

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH

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



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Electrotechnique  
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : ZENAK Rabie

Thème

**INSTALLATION D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE TRIPHASE  
HYBRIDE (PV/RESEAU) POUR L'ALIMENTATION ELECTRIQUE  
D'UNE STRUCTURE SCOLAIRE EN AUTOCONSOMMATION.**

Soutenu publiquement, le **08 /09/2020**, devant le jury composé de :

M / MALIKI FOUAD	MC	ESSA-Tlemcen	Président
M/ CHIALI Anisse	MC	ESSA-Tlemcen	Directeur de mémoire
M/ MAIDA Omar	Ingénieur/Managère	Créa Solaire	Co- Directeur de mémoire
M/ BRAHAMI Mostafa	MC	ESSA-Tlemcen	Examineur 1
M/ MERAD Laaredj	MC	ESSA-Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire :2019/2020

## Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail. Je souhaite remercier toute l'équipe d'installateurs photovoltaïque (Entreprise ECO-Systèmes, Entreprise MEKK ENEGIE, Entreprise NIGASOLAR) pour son accueil chaleureux ainsi que sa collaboration.

Je tiens aussi tout particulièrement à exprimer mon sincère gratitude et estime envers :

- **Mr. MAIDA OMAR** Bureau d'études & ingénierie. Mon étude n'aurait pas été aussi fructueuse sans son aide et les renseignements précieux qu'il avait mis à ma disposition.

Le travail présenté dans ce rapport a été dirigé par Monsieur **CHIALLI Aniss**, professeur à l'école supérieure de la science appliquée de Tlemcen. Je tiens à lui exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance de m'avoir aidé. Nous devons chaque bribe de notre connaissance à nos enseignants à l'Ecole Supérieure de science appliqué de Tlemcen qui ont si bien mené leurs nobles quêtes d'enseigner les bases de l'énergie renouvelable et de l'électrotechnique. Nous les remercions non seulement pour le savoir qu'ils nous ont transmis, mais aussi pour la fierté et l'ambition que leurs personnes nous aspirent.

Non loin de tout projet ambitieux, il existe des gens qui partagent sans jamais se laisser les meilleurs et ses pires moments. Ce sont des personnes qui m'ont soutenus dans chacun de mes instants de faiblesse, et qui, sans leur extrême attention et gentillesse, je ne serais pas ce que je suis devenu aujourd'hui. En tête de liste de ces gens je placerai ma famille ( Papa , Mama , Nesrine , Chafiqua et Chanez ) bien aimée qui n'ont jamais hésité à m'offrir le meilleur qu'elles pouvaient. Viennent alors tous **mes camarades** de promotion ainsi que toutes mes amies qui m'ont aidée de façon directe ou tout simplement par leurs présences et leurs soutiens moral.

Enfin nous tenons à remercier tous **les membres du jury** qui nous ont fait l'honneur de juger ce mémoire.

Je tiens à remercier, M.ROUISSAT Bouchrit le directeur générale de notre école pour ses efforts, ainsi que toute l'équipe pédagogique de l'ESSAT et les intervenants professionnels responsables de la formation de la filière« Electrotechnique option énergie et environnement », pour avoir assuré la partie théorique.

À mes chers parents « Qui sont pour moi un symbole de sacrifice et de dévouement.  
C'est avec euphorie que je leur dédie ce modeste travail »  
À mes chère sœurs (NESRINE, CHAFIKA, CHANEZ)  
A Mon cher Cousin HAMZA ZENAK  
À toutes ma famille  
À tous mes ami(e)s ( Rachid , Samado , Ikram ) .  
Aux membres de TEX Quad  
À tous ce qui, de près ou de loin, se sont sacrifiés pour moi.

## Résumé

Parmi les enjeux majeurs de l'état, la réduction de la consommation énergétique dans les écoles primaire et les mosquées. Ils sont considérés comme un secteur énergivore.

L'Algérie a lancé un programme de développement des énergies renouvelables afin d'assurer une part de sa demande en énergie électrique.

Notre travail présenté dans ce mémoire a pour objectif la maîtrise des dépenses énergétique, et surtout produire de l'électricité proprement et localement dans les 76 écoles primaires situés à la wilaya de Relizane. Après une description détaillée sur les systèmes photovoltaïques et ses applications, nous présentons les modèles des différents composants du système photovoltaïque, et aussi les méthodes d'installation et de configuration en se basant sur les paramètres réels du site de l'installation, nous avons dimensionner et étudié une école primaire de la wilaya de Relizane.

Mots clé : Système photovoltaïque hybride, Dimensionnement du système photovoltaïque, Autoconsommation.

### ملخص

من بين التحديات الكبرى التي تواجه الدولة خفض استهلاك الطاقة في المدارس الابتدائية والمساجد. التي تعتبر من اكبر قطاعات المستهلك للطاقة .

أطلقت الجزائر برنامج تطوير الطاقة المتجددة لتلبية جزء من طلبها على الطاقة الكهربائية.

يهدف عملنا المقدم في هذه الأطروحة إلى التحكم في إستهلاك الطاقة ، والاهم إنتاج الكهرباء بطريقة نظيفة ومحلية في ٧٦ مدرسة ابتدائية تقع في ولاية غليزان.

بعد وصف مفصل للأنظمة الكهروضوئية وتطبيقاتها ، نقدم نماذج المكونات المختلفة للنظام الكهروضوئي ، وكذلك طرق التثبيت والتكوين بناء على المعلمات الفعلية لموقع التثبيت ، قنا كذلك بتحديد الأبعاد ودرس في مدرسة ابتدائية في ولاية غليزان.

الكلمات المفتاحية : النظام الكهروضوئي الهجين ، تحجيم النظام الكهروضوئي ، استهلاك الذاتي .

### Abstract

Among the major challenges facing the state, reducing energy consumption in primary schools and mosques. They are considered an energy intensive sector. Algeria has launched a renewable energy development program to meet part of its demand for electrical energy.

Our work presented in this thesis aims to control energy expenditure, and above all to produce electricity cleanly and locally in the 76 primary schools located at the wilaya de Relizane.

After a detailed description on the photovoltaic systems and its applications, we present the models of the different components of the photovoltaic system, and also the installation and configuration methods based on the actual parameters of the installation site, we have dimensioned and studied at a primary school in the wilaya of Relizane.

Keywords : Hybrid photovoltaic system, Sizing of the photovoltaic system, Self-consumption.



## **Abstract**

Among the major challenges facing the state, reducing energy consumption in primary schools and mosques. They are considered an energy intensive sector. Algeria has launched a renewable energy development program to meet part of its demand for electrical energy.

Our work presented in this thesis aims to control energy expenditure, and above all to produce electricity cleanly and locally in the 76 primary schools located at the willaya de Relizane.

After a detailed description on the photovoltaic systems and its applications, we present the models of the different components of the photovoltaic system, and also the installation and configuration methods based on the actual parameters of the installation site, we have dimensioned and studied at a primary school in the wilaya of Relizane.

Keywords : Hybrid photovoltaic system, Sizing of the photovoltaic system, Self-consumption.

## ملخص

من بين التحديات الكبرى التي تواجه الدولة خفض استهلاك الطاقة في المدارس الابتدائية والمساجد. التي تعتبر من اكبر قطاعات المستهلك للطاقة .

أطلقت الجزائر برنامج تطوير الطاقة المتجددة لتلبية جزء من طلبها على الطاقة الكهربائية. يهدف عملنا المقدم في هذه الاطروحة إلى التحكم في إستهلاك الطاقة ، والاهم إنتاج الكهرباء بطريقة نظيفة ومحلية في ٧٦ مدرسة ابتدائية تقع في ولاية غليزان.

بعد وصف مفصل للأنظمة الكهروضوئية وتطبيقاتها ، نقدم نماذج المكونات المختلفة للنظام الكهروضوئي ، وكذلك طرق التثبيت والتكوين بناء على المعلمات الفعلية لموقع التثبيت ، قنا كذلك بتحديد الأبعاد ودرس في مدرسة ابتدائية في ولاية غليزان.

الكلمات المفتاحية : النظام الكهروضوئي الهجين ، تحجيم النظام الكهروضوئي ، استهلاك الذاتي .

# Table des matières

Liste des tableaux	IV
Liste des figures	VI
Liste des abreviations	VIII
Glossaire	X
Introduction générale	1
<b>1 Généralités sur les installations photovoltaïque ( Pv )</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	5
1.2 Les différents systèmes photovoltaïques et leurs applications : . . . . .	5
1.2.1 Systèmes photovoltaïque raccordés au réseau : . . . . .	6
1.2.2 Systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau : [1] . . . . .	10
1.3 Le rayonnement solaire . . . . .	13
1.3.1 Le Spectre solaire : . . . . .	14
1.3.2 Les composantes du rayonnement solaire : . . . . .	16
1.4 Conversion photovoltaïque : . . . . .	17
1.5 Principaux composants d'un système photovoltaïque : . . . . .	22
1.5.1 Le générateur photovoltaïque : . . . . .	22
1.5.2 Les accumulateurs : . . . . .	25
1.5.3 Le régulateur de charge : . . . . .	27
1.5.4 L'onduleur multifonctionnel : . . . . .	29
1.6 Conclusion . . . . .	30
<b>2 Méthodes d'installation et configurations</b>	<b>31</b>
2.1 Introduction . . . . .	32
2.2 Intégration architecturale : . . . . .	32
2.2.1 Les installations non intégrées : . . . . .	32
2.2.2 Les installations partiellement intégrées . . . . .	32
2.2.3 Les installations avec intégration architecturale . . . . .	33

