]

La quantité d'énergie pouvant être stockée dans une batterie s'appelle la "capacité" elle est exprimée en Ampère-heure (Ah). En multipliant cette capacité par la tension de la batterie on obtient une quantité d'énergie en Watt-heure (Wh). [33]

Exemple : Une batterie 12V / 100Ah à une capacité de 100Ah x 12V = 1200 Wh soit 1.2 kWh

Cette capacité nominale (Cn) est généralement donnée pour un régime de décharge en 10h (C/10). Pour une batterie de démarrage on parlera plutôt d'un régime de décharge en 5h (C/5) et pour une batterie à décharge lente (solaire) le régime de décharge sera donné à courant constant sur 100h (C/100).[34]

1.7.2 Utilisation

- **Le cyclage**

Un cycle charge/décharge d'une batterie lui fait subir un léger affaiblissement de sa capacité, qui est d'autant plus important que la décharge est profonde. La durée de vie d'une batterie est donc liée au nombre de cycles charge/décharge et à leur profondeur. Le nombre de cycles varie fortement en fonction du type de batterie (Plomb Ouvert, AGM, GEL, OPzS, OPzV, Lithium).[36]

- **État de charge et profondeur de décharge**

L'état de charge (SOC), exprimé en %, est le rapport entre la capacité résiduelle et la capacité nominale de l'accumulateur. C'est à dire l'énergie restant dans la batterie.[36]

La profondeur de décharge (DOD), exprimé en %, est le rapport entre la capacité déjà déchargée et la capacité nominale de l'accumulateur. C'est à dire l'énergie consommée dans la batterie. [36][37]

La somme des valeurs de SOC et DOD donne toujours 100%.[37]

Exemple : Une batterie qui a une profondeur de décharge de 30% à un état de charge de 70%.

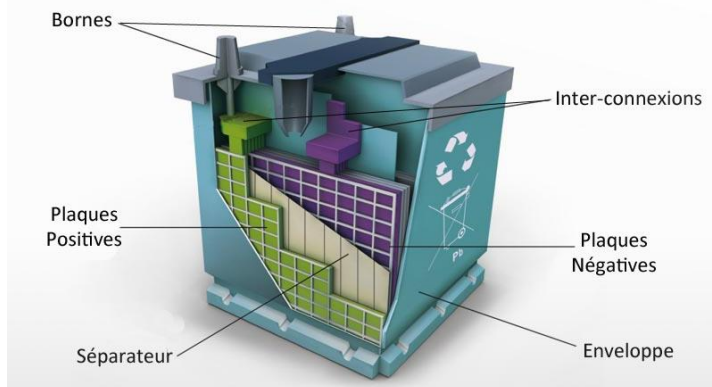


Figure 1.19 : Composition d'une batterie au plomb

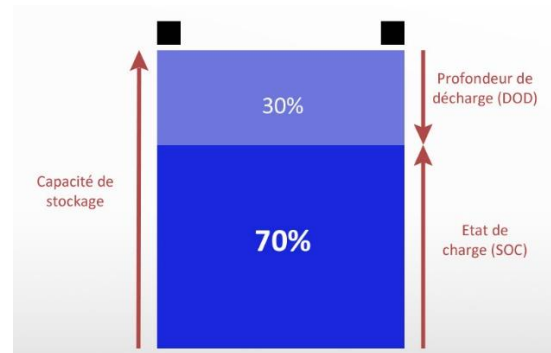


Figure 1.20 : Etat de charge et profondeur de décharge de décharge

Les batteries solaires sont adaptées au cyclage quotidien et à la charge lente par panneaux solaires. Leur durée de vie est considérablement augmentée si la profondeur de décharge quotidienne est inférieure à 40% de la capacité totale pour les batteries plomb et jusqu'à 80% pour les batteries lithium.[37]

Il est possible d'évaluer l'état de charge d'un accumulateur ou d'une batterie en mesurant sa tension au repos. Au moment de la mesure, la batterie doit être déconnectée de toutes les charges et à une température ambiante de 20 à 25°C.[37]

- **Influence de la température**

La capacité tient compte de la température de l'accumulateur, elle est annoncée en général pour 20 à 25°C. La capacité augmente quand la température augmente et baisse quand la température baisse.[50]

La durée de vie de la batterie va également être liée à cette température d'exploitation. En effet, une augmentation de 10°C au-dessus de 20°C la réduira de moitié.

- **Autodécharge**

Les batteries au plomb se déchargent naturellement lorsqu'elles sont laissées en circuit ouvert. Le taux d'autodécharge varie entre 0.1 et 0.5% de la capacité nominale par jour à une température de 20°C.

Cette autodécharge augmente :

- avec le vieillissement naturel de la batterie
- avec la température (elle double de valeur tous les 10°C)
- à la suite d'un mauvais entretien
- à la suite d'une décharge profonde ou d'une inversion de polarité

1.8 Régulateur de charge

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.[38]

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.[38][39]
- Régulation MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) avec deux types de couplage sur la batterie.
- Couplage direct appelé PWM (Pulse With Modulation).
- Couplage par adaptateur d'impédance appelé MPPT (Maximum Power Point Tracking).



Figure 1.21 : Régulateur de charge

1.8.1 Fonctionnement

- **Régulateur PWM (Pulse Width Modulation)**

Le régulateur est inséré entre le champ photovoltaïque et la batterie. Il est composé d'un interrupteur électronique fonctionnant en MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) et d'un dispositif anti-retour (diode).[38]

L'ouverture et la fermeture de l'interrupteur électronique s'effectuent à une certaine fréquence, ce qui permet de réguler le courant de charge en fonction de l'état de charge avec précision.

Lorsque la tension de batterie est inférieure à la tension de limitation du régulateur, l'interrupteur est fermé. La batterie se charge alors avec le courant correspondant à l'ensoleillement. On est en phase "Bulk".[38]

Lorsque la tension batterie atteint un seuil de régulation prédéterminé, l'interrupteur s'ouvre et se ferme à une fréquence fixe pour maintenir un courant moyen injecté dans la batterie. La batterie est chargée, on est en phase "Floating".[38]

Le régulateur PWM ne peut fonctionner qu'exclusivement avec des modules photovoltaïques 36 ou 72 cellules (12V ou 24V).

- **Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)**

Le régulateur de charge est composé d'un convertisseur DC/DC à découpage de haut rendement qui assure trois fonctions :

- Détection de la puissance maximale du champ photovoltaïque tant que la batterie n'est pas chargée.
- Conversion DC/DC.
- Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge (Bulk, Absorption et Floating).

Le convertisseur DC/DC est utilisé comme abaisseur de tension. Ce qui signifie que la tension MPP du générateur photovoltaïque doit toujours être supérieure à la tension batterie.[40]

Le champ solaire est connecté à l'entrée du régulateur et la batterie à sa sortie. Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de régulation, le régulateur fait fonctionner le générateur photovoltaïque à puissance maximale P_{mpp} et transfère cette puissance à la sortie.[40]

Par conception, le régulateur MPPT permet un gain de production de 5 à 30% par rapport à un régulateur PWM. Ce gain augmentera en hiver et pendant les périodes de faible ensoleillement.

Le régulateur de charge MPPT permet une plus grande souplesse au niveau du choix des panneaux. En effet, tous les types de module photovoltaïque peuvent être utilisés du moment que l'on reste dans les tolérances de tension (V) et de courant (A) du régulateur.[38]

1.9 Conclusion

Ce chapitre à caractère bibliographique évoque la politique nationale vis-à-vis les énergies renouvelables, les objectifs tracés, et les moyens établis pour les atteindre. Il présente un aperçu rapide sur les systèmes photovoltaïques, leur mode de fonctionnement et les différents composants qui les constituent. Dans le chapitre suivant nous allons étudier les différents défauts rencontrés au niveau des installations photovoltaïques, en place dans les établissements scolaires.

CHAPITRE 2 :
EVALUATION DE LA
QUALITE DES
INSTALLATIONS
PHOTOVOLTAÏQUES :
UNE ETUDE DES CAS
SUR LES
ETABLISSEMENTS
SCOLAIRES

2.1 Introduction :

Les défauts que l'on peut retrouver sur une installation photovoltaïque, surviennent autant lors de sa conception, de son installation, que lors de son exploitation. Ces défauts réduisent les performances de système photovoltaïques et affecte la capacité de la production électrique du projet [41].

Après une étude des cas auprès de trois établissements scolaires et identification des défauts rencontrés dans les différentes installations, nous avons classés les principaux problèmes matériels, dimensionnels et électriques que l'on peut retrouver dans ces mêmes installations.

Ensuite, un nouveau cahier des charges basé principalement sur l'optimisation de l'efficacité et l'efficacité du système a été défini. L'objectif de ce dernier réside principalement dans l'amélioration de la qualité des prochaines installations afin de répondre aux perspectives d'électrifications des écoles primaires par l'énergie solaire.

2.2 Identification des défauts rencontrés dans les établissements scolaires

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales. Les défauts apparus dans les établissements visités varient d'une installation à une autre en fonction de sa conception, installation, opération et maintenance.

Nous décrivons dans cette partie la nature des différents défauts et anomalies qu'on a observées dans trois établissements scolaires à capacité d'accueil différentes. Le constat initial se présente de la manière suivante :

2.2.1 Cas N° 01 : Etablissement scolaire de type A pour une capacité d'accueil de 120 élèves

Dans ce premier cas, la mauvaise résistance des supports du module est vraisemblablement observée du fait de son soulèvement par l'effet du vent. Le mauvais positionnement en angle d'inclinaison et le système de fixation peut être la cause principale de ce fait (Figure 2.1). Le mauvais câblage des modules (Figure 2.2) et l'inversion des liaisons de sortie (Figure 2.3) montrent que l'entreprise n'est pas techniquement apte à l'électrification par panneaux solaire.



Figure 2.1 : Mauvaise résistance mécanique des supports des modules



Figure 2.2 : Mauvais câblage des modules



Figure 2.3 : Inversion des liaisons de sortie

2.2.2 Cas N° 02 : Etablissement scolaire de type B pour une capacité d'accueil de 240 élèves

Ce deuxième cas est caractérisé par un ombrage partiel des panneaux solaires (Figure 2.4). Ce facteur a des conséquences dramatiques sur la puissance électrique délivrée. Les cellules ombragées vont être irrémédiablement endommagées et conduisent à un effet 'hot spot'. Comme dans le cas N°1 Les Figures 2.5-2.7 montrent les défauts électriques dans le câblage.



Figure 2.4 : Ombrage partiel des panneaux solaires



Figure 2.5 : Mauvais câblage

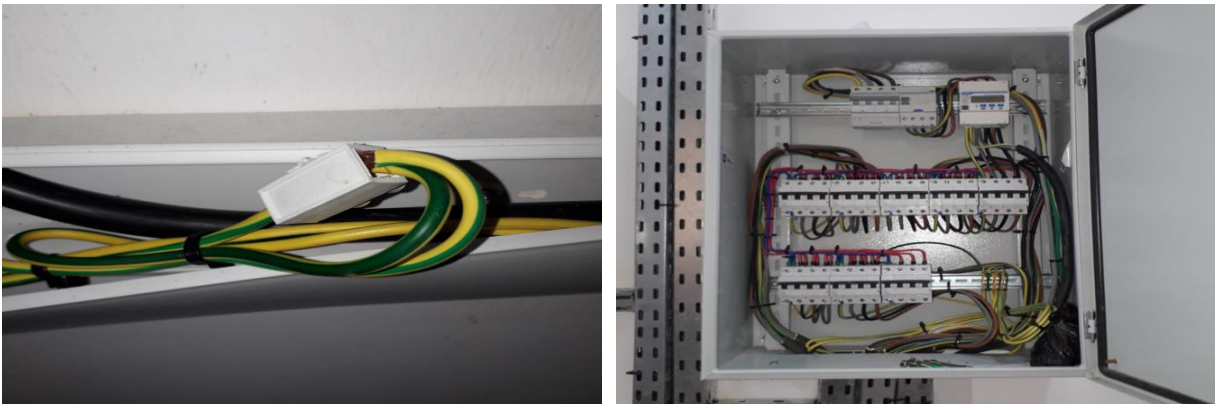


Figure 2.6 : Connexion desserrée ou cassée

Figure 2.7 : Parafoudre inadaptée

2.2.3 Cas N° 03 : Etablissement scolaire de type C pour une capacité d'accueil de 360 élèves

Comme dans les deux cas précédents, les Figures 2.8-2.11 montrent les défauts du générateur PV. Un diagnostic détaillé sur les défauts rencontrés sera dressé dans la partie 2.3.

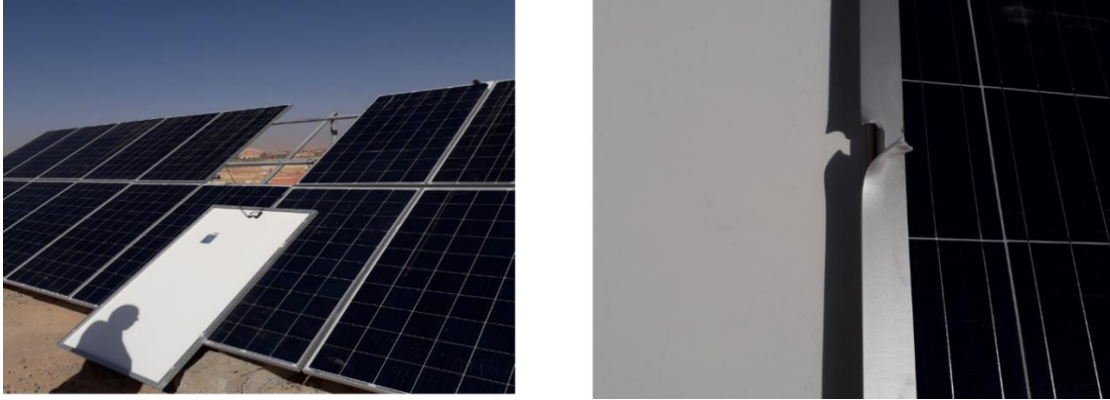


Figure 2.8 Module mal fixé et module cassé



Figure 2.9 : Câbles non fixés



Figure 2.10 : Mauvais câblages



Figure 2.11 : Salissure des panneaux photovoltaïque (pollution, sable)

2.3 Diagnostic et classification des défauts

Les défauts rencontrés dans les installations photovoltaïques déjà en place dans les établissements scolaires ont été collectés, et classifiés. Ils ont été regroupés en trois groupes, à savoir les défauts électriques, les défauts non électriques et des défauts techniques de dimensionnement.

2.3.1 Défauts électriques

Nous décrivons dans ce groupe les défauts électriques que l'on peut trouver dans les composants matériels d'une installation photovoltaïque. Pour chaque équipement, un tableau a été établi reprenant le type du défaut, sa conséquence principale, puis son degré d'impact sur la production du système ou criticité, le degré de son occurrence ainsi que sa phase d'origine ou bien la source du défaut proprement dit. Dans cette partie, quelques exemples de défauts sont également illustrés sous forme d'images.