## TABLE DES MATIÈRES

---

2.3	Configuration du champ solaire : . . . . .	33
2.3.1	Un seul onduleur pour toutes les installations . . . . .	34
2.3.2	Installation avec un onduleur pour chaque string : . . . . .	34
2.3.3	Installation multi-onduleurs : . . . . .	35
2.4	Choix de l'onduleur et interfaçage : . . . . .	36
2.5	Choix de câbles : . . . . .	38
2.5.1	Types de câbles : . . . . .	39
2.5.2	Section et intensité admissible : . . . . .	40
2.6	Conclusion . . . . .	41
<b>3</b>	<b>Etude de cas</b> . . . . .	<b>42</b>
3.1	Introduction . . . . .	43
3.2	Visite technique et localisation des écoles : . . . . .	43
3.2.1	Les espace a alimenter (Analyse environnementale) : . . . . .	43
3.2.2	Estimation de la demande . . . . .	44
3.3	Choix du système le mieux adapté . . . . .	45
3.4	Etude du systeme photovoltaïque hybride : . . . . .	45
3.4.1	Les données climatiques du site : . . . . .	45
3.4.2	Dimensionnement du système . . . . .	47
3.5	Analyse du système photovoltaïque . . . . .	53
3.5.1	Analyse de l'installation . . . . .	53
3.6	Caractéristique des équipements . . . . .	55
3.6.1	Caractéristique des modules photovoltaïque : . . . . .	56
3.6.2	Caractéristique des batteries : . . . . .	57
3.6.3	Caractéristique des onduleurs : . . . . .	58
3.6.4	Caractéristique des câbles : . . . . .	59
3.7	Installation du système . . . . .	60
3.7.1	Fixation des supports des modules . . . . .	60
3.7.2	Installation des modules . . . . .	61
3.7.3	Installation des batteries . . . . .	62
3.7.4	Installation des onduleurs multifonctionnel . . . . .	63
3.7.5	Système de protection . . . . .	64
3.7.6	Mise à la terre . . . . .	65
3.8	Configuration du système . . . . .	65
3.8.1	Mise en place des cartes de communication : . . . . .	65
3.8.2	Programmation onduleurs : . . . . .	66
3.9	Mise en service . . . . .	67
3.10	Maintenance preventive . . . . .	67
3.11	Conclusion . . . . .	67

## TABLE DES MATIÈRES

---

Conclusion générale	68
Annexe	70
Bibliographie	73

# Liste des tableaux

1.1	Comparaison des rendements des différentes technologies des cellules (Année 2015)	20
2.1	Facteur de correction k pour les modules mono ou poly cristallins	39
2.2	Facteur de correction k selon le type d'isolation	41
3.1	Désignation des systèmes PV.	45
3.2	Consommation journalière d'une école.	48
3.3	Tension de service.	49
3.4	Résultat final de l'installation.	53
3.5	Estimation du financement.	54
3.6	Comparaison des rendements des différentes technologies des cellules (Année 2015)	55
3.7	Comparaison des rendements des différentes technologies des cellules (Année 2015)	58
3.8	caractéristique électrique de l'onduleur	58

# Table des figures

1.1	les différents systèmes photovoltaïques . . . . .	6
1.2	Exemple de système photovoltaïque à injection totale sans stockage . . . .	7
1.3	Exemple de système photovoltaïque à injection totale avec stockage . . . .	7
1.4	Exemple de système photovoltaïque a injection partiel sans stockage . . . .	8
1.5	Exemple de système photovoltaïque a injection partiel avec stockage . . . .	9
1.6	Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage (pompage au fil du soleil) . . . . .	11
1.7	Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage . . . . .	11
1.8	Exemple de système hybride avec stockage . . . . .	12
1.9	Exemple de système hybride sans stockage . . . . .	13
1.10	Mouvement de la terre autour du soleil et sur elle –même . . . . .	14
1.11	Schéma de la variation de la répartition spectrale énergétique . . . . .	15
1.12	La position relative du Soleil . . . . .	15
1.13	Les composantes du rayonnement solaire . . . . .	17
1.14	L'atome de silicium . . . . .	18
1.15	Différentes technologies de cellules photovoltaïques. . . . .	18
1.16	Symbole d'une cellule solaire . . . . .	21
1.17	Schéma équivalent de la cellule . . . . .	21
1.18	Panneaux solaires source SHARP . . . . .	22
1.19	Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque en fonction de va- leurs différentes de rayonnement . . . . .	24
1.20	Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque en fonction de va- leurs différentes de température [2] . . . . .	24
1.21	Exemple d'une connexion en série-parallèle. . . . .	25
1.22	Batterie solaire source Victron Energy [3] . . . . .	25
1.23	Types de connexion des batteries. . . . .	27
1.24	Régulateur de CHARGE / DECHARGE source STECA. . . . .	28
1.25	Schéma de principe d'un onduleur monophasé . . . . .	29
1.26	Principe de fonctionnement de la technologie MLI . . . . .	29
1.27	Maximum Power Point (MPP) d'un générateur photovoltaïque . . . . .	30

## TABLE DES FIGURES

---

2.1	Installations non intégrées. . . . .	32
2.2	Installations avec une intégration simplifiée au bâti. . . . .	33
2.3	Installations avec une intégration au bâti. . . . .	33
2.4	Installation mono-onduleur.. . . .	34
2.5	Installation avec un onduleur pour chaque string . . . . .	35
2.6	Installation avec un onduleur pour chaque string . . . . .	36
2.7	Installation mono-onduleur.. . . .	38
3.1	localisation de la commune Oud Rhiou ( wilaya de Relizane ) . . . . .	46
3.2	Donnée Climatique . . . . .	46
3.3	Irradiation moyenne journalière sur un plan horizontal a Oud Rhiou . . . . .	46
3.4	Production / consommation mensuelles / sources PVGIS 2019 . . . . .	54
3.5	Autonomie / économie d'énergie . . . . .	54
3.6	Schéma de principe . . . . .	55
3.7	Caractéristiques des modules . . . . .	56
3.8	Module photovoltaïque SHARP GERMANY . . . . .	57
3.9	Batterie Solaire FIAMM. . . . .	57
3.10	Onduleur multifonctionnel EFFEKTA . . . . .	59
3.11	Ecole TAZZI Mohamed Relizane. . . . .	60
3.12	Semelle de béton 50*50*20 . . . . .	60
3.13	alignement les semelles de béton . . . . .	60
3.14	Structure porteuse en aluminium. . . . .	61
3.15	Structure porteuse avec modules photovoltaïque. . . . .	61
3.16	Boite de jonction (toiture). . . . .	61
3.17	Boite de jonction. . . . .	62
3.18	Armoire électrique avant de mettre les batteries et Avec les batterie . . . . .	62
3.19	Onduleurs solaires multifonctionnelle (3 triphasé ). . . . .	63
3.20	Schéma de principe d interconnxtion des onduleurs. . . . .	64
3.21	Déférents systèmes de protection. . . . .	64
3.22	Carte et câble de communication parallele. . . . .	65
3.23	Méthode de connexion. . . . .	66
3.24	Schéma de principe d interconnxtion des onduleurs. . . . .	67



# Liste des abréviations

<b>PV</b>	Photovoltaïque.
<b>SPD</b>	Parafoudre (surge protection device ).
<b>TGBT</b>	Tableau général basse tension.
<b>PWM</b>	Modulation de largeur d'impulsion ( pulse with modulation ).
<b>MPPT</b>	Suivi de point de puissance maximale ( maximum power point tracking ).
<b>U min</b>	Tension au Maximum Power Point (MPP) du champ PV à la température d'utilisation maximale attendue pour les modules PV sur le site d'installation.
<b>U max</b>	Tension au Maximum Power Point (MPP) du champ PV, correspondant à la température d'utilisation minimale attendue pour les modules PV sur le site d'installation.
<b>U oc max</b>	Tension à vide du champ PV à la température d'utilisation minimale attendue pour les modules PV sur le site d'installation.
<b>UMPPT min</b>	Tension d'entrée minimale admise par l'onduleur.
<b>UMPPT max</b>	Tension d'entrée maximale admise par l'onduleur.
<b>UMAX</b>	Tension d'entrée maximale supportée par l'onduleur.
<b>Iz</b>	Intensité admissible.
<b>I b</b>	courant d'emploi.

# Glossaire

<b>PV :</b>	Est le terme relatif à la transformation de la lumière en électricité. Dans la suite du document l'abréviation « PV » est utilisée pour « photovoltaïque ».
<b>Cellule PV :</b>	Dispositif PV fondamental pouvant générer de l'électricité lorsqu'il est soumis à un rayonnement solaire.
<b>Module PV :</b>	Le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées complètement protégées de l'environnement.
<b>Chaîne ou String PV :</b>	Circuit dans lequel les modules PV sont connectés en série afin de former des ensembles de façon à générer la tension de sortie spécifiée. Dans le langage courant, les chaînes sont plus communément appelées « string ».
<b>Groupe PV :</b>	Ensemble de chaînes constituant l'unité de production d'énergie électrique en courant continu.
<b>Boîte de jonction :</b>	Boîte dans laquelle tous les groupes PV sont reliés électriquement et où peuvent être placés d'éventuels dispositifs de protection.
<b>Onduleur :</b>	Dispositif transformant la tension et le courant continus en tension et en courant alternatifs.
<b>Partie courant continu :</b>	C'est la partie d'une installation PV située entre les modules PV et les bornes de courant continu de l'onduleur.
<b>Partie courant alternatif :</b>	C'est la partie de l'installation PV située en aval des bornes à courant alternatif de l'onduleur.
<b>Irradiance :</b>	Puissance instantanée du rayonnement solaire en W.m <sup>-2</sup> .
<b>Irradiation :</b>	C'est l'énergie du rayonnement solaire. Elle correspond à la quantité d'énergie reçue ( 1 kWh/m <sup>2</sup> =3,6 MJ/m <sup>2</sup> et 1cal/cm <sup>2</sup> : 0,0116 kWh/m <sup>2</sup> ) .
<b>Les systèmes hybrides :</b>	Comportant d'autres sources d'énergie renouvelable que le photovoltaïque (éolien, microhydrolique) ne sont pas abordés, bien que la démarche de conception soit semblables.
<b>Condition d'essai normalisées STC :</b>	Condition d'essai prescrites dans la NF EN 60904-3 (C57-233) pour les cellules et les modules photovoltaïque.

# Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, en effet. L'énergie est un facteur essentiel au développement économique, dans tous les pays du monde. Son importance relative s'accroît avec les progrès techniques, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse [4] [5].

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles, la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution.

Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, et aussi face aux multiples crises économiques et pétrolières la science s'est intéressée aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiée dans les domaines de recherche et développement [4] [6].

Notons que l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La moyenne annuelle d'insolation dépasse les 3000 heures. C'est aussi le plus important de tout le bassin méditerranéen avec 169440TWh/an. L'énergie solaire moyenne reçue est de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au niveau des régions côtières; 1900 kWh/m<sup>2</sup>/an dans les Hauts-Plateaux et 2650 kWh/m<sup>2</sup>/an au Sahara. Notre pays peut donc couvrir certains de ses besoins en énergie par les systèmes photovoltaïques [7].

Par ailleurs aujourd'hui nous distinguons plusieurs sources d'énergies renouvelables : l'énergie Hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque (qui sera étudiée dans ce mémoire).

L'avantage principal de ces énergies renouvelables est que leurs utilisations ne polluent pas l'atmosphère et elles ne produisent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre.

Notre étude est réservée à l'installation et l'étude d'un système solaire hybride ( PV/Réseau) qui alimente une école primaire

**Le premier chapitre** est consacré aux généralités sur l'énergie solaire. Nous présentons tout d'abord, un état de l'art l'énergie solaire photovoltaïque qui nous présente les systèmes qui sont actuellement établis dans la pratique.

**Dans le deuxième chapitre**, nous nous sommes intéressés au dimensionnement et de conception d'installation photovoltaïque à savoir les différents éléments constituant le générateur PV (batterie, régulateur, onduleur...).

**Dans le troisième chapitre** nous consacrons à l'étude de cas, après une Visite technique et localisation des écoles on fait une étude du système photovoltaïque hybride ensuite J'ai défini les caractéristiques des équipements de l'installation et finalement les étapes de réalisation de système photovoltaïque .

**Enfin**, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

# Chapitre 1

## Généralités sur les installations photovoltaïque ( Pv )



## 1.1 Introduction

Le Photovoltaïque est un composant majeur des énergies renouvelables permettant la production d'électricité (vent, hydraulique, solaire énergie, marine biomasse ...) cela tient à son faible cout de fabrication, a sa simplicité de mise en œuvre, et a son très faible impact environnemental.

En effet, sans pièce mécanique, sans bruit sans production de polluants, les cellules solaires convertissent directement l'énergie solaire en électricité, sous forme de courant continu.

Un chiffre pour illustrer le potentiel du photovoltaïque : 71 000 Km<sup>2</sup> de cellules solaires au silicium, implanté en Afrique sahélienne, serait à même de fournir tous les besoins mondiaux en électricité (soit 23 537 T WH consommés en 2014)

La baisse des couts et l'augmentation progressive du rendement des modules photovoltaïque ont permis de diversifier les applications, en particulier pour les besoins d'électrification rurales. Depuis 2004, l'Algérie a réalisé de nombreuse installations et centrale photovoltaïque autonome ou hybrides, notamment dans le sud algérien, des fermes ont été équipé en photovoltaïque, après plus de 16 ans d'utilisation dans des conditions difficiles, les modules photovoltaïques sont toujours en fonctionnement.

Aujourd'hui, les systèmes photovoltaïques autonomes ou hybrides atteignent une phase de maturité technique et financière leur permettant d'être considérés comme compétitifs au regard d'une production par groupe électrogène, voire d'un raccordement au réseau public de distribution dans certains cas.

## 1.2 Les différents systèmes photovoltaïques et leurs applications :

On peut distinguer deux grandes applications du photovoltaïque selon que le système est raccordé au réseau public de distribution ou non. Parmi les nombreux types de systèmes photovoltaïques, mon sujet traite uniquement les systèmes photovoltaïques hybrides (PV/réseau) non raccordés au réseau public de distribution.

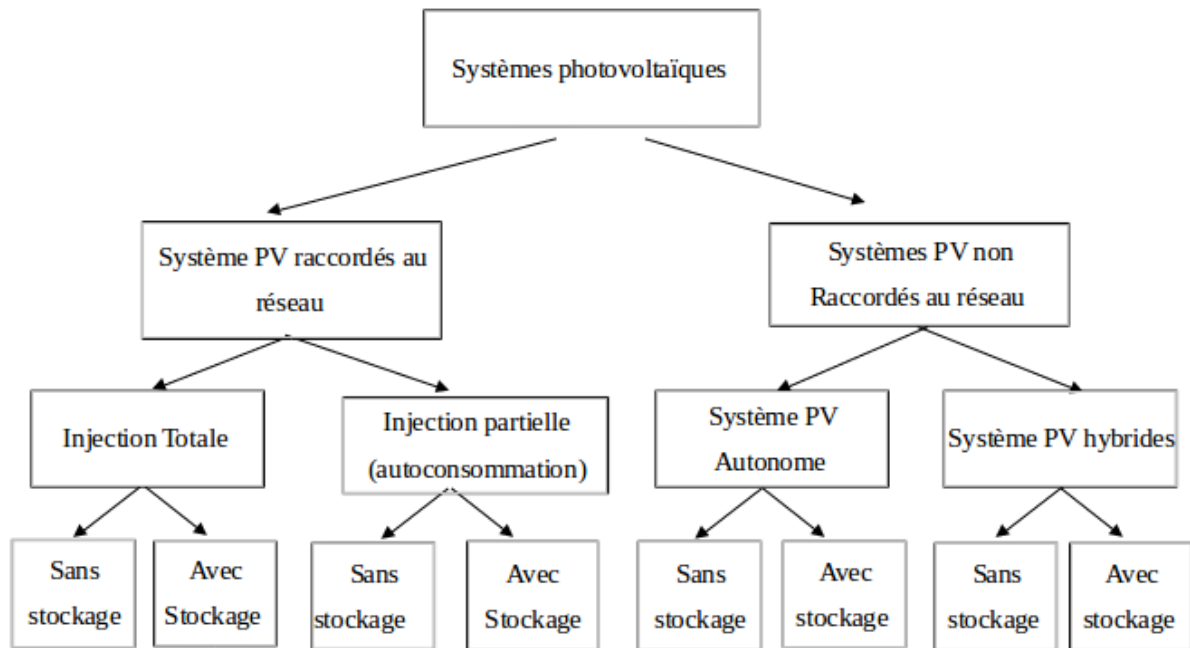


FIGURE 1.1 – les différents systèmes photovoltaïques

### 1.2.1 Systèmes photovoltaïque raccordés au réseau :

Les systèmes PV raccordés au réseau sont avant tout des équipements de production destinés à produire de l'énergie électrique d'origine photovoltaïque qui va être injectée sur un réseau électrique alimenté par d'autres sources de production ; à partir de machines tournantes de puissance beaucoup plus importante [8]

On peut considérer deux architectures électriques de raccordement, selon que l'énergie produite est consommée sur le site de production (autoconsommation) ou non (injection totale).

#### Systèmes PV raccordés au réseau avec injection Totale :

##### 1. Injection totale sans stockage :

Le principe de fonctionnement de ces systèmes est le suivant Figure 1.2 . Un générateur photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire en électricité. Le courant continu produit par les modules photovoltaïques est transformé, via un onduleur PV, en courant alternatif compatible avec les caractéristiques électriques du réseau public de distribution.

L'énergie produite est intégralement injectée sur le réseau public de distribution afin d'être valorisée dans les meilleures conditions économiques pour le producteur.

En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur PV s'arrête de fonctionner [9].

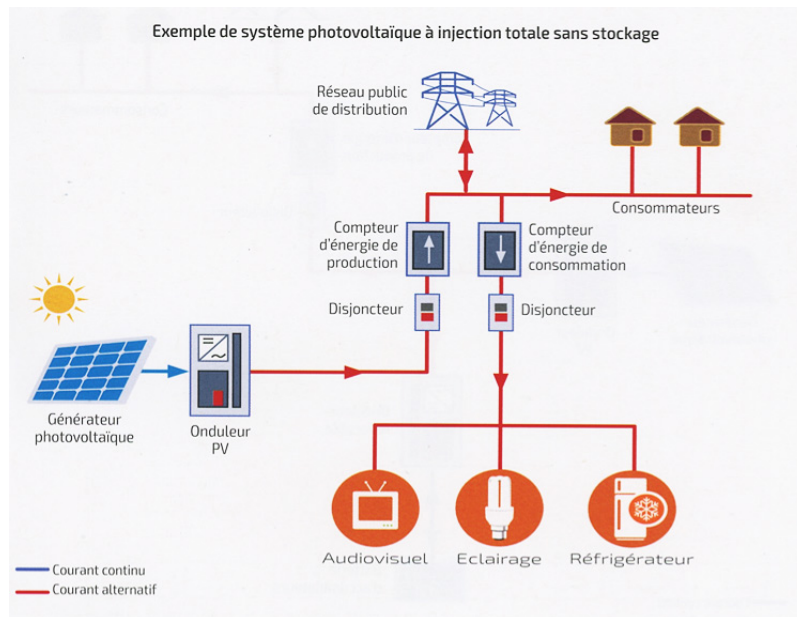


FIGURE 1.2 – Exemple de système photovoltaïque à injection totale sans stockage

## 2. Injection totale avec stockage :

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré à la centrale de production (Figure 1.3). Toutefois, pour des raisons économiques, le stockage est très limité et a pour but de lisser la production et/ou de restituer l'énergie en fin de journée pour faire face à un pic de consommation sur le réseau électrique [9].