Tableau 2.1 Défaits dans le module photovoltaïque[42]

Défaut	Conséquences	Cr i.	Occ	Ori.
Inversion des liaisons de sortie	Module mal câblé, diminution des performances	3	2	I, C
Modules non câblée	Diminution des performances	2	2	I, C
Mauvaise isolation entre modules et onduleur	Court-circuit, destruction du module, incendie	3	1	I, C
Foudre	Détérioration des modules	3	1	E
Foudre sur l'installation	Destruction des modules	3	1	E
Modules de performances différentes	Diminution des performances du champ	1	3	I, C
Sortie par le bas des boîtes de connexions impossible	Mauvais câblage	1	3	C, I
Bouchons de presse-étoupe manquant sur la boîte de connexion	Pénétration d'eau, corrosion des liaisons	1	3	I, C
Boîte de connexion montée à l'envers	Entrée d'eau dans le boîtier par le presse-étoupe	1	3	I, C
Dégradation de l'encapsulant à cause Des ultraviolets, EVA jaunissant	Absorbe les photons qui n'arrivent plus jusqu'à la cellule, diminution des performances	2	1	E
Augmentation de la résistance série due au cycle thermique	Diminution des performances	2	1	E
Détérioration de la couche anti-reflet	Diminution des performances	2	1	E
Dégradation à cause de la lumière	Diminution des performances, surtension, Destruction de diodes	2	1	E
Dégradation à cause de la chaleur	Diminution des performances, échauffement, détérioration des joints	2	1	E
Important courant de fuite	Echauffement	2	1	E
Echauffement des modules par la boîte de connexion	Décollement du Tedlar, diminution des performances	2	1	C, I
Module produisant moins que prévu	Diminution des performances	1	1	E
Criticité : (1) faible (2) moyen (3) fort Occurrence : (1) faible (2) moyenne (3) forte Phase d'origine : (C) Conception (I) Installation (E) Exploitation				

La mise en série de plusieurs modules pour constituer un string est assurée par des câbles. Pour minimiser les risques de défaut à la terre ou de court-circuit après l'installation, l'utilisation de câbles à simple conducteur avec double isolation est fortement recommandée. Des connecteurs

débloables peuvent être utilisés pour simplifier la procédure d'installation. Ces connecteurs renforcent la protection contre les risques de choc électrique. Si le système PV est constitué de plusieurs strings, une boîte de jonction permet leur mise en parallèle. La boîte de jonction peut contenir des éléments de protection tels que des fusibles, des interrupteurs et des sectionneurs [39].

Tableau 2.2 Défauts dans la boîte de jonction DLDPV [42]

Défaut	Conséquences	Cri.	Occ	Ori.
Absence de parafoudre ou parafoudre inadaptée	Destruction en cas de foudre	3	2	C, I
Presse-étoupe mal serré	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique	2	3	I
Liaison de mise à la terre non fixée ou sectionnée	Pas de mise à la terre	2	2	I
Boîte de jonction sans presse-étoupe	Pas d'étanchéité, corrosion des contacts, rupture du circuit électrique	2	2	I
Presse-étoupe en caoutchouc	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique	2	2	C, I
Infiltration d'eau par les vis de fixation	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique	2	2	I
Boîte de jonction non repérée	Problème pour contrôle et maintenance	1	3	I
Déconnexion des soudures	Arc électrique, incendie, diminution des performances	2	1	E, I
Boîtier infesté d'insectes	Rupture du circuit électrique	2	1	E
Liaison sans protection	Destruction de la liaison	2	1	C, I
Pénétration de l'eau ou de l'humidité	Corrosion des connexions, des diodes, des bornes, incendie	2	1	I



Figure 2.12 Exemples de défauts rencontrés dans des boîtes de jonction

Tableau 2.3 Défaut dans le système de câblage[42]

Défaut	Conséquences	Cri.	Occ	Ori.
Mauvais dimensionnement des câbles	Chute de tension > 3%, échauffement	2	3	C
Connexion desserrée ou cassée	Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction de diodes	2	3	I, E
Mauvais dimensionnement des câbles	Chute de tension > 3%, échauffement	2	3	C
Connexion desserrée ou cassée	Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction de diodes	2	3	I, E
Principe de câblage en goutte d'eau non respecté	Mauvais câblage	2	3	I
Bornes rouillées	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Câbles non fixés	Boucle de câblage, circuit ouvert	2	2	I
Mauvais câblage	Court-circuit, claquage des diodes anti-retour, destruction des connecteurs (circuit ouvert), aléas de fonctionnement sur disjoncteur	2	2	I
Toron	Boucle électromagnétique	2	2	I
Câbles d'arrivée des sous-champs entamés lors du dénudage	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	I
Absence de graisse de silicone	Humidité	2	2	I
Câble mal dénudé	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	I
Câble rongé par des rats	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Modification du câblage par l'utilisateur non compétent	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Bornes rouillées	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Câbles non fixés	Boucle de câblage, circuit ouvert	2	2	I
Boîte de connexion décollée	Connexion des cellules en série endommagée	2	1	E

Comme pour les autres centrales électriques, il existe plusieurs sortes de protection pour une installation photovoltaïque : protection des intervenants, protection contre la foudre, protection du générateur PV (Tableau 2.4).

Tableau 2.4 Défauts dans le système de protection[42]

Défaut	Conséquences	Cri.	Occ	Ori.
Protections inappropriées ou mal dimensionnées	Court-circuit, hot spot, incendie, arrêt de l'installation	2	2	C
Interrupteur, disjoncteur inapproprié	Arc électrique, incendie, destruction à l'ouverture	3	1	C
Parafoudre non connecté à la terre	Pas de protection	3	1	I
Impossibilité de déconnecter les modules par branche	Problème de sécurité	1	3	C, I
Pas de possibilités de sectionnement extérieur au coffret	Problème de sécurité	1	3	C
Mauvaise dissipation de la chaleur des diodes	Echauffement	2	1	C, I
Sous dimensionnement des diodes de bypass	Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction	2	1	C
Absence de protection contre les courants inverses	Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction	2	1	C
Diode mal connectée	Non fonctionnement des diodes, absence de protection contre les courants inverses	2	1	I, E
Inversion de la polarité des diodes au montage	Non fonctionnement des diodes, court-circuit, hot spot	2	1	I, E
Phénomènes de résonance	Non fonctionnement des fusibles et des protections de surtension	2	1	C
Dégradation à cause de la lumière	Non fonctionnement des diodes de bypass	2	1	E
Echauffement des diodes placées dans un endroit mal ventilé	Température de destruction atteinte	2	1	C, I
Vieillessement des disjoncteurs	Non fonctionnement des disjoncteurs	1	1	E



Figure 2.13 Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage.

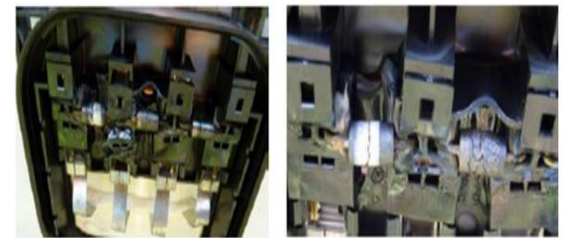


Figure 2.14 Exemples de défauts de diodes de bypass.

Tableau 2.5 Défauts dans l'onduleur[42]

Défaut	Conséquences	Cri.	Occ	Ori.
Dégradation à cause la chaleur	Détérioration de l'onduleur, des connexions	3	2	E, C, I
Faux contact	Arrêt de l'onduleur	3	2	I
Surtension	Déconnexion de l'onduleur	3	2	C
Fusible fondu	Arrêt de l'onduleur	3	2	E, C, I
Foudre sur le réseau	Surtension, destruction de l'onduleur	3	2	E
Tension du générateur inférieure à la limite basse de l'onduleur	Déconnexion de l'onduleur	3	2	C
Onduleur sous dimensionné	Destruction de l'onduleur	2	3	C
Bobine des filtres, thyristors, capacités en défaut	Arrêt de l'onduleur	3	1	E, C, I
Problème d'interface avec le réseau	Découplage de l'onduleur	3	1	E
Défaut d'isolement	Détérioration de l'onduleur	3	1	C, I
Surchauffe des onduleurs	Diminution des performances	3	1	E
Onduleur installé dans un lieu non étanche	Panne de l'onduleur	3	1	I, C
Onduleur mal fixé	Chute de l'onduleur	3	1	I
Onduleur surdimensionné	Perte de puissance, diminution des performances	2	1	C
Visserie et bouton de commande oxydés	Réglage impossible	2	1	E
Mauvais choix de la tension nominale d'entrée	Diminution des performances	2	1	C
Pile de sauvegarde HS	Perte des données	1	2	E
Témoins de défaut d'intensité allumé en permanence	Mauvaise information sur l'intensité	1	2	E,I
Onduleur non mis à la terre	Disjoncteur différentiel non actif	1	2	I
Perte de la mémoire (mauvaise manipulation du technicien)	Perte des données	1	1	E
Afficheur de cristaux liquide endommagé ou illisible	Pas d'information sur le fonctionnement	1	1	E

Tableau 2.6 Défauts dans le système d'acquisition[42]

Défaut	Conséquences	Cri.	Occ	Ori.
Coupure de courant	Perte de données	1	3	E
Sonde de température non câblée	Mesure impossible	1	3	I
Sonde d'ensoleillement non câblée	Mesure impossible	1	3	I
Défaut de paramétrage	Enregistrement de fausses données	1	3	I
Mauvais câblage des shunts de mesure	Mesure impossible ou erronée	1	3	I
Afficheur de données mal placé (trop haut)	Données non visibles	1	2	C, I
Carte électronique mal positionnée	Touches inactives, défaut de commande	1	2	I
Non configuré pour l'acquisition des données	Pas de donnée enregistrée	1	2	I
Armoire fermée par le service de maintenance ou présence d'un code	Lecture des données par l'exploitant impossible	1	2	E, I
Bornier de mesures et de sonde de température trop proches	Câblage difficile, risque de court-circuit	1	1	C, I
Acquisition de données vierge	Aucune information enregistrée	1	1	E
Mesure de données non nulles alors que système PV à l'arrêt	Fiabilité des données	1	1	E

2.3.2 Defaults non électriques

❖ Les points chauds

Différents facteurs tels que l'ombrage partiel de la cellule, son endommagement ou son déséquilibre électrique peuvent être à l'origine de ce défaut, ce qui peut affecter les propriétés de la cellule solaire telles que la déformation de la jonction p-n. shunts locaux, impuretés et résistance des wafers. La figure 2.15 montre comment un point chaud peut endommager une cellule [43][44][21].

❖ Fissuration de la cellule

Les fissures visibles des cellules peuvent être formées par des contraintes mécaniques ou thermiques pendant une période d'exposition extérieure. Les microfissures peuvent également être causées par les mêmes contraintes, qui se forment lors de la fabrication (Figure 2.16) [45].

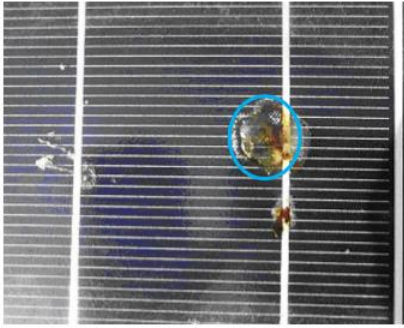


Figure 2.15 Points chauds [43]

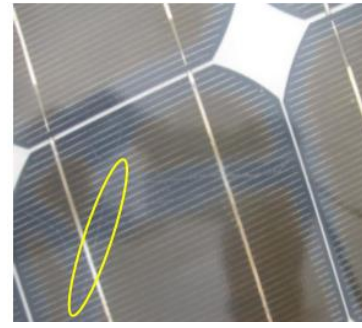


Figure 2.16 Fissuration de la cellule PV [45]

❖ Les traces d'escargots

Les traces d'escargots (voir figure 2.17), sont un phénomène généralisé de défauts des modules PV, que l'on observe chez différents fabricants de modules installés sur le terrain après plusieurs mois ou plusieurs années, ce défaut est une décoloration des lignes argentées de la grille le long du bord de cellules ou microfissures [46][47].

❖ L'effet PID

L'effet PID est une nouvelle maladie du module photovoltaïque, mise en évidence en 2010, commence à toucher de plus en plus de modules photovoltaïques. Le premier symptôme de ce phénomène est une dégradation rapide et inexplicable de la puissance. Cette diminution du rendement des modules, pouvant atteindre plus de 20% en quelques mois, n'est ni due à un vieillissement classique des modules, ni à une mauvaise installation du module.

Ce phénomène connu sous le nom de Potentiel Induced Degradation (PID) se caractérise par la dégradation progressive des performances des modules photovoltaïques, à base de silicium cristallin, due à la présence d'un courant électrique induit au cœur même du module. Les différents travaux ont montré que les principaux facteurs favorisant le PID sont la tension du système dans lequel le module est utilisé, l'humidité et la température de fonctionnement [48].

❖ La corrosion et la délamination

Pour les problèmes de corrosion interne, délaminage. L'humidité pénétrant dans le module photovoltaïque à travers les bords stratifiés provoque la corrosion. La rétention de l'humidité dans l'enveloppe du module augmente la conductivité électrique du matériau. La corrosion attaque les connexions métalliques des cellules du module PV provoquant une augmentation des courants de

fuite et ainsi une perte de performance. La corrosion dégrade aussi l'adhérence entre les cellules et le cadre métallique (Figure 2.18).

D'après Kemp, la meilleure façon d'empêcher l'infiltration de l'humidité dans le module est d'utiliser des joints bien hermétiques ou des joints de bord à faible diffusivité contenant une grande quantité de déshydratant [49].

Pour le phénomène de délamination, il s'agit de la perte d'adhérence entre le polymère encapsulant et les cellules ou entre les cellules et le verre avant. Elle représente un problème majeur car elle entraîne deux effets : l'augmentation de la réflexion lumineuse et la pénétration de l'eau à l'intérieur de la structure du module. La délamination est plus sévère lorsqu'elle se produit sur les bords du module parce que, en plus de la dégradation de la puissance, elle provoque des risques électriques pour le module et l'installation toute entière.

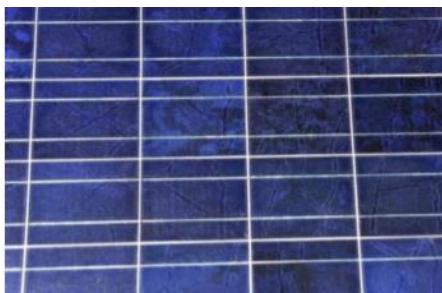


Figure 2.17 Traces d'escargots 'Snail tracks'

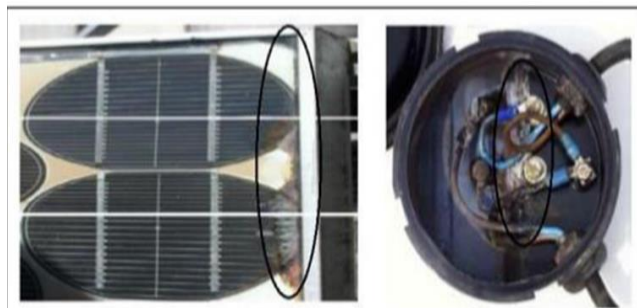


Figure 2.18 : Module PV atteint par la corrosion

La délamination est plus fréquente dans les climats chauds et humides. Elle favorise une pénétration de l'humidité dans le module et provoque, par conséquent, différentes réactions chimiques à l'intérieur du module induisant des dégradations telles que la corrosion des métaux de la structure du module le plus souvent. La Figure 2.19 montre deux modules (poly et monocristallins) présentant une sévère délamination. Jansen et Delahoy ont montré que la pénétration du sel et de l'humidité dans le module photovoltaïque constitue un facteur favorisant la délamination [48][50]. D'autre part, ils avancent que la liaison interfaciale peut être attaquée chimiquement par l'acide fluorhydrique formée par le fluor et l'oxyde d'étain contenus dans le module [13].