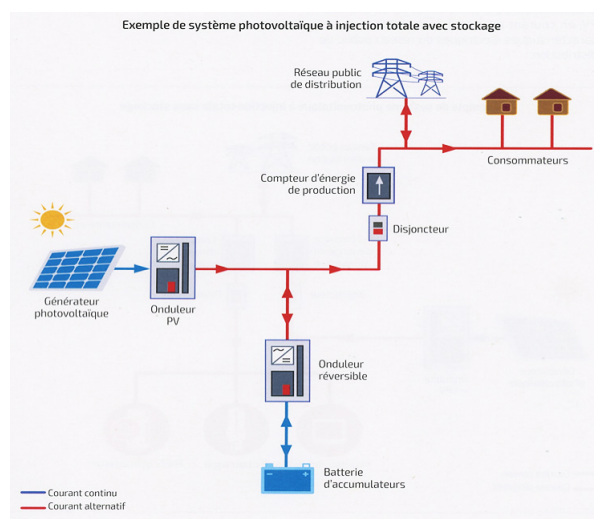


FIGURE 1.3 – Exemple de système photovoltaïque à injection totale avec stockage

## Systèmes PV raccordés au réseau avec autoconsommation (injection partiel)

En autoconsommation, deux configurations sont possibles.

### 1. Autoconsommation sans stockage :

Le système photovoltaïque fonctionne comme précédemment mais il est connecté directement sur l'installation électrique intérieure du site (Figure 1.4). L'électricité solaire est autoconsommée par les récepteurs en service. L'excédent éventuel d'électricité solaire produit est injecté dans le réseau public de distribution. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur photovoltaïque s'arrête de fonctionner et les récepteurs ne sont plus alimentés [9].

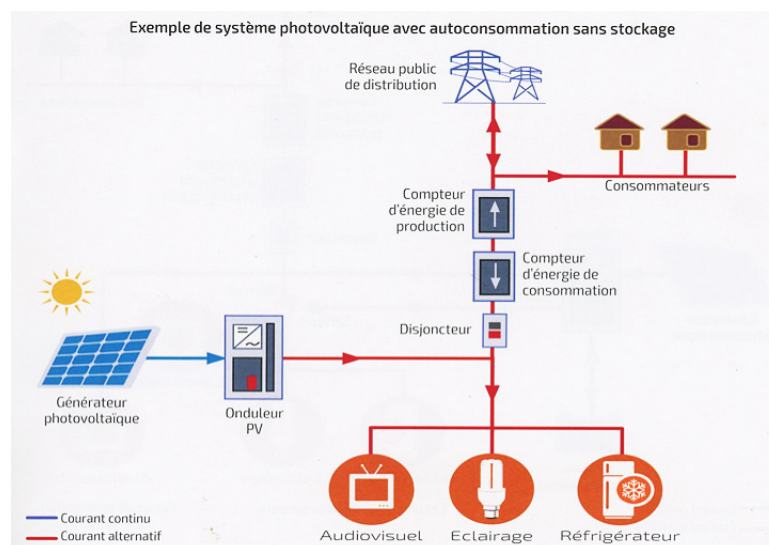


FIGURE 1.4 – Exemple de système photovoltaïque a injection partiel sans stockage

L'intérêt d'un tel système est le suivant :

- Pour le producteur/consommateur : réduction de sa facture d'électricité (surtout si le prix du kWh acheté au réseau est supérieur au coût de l'énergie photovoltaïque produite) et valorisation éventuelle du surplus d'énergie produite, si un tarif d'achat est institué.
- Pour le gestionnaire de réseau : réduction de la fourniture d'électricité (tout ce qui est fourni localement n'est pas à produire par les autres sources généralement d'origine fossiles).

### 2. Autoconsommation avec stockage :

Le principe est le même que précédemment, mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré au système, ce qui permet de stocker l'énergie produite par le générateur photovoltaïque en journée et de la restituer le soir pour la consommation locale 1.5. Cependant, pour des raisons économiques, le stockage est limité

à quelques heures de fonctionnement et ne permet pas de s'affranchir totalement du réseau électrique [9].

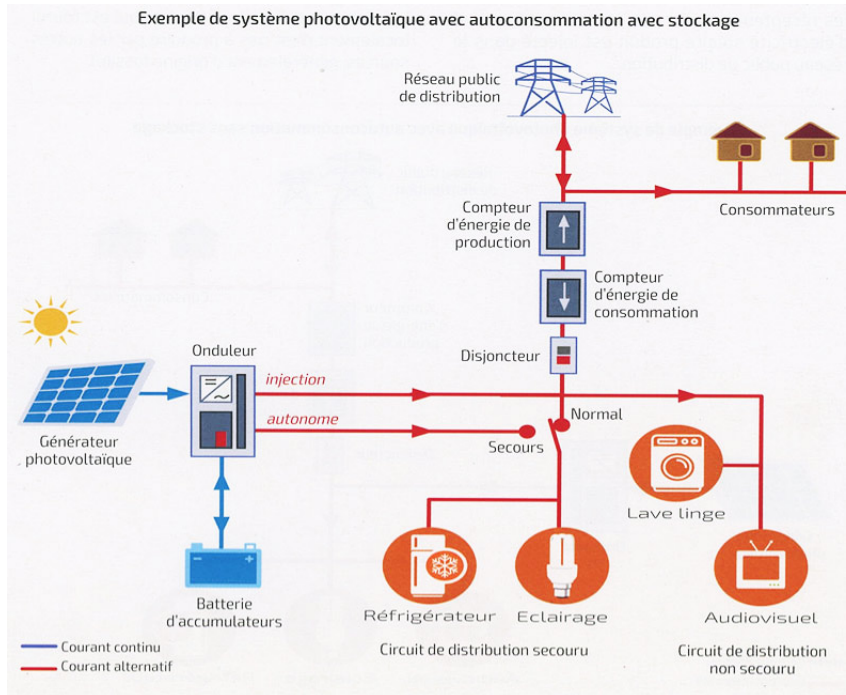


FIGURE 1.5 – Exemple de système photovoltaïque a injection partiel avec stockage

L'intérêt d'un tel système est identique au précédent, mais avec un taux d'autoconsommation supérieur. De plus, en cas de défaillance réseau, cette configuration donne souvent la possibilité d'alimenter d'une manière autonome les récepteurs prioritaires pendant quelques heures, et assure ainsi une fonction de secours. Toutefois, ce système présente l'inconvénient d'un stockage électrochimique entraînant un coût d'investissement, d'entretien, de renouvellement, de recyclage, entre autres.

**Applications :** On retrouve les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau aussi bien au sol que sur des bâtiments d'habitation, tertiaires, agricoles et industriels. Les centrales de production électrique à base de générateurs photovoltaïques de grande puissance (de quelques MWe à quelques centaines de MWe) sont destinées à être raccordées directement sur le réseau public de distribution en Haute Tension A (HTA), ou sur le réseau de transport en Haute Tension B (HTB) [9].

**Ces systèmes comportent de nombreux points forts :**

- Renforcement de la puissance électrique nationale installée.
- Soutien et service au réseau (fourniture de puissance active et réactive, contribution au plan de tension).

- Production d'électricité renouvelable à un coût compétitif par rapport aux solutions à base d'énergies fossiles et sans dégagement de gaz à effet de serre.
- Systèmes de production simples et rapides à mettre en œuvre et nécessitant une faible maintenance.
- Création d'emplois pour l'ingénierie, l'installation, le suivi et la maintenance.

En revanche, ils ont aussi quelques points faibles :

- Nécessité d'un réseau fiable et stable pouvant supporter le raccordement de la centrale.
- Nécessité d'effectuer une étude spécifique du réseau local avant tout raccordement.
- Intermittence et variabilité de l'énergie solaire, d'où la nécessité d'un réseau sous tension en permanence alimenté par d'autres sources.

### 1.2.2 Systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau : [1]

Parmi les systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau, on peut distinguer les systèmes autonomes fonctionnant sans autre source d'énergie que le photovoltaïque et les systèmes hybrides faisant appel à une ou plusieurs sources d'énergie complémentaires, d'origine renouvelable ou non du type éolien, hydraulique, groupe électrogène ou autres.

Ces systèmes non raccordés au réseau sont conçus pour apporter avant tout un service aux utilisateurs.

C'est pour cela que la notion de système photovoltaïque évoque l'ensemble des composants : production, stockage, gestion, conversion, distribution et utilisation [1].

On peut distinguer les systèmes fonctionnant sans stockage (au fil du soleil) et les systèmes avec stockage par accumulateur.

#### Systèmes photovoltaïque autonome

##### 1. Autonome sans stockage

Ils fonctionnent de la façon suivante (Figure 1.6). En journée, le générateur photovoltaïque alimente l'utilisation directement ou via un convertisseur Courant Continu/Courant Continu (CC/CC) ou Courant Continu/Courant Alternatif (CC/AC). La puissance délivrée à l'utilisation est fonction de l'ensoleillement. Durant la nuit, l'utilisation n'est plus alimentée et donc est à l'arrêt. Les principales applications photovoltaïques fonctionnant au fil du soleil sont les suivantes : le pompage, la ventilation, la production de froid, le dessalement d'eau de mer, entre autres [9].

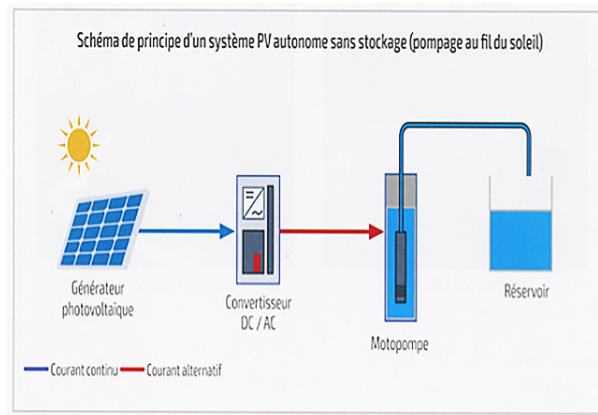


FIGURE 1.6 – Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage (pompage au fil du soleil)

## 2. Autonomes avec stockage

Leur principe de fonctionnement est le suivant. En journée, le générateur photovoltaïque alimente les récepteurs courant continu en fonctionnement et charge la batterie de stockage. Un contrôleur de charge évite la surcharge de la batterie en cas de surproduction solaire. Durant la nuit et par mauvais temps, les récepteurs sont alimentés par la batterie.

Un limiteur de décharge protège la batterie en cas de décharge profonde. En présence de récepteurs fonctionnant en alternatif, un onduleur autonome convertit la tension continue en tension alternative, permettant ainsi leur alimentation [9].

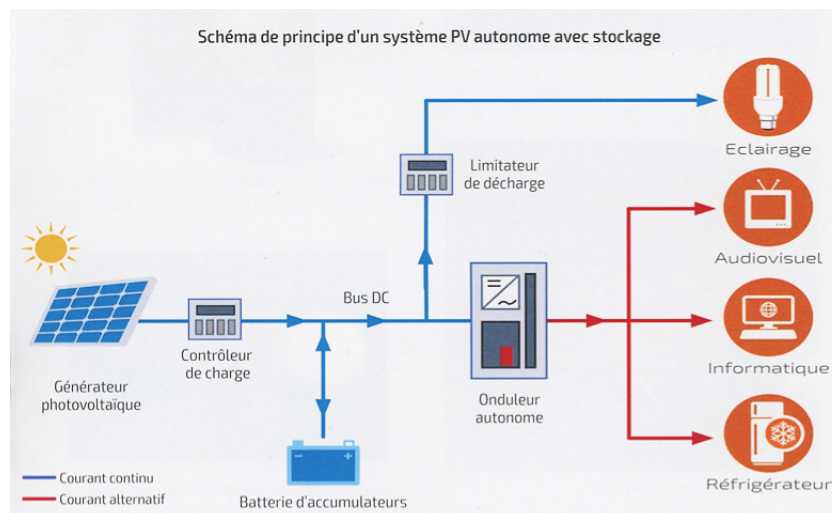


FIGURE 1.7 – Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage

**Application :** On peut distinguer les systèmes photovoltaïques autonomes selon leur puissance et leurs applications :



- Alimentation autonome de produits grand public (lampes solaires ou bornes de jardin) par générateur photovoltaïque de faible puissance .
- Electrification de bâtiments (de quelques centaines de watts à quelques kW) : résidence secondaire, écoles et centres de santé dans les pays en développement par kits photovoltaïques (Solar Home Systems – SHS),

### Systèmes photovoltaïques hybrides

On peut considérer deux architectures électriques de systèmes hybrides selon la présence ou non de stockage :

- Des systèmes photovoltaïques avec accumulateurs couplés avec une source d'énergie renouvelable (éolien, microhydraulique...) et/ou un groupe électrogène.
- Des systèmes photovoltaïques sans accumulateurs couplés avec des groupes électrogènes.

#### 1. Systèmes photovoltaïques hybrides avec stockage :

En journée, le générateur photovoltaïque charge la batterie et alimente simultanément l'onduleur, qui convertit la tension continue en tension alternative et permet l'alimentation des récepteurs fonctionnant en alternatif (Figure 1.8).

Un contrôleur de charge évite la surcharge de la batterie en cas de surproduction solaire. Durant la nuit, l'onduleur est alimenté par la batterie de stockage. En cas d'insuffisance d'ensoleillement ou de plus forte consommation des récepteurs, un groupe électrogène de secours ou d'appoint permet l'alimentation directe des récepteurs et la recharge de la batterie pour assurer la continuité de service [9] [10].

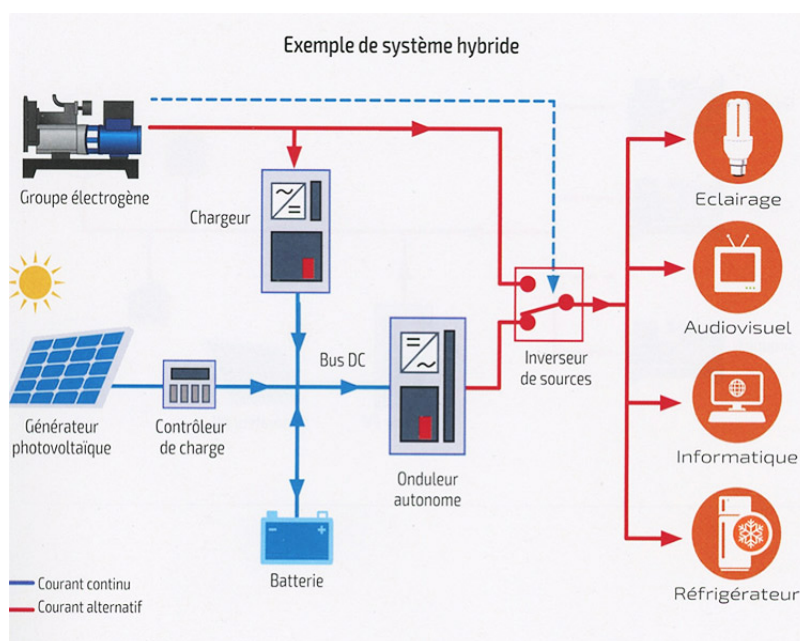


FIGURE 1.8 – Exemple de système hybride avec stockage



2. Systèmes photovoltaïques hybrides sans stockage :

Les groupes électrogènes alimentent en permanence un réseau électrique de distribution. Le générateur PV injecte sur le réseau une puissance variable en fonction de l'ensoleillement. Toute l'énergie délivrée par le générateur PV n'est pas à fournir par les groupes électrogènes et réduit de fait la consommation de carburant et les coûts d'exploitation (Figures1.9 ) [9] [10].

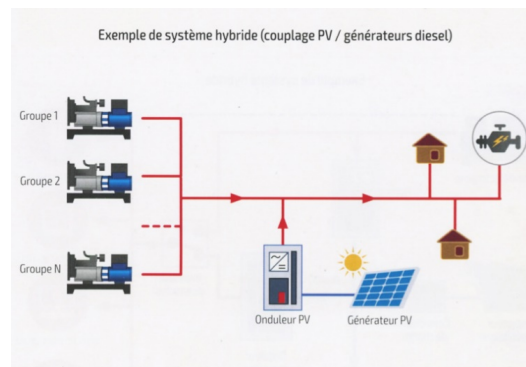


FIGURE 1.9 – Exemple de système hybride sans stockage

**Application :** Les systèmes hybrides avec stockage (de quelques kW à quelques centaines de kW) sont très utilisés notamment pour l'alimentation d'habitations individuelles, de refuges de montagne, des relais de télécommunications de forte puissance, pour l'électrification villageoise. Les systèmes hybrides sans stockage (de quelques dizaines de kW à quelques MW) sont essentiellement utilisés pour l'électrification de gros villages et pour l'alimentation électrique de mines d'extraction de matières premières nécessitant une puissance élevée.

### 1.3 Le rayonnement solaire

Le Soleil est une énorme sphère incandescente de plasma à la température voisine de 5750 °K. Il est situé à une distance voisine de 150 millions de kilomètres de la Terre. La Terre tourne autour du Soleil en décrivant une ellipse de faible excentricité (période : 365 jours et 14).

La Terre est elle-même animée d'une rotation propre (période de 24 h) autour d'un axe polaire incliné de 23 °27' par rapport à la verticale (déclinaison. D).

Sur une surface orientée perpendiculairement par rapport au Soleil, l'intensité du rayonnement solaire (éclairage) fluctue entre 1325 et 1420 W/m<sup>2</sup> pendant l'année.

La moyenne annuelle, appelée « constante solaire », est de 1 367 W/m<sup>2</sup>. Avec un rayon moyen de 6400 km, notre globe présente une surface d'interception de 1,28.10<sup>8</sup> km<sup>2</sup> et reçoit une quantité d'énergie de 1,08.10<sup>18</sup> kWh/an sur la surface éclairée. Ceci correspond approximativement à 8 000 fois le besoin mondial en énergie primaire.

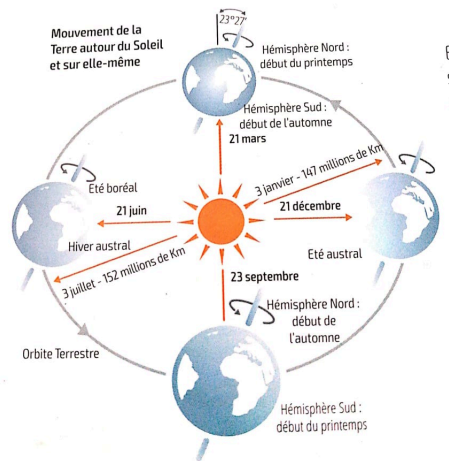


FIGURE 1.10 – Mouvement de la terre autour du soleil et sur elle –même

### 1.3.1 Le Spectre solaire :

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10  $\mu\text{m}$ . La figure ci-dessous ( 10 ) représente la répartition spectrale énergétique.