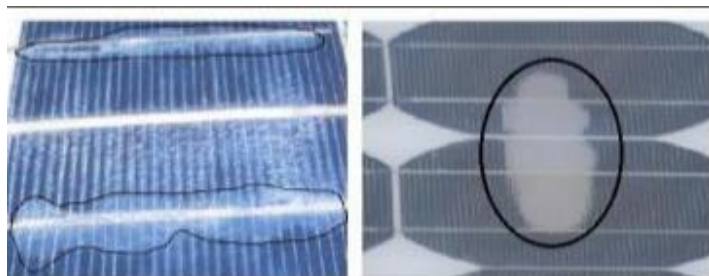


Figure 2.19 : Module photovoltaïque présentant une délamination

2.3.3 Problèmes techniques

❖ Installations surdimensionnées

L'onduleur a été développé pour convertir l'énergie à la puissance maximale 8 heures par jour. Lorsqu'un plus grand nombre de panneaux est connecté, la capacité de l'onduleur sera mieux utilisée. Lorsque de nombreux panneaux solaires sont connectés à un onduleur, il se pourrait que, par temps ensoleillé, les panneaux solaires produisent une énergie supérieure à la puissance de l'onduleur. Ce dernier s'éloignera du point de fonctionnement idéal des panneaux et ajustera la tension MPP « Maximum Power Point » sur les panneaux de sorte qu'ils ne produiront pas plus de puissance que la puissance d'entrée maximale de l'onduleur. Il n'y aura par conséquent aucun surplus d'énergie à dissiper sous forme de chaleur ou par d'autres moyens. Un onduleur le fait automatiquement. D'un point de vue technique, un onduleur résidentiel peut gérer un surdimensionnement de 200 % sans affecter la garantie ni la durée de vie prévue. Bien entendu, il faut prendre en compte les paramètres techniques de l'onduleur, notamment la tension d'entrée maximale et le courant de court-circuit maximal.

❖ Installations sous-dimensionnées

Une installation sous-dimensionnée est une installation où la puissance de l'onduleur est supérieure à celle du panneau. Lorsque les panneaux sont sous-dimensionnés, l'onduleur fonctionne parfaitement, techniquement, s'il peut atteindre sa tension de démarrage. L'usage est limité de cette manière lorsque seuls quelques panneaux peuvent être installés chez le client.

2.4 Vers un nouveau cahier des charges pour l'amélioration de la qualité des installations futures :

L'objectif de cette partie consiste en la proposition d'une solution visant à définir la topologie des installations, les spécifications techniques ainsi que le mode de pose des équipements entrants dans ces mêmes installations. Pour que cet objectif soit atteint, il faudrait un cahier des charges basé sur l'optimisation de l'efficacité et l'efficacité du système solaire. Les collectivités locales doivent adopter les spécifications techniques du matériel et installation en fonction des données du projet mais aussi de leurs besoins (Tableau 2.7).

Tableau 2.7 : Les principaux paramètres rentrant dans la conception du cahier des charges

Paramètres	Configurations
Conditions environnementales	Les caractéristiques de l'environnement de la zone, à savoir : l'altitude, le climat, la température, la vitesse maximum du vent, l'humidité relative maximum et le potentiel solaire.
Type de système solaire	On Grid : Installations connectés au réseau électrique Off Grid : Installation non connectés au réseau électrique ;
Dimensionnement du système solaire	Calcul du bilan de puissance : la puissance totale en Kw est renseignée par les collectivités locales afin que le soumissionnaire joint son offre technique (dimensionnement et schéma descriptif).
Exigences normatives	<ul style="list-style-type: none"> • Les modules photovoltaïques proposés doivent répondre aux normes internationales (IEC 61215, IEC 61760, IEC 60904, IEC 60891) • Les câbles solaires DC doivent répondre aux normes (DKENDE AK 411.2.3, UTE C32-502) en respectant les modes de pose indiqués dans la norme (IEC 60364). • Les connecteurs photovoltaïques doivent être de type MC4 et doivent répondre aux normes (IEC 62852/ EN 50521) • L'onduleur photovoltaïque doit répondre aux normes (IEC 62109, IEC62116, IEC 60364-7-712) • Batteries solaires de type stationnaire répondant aux normes (CEI 61427, DIN EN 50272-2 VDE 0510-2 : 2001-12) • Les normes (NF EN 1991-1/Eurocode1, DIN EN ISO 1461) pour les structures porteuses des panneaux en charpente métallique galvanisé. • Les normes (IEC 60439-1, IEC 60364-1) pour le régulateur de charge de type MPPT. • Eclairage intérieur Les normes (EN 12464-1, NF EN 12665) pour l'éclairage intérieur et (NF EN 12665, EN 12464-1) pour l'éclairage extérieur.

2.4.1 Cahier des prescriptions techniques

Le présent cahier précise les spécifications techniques des équipements. Le prestataire est tenu de le remplir à l'aide des fiches techniques pour permettre à la commission d'évaluation des offres de connaître toutes les caractéristiques mécaniques, dimensionnelles et électriques du matériel. Les valeurs indiquées au CPT sont considérées comme garanties dans le sens que les propriétés du matériel fourni ne seront pas inférieures aux indications faites au CPT, compte tenu des tolérances admises prévues dans les normes en vigueur.

Tableau 2.8 : Paramètres du CPT pour les panneaux solaires et support

PANNEAUX SOLAIRES	
Nom du fabricant	
Type	
Puissance crête nominal (Pm) [Wc]	
Tolérance de la puissance [%]	
Maximum power point (Vmpp) [V]	
Courant de court-circuit (Icc) [A]	
La tension de circuit ouvert (Voc) [V]	
Rendement [%]	
Dimension (L x l x h) [mm]	
SUPPORT POUR MODULES	
Matériau de construction du support	
L'angle d'inclinaison	

Tableau 2.9 : Paramètres du CPT pour le régulateur

REGULATEUR	
Nom du fabricant	
Modèle	
Tension nominale de fonctionnement [V]	
L'autoconsommation maximale [mA]	
Tension à vide max [V]	
Courant à la charge [A]	
Tension finale de charge [V]	
Tension de charge rapide [V]	
Protection contre la décharge profonde	
Température de fonctionnement	
Degré de protection	
Dimensions (L*I*H) [mm]	

Tableau 2.10 : Paramètres du CPT pour la batterie

BATTERIE	
Nom du fabricant	
Type (Energie Solaire Etanche sans entretien)	
Tension nominale [V]	
La capacité minimale au régime de décharge C20 [Ah]	
La densité de l'acide [g/cl]	
Le nombre de cycles d'endurance	
Autonomie [h]	
Pourcentage de décharge par heure [%]	
Nombre de batteries [U]	

Tableau 2.11 : Paramètres du CPT pour l'onduleur

ONDULEUR	
Nom du fabricant	
Modèle	
Tension d'entrée [V]	
Tension de sortie [V]	
La fréquence [Hz]	
Le bruit sonore produit par l'onduleur [db]	
Le nombre MPPT	

Tableau 2.12 : Paramètres du CPT pour l'abri compartimenté

ABRI COMPARTIMENTE	
Fabricant	
Type	
Dimensions (L x l x h)	
Indice de protection	
Type de revêtement intérieur/extérieur	
Mode de refroidissement	

2.4.2 Critères d'évaluation des offres

La puissance unitaire du module photovoltaïque doit être supérieure ou égale à 260 Wc. Les offres dont la puissance unitaire du panneau est inférieure à 260 Wc seront éliminées.

Un rendement minimal de 16% dans les conditions STC est exigé. Ce critère est éliminatoire pour les offres avec des panneaux ayant un rendement inférieur à 16 %.

Le module doit avoir un facteur de forme supérieur ou égale à 0.7. Ce facteur est calculé par la commission d'évaluation comme suit :

$$FF = \frac{P_m}{I_{cc} \times V_{oc}} \quad [2.1]$$

Avec : FF (Facteur de forme) ; P_m (Puissance maximal) ; I_{cc} (Courant de court-circuit) ; V_{oc} (Tension de circuit ouvert).

Tableau 2.13 : Critères d'évaluation des offres pour panneaux solaire

Document à fournir	Critère éliminatoire	Critère non éliminatoire
Certificat original de test conforme à la norme IEC- 61215	✓	
Fiche technique		✓
Certificat de garantie	✓	
Valeurs CPT		
Puissance ≥ 260 Wc*	✓	
Rendement ≥ 16 %*	✓	
Certificat de conformité *	✓	
Facteur de forme > 0.7*	✓	
<ul style="list-style-type: none"> • Les documents à critère non éliminatoire doivent être fournis ultérieurement avant attribution du projet • Le certificat de garantie par lequel le fournisseur s'engage à garantir la qualité et les performances du module au moins pendant la durée de garantie proposée. 		

Le système de régulation de charge de la batterie est demandé uniquement pour les installations de type off grid, si l'onduleur n'en est pas doté. Pour que le régulateur soit accepté, le modèle doit être de type MPPT (Maximum Power Point Tracking). Le système doit être installé dans

un coffret avec un indice de protection IP65 et doit être protégé contre la décharge nocturne de la batterie, l'inversion de la batterie/ générateur solaire et les surtensions induites par la foudre. Si l'un de ces critères n'est pas respecté l'offre du soumissionnaire est automatiquement éliminé.

Tableau 2.14 : Critères d'évaluation des offres pour le régulateur

Document à fournir	Critère éliminatoire	Critère non éliminatoire
Fiche technique indiquant le mode de fonctionnement, le mode d'installation et les données techniques spécifiques		✓
Certificat de conformité*	✓	
Valeurs CPT		
Modèle de type MPPT	✓	
La tension normale de fonctionnement doit être entre 12/24V DC	✓	
L'autoconsommation maximale ≤ 10 mA	✓	
La gamme de température de fonctionnement doit être comprise entre - 20°C et +50°C avec une correction de -4 à -5 mV/°C	✓	
<ul style="list-style-type: none"> • Régulateur de charge (Uniquement pour les systèmes isolés du réseau (Off Grid) si l'onduleur n'en n'est pas déjà doté). • Les documents à critère non éliminatoire doivent être fournis ultérieurement avant attribution du projet 		

Tableau 2.15 : Critères d'évaluation des offres pour la batterie solaire

Document à fournir	Critère éliminatoire	Critère non éliminatoire
Fiche technique		✓
Certificat de conformité	✓	
Certificat de garantie	✓	
Valeurs CPT		
La tension nominale doit être de 12 V DC,	✓	
La densité de l'acide $\leq 1,25$ g/cl	✓	
Autonomie précisée	✓	
<ul style="list-style-type: none"> • Les batteries restent destinées aux projets d'électrification pour les établissements en zones éparses (isolés du réseau électriques). • Les documents à critère non éliminatoire doivent être fournis ultérieurement avant attribution du projet 		

Les batteries seront de type stationnaire en élément de 2V avec électrolyte gel ce qui évite le dégagement gazeux et évité aussi les remises à niveau d'eau, donc pas de maintenance. Leur installation concerne uniquement les systèmes isolés du réseau off Grid. La capacité de la batterie doit être de C20 et le nombre des cycles d'endurance doit être indiqué par le fabricant selon les exigences de la norme IEC 6142.

L'onduleur doit être de type OFF GRID pour les installations isolées du réseau électrique, et de type ON GRID pour les installations connectées au réseau. Le smart meter constitue une barrière entre la production solaire et le réseau de Sonelgaz pour ne pas injecter dans le réseau électrique. L'onduleur doit également, fonctionner à pleine charge pour satisfaire les besoins de dimensionnement face aux forts appels du courant de démarrage.

Tableau 2.16 : Critères d'évaluation des offres pour l'onduleur solaire

Document à fournir	Critère éliminatoire	Critère non éliminatoire
Fiche technique		✓
Certificat de conformité	✓	
Certificat de garantie ≥ 2 ans	✓	
Valeurs CPT		
Tension d'entrée 12/24VCC	✓	
Tension de sortie 220VCA ± 10 %	✓	
Plage de fréquence variable*	✓	
<ul style="list-style-type: none"> • Les documents à critère non éliminatoire doivent être fournis ultérieurement avant attribution du projet. • L'onduleur doit avoir un indice protection IP ≥ 65 et un rendement euro ≥ 96% 		

2.5 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre nous avons exploré les principaux défauts rencontrés dans les installations photovoltaïques auprès de trois établissements scolaires. Le retour d'expérience sur ces mêmes installations a divisé les causes de ces problèmes en trois catégories qui peuvent se manifester séparément ou ensemble à savoir, les défauts électriques, les défauts non électriques et les défauts techniques. Or, les conséquences de ces défauts affectent d'une part les performances des panneaux solaires et d'autre part les équipements du système.

Le constat conduit donc à recadrer le cahier des charges pour améliorer la qualité des futures installations, en se basant principalement sur deux éléments importants : les spécifications techniques des équipements et les critères d'évaluation des offres. Quatre paramètres essentiels rentrent dans la conception du cahier des charges, quant à la configuration du système solaire est désigné en amont selon les besoins du maître d'ouvrage.

CHAPITRE 3 :
ELECTRIFICATION
D'UNE ECOLE A
TLEMCEN PAR
L'ENERGIE
SOLAIRE SUIVANT LES
RECOMMANDATIONS
DU NOUVEAU CAHIER
DES CHARGES

3.1 Introduction

Dans le présent chapitre, l'étude se portera sur l'application des recommandations du nouveau cahier des charges pour l'électrification d'une école à Maghnia dans la localité de Tlemcen. Au début nous nous présentons les configurations nécessaires, correspondant aux besoins et spécificités du projet, à savoir la position géographique et les données climatiques. Ensuite nous définissons, après le calcul du bilan de puissance, les nombres et capacités des panneaux et batteries solaires. Puis, nous présentons les spécifications techniques ainsi que le mode de pose des équipements entrants dans ladite installation. Les résultats obtenus montrent que les équipements semblent avoir une identité raisonnable avec les critères d'évaluation des offres du nouveau cahier des charges.

3.2 Position géographique et données climatiques

3.2.1 Position géographique

Tlemcen se situe à l'extrémité nord-ouest du pays et occupe l'Oranie occidentale, elle s'étend du littoral au Nord à la steppe au Sud. Elle est délimitée : au nord, par la Méditerranée à l'ouest, par le Maroc au sud, par la wilaya de Naâma à l'est, par les wilayas de Sidi-Bel-Abbès et Ain Témouchent.



Figure 3.1 : Position géographique Tlemcen



Figure 3.2 : Position géographique de Maghnia

Le territoire de la commune de Maghnia est situé au nord-ouest de la wilaya de Tlemcen. La ville de Maghnia est située 580 km à l'ouest d'Alger, 39 km de Tlemcen, à 137 km au sud-ouest d'Oran, à

30 km au sud de la ville portuaire de Ghazaouet et à 20 km à l'est d'Oujda (Maroc). Avec les coordonnées suivants 34° 51' 42" nord, 1° 43' 50" ouest, altitude Min. 310 m Max. 680 m, et une superficie de 294 km². L'école Mansouri Abdelkader (classe type B) est située au sud-ouest de Maghnia a Djarabaa.