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- -9 % dans la bande des ultraviolet et s ( $\lambda < 0,4 \mu\text{m}$ ),
- 47 % dans le visible ( $0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,8 \mu\text{m}$ ),
- -44 % dans la bande des infrarouges ( $\lambda > 0,8 \mu\text{m}$ ).

Sur Terre, le spectre solaire est modifié en intensité (de l'ordre de 1000 W/m<sup>2</sup> par beau temps à midi solaire) et en distribution spectrale énergétique.

Ceci est dû à l'absorption par l'atmosphère (vapeur d'eau, gaz carbonique, etc)

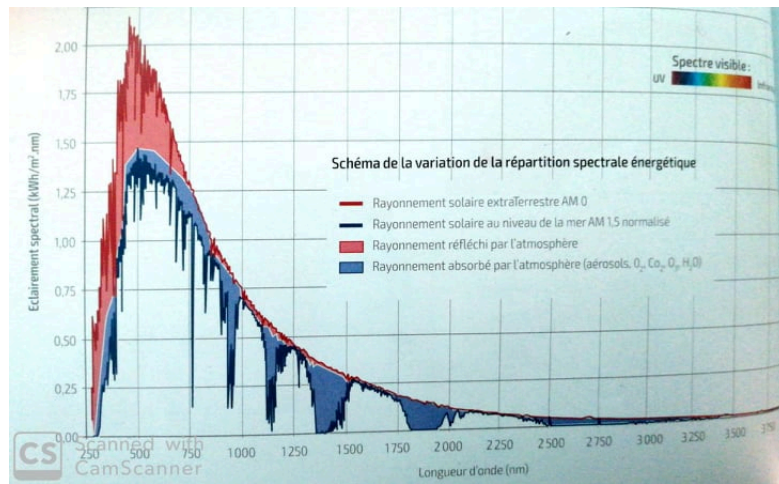


FIGURE 1.11 – Schéma de la variation de la répartition spectrale énergétique

**Notion d'air masse :** La position relative du Soleil modifie l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement solaire. Le nombre d'air masse (AM) caractérise la distance parcourue par le rayonnement solaire dans l'atmosphère  $AM = 1/\sin h_s$ .

Lorsque le Soleil est à la verticale ( $h_s = 90^\circ$ ),  $AM = 1$ . Cela correspond à la position du Soleil à l'équateur à midi solaire à l'équinoxe.

En photovoltaïque, un facteur d'air masse  $AM = 1.5$  est utilisé comme valeur normalisé pour le spectre solaire, ce qui correspond à un angles  $h_s = 41.8^\circ$  (test normalisé des cellules photovoltaïque STC (Standard test condition) :

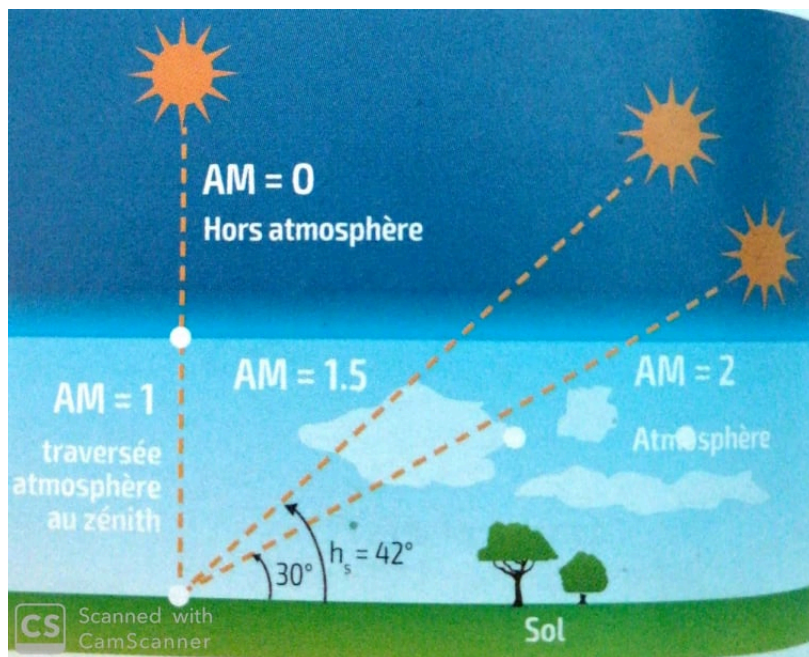


FIGURE 1.12 – La position relative du Soleil

### 1.3.2 Les composantes du rayonnement solaire :

Au niveau du sol, le rayonnement global ou éclairement global (G) reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales :

- le rayonnement direct (S)
- le rayonnement diffus (D)
- le rayonnement réfléchi (R)
- LE RAYONNEMENT GLOBAL ou éclairement

#### LE RAYONNEMENT DIRECT (S)

C'est le rayonnement énergétique reçu par une surface réceptrice normale aux rayons solaires. C'est le rayonnement provenant directement du disque solaire (ciel clair). il peut être mesuré par un pyréliomètre [11].

#### LE RAYONNEMENT DIFFUS (D)

C'est le rayonnement énergétique provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil [11].

#### Le RAYONNEMENT RÉFLÉCHI (R)

La réflectivité du sol. Caractérisée par le coefficient d'albédo (part du rayonnement solaire réfléchi par le sol). Doit être prise en compte lors de la conception. Pour des capteurs inclinés. A chaque type d'environnement qui entoure les capteurs (asphalte, herbe, neige, etc.) correspond une valeur d'albédo qui varie selon la nature du sol [11].

#### LE RAYONNEMENT GLOBAL ou éclairement

Un plan reçoit donc de la part du Soleil un flux « global qui résulte de la superposition des trois 4 composantes : directe, diffuse et réfléchie [11]. La valeur de ce flux global sur une surface varie notablement selon sa position et son orientation. Le rayonnement global ou éclairement peut être mesuré par un pyranomètre OU une cellule solaire de référence avec une précision suffisante.

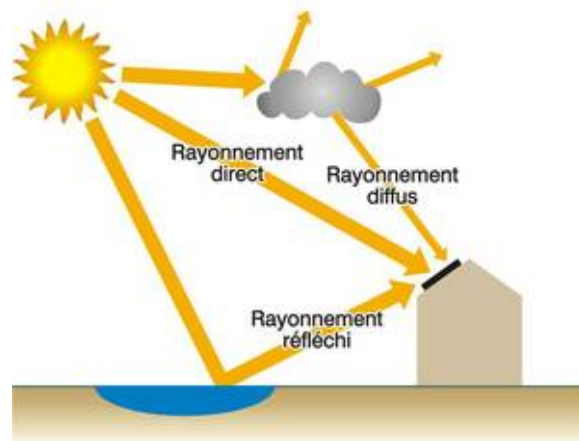


FIGURE 1.13 – Les composantes du rayonnement solaire

## 1.4 Conversion photovoltaïque :

**L'effet photovoltaïque :** Les cellules photovoltaïques (ou photopiles) sont des composants optoélectroniques qui transforment directement le rayonnement solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est-à-dire ayant des propriétés intermédiaires entre les isolants et les conducteurs.

Historiquement, la majorité des cellules solaires commercialisées étaient à base de Silicium (Si). Ceci est encore vrai aujourd'hui, même si d'autres cellules solaires ont été développées avec d'autres matériaux [12].

**Le silicium :** La photopile la plus courante utilise le silicium, élément très répandu sous forme de silice (sable) mais qui doit être amené à un très grand état de pureté pour pouvoir être utilisé comme matériau de base.

L'atome de silicium est constitué de protons de neutrons et d'électrons. Les protons qui ont une charge positive et les neutrons (sans charge) constituent le noyau de l'atome.

Les électrons qui sont chargés négativement et qui sont beaucoup plus petits que le noyau, tournent autour du noyau, à l'image des planètes autour du Soleil, et sont maintenus sur leur orbite par les forces électrostatiques. Sous des conditions stables,

le silicium comporte 14 protons, 14 neutrons et 14 électrons ; il est donc électriquement neutre Les première et deuxième orbites, comportant respectivement 2 et 8 électrons fortement retenus par la force électrostatique du noyau, sont pleines et ne peuvent accepter d'autres électrons [9] [12].

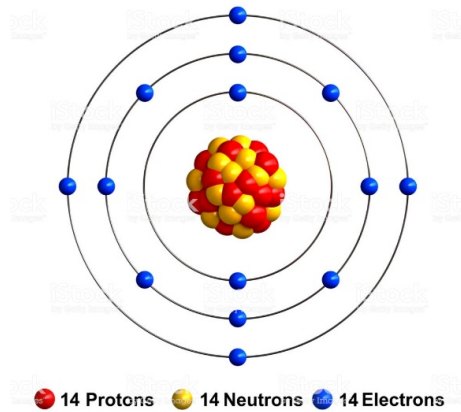


FIGURE 1.14 – L'atome de silicium

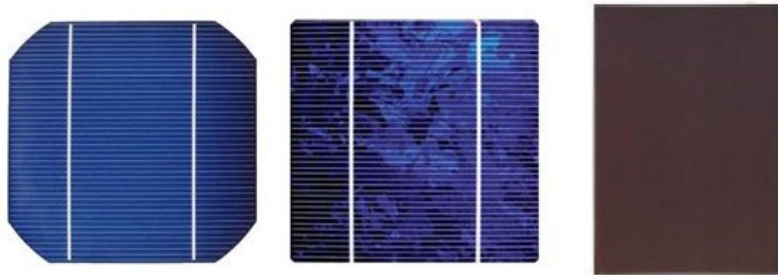


FIGURE 1.15 – Différentes technologies de cellules photovoltaïques.