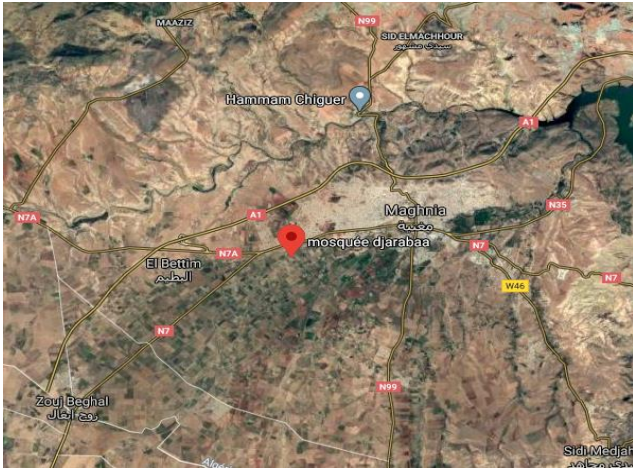


Figure 3.3 : Position géographique de Djarabaa



Figure 3.4 : Position de L'école de Mansori Abdelkader Djarabaa



Figureb 3.5 : Ecole de Mansori Abdelkader Djarabaa Maghnia

3.2.2 Données climatiques

En Algérie, le plus grand pays de l'Afrique, il existe trois types de climat : le climat méditerranéen le long de la côte (zone 1 sur la carte), le climat de transition de la bande collinaire et montagneuse du nord, un peu plus continental et modérément pluvieux (zone 2), et enfin le climat désertique de la grande surface occupée par le Sahara (zone 3).

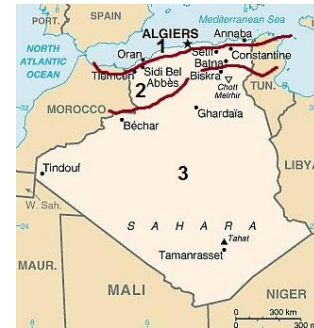


Figure 3.6 : Les trois types de climat en Algérie.

Au nord de l'Algérie, le climat est typiquement méditerranéen. Les étés sont chauds et secs, les hivers doux et humides (400 mm à 1 000 mm de pluie par an). Les températures moyennes (33 °C en août et 15 °C en janvier à Maghnia) varient en fonction de l'altitude.

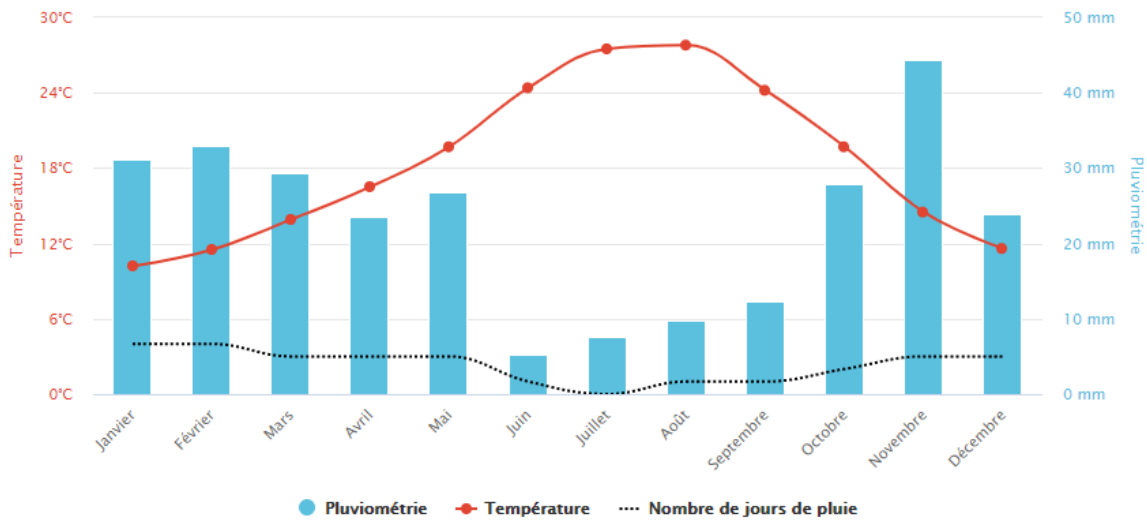


Figure 3.7 : Diagramme climatique Maghnia 2019

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	9.9	10.8	12.8	14.9	17.8	21.7	25.4	25.9	22.6	18.2	14.1	10.8
Température minimale moyenne (°C)	4.9	5.4	7.6	8.9	12.2	15.9	18.8	19.4	16.2	12.4	9.2	5.3
Température maximale (°C)	14.9	16.3	18	20.9	23.5	27.6	32.1	32.4	29	24.1	19	16.3
Précipitations (mm)	42	42	45	43	35	11	2	3	16	33	44	49

Figure 3.8 : Tableau climatique de Maghnia 2019

Les précipitations varient de 47 mm entre le plus sec et le plus humide des mois. La température moyenne au court de l'année varie de 16.0 °C. Au mois d'Aout, la température moyenne est de 25.9 °C. Aout est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Au mois de Janvier, la température moyenne est de 9.9 °C. Janvier est de ce fait le mois le plus froid de l'année.

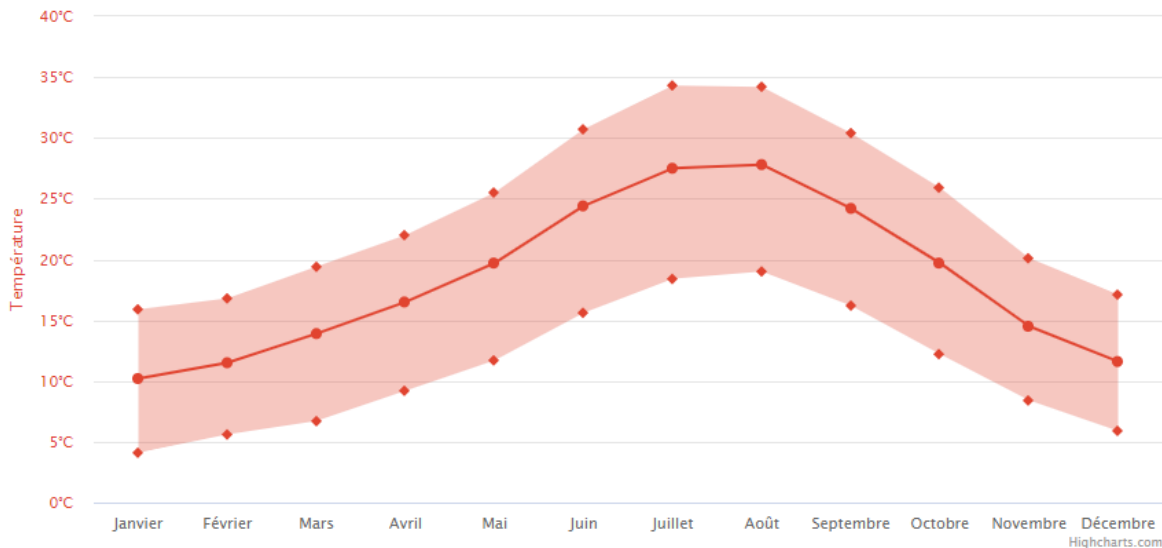


Figure 3.9 : Courbe de température 2019

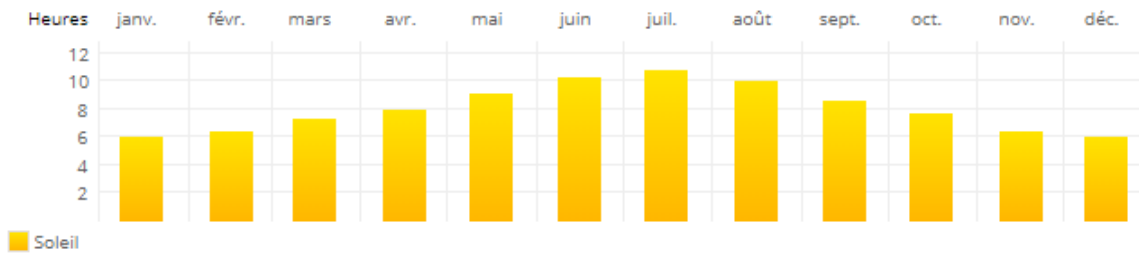


Figure 3.10 : Ensoleillement Maghnia 2019

Le mois le plus ensoleillé c'est le mois de juillet et le moins ensoleillé c'est décembre et janvier.

3.3 Dimensionnement du système PV

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. La méthode de probabilité d'erreur dans la consommation, de la moyenne annuelle et du mois le plus défavorable. Notre travail se base sur cette dernière qui est une méthode simple et sure, on estime l'énergie

récupérable pour une période critique d'un mois appelé le mois le plus défavorable, ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année (décembre) ou dans certains pays où la période d'hiver est rude.

❖ Le gisement solaire :

Comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire pour l'étude des systèmes photovoltaïques.

❖ Gisement solaire en Algérie :

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde et l'énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d'environ 7.2 KWh/m²/jour au sud.

En général, les installations photovoltaïques comprennent quatre éléments essentiels :

- Un générateur photovoltaïque
- Un système de régulation.
- Une ou plusieurs batteries.
- Un onduleur.
- Les câbles.

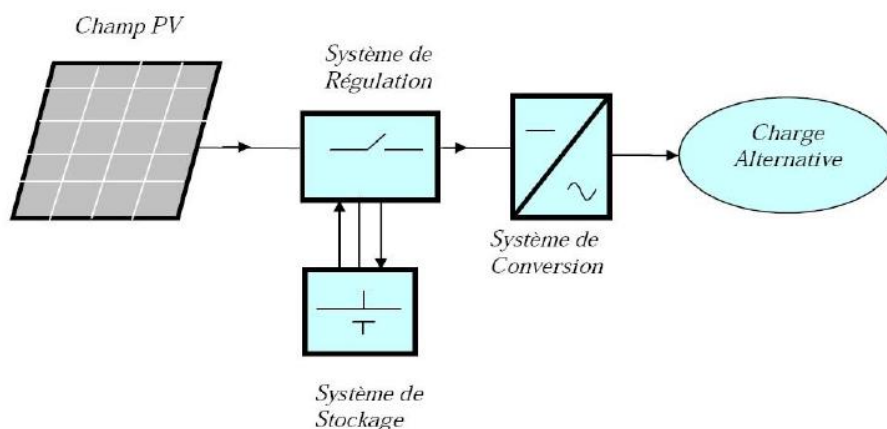


Figure 3.11 : Schéma des composants d'une installation photovoltaïque

3.3.1 Besoins journaliers : Bilan de puissance

L'installation photovoltaïque doit répondre aux besoins de l'école en énergie durant la journée. La réalisation de cette installation exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision.

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire à travers une chaîne de conversion composée de différents éléments. Ainsi, nous allons présenter la méthode du besoin journalier de dimensionnement de l'installation photovoltaïque afin d'aboutir à un résultat qui nous procure plus d'efficacité et une meilleure rentabilité. Avant d'entamer le calcul du dimensionnement, il est indispensable d'établir le bilan énergétique. Afin de déterminer la consommation journalière de l'école, les tableaux ci-dessous contiennent les différents appareils utilisés, ainsi que leurs puissances unitaires et leurs durées d'utilisations. Ces informations permettront de calculer la puissance totale consommée.

Tableau 3.1 : bilan de puissance des classes

	Nombre	Puissance unitaire en W	Facteur d'utilisation	Facteur de Simultanéité	Total W
Lampe d'éclairage	6	25	1	1	150
Prise 16 A	2	2800	0.2	0.2	224
Éclairage extérieur	2	50	0.5	0.5	25
				Nombre de Classes	6
				Total en KW	2.269

Tableau 3.2 : bilan de puissance de bureau

	Nombre	Puissance unitaire en W	Facteur d'utilisation	Facteur de simultanéité	Total W
Lampe d'éclairage	2	25	1	1	50
Prise 16 A	2	2800	0.2	0.2	224
Éclairage extérieur	2	50	0.5	1	50
				Nombre de Bureau	1
				Total en KW	0.324

Tableau 3.3 : bilan de puissance de salle d'informatique

	Nombre	Puissance unitaire en W	Facteur d'utilisation	Facteur de simultanéité	Total W
Lampe d'éclairage	6	25	1	1	150
Prise 16 A	15	2800	0.2	0.2	1680
Pc ordinateur	6	35	1	1	210
Imprimante	1	150	0.2	0.2	6
Data show	1	150	0.2	0.2	6
Total en KW					2.052

Notre école contient 6 classes ,1 bureau et une salle d'informatique. Les facteurs K_u (facteur d'utilisation maximale), K_s (facteur de simultanéité), permettent de déterminer la puissance d'utilisation maximale prise en compte pour le dimensionnement de l'installation.

3.3.2 Nombre et capacité des batteries

Une installation solaire photovoltaïque comprend généralement des batteries afin de rendre l'électricité disponible la nuit ou lorsque le soleil est voilé. Nous allons maintenant voir comment calculer les nombres de batteries nécessaires dans une installation.

Avant de commencer, vous devez :

Avoir calculé l'énergie que va consommer chaque jour votre installation, Connaitre au moins la tension (en général 12V) et la capacité (souvent 50, 100 ou 200Ah) des batteries que vous allez utiliser. Vous pouvez aussi faire le calcul avec plusieurs types de batteries puis choisir la solution la plus économique.

- **La puissance totale = la somme des puissances en KW après en W**

La puissance totale = $2.052 + 0.324 + 2.269 = 4.645 \text{KW} = 4645 \text{W}$

- Le temps d'occupation de l'école dans une journée c'est 10h
- L'énergie en Wh = la puissance totale *10H

L'énergie en Wh= $4650 * 10 = 46500 \text{Wh}$

- Le Rendement de l'onduleur

Un rendement de 100 % signifie que la puissance délivrée en sortie AC est égale à la puissance fournie par le groupe photovoltaïque en entrée DC. Ce cas idéal ne peut pas exister car il existe des pertes de puissance induite par les composants de l'onduleur. Ainsi, un onduleur présente généralement un rendement de l'ordre de 95 %, c'est-à-dire que 95 % de la puissance en entrée DC est transmise à la sortie AC. Les 5 % restants représentent des pertes par échauffement des composants de l'onduleur.

Le rendement de l'onduleur s'exprime selon la formule mathématique suivante :

Formule du rendement de l'onduleur

$$\eta = \frac{\text{puissance en sortie}}{\text{puissance en entrée}} = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \quad [3.1]$$

- La puissance d'entrée $P_{DC} = U_{DC} \times I_{DC}$.
- La puissance de sortie $P_{AC} = U_{eff,AC} \times I_{eff,AC} \times \cos \phi$.

Le rendement est un nombre compris entre 0 et 1. On peut aussi l'exprimer en pourcentage. Dans ce cas, il prend des valeurs comprises en 0 % et 100 %.

Dans notre cas le rendement est 96% d'après la courbe ci-dessous

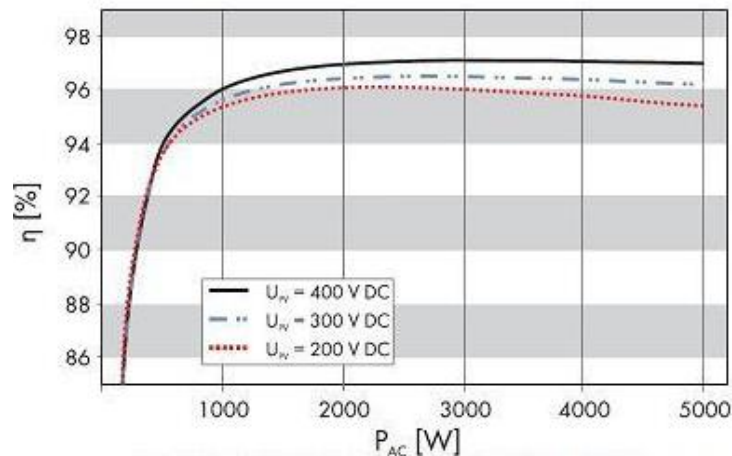


Figure 3.12 : Courbe de rendements onduleur RG-MS 5000VA.

- Tension de fonctionnement de système

Les modules utilisés ont une tension nominale supérieure à 12 V et fournissent un courant continu mais variable, ne dépendant que de l'ensoleillement, de la température et des caractéristiques de fabrication, dans notre cas la tension est de 58V

- $AH = (\text{énergie en WH} / \text{rendement d'onduleur}) / \text{tension de fonctionnement}$.

$$Ah = (46500/0.96) / 58$$

$$Ah = 835.1293$$

- Le nombre des jours = 1jour
- La profondeur de décharge (DOD) :

Exprimé en %, est le rapport entre la capacité déjà déchargée et la capacité nominale de l'accumulateur. C'est à dire l'énergie consommée dans la batterie. 80%

- Le positionnement de l'installation sur le toit

C'est très important. Idéalement, elle doit être orientée (à nos latitudes) plein sud, avec un angle d'inclinaison de 35°. Avec une correction en fonction de la température de 0.75

- La Capacité finale des batteries = (((AH*nombre des jours) /DOD) *FC).

$$\text{Capacité finale des batteries} = (((835.1295*1) /0.8) *0.75).$$

$$\text{Capacité finale des batteries} = 782.9337$$

- Capacité de batterie en AH : 150AH
- Nombre de batterie : cap final / cap de batterie

$$\text{Nombre de batterie} = 783/150 = 5.22$$



Figure 3.13 : Les batteries

- Montage des batteries

Le montage en parallèle consiste à doubler la capacité de décharge (en Ampère) des batteries, soit 20 + 20 = 40 Ampères. Dans ce cas-là, la tension totale de sortie restera à 12 Volts.

On utilisera le montage en parallèle pour doubler l'autonomie (Ah). Cela nous donnera la possibilité d'utiliser des résistances beaucoup plus basses que le montage en série.

Pour le montage en parallèle, l'autonomie s'additionnera soit $150 + 150 = 300$ Ah.

Le montage en série permet de doubler la tension (en Volts) totale de sortie de vos batteries, sans changer la capacité de décharge, soit $12 + 12 + 12$ Volts. Le montage en série vous permettra d'envoyer plus de puissance par rapport au montage parallèle, mais ne permettra pas d'utiliser des résistances aussi basses que l'autre montage. Notre montage est fait de 3 séries de 2 batteries en parallèle.

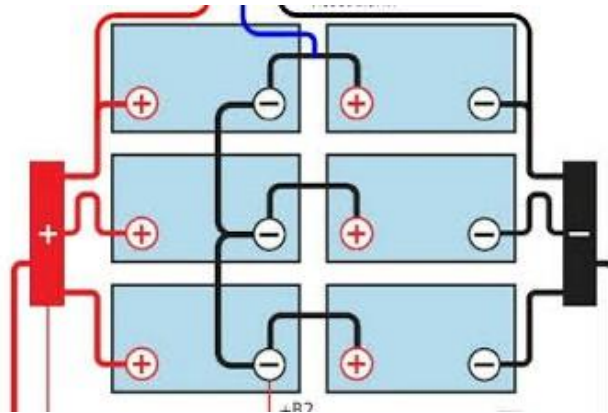


Figure 3.14 : Le montage des batteries

Tableau 3.4 : capacité des batteries

La puissance en W	4650
Le temps de fonctionnement (h)	10
Energie en Wh	46500
Rendement de l'onduleur	0.96
Tension de fonctionnement du système (12, 24, 48V)	58
Ah	835.12931
Nbr de jours d'autonomie	1
Décharge approfondie DOD	0.8
Correction en fonction de la température	0.75
Capacité finale de la batterie Ah	782.93373

3.3.3 Nombre des panneaux photovoltaïques

Pour déterminer combien de panneaux nous aurons besoin, commençons par calculer la puissance consommée par nos appareils.

Pour ce faire, multiplions la puissance en watt (W) de chaque appareil avec le temps d'utilisation sur une journée. Additionnons ensuite le tout (WH). Afin de déterminer précisément de combien de

panneaux solaires nous avons besoin, divisons la totalité de l'énergie consommée de nos appareils par jour par 9, le temps d'ensoleillement en moyenne à Maghnia.

- En général, le temps en Algérie est ensoleillé, avec en total 3650 heures d'ensoleillement par an, au moyen de 10h par jour.
- Le 21 décembre c'est le jour le moins ensoleillé de l'année à Maghnia 9h.
- L'énergie consommée = 45600Wh par jour
- Nombre de panneaux = (L'énergie consommée /9) / la puissance de panneaux
- Nombre de panneaux= (45600/9) /265Wh
- Nombre de panneaux= 19.11 = 19 panneaux

Le branchement de panneau solaire en série permet d'additionner les tensions. Pour brancher votre panneau solaire en série, on connecte la borne + du panneau solaire à la borne - et inversement. Le branchement de panneau solaire en parallèle permet d'additionner les intensités.

6 séries de 3 panneaux en parallèle et branchement du parc batteries en 12V

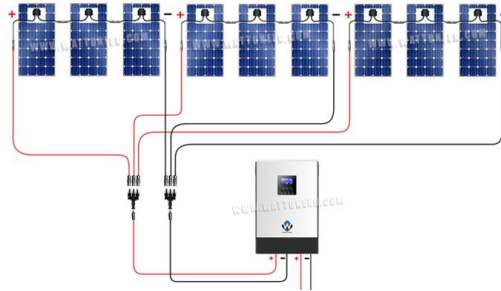


Figure 3.15 : Schéma de notre installation photovoltaïque

3.4 Spécifications techniques des équipements

Les spécifications techniques des équipements suivant le nouveau cahier des charges.

3.4.1 Panneaux solaires

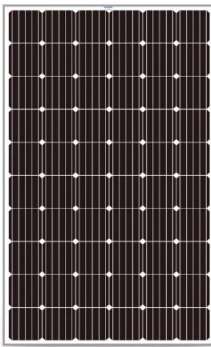
- **Détails rapides**

Lieu d'origine : Zhejiang, Chine

Certificat : CE, CEI, COC, ISO9001, CO

Tableau 3.5 : spécifications techniques des panneaux photovoltaïques

PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES	
Nom du fabricant	RAGGIE
Type	RG-M265W
Puissance crête nominal (Pm) [Wc]	265W
Tolérance de la puissance [%]	±3
Maximum power point (Vmpp) [V]	30v
Courant de court-circuit (Icc) [A]	10.15
La tension de circuit ouvert (Voc) [V]	36.2v
Rendement [%]	97%
Dimension (L x l x h) [mm]	1640*992*40mm
SUPPORT POUR MODULES	
Matériau de construction du support	Acier
L'angle d'inclinaison	35



Matériel : Silicium monocristallin ; Max. Puissance : 265W ;
Nombre de cellules : 72pcs

Figure 3.16 : Panneaux photovoltaïque RG-M265W

Figure 3.17 : Fiche technique de panneaux photovoltaïque RG-M265W

- **Cellule photovoltaïque**

- Cellule solaire à 5 lignes à haute efficacité
- Cohérence de l'apparence
- Une cellule solaire de qualité

- **Cadre**

- Alliage d'aluminium
- Résistance à l'oxydation
- Augmente la capacité de roulement et prolonge la durée de vie

- **Boîte de dérivation (jonction)**

- Niveau de protection IP 65
- Longue durée de vie
- Anti-refoulement
- Excellente conductivité thermique
- Joint étanche



Figure 3.18 : Cellule photovoltaïque RG-M265W



Figure 3.19 : Cadre panneaux photovoltaïque RG-M265W

- **Verre**

- Verre trempé
- L'efficacité du module est augmentée
- Bonne transparence



Figure 3.20 : Boîte de jonction

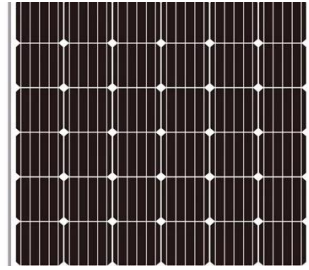


Figure 3.21 : Verre de panneaux photovoltaïques

3.4.2 Coffret DC



Figure 3.22 : Coffret DC

- **Description :**
Coffret électrique monobloc.
- **Matériaux :**
 - Coffret : tôle d'acier épaisseur 1.5mm.
 - Porte : tôle d'acier,
 - Joint polyuréthane déposé par robot
- **Finition :**
 - Corps de l'armoire et porte : Finition structurée, peinture poudre époxy-polyester,
 - Plaque de montage : zinguée.
 - Couleur : Gris RAL 7032
- **Indice de protection :**
 - IP66 selon la norme NF EN 62208 et NF EN 60529
 - Tenue aux impacts mécaniques externes :
 - IK 08 selon la Norme IEC 62208 et EN 50102.

- **Caractéristiques techniques :**

- Coffret monobloc avec porte montée sur charnières.
- Tenue aux impacts mécaniques externes.
- Porte avec charnières à droite, sens d'ouverture réversible à 120°.
- Plaque(s) passe-câbles dans la base du coffret.
- Avec serrure à verrouillage ou système de fermeture à trois points.
- Joint d'isolation en polyuréthane moule « in situ » sur le pourtour, déposé par robot.
- Vis de terre sur le corps et le couvercle.

- Système de fixation murale, dans le panneau arrière, 2 orifices en forme de trous de serrure permettent une fixation murale facile et rapide.
- Plaque de montage : au choix avec ou sans platine de montage.
- Grâce aux bords rabattus et une fente de porte étroite, les particules de poussière et l'eau ne peuvent pas pénétrer dans les coffrets à l'ouverture des portes.
- Mise à la terre selon DIN EN 61439-1, goujons de mise à la terre M6x12 sur porte et boîtier
- Renfort de portes pour la fixation des accessoires.

- **Dimensions :**

Largeur : 800 mm Hauteur : 600 mm Epaisseur : 250 mm

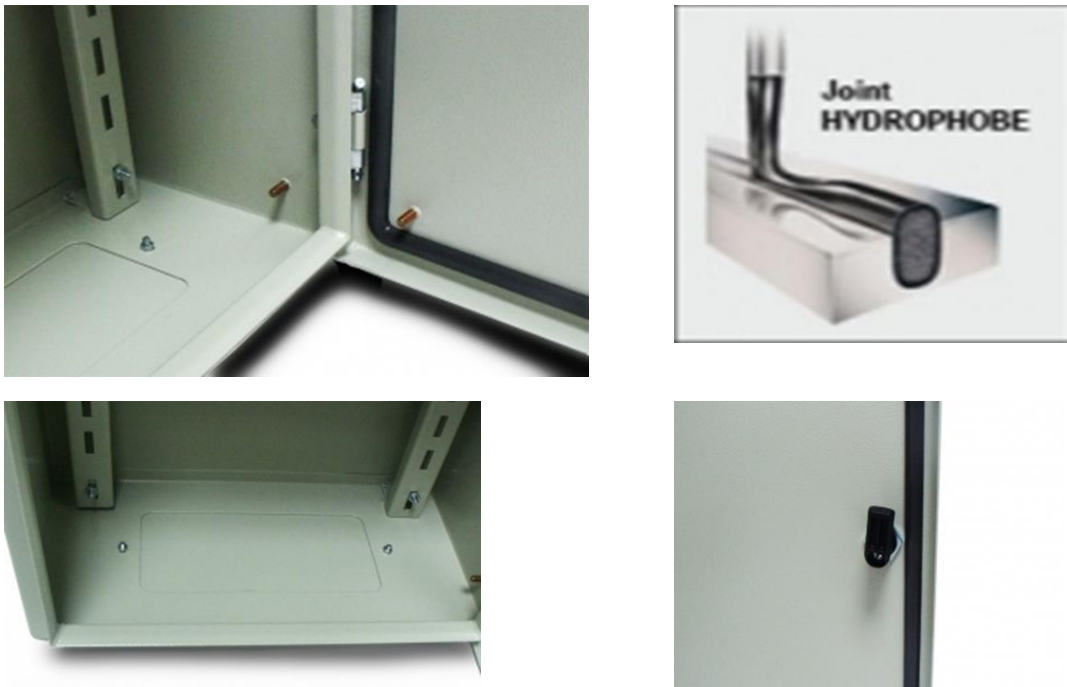


Figure 3.23 : Coffret DC

3.4.3 Onduleur

Onduleur / chargeur multifonction, combinant les fonctions de l'onduleur, du chargeur solaire.

MPPT et du chargeur de batterie pour offrir une prise en charge sans coupure avec une taille portable.

Son écran LCD complet offre un fonctionnement des boutons configurable par l'utilisateur et facilement accessible, comme le courant de charge de la batterie, la priorité du chargeur CA / solaire et une tension d'entrée acceptable en fonction de différentes applications



Figure 3.24 : Onduleur RG-MS5000W-48V.