**Différentes technologies de cellules photovoltaïques :** La figure ci-dessus présente les différentes technologies de cellules photovoltaïques que l'on rencontre sur le marché. Toutefois, les technologies de cellules solaires couramment utilisées dans les systèmes photovoltaïques peuvent être divisées en deux groupes :

1. les deux premiers (à gauche) sont des cellules au silicium cristallin, à partir de tranches de silicium (appelées également « wafers ») d'une épaisseur de l'ordre de 100 à 200 micro m
2. la troisième est celui des cellules à couche mince, avec différents matériaux semi-conducteurs d'une épaisseur de quelques um déposés le plus souvent sur du verre.

Deux grandes familles de technologies photovoltaïques sont actuellement mises en œuvre dans les installations au sol.

Les technologies cristallines Elles utilisent des cellules plates extrêmement fines (0,15 à 0,2 mm), découpées dans un lingot obtenu par fusion et moulage du silicium, puis connectées en série les unes aux autres pour être finalement recouvertes par le verre de protection du module.

Les trois formes du silicium (monocristallin, polycristallin et en ruban) permettent trois technologies cristallines qui se différencient par leur rendement et leur coût (selon les conditions d'exploitation). Les technologies cristallines représentent près de 95 % de la production mondiale de modules photovoltaïques [13].

Les technologies dites couches minces Elles consistent à déposer sur un substrat (verre, métal, plastique...) une fine couche uniforme composée d'un ou de plusieurs matériaux réduits en poudre. Cette opération se réalise sous vide. Parmi les technologies couches minces,

la première a été historiquement celle utilisant le silicium amorphe. Aujourd'hui ces filières utilisent principalement :

- le tellure de cadmium (CdTe), qui présente l'avantage d'un coût modéré.
- le cuivre/indium/sélénium (CIS) ou cuivre/indium/ gallium/sélénium (CIGS) ou cuivre/indium/ gallium/ disélénide/disulphide (CIGSS), qui présentent les rendements les plus élevés parmi les couches minces, mais à un coût plus élevé.
- l'arséniure de gallium (Ga-As) dont le haut rendement et le coût très élevé réservent son usage essentiellement au domaine spatial.

La performance d'une cellule solaire se mesure par son rendement de conversion de la lumière du soleil en électricité. En moyenne, les cellules solaires ont un rendement 15 % . La capacité des cellules photovoltaïques est exprimée en kilowatt crête (kWc). Il s'agit de la puissance générée dans des conditions d'essai normalisées.

Le tableau ci-contre présente les caractéristiques de différentes technologies [13].

Materiau des cellules	Rendements des cellules % production	Rendements des modules % de production	Puissance par unité de surface (W/m)
Silicium mono-cristallin	19 à 22	17 à 21	170 à 210
Silicium multi cristallin	18 à 20.5	16 à 17	160 à 170
Silicium amorph	10.5	7.5	75
CIGS	17.3	14.5	145
CdTe	14.4	13.5	135

TABLE 1.1 – Comparaison des rendements des différentes technologies des cellules (Année 2015)

### Caractéristiques d'une cellule au silicium cristallin

1. Cellule dans l'obscurité :

La photopile dans l'obscurité n'est pas un composant actif. Elle se comporte comme une jonction PN c'est-à-dire comme une diode. Vue de l'extérieur, c'est un récepteur ; elle ne produit ni courant, ni tension. Si elle est soumise à un circuit extérieur comportant un générateur. la théorie montre que la tension et le courant répondent à l'équation de la diode :

$$\frac{qU}{nKt} ID = Isexp$$

**ID** : courant traversant la jonction **Ig** : courant inverse

**Is** : Courant inverse

**U** : tension aux bornes de la jonction

**n** : coefficient d'idéalité de la diode



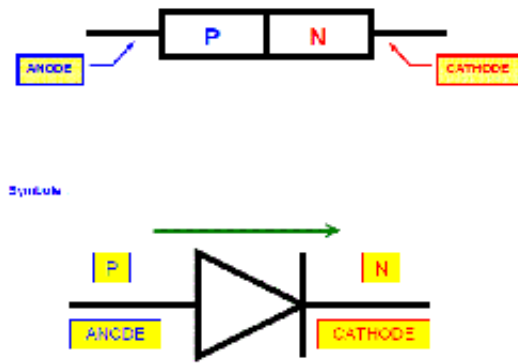


FIGURE 1.16 – Symbole d'une cellule solaire

2. Cellule éclairée :

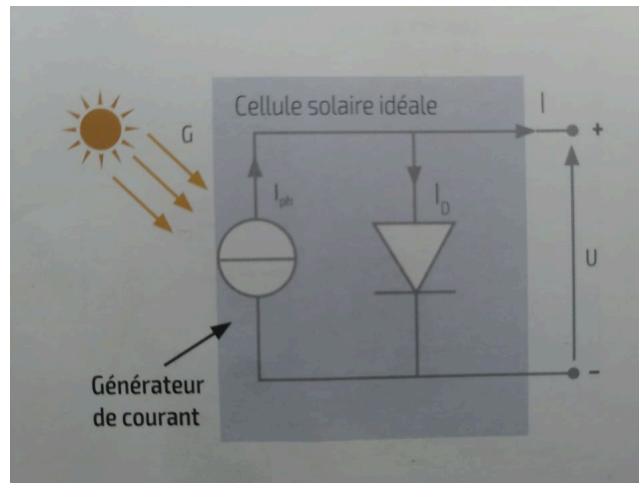


FIGURE 1.17 – Schéma équivalent de la cellule

Si la photopile est éclairée, il y a création d'une photo courante ( $I_{ph}$ ) dû au rayonnement solaire. Celui-ci va apparaître aux bornes de la jonction PN et est directement proportionnel à l'éclairement ( $G$ ) :

$$I_p = kG$$

out se passe comme si un générateur de courant ( $I_{ph}$ ) se trouve en parallèle de la diode

Le courant  $I$  généré par la cellule et disponible a ses bornes est égal a :

$$I = I_{ph} - I_D$$

**I** : courant de sortie (A)

**I<sub>ph</sub>** : courant photo généré (A)

**I<sub>D</sub>** : courant de diode(A)

Soit

$$I(U) = I_{ph}(U) - \exp\left[\frac{qU}{nKT} - 1\right].$$

## 1.5 Principaux composants d'un système photovoltaïque :

### 1.5.1 Le générateur photovoltaïque :



FIGURE 1.18 – Panneaux solaires source SHARP

Le module photovoltaïque convertit directement la lumière du soleil en courant électrique continu par le biais des cellules solaire.

#### Fonctions

Les modules au silicium cristallin étant très majoritairement utilisés dans les systèmes PV autonomes ou hybrides.

Les caractéristiques propres des cellules photovoltaïques au silicium cristallin, essentiellement leur faible tension utile ( $< 0,6 \text{ V}$ ) et leur fragilité (épaisseur env.  $0,2 \text{ mm}$ ) exigent leur utilisation sous forme d'un groupement électrique préassemblé appelé « module photovoltaïque » [14].

Les cellules utilisées peuvent être soit au silicium monocristallin soit au silicium multicristallin Le module photovoltaïque, composant standard directement utilisable, assure une triple fonction :

1. Regrouper les cellules pour obtenir des caractéristiques courant-tension intéres-

santes pour les applications envisagées (exemple charge de batterie d'accumulateurs) .

2. Protéger les cellules des agents atmosphériques extérieures pour que la durée de vie soit significative
  - Protection contre les chocs
  - Protection contre l'humidité
  - Protection contre le phénomène de hot-spot

### Paramètres électriques d'un module photovoltaïques [15] :

Les paramètres les plus importants d'un panneau photovoltaïque sont :

- **Courant de court-circuit ( $I_{cc}$ )** : C'est l'intensité de courant maximale fournie par le panneau. Il s'agit du courant qui se produit lors de la connexion directe des deux pôles.
- **Tension de circuit ouvert ( $U_{co}$ )** : C'est la tension maximale fournie par le panneau. Elle se produit quand les pôles se trouvent « en plein air ».
- **Point de puissance maximale** : Il existe un point de fonctionnement ( $I_{p\ max}$ ,  $V_{p\ max}$ ) où la puissance fournie est maximale ( $P_{max}=I_{p\ max} \times V_{p\ max}$ ). C'est le point de puissance maximale du panneau. Il est indiqué en watts (W).
- **Facteur de forme FF** : il s'agit de la relation entre la puissance maximale fournie par le panneau et le produit  $I_{sc} \times V_{oc}$ . Il présente une notion sur la qualité du panneau et sa valeur se trouve normalement entre 0,7 et 0,8.
- **Efficacité ou rendement  $\eta$**  : C'est le ratio entre la puissance électrique maximale que le panneau peut transmettre à la charge et la puissance du rayonnement solaire ( $P_l$ ) frappant le panneau. Il se trouve normalement autour de 17 % .

### Courbe caractéristique d'un module photovoltaïque [15] :

Le fonctionnement électrique d'un module est représenté par sa courbe caractéristique. Cette courbe indique le courant fourni par le module en fonction de sa tension. La figure 1.19 et la figure 1.20 montrent les possibles valeurs de tension et de courant qui dépendent surtout de la température et du rayonnement solaire reçu par les cellules du module.