Tableau 3.6: Spécifications techniques de l'onduleur

Lieu	Zhejiang ; Chine
Marque	RAGGIE
Numéro de modèle	RG-MS5000w-48V
Tension d'entrée	48V
Tension de sortie	AC220V
Type	Combinaison onduleur et contrôleur
Le Type de sortie	Single
Courant de sortie	Charge
Fréquence de sortie	50Hz/60Hz
Taille	0.05CBM/Pcs
Poids	12.4KG/Psc
Contrôleur de charge	MPPT 80A/48V
Puissance maximale du panneau solaire	4000W
Courant de charge AC	60A
Certification	CE, CEI, COC, ISO9001, SASO

MODEL	RG-MS 1K-24	RG-MS 1K-48	RG-MS 2K-24	RG-MS 3K-24	RG-MS/U 3KP-24	RG-MS/U 3K-48	RG-MS/U 4K-48	RG-MS/U 5K-48	RG-MS/U 5KP-24
Rated Power	1000VA/ 1000W	1000VA/ 1000W	2000VA/ 2000W	3000VA/ 3000W	3000VA/ 2400W	3000VA/ 3000W	4000VA/ 4000W	5000VA/ 5000W	5000VA/ 4000W
Parallel Capability	No	No	No	No	Yes, 9 units	No	Yes, 9 units	Yes, 9 units	Yes, 9 units
INPUT									
Voltage	230 VAC								
Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers) ; 90-280 VAC (For Home Appliances)								
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)								
OUTPUT									
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230VAC ± 5%								
Surge Power	2000VA	4000VA	6000VA			8000VA	10000VA		
Efficiency (Peak)	90% - 93%	93%		90%	93%		90%		
Transfer Time	10 ms (For Personal Computers) ; 20 ms (For Home Appliances)								
Waveform	Pure sine wave								
BATTERY									
Battery Voltage	24 VDC	48 VDC	24 VDC	24 VDC	24 VDC	48 VDC	48 VDC	24 VDC	
Floating Charge Voltage	27 VDC	54 VDC	27 VDC	27 VDC	Default: 24 VDC, Max: 30 VDC	54 VDC	54 VDC Max: 58VDC (optional 64VDC, please check with sales)		Default: 24 VDC, Max: 30 VDC
Overcharge Protection	31 VDC	62 VDC	31 VDC	31 VDC	30 VDC	62 VDC	60 VDC (optional 66VDC, please check with sales)		30 VDC
SOLAR CHARGER & AC CHARGER									
Maximum PV Array Power	600W	900W	600W	600W	1000W	900W	4000W	2000W	
MPPT Range @ Operating Voltage	30 VDC~ 66 VDC	60 VDC~ 88 VDC	30 VDC~ 66 VDC	30 VDC~ 66 VDC	30 VDC~ 80 VDC	60 VDC~ 88 VDC	60 VDC~ 115 VDC	30 VDC~ 115 VDC	
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	75VDC	102VDC	75VDC	75VDC	100VDC	102VDC	145 VDC	145 VDC	
Maximum Solar Charge Current	25A	18A	25A	25A	40A	18A	80 A	80A	
Maximum AC Charge Current	20A	15A	30A	30A	60A	15A	60 A	60A	
Maximum Charge Current	45A	33A	55A	55A	100A	33A	140 A	140A	
Maximum Efficiency	98%								
Standby Power Consumption	2 W								
PHYSICAL									
Dimension,DxWxH (mm)	100 x 272 x 355				120 x 295 x 385	120 x 295 x 468	120 x 295 x 468		180 x 310 x 475
Net Weight (kgs)	6.8	7.0	7.4	7.5	7.4	12.5	13.5	12.5	
ENVIRONMENT									
Humidity	5% to 95% Relative Humidity (Non-condensing)								
Operating Temperature	0°C - 55°C								
Storage Temperature	-15°C - 60°C								

Figure 3.25 : Fiche technique d'onduleur RG-MS5000W-48V



Figure 3.26 : Onduleur RG-MS5000W-48V

3.4.4 Accessoires

- **Chemins de câbles :**

Améliorer le cheminement de câblage.

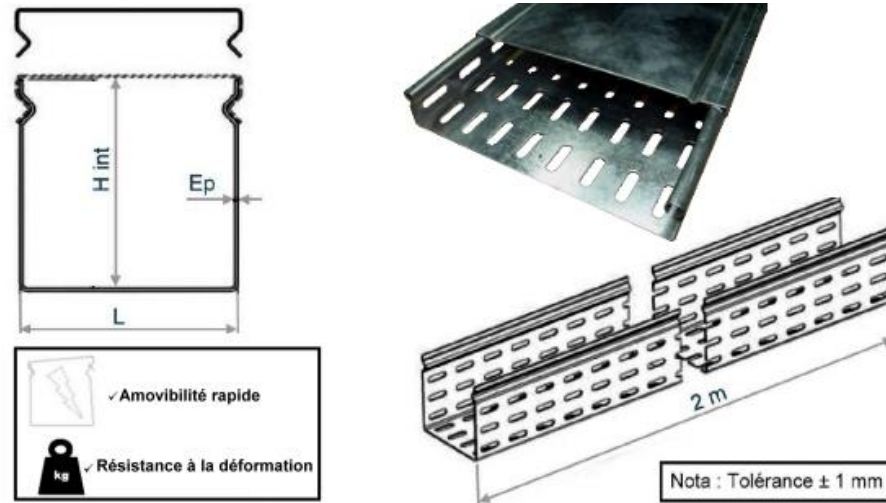


Figure 3.27 : Chemin de câble avec couvercle à clipser

- **Connectique :**

Une connectique débrochable spécifique au photovoltaïque est utilisée sur la partie courant continu (modules photovoltaïques, boîtes de jonctions, coffret DC, onduleurs) pour faciliter l'installation et réduire les risques de chocs électriques. L'installation de ces connecteurs sont obligatoires lorsque la tension U_{OCMAX} entre chaque module PV et à l'extrémité de chaque chaîne PV est supérieure à 60V.

Les connecteurs doivent être :

- Spécifiés pour le courant continu et dimensionnés pour des valeurs de tensions et courants identiques ou supérieures à celles des câbles qui en sont équipés.
- Assurer une protection contre les contacts directs
- Résister aux conditions extérieures (UV, humidité, température)
- Conformes à la norme NF EN 50521



Figure 3.28 : Une connectique

- **Mise à la terre :**

L'ensemble des parties métalliques d'une installation photovoltaïque doit être mis à la terre en respectant le principe d'équipotentialité et en évitant les boucles d'induction. Le câble de terre est de couleur vert/jaune de type H07V. Le conducteur est en cuivre et l'isolation en PVC (polychlorure de vinyle). La section minimale des câbles de terre reliant les modules photovoltaïques est de 6mm². La section minimale du câble de terre reliant la prise de terre unique est de 16mm².

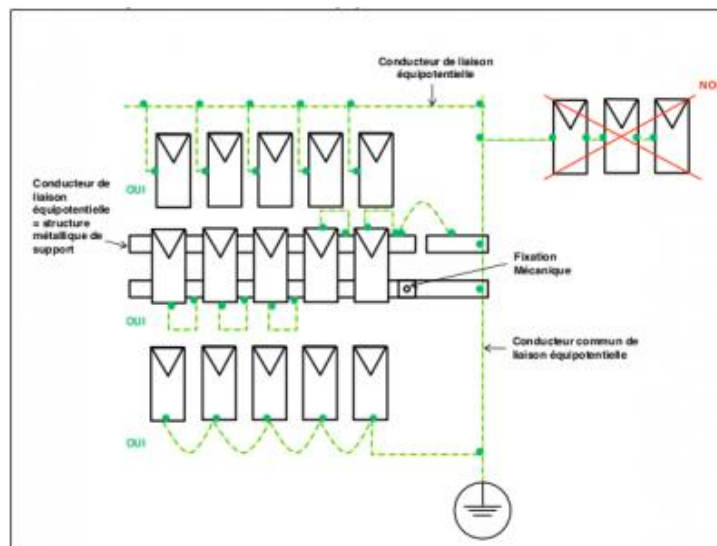


Figure 3.29 : Principe de mise en œuvre de l'équipotentialité des modules photovoltaïques

- **Structure porteuse des panneaux photovoltaïque :**

- ✓ Inclinaison : Au choix
- ✓ Lestage : Blocs en béton, gravier, ...
- ✓ Rails (profilés) : 40 x 40 mm en acier
- ✓ Supports triangulaires : Acier

- ✓ Visserie : Acier inoxydable



Figure 3.30 : structure porteuse des panneaux solaire

3.5 Résultats et discussion

Tableau 3.7 : résultats finals

Wilaya	Tlemcen
Commune	Maghnia
Nom de l'école	MANSORI ABDELKADER
Type de l'école	6Classes + bureau + salle d'informatique
Orientation	SUD
Inclinaison	35°
Besoin journalier	46.5KWh/jour
Nombre de batterie	6
Nombre de panneaux	18
Type de panneaux utiliser	RG-M265W
Type d'onduleur utiliser	RG-MS5000W-48V

Dans cette partie nous avons dimensionné notre installation photovoltaïque destinée à l'école primaire Abdelkader Mansori à Djarabaa, Maghnia, Tlemcen, en se basant sur le nouveau cahier de charge qu'on a précédemment instauré dans le chapitre 2

Dans un premier lieu on a déterminé la position géographique de notre établissement, pour pouvoir par la suite déterminer les données climatiques nécessaires pour dimensionner notre installation photovoltaïque. Pour ce qui est du dimensionnement nous avons utilisé la méthode des besoins journalier qui est une méthode fiable qui permet de dimensionner l'installation photovoltaïque dans le cas le plus défavorable possible pour avoir le meilleur rendement à la fin

Nous avons ensuite déterminé les équipements qu'on va utiliser pour notre installation, des équipements avec des spécifications techniques qui répondent aux normes exigées préalablement

dans le nouveau cahier de charge qu'on a établi dans le chapitre 2. Les résultats obtenus sont dans le tableau 3.7, ces résultats sont conformes aux normes et les conditions du nouveau cahier de charge, on peut en citer a titre d'exemple la puissance qui est supérieur à 260 Wc, le rendement qui est supérieur à 16%, et le facteur de forme qui est lui aussi supérieur à 0.7.

3.6 Evaluation de la production du système par simulation sous PVGIS

PVGIS est un logiciel développé et actualisé par la Commission Européenne. Il recense les degrés d'ensoleillement et de radiation partout dans le monde chaque année. Cette collecte d'informations lui permet de fournir des données précises et claires sur la production potentielle d'un kit solaire.

Une fois sur PVGIS, la première chose à faire est de naviguer sur la carte pour trouver le site où seront implantés les panneaux solaires. Cliquez sur un point de la carte pour choisir l'emplacement de vos panneaux.

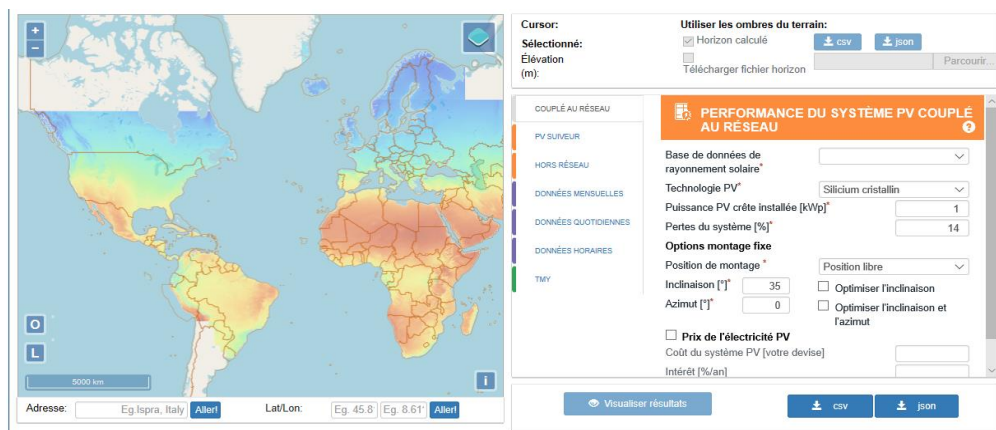


Figure 3.31 : Logiciel PVGIS

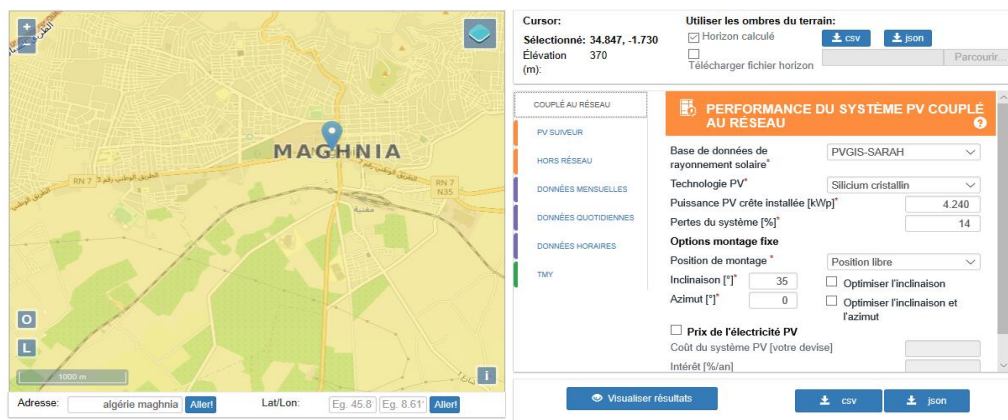


Figure 3.32 : Choix de site sur carte.

Ensuite vous devez renseigner les éléments suivants :

- **Radiation data base :**

Sélectionnez la base de données d'ensoleillement que vous souhaitez, pour une première estimation de la production vous pouvez utiliser n'importe quelle base PVGIS proposée dans le menu déroulant.

- **Technologie PV :**

Type de panneaux photovoltaïques, sélectionnez le type de panneaux qui correspond à votre installation. Vous avez le choix entre :

- Des panneaux photovoltaïques cristallins (mono ou poly, PVgis ne fait pas la différence)
- Des panneaux couche mince type CIS (sélénium de cuivre et d'indium)
- Des panneaux au tellure de Cadmium (CdTe)
- Inconnue : autre technologie photovoltaïque (silicium amorphe, cellules multicouches, etc.)

- **Puissance PV crête installée kWp :**

Puissance de votre installation en kWc (puissance d'un panneau en Wc x nombre de panneaux / 1000)

$$(280 * 19 / 1000) = 5.32 \text{ kWp}$$

- **Pertes estimées du système [0 ;100] % :** Estimation des pertes du système liées aux câbles, au rendement des onduleurs etc., la valeur par défaut de PVGIS est de 14%.
- **Options montage fixé, Position de montage :**

Type d'intégration (support) des panneaux, vous avez le choix entre :

- Position libre = support ventilé (exemple structure triangulaire)
- Intégré au bâtiment = structure intégrée au bâtiment ou surimposée avec peu de ventilation

- **Inclinaison. [0 ;90] ° :** Inclinaison 35°, pente des panneaux
- **Optimiser l'inclinaison :**

Inclinaison optimale, cochez cette case si vous souhaitez que PVGIS calcule automatiquement l'inclinaison optimale en fonction du lieu d'implantation (latitude) et de l'orientation de vos panneaux solaires.

- **Azimut ° :** Azimut, orientation des modules (angle variant de -180° à 180°. Est = -90°, Ouest = 90° Sud = 0°)
- **Optimiser aussi l'azimut :** Orientation optimale, cochez cette case si vous avez entré une valeur pour l'inclinaison et que vous voulez que PVGIS calcule automatiquement la meilleure orientation en fonction de la latitude du lieu et de l'inclinaison de vos panneaux.
- **On grid (connecter au réseau) :**

Cette application de PVGIS permet de calculer la production photovoltaïque moyenne mensuelle et annuelle d'un système PV couplé au réseau, sans système de stockage par batteries.

Le calcul prend en compte le rayonnement solaire disponible, la température du panneau PV, la vitesse du vent et le type de panneau PV. Vous pouvez choisir le type de montage des panneaux parmi une position libre ou intégré au bâtiment. PVGIS peut aussi calculer l'angle d'inclinaison et d'orientation optimale pour maximiser la production annuelle.

Cursor:
Sélectionné: 34.847, -1.730
Élévation 370 (m):

Utiliser les ombres du terrain:

Horizon calculé ↓ csv ↓ json

Télécharger fichier horizon Parcourir...

COUPLÉ AU RÉSEAU

PV SUIVEUR

HORS RÉSEAU

DONNÉES MENSUELLES

DONNÉES QUOTIDIENNES

DONNÉES HORAIRES

TMY

PERFORMANCE DU SYSTÈME PV COUPLÉ AU RÉSEAU ?

Base de données de rayonnement solaire* PVGIS-CMSAF

Technologie PV* Silicium cristallin

Puissance PV crête installée [kWp]* 5.32

Pertes du système [%]* 12

Options montage fixe

Position de montage* Position libre

Inclinaison [°]* 35 Optimiser l'inclinaison

Azimut [°]* 0 Optimiser l'inclinaison et l'azimut

Prix de l'électricité PV

Coût du système PV [votre devise] []

Intérêt [%/an] []

Figure 3.33 : performance du système PV couplé au réseau.

On peut tirer de la figure 3.34 ci-dessous que la production annuelle est de 9066.24 kwh ; irradiation annuelle 2178.08 kwh/m², l'angle d'inclinaison 35° et l'angle d'azimut 0°, installé au site de Tlemcen Maghnia, le système peut nous donner un gain positif dans une période de 25 ans.

Entrées fournies:	
Emplacement [Lat/Lon]:	34.847, -1.730
Horizon:	Calculé
Base de données:	PVGIS-CMSAF
Technologie PV:	Silicium cristallin
PV installée [kWp]:	5.32
Pertes du système [%]:	12
Résultats de la simulation:	
Angle d'inclinaison [°]:	35
Angle d'azimut [°]:	0
Production annuelle PV [kWh]:	9066.24
Irradiation annuelle [kWh/m ²]:	2178.08
Variabilité interannuelle [kWh]:	334.11
Changements de la production à cause de:	
Angle d'incidence [%]:	-2.56
Effets spectraux [%]:	0.33
Température et irradiance faible [%]:	-9.05
Pertes totales [%]:	-21.76

Figure 3.34 :Rapport de résultats de la simulation

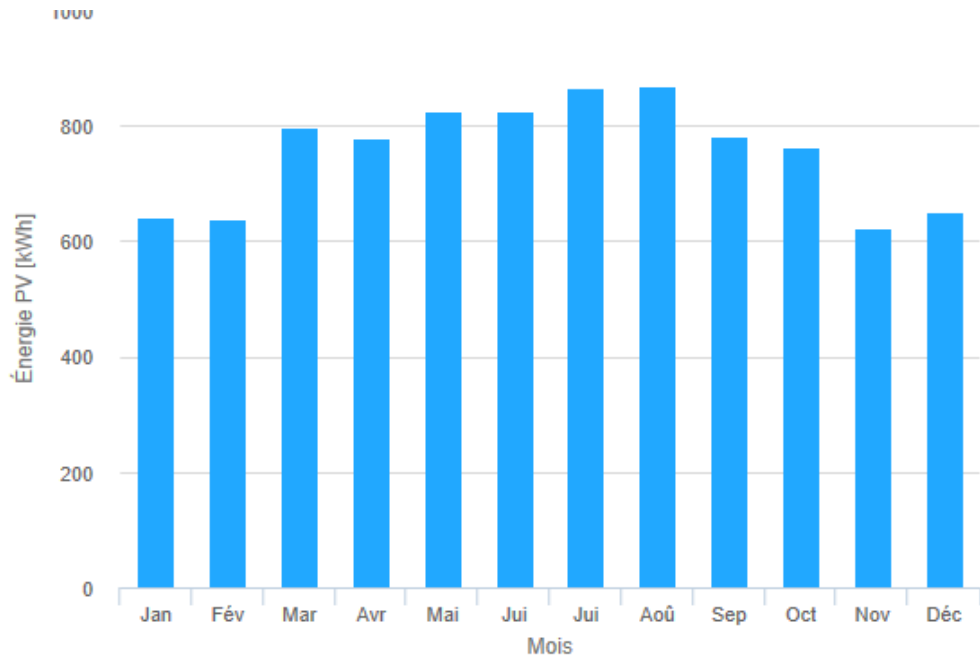


Figure 3.35 : Production énergétique mensuelle du système PV fixe.

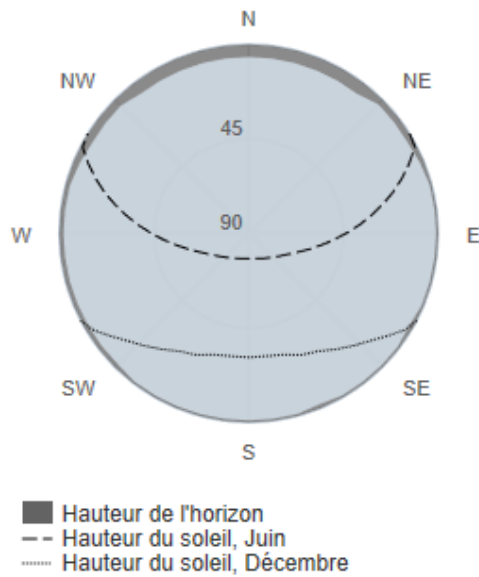


Figure 3.36: Ligne d'horizon

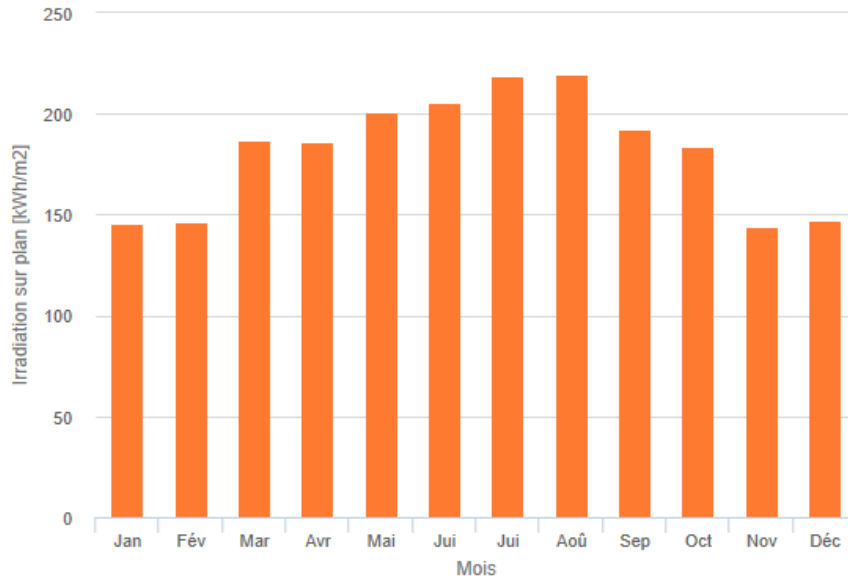


Figure 3.37 : Irradiation mensuelle sur plan fixe

3.6.1 Off grid (système PV hors réseau)

Cette application de PVGIS permet d'analyser la performance d'un système PV hors-réseau et par conséquent a un système de stockage par batteries pour fournir l'énergie nécessaire quand il n'y a pas de rayonnement solaire disponible. Le calcul utilise de l'information de la consommation d'électricité pendant la journée pour simuler le flux d'énergie vers le consommateur et vers le système de stockage par batteries pour sa charge et décharge.

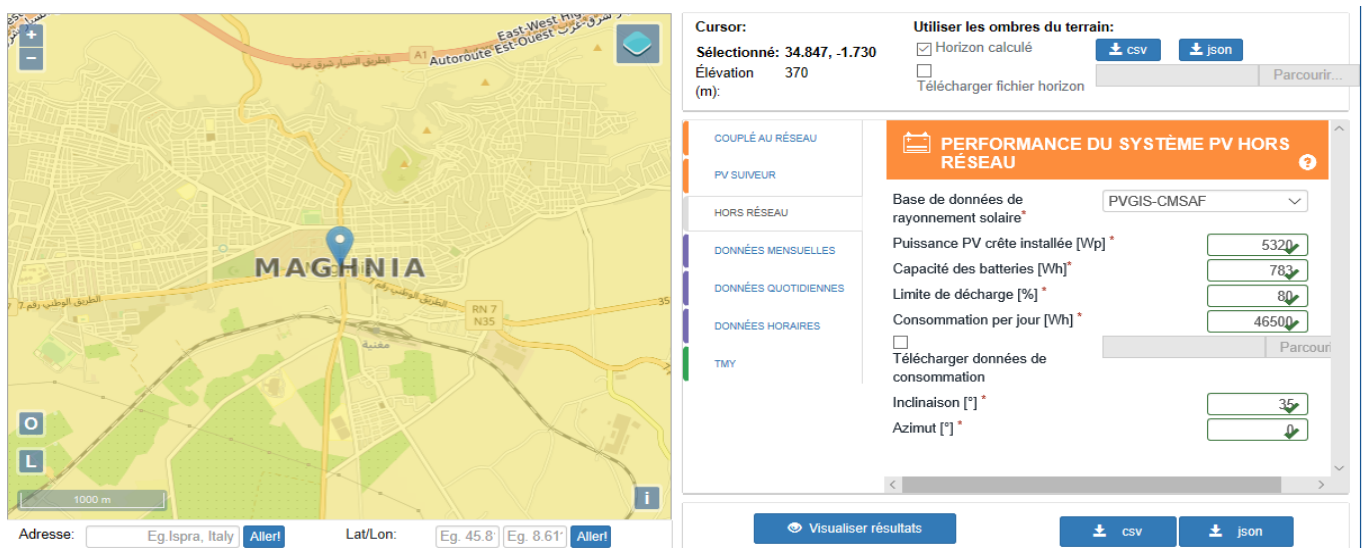


Figure 3.38 : Performance du système PV hors réseau

On peut tirer des figures ci-dessous que le pourcentage des jours batterie pleine et supérieur à 95% et que la production énergétique est élevée par rapport à l'énergie non capturée.

Entrées fournies:	
Emplacement [Lat/Lon]:	34.847, -1.730
Horizon:	Calculé
Base de données:	PVGIS-CMSAF
PV installée [Wp]:	5320
Capacité des batteries [Wh]:	783
Limite de décharge [%]:	80
Consommation per jour [Wh]:	46500
Angle d'inclinaison [°]:	35
Angle d'azimut [°]:	0

Résultats de la simulation:	
Pourcentage des jours batterie pleine [%]:	95.98
Pourcentage des jours batterie vide [%]:	100
Énergie moyenne non capturée [Wh]:	9687.16
Énergie moyenne manquante [Wh]:	34227.54

Figure 3.39 : Résultat de la simulation.