Remarque : MPP : Point de Puissance Maximum

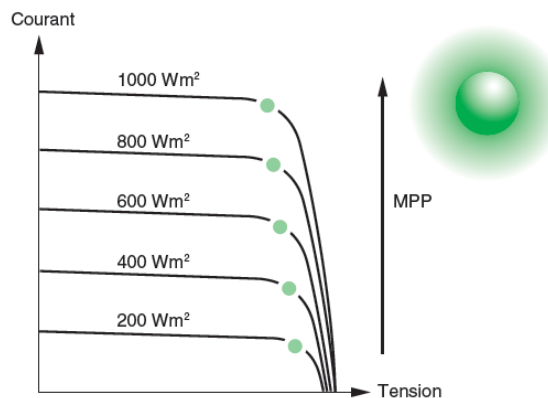


FIGURE 1.19 – Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque en fonction de valeurs différentes de rayonnement

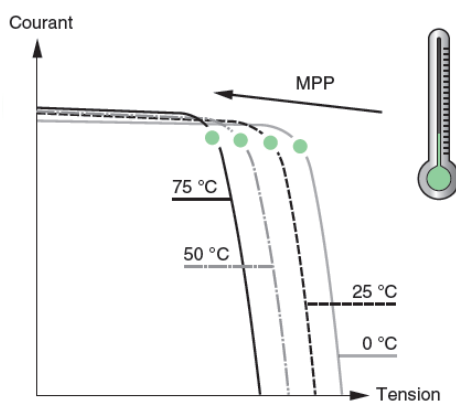


FIGURE 1.20 – Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque en fonction de valeurs différentes de température [2]

### Interconnexion des panneaux photovoltaïques [15] :

Tous les panneaux à interconnecter doivent être égaux, c'est-à-dire, ils doivent être de la même marque et avoir les mêmes caractéristiques.

L'interconnexion des panneaux se fait, premièrement, à travers l'association de panneaux en série pour obtenir le niveau de tension souhaité ; et plus tard, à travers l'association en parallèle de plusieurs associations en série pour obtenir le niveau de courant souhaité. La Figure 1.21 est un exemple de cette connexion.

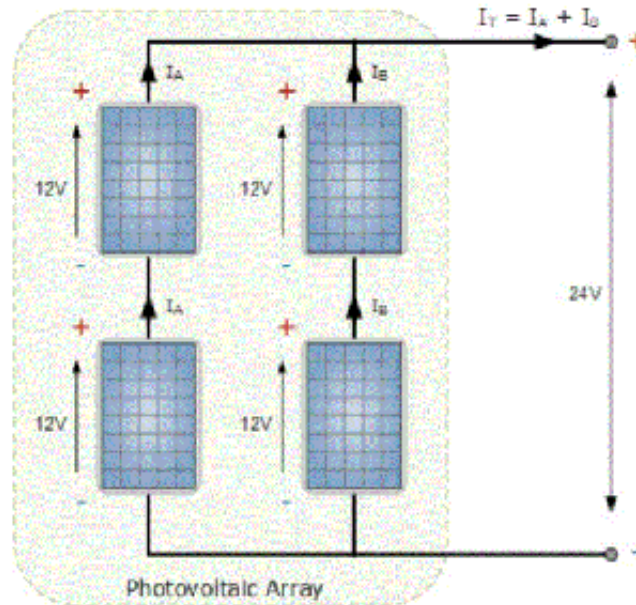


FIGURE 1.21 – Exemple d’une connexion en série-parallel.

### 1.5.2 Les accumulateurs :



FIGURE 1.22 – Batterie solaire source Victron Energy [3]

La batterie a pour fonction le stockage d’une partie de l’énergie produite par les panneaux (c’est-à-dire, la portion d’énergie qui n’est pas immédiatement consommée) afin qu’elle soit disponible dans des périodes où le rayonnement solaire est faible ou inexistant. Le stockage se fait sous la forme d’énergie électrique à travers l’usage de batteries, normalement de plomb acide [3].

Une batterie est composée par l’association en série de plusieurs « éléments » ou « cellules », chacun d’eux comprenant deux électrodes de plomb dans une dissolution électrolytique. Entre les deux électrodes, une différence de potentiel de près de deux volts est établie,

et la valeur instantanée dépend de l'état de charge de la batterie. Les batteries les plus utilisées pour les applications photovoltaïques sont de 12 ou 24 jusqu'à 48 volts de tension nominale [16].

La batterie a aussi ces deux importantes fonctions :

- Fournir une puissance instantanée supérieure à celle fournie par l'ensemble des panneaux et nécessaire pour la mise en place de quelques éléments.
- Déterminer la marge des tensions de travail de l'installation.

### Types de batteries :

Les batteries sont de plusieurs types, à savoir :

- Nickel-cadmium
- Plomb-acide
- au lithium

**Les batteries de Nickel-Cadmium** sont les plus recommandées à cause de leur haute fiabilité et résistance, mais leur prix élevé fait pencher la balance en faveur des batteries de plomb-acide.

En plus, l'Union Européenne a interdit l'usage des batteries de Nickel-Cadmium à cause de la toxicité du Cadmium [16].

Le type de batterie le plus courant que l'on trouve dans les systèmes solaires autonomes comprend **les batteries rechargeables au plomb-acide**. Ce sont les plus rentables et peuvent gérer des courants de charge petits et grands avec une grande efficacité[17].

**Les batteries Lithium (Li)** se développent rapidement, à partir d'une technologie émergente, et présentent de nombreux avantages par rapport aux autres types, elles sont généralement plus petites et plus légères pour la même capacité, plus rapides à charger du fait de leur meilleur rendement de charge et plus performantes en cycles charge /décharge, mais les Batteries (Li) sont d'un coût élevé et sont sensibles aux températures et tensions extrêmes [9] [16].

### Fonctionnement de la batterie [15] :

La batterie répète de façon cyclique un processus d'accumulation d'énergie (charge) et fourniture d'énergie (décharge) en fonction de la présence ou de l'absence du soleil.

Dans ce fonctionnement normal de la batterie on peut trouver deux pôles :

- Surcharge : La batterie atteint sa pleine capacité de charge. Si elle continue à recevoir de l'énergie, l'eau de la dissolution commence à se décomposer, en produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (processus de gazéification).

- Sur décharge : Il existe aussi une limite pour le processus de décharge, après lequel la batterie se détériore notamment.

### Paramètres de la batterie :

- **Tension nominale** : Elle est normalement de 12 volts. - **Capacité nominale** : Elle est la quantité maximale d'énergie qui peut être retirée de la batterie. Elle s'indique en ampères heure (Ah) ou en wattheures (Wh).
- **Profondeur maximale de décharge** : Elle est la valeur (indiquée en pourcentage) extraite d'une batterie totalement chargée dans une décharge. La profondeur est limitée par les régulateurs, qui sont habituellement calibrés pour qu'ils puissent permettre des profondeurs de décharge de la batterie d'environ 70 %.
- **Capacité utile ou disponible** : Elle est la capacité qui peut être véritablement utilisée. Elle est égale au produit de la capacité nominale et de la profondeur maximale de décharge celle-ci divisée par un.

### Connexions des batteries(en série / en parallèle/mixte) :

La Figure1.23 présente les types de connexion des batteries.

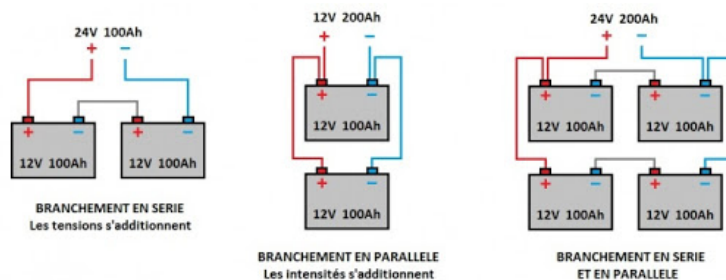


FIGURE 1.23 – Types de connexion des batteries.

### 1.5.3 Le régulateur de charge :

Il implique une vigilance continue pour éviter les surcharges et les décharges profondes que la batterie peut produire [18].

**Fonction** : Protection de la batterie contre les situations extrêmes afin de ne pas l'endommager.

**Fonctionnement** : Prendre de l'information sur l'état de charge du système et la comparer avec les valeurs maximales et minimales admissibles pour que la batterie n'endure pas de surcharges ou de décharges extrêmes [15].



FIGURE 1.24 – Régulateur de CHARGE / DECHARGE source STECA.

#### **Différents types de régulateur :**

- Régulateur parallèle : Il régularise la surcharge. Il est indiqué pour des petites installations solaires photovoltaïques.
- Régulateur série : Il régularise la surcharge et la décharge. Son interrupteur peut être électromécanique ou statique. Il peut incorporer des autres fonctions (alarme, interruption nocturne, etc.). La Figure 1.15 présente l'image d'un régulateur série [18].

Les régulateurs utilisés sont de type série : ils déconnectent l'ensemble de panneaux de la batterie pour éviter la surcharge ; et les équipements de consommation pour éviter la surdécharge. Cette déconnexion se fait à travers interrupteurs qui peuvent être des dispositifs électromécaniques (des relais, des contacteurs, etc.) ou des dispositifs d'état solide (un transistor bipolaire, etc.). [15].

#### **Paramètres qui définissent un régulateur :**

- Tension de travail : 12, 24 ou 48 V Le fabricant fournit aussi des autres données d'intérêt :
- Intensité maximale : Elle doit être supérieure au courant maximal du générateur photovoltaïque [15].  
Le fabricant fournit aussi des autres données d'intérêt :
- Les valeurs de la tension d'arrêt de la charge (surcharge) et de la tension d'arrêt de la décharge (surdécharge).
- L'existence de compensation avec la température. Les tensions qui indiquent l'état de charge de la batterie changent avec la température, et c'est pour cette raison que quelques régulateurs mesurent la température et utilisent cette information pour corriger les tensions de surcharge.



### 1.5.4 L'onduleur multifonctionnel :

Les onduleurs sont des équipes qui transforment la tension continue fournie par les modules en une tension différente, soit continue d'une autre magnitude