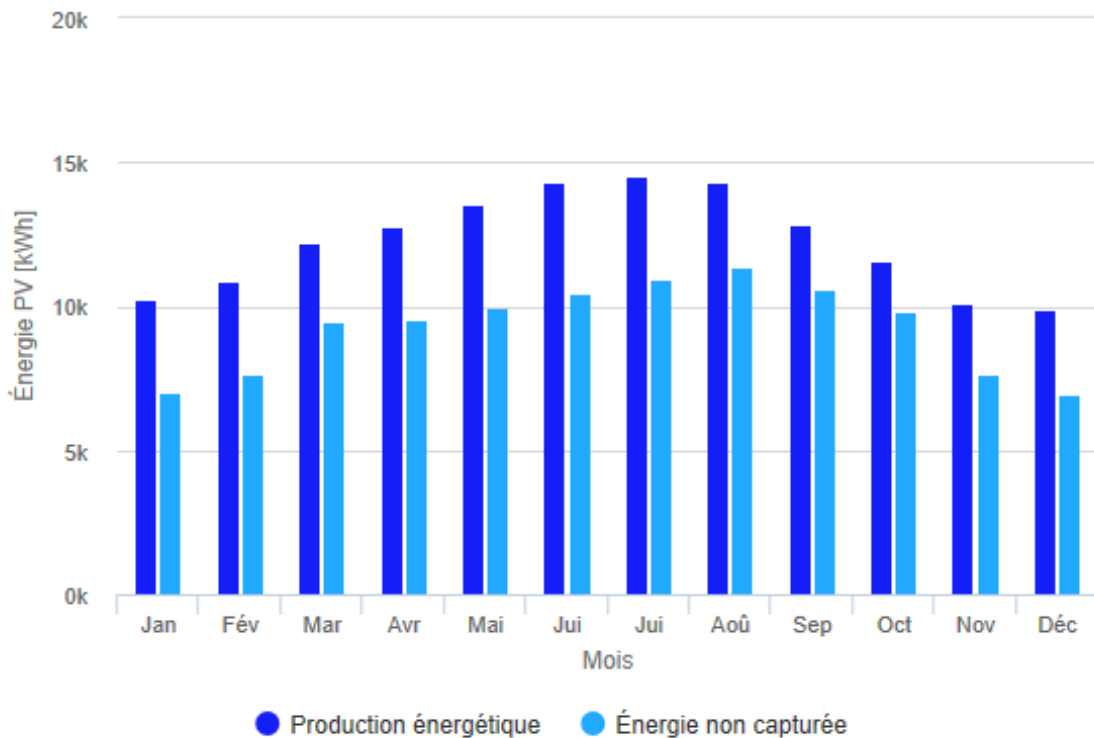


Figure 3.40 : Production estimée pour un système PV hors-réseau

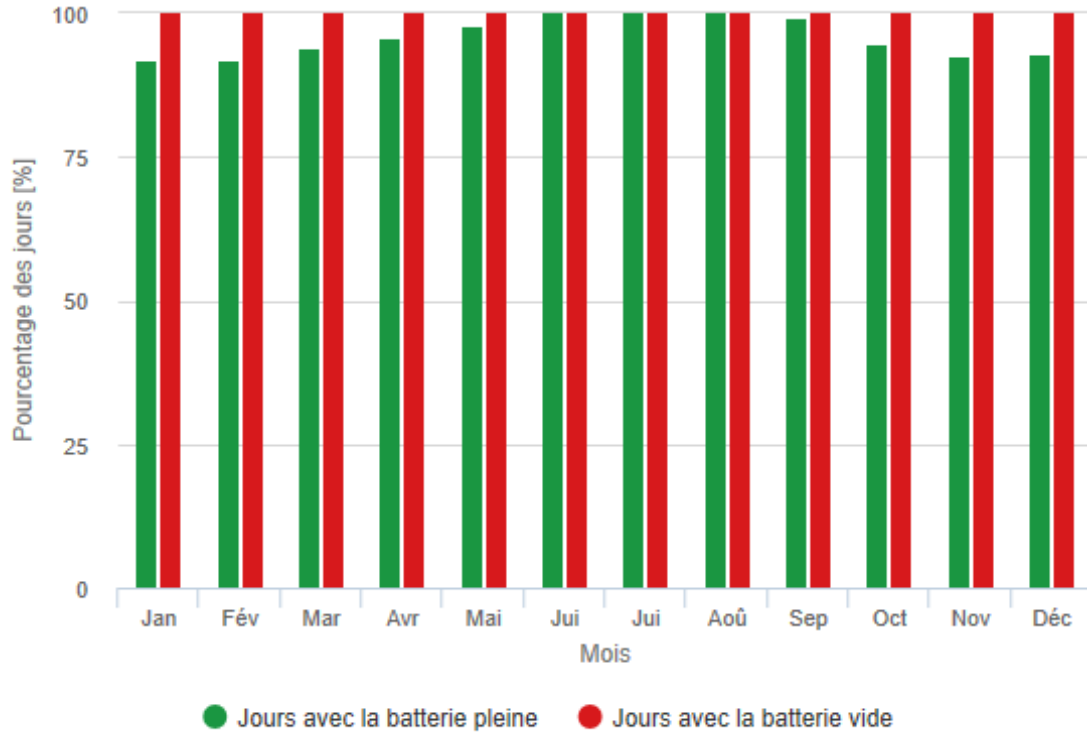


Figure 3.41 : Performance de la batterie du système PV hors-réseau

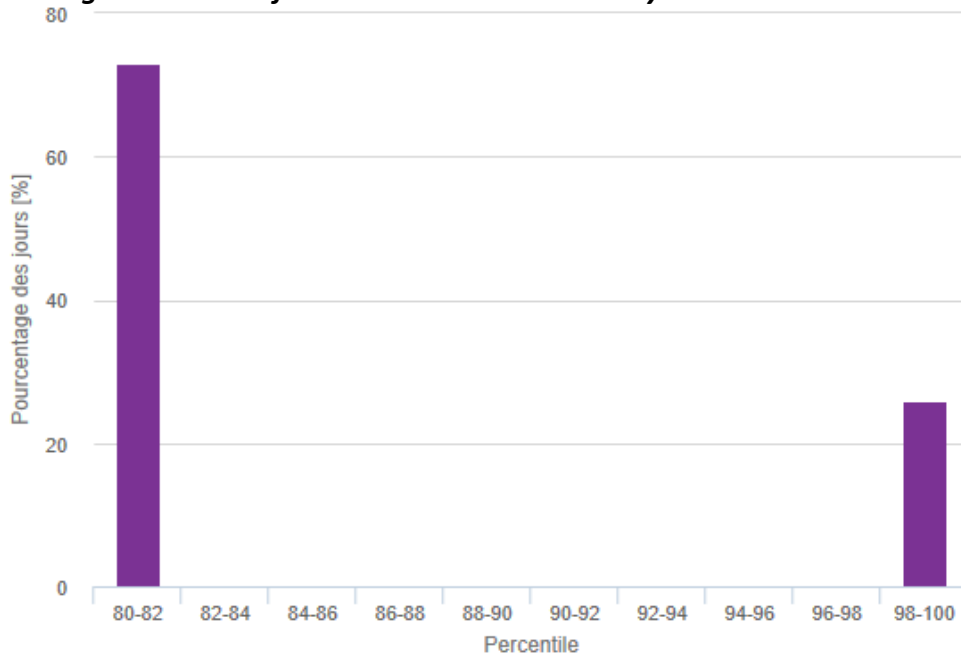


Figure 3.42: Probabilité d'état de charge à la fin du jour.

3.7 Conclusion

Ce chapitre a été consacré au dimensionnement d'un système solaire photovoltaïque, d'une école à Maghnia, dans la localité de Tlemcen, en se basant sur la méthode de probabilité d'erreur dans la consommation, de la moyenne annuelle et du mois le plus défavorable.

Après la présentation détaillée des différents calculs, le système obtenu a été composé de six batteries d'une capacité de 150 AH, reliés par trois modules en série et deux éléments en parallèle. Le champ photovoltaïque a été composé de 18 panneaux montés en 6 séries de 3 panneaux en parallèles. Le choix des équipements proposé dans cette application, répond parfaitement aux spécifications techniques du nouveau cahier des charges, quant à l'évaluation de la production du système par simulation sous PVGIS, montre l'optimisation et l'efficacité énergétique de cette configuration.

CONCLUSION

GENERALE

La transition énergétique en Algérie est un défi majeur à court et à long terme à cause de l'épuisement imminent des énergies fossiles et de la hausse de la demande énergétique au cours des dernières années. Dans le but d'accompagner cette transition, un programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique a été instauré par les autorités algériennes, une partie de ce programme consiste à électrifier les écoles primaires sur le territoire algérien par l'énergie solaire.

Dans un premier lieu, nous avons présenté le programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique et ses objectifs, puis nous avons définis les constituants du système photovoltaïque.

Il y'a deux types de systèmes photovoltaïques :

- ✓ Les systèmes OFFGRID (hors-réseau) qui se composent d'un module photovoltaïque, d'un régulateur de charge, d'une ou de plusieurs batteries pour stocker l'électricité, et d'un onduleur.
- ✓ Les systèmes ONGRID (raccordé au réseau) se composent des mêmes éléments cités précédemment, excepté pour la batterie qui n'est pas nécessaire puisque c'est un système raccordé au réseau.

Nous nous sommes ensuite principalement intéressés aux défauts et aux problèmes rencontrés dans les installations photovoltaïques qui ont été réalisés sur le territoire national. Après une étude des cas sur trois établissements scolaires, on a pu diagnostiquer les principaux défauts et leurs conséquences, on les a classées en trois catégories :

- ✓ Les défauts électriques

- ✓ Les défauts non électriques
- ✓ Les problèmes techniques

Cette étude nous a donc permis d'améliorer et de recadrer le cahier des charges, on se basant uniquement sur deux volets : les prescriptions techniques et les critères d'évaluation des offres. Ce nouveau cahier des charges contribue à ce que les problèmes rencontrés au niveau des installations précédentes ne se reproduisent plus.

Le dernier chapitre de ce travail montre l'électrification d'une école primaire située à Djarabaa, Maghnia, dans la localité de Tlemcen. Nous avons relevé la position géographique et les données climatiques annuelles de cet établissement, puis nous avons établi un bilan de puissance pour cet établissement.

Le dimensionnement de ladite installation a été fait par la méthode des besoins journaliers, ce qui nous a mener à une installation composée de 18 panneaux solaires, montés en 6 séries de 3 panneaux en parallèles, avec un branchement au parc des batteries comprenant 6 éléments de 12V d'une capacité de 150AH.

Le choix des équipements utilisés est ensuite détaillé, il répond aux spécifications techniques du nouveau cahier des charges, à savoir la puissance totale des panneaux et la tension nominale des batteries.

La modélisation numérique par PVGIS nous a permis d'évaluer la configuration proposée. Nous avons conclu que cette installation est faite selon les exigences du cahier des charges, elle aura une production annuelle de 9066.24 KWh, avec un gain d'énergie positif dans une période de 25 ans et un pourcentage des jours batterie pleine supérieur à 95%, ainsi qu'une production énergétique élevée par rapport à l'énergie non capturée.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] A. B. Stambouli, "Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 2, pp. 1169–1181, 2011.
- [2] M. Balat, "Electricity from worldwide energy sources," *Energy Sources, Part B Econ. Plan. Policy*, vol. 1, no. 4, pp. 395–412, 2006.
- [3] R. Berahab, "Energies renouvelables en Afrique : Enjeux , défis et opportunités," *Policy Cent. New South*, p. 19/06, 2019.
- [4] F. Bélaïd and F. Abderrahmani, "Electricity consumption and economic growth in Algeria: A multivariate causality analysis in the presence of structural change," *Energy Policy*, vol. 55, pp. 286–295, 2013.
- [5] F. Bélaïd and M. Youssef, "Environmental degradation, renewable and non-renewable electricity consumption, and economic growth: Assessing the evidence from Algeria," *Energy Policy*, vol. 102, no. July 2016, pp. 277–287, 2017.
- [6] A. B. Stambouli, Z. Khiat, S. Flazi, and Y. Kitamura, "A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 7, pp. 4445–4460, 2012.
- [7] H. Mahmoudi, O. Abdellah, and N. Ghaffour, "Capacity building strategies and policy for desalination using renewable energies in Algeria," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 4, pp. 921–926, 2009.
- [8] Y. Himri, A. Boudghene Stambouli, and B. Draoui, "Prospects of wind farm development in Algeria," *Desalination*, vol. 239, no. 1–3, pp. 130–138, 2009.
- [9] B. Aicha B. fatima, "Etude démonstrative des différents défauts des systèmes," Thèse de doctorat 2019.
- [10] M. Belhamel and S. M. A. Kaabeche, "Production d ' Electricité au Moyen d ' un Système Hybride Aérogénérateur," pp. 49–54, 2002.
- [11] A. Benatallah, R. Mostefaou, and K. Bradja, "Performance of photovoltaic solar system in Algeria," *Desalination*, vol. 209, no. 1-3 SPEC. ISS., pp. 39–42, 2007.
- [12] A. Harrouz, M. Abbes, I. Colak, and K. Kayisli, "Smart grid and renewable energy in Algeria," vol. 5, pp. 1166–1171, 2017.
- [13] H. Assia, "Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque," 2016.
- [14] J. L. Bal and B. Chabot, "Les énergies renouvelables. État de l'art et perspectives de développement," *Comptes Rendus l'Academie Sci. - Ser. Ila Sci. la Terre des Planetes*, vol. 333, no. 12, pp. 827–834, 2001.
- [15] E. Fatima and Z. Ikram, "Les stratégies nationales et internationales déployées par l'Algérie dans les énergies renouvelables." 2019.
- [16] M. M. Amine, "Contribution à l'amélioration des performances des cellules solaires à base de InGaN," 2015.

- [17] K. boualem, Z. Ibrahim, "Modélisation et simulation du système de refoulement photovoltaïque," 2019.
- [18] C. Bouchera, "Analyse, simulation et étude des performances des cellules solaires p-type (Emetteur wrap throught)," 2018.
- [19] A. nouar Chaker, A, "Memoire De Magister En Physique," *Etude Modul. Des Differ. Model. La Cell. Photovoltaïque Etablis Sur Base Val. Nominale*, 2010.
- [20] B. Hanane, "Principe de fonctionnement et mesure des caractéristiques d ' une cellule photovoltaïque," 2016.
- [21] N.Sabri and R.Benkarcha, "Contribution au Détection et Diagnostic des défauts dans les systèmes photovoltaïques par l ' intelligence artificielle," 2013.
- [22] K. S. B. Salah, "Étude et analyse des performances d ' un générateur photovoltaïque pour un système autonome," 2019.
- [23] T.Mambrini, "Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d ' implantation et en fonction des différentes technologies," 2015.
- [24] M. Yacine and A. Mahmoud, "Influence d'ombrage sur le comportement d'un générateur photovoltaïque," 2018.
- [25] A.Djelloul, "Contribution à l'étude des propriétés thermiques et électriques des matériaux composites à base de polymères," 2012.
- [26] Y. Karim, "Etude du fonctionnement des firmes solaires de différentes puissances," 2019.
- [27] M. Arrouf, "Optimisation De L'Ensemble Onduleur,Moteur Et Pompe Branche Sur Un Generateur Photovoltaïque," 2007.
- [28] B. L. Sofia, "Cours_Energie solaire," pp. 1–62, 2015.
- [29] L. Nouredin and B. Fatha, "Thème : Etude des différentes topologies des onduleurs triphasés destinés aux applications photovoltaïques," 2019.
- [30] M. Adouane, M. Haddadi, and A. M. M. Hadjiat, "Etude et conception d ' un onduleur monophasé autonome géré par microcontrôleur PIC 16F876A," vol. 12, pp. 543–550, 2009.
- [31] M. T. Boukadoum and A. H. N. Ourabia, "Le Pompage Photovoltaïque," *Rev. Energ. Ren. Zo. Arid. 69-73*, pp. 69–73, 2002.
- [32] M. T. C. Le, "Couplage Onduleurs Photovoltaïques et Réseau , aspects contrôle / commande et rejet de perturbations," 2012.
- [33] L. Croci, "Gestion de l ' énergie dans un système multi-sources photovoltaïque et éolien " Thèse de doctorat. 2014.
- [34] M. A. Delaille, "Développement de méthodes d ' évaluation de l ' état de charge et de l ' état de santé des batteries utilisées dans les systèmes photovoltaïques," 2006.
- [35] C. Kawther, "Modélisation d'une batterie liée à un système Photovoltaïque," 2020.
- [36] F. Karoui, "Optimisation de strategies de gestion des batteries au plomb utilisees dans les systemes photovoltaïques," 2012.
- [37] M. Meddah and M. B. N. Bouchetata, "Synthèse des convertisseurs statiques DC / AC pour les systèmes photovoltaïques," *Rev. des Energies Renouvelables ICESD'11 Adrar*, pp. 101–112, 2011.
- [38] A. De, "Contribution à l ' étude d ' un générateur solaire pour site autonome," 2015.
- [39] Y. Sanwogou, H. Hova, J. P. Yembi, H. Yoro, and I. Ly, "Conception d ' un système solaire photovoltaïque pour alimenter le laboratoire de physique de l ' Université de Kara , Togo Résumé," vol. 15, no. 5, pp. 238–251, 2019.

- [40] O. Mokhtar, "Elaboration d'un programme d'aide au diagnostic pour une connecté au réseau électrique. système photovoltaïque autonome," 2016.
- [41] B. Abdesslam, "Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension," 2014.
- [42] B. Long, "Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque," 2011.
- [43] S. Djordjevic, D. Parlevliet, and P. Jennings, "Detectable faults on recently installed solar modules in Western Australia," *Renew. Energy*, vol. 67, pp. 215–221, 2014.
- [44] M. A. Munoz, M. C. Alonso-García, N. Vela, and F. Chenlo, "Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 9, pp. 2264–2274, 2011.
- [45] V. Sharma and S. S. Chandel, "A novel study for determining early life degradation of multi-crystalline-silicon photovoltaic modules observed in western Himalayan Indian climatic conditions," *Sol. Energy*, vol. 134, pp. 32–44, 2016
- [46] A. Dolara, S. Leva, G. Manzolini, and E. Ogliari, "Investigation on performance decay on photovoltaic modules: Snail trails and cell microcracks," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 4, no. 5, pp. 1204–1211, 2014.
- [47] J. Liu, W. Tao, Z. Liu, Y. Liu, M. Wang, and Q. Wu, "Study on snail trail formation in PV module through modeling and accelerated aging tests," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 164, no. November 2016.
- [48] S. Mau and T. Krametz, "Quality testing for PV-modules according to standards and performance control for supporting manufacturing," *Proc. 19th ...*, no. June, pp. 10–12, 2004.
- [49] H. H. and J. B. S. Pingel, O. Frank, M. Winkler, S. Oaryan, T. Geipel, "Potential induced degradation of solar cells and panels S. Pingel, O. Frank, M. Winkler, S. Oaryan, T. Geipel, H. Hoehne and J. Berghold SOLON SE, 2010.
- [50] M. A. Quintana, D. L. King, T. J. McMahan, and C. R. Osterwald, "Commonly observed degradation in field-aged photovoltaic modules," *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, pp. 1436–1439, 2002.
- [51] D. nfield, et L. Freris, (2020). Énergie renouvelable dans les réseaux électriques. John Wiley & Sons.
- [52] R. Vakulchuk, I. Overland, et Schoten, D. (2020). Énergies renouvelables et géopolitique : bilan. *Revue sur les énergies renouvelables et durables*, 122, 109547.
- [53] A. Destek, et Sinha, A. (2020). Consommation d'énergie renouvelable et non renouvelable, croissance économique, ouverture commerciale et empreinte écologique : données provenant de l'organisation pour la coopération économique et les pays en développement. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118537.
- [54] M. Kachif, MB. Awan, S. Nawaz, et al. Potentiel inexploité d'énergie renouvelable des résidus de récolte au Pakistan: défis et orientations futures. *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 256, p. 109924.
- [55] H. Naim, R. Fares, A. Bouadi, A. Hassini, et B. Noureddine. (2020). Un modèle amélioré d'estimation de l'irradiation solaire mondiale à partir de données in situ : cas de la région algérienne d'Oranie. *Journal of Solar Energy Engineering*, 142 (3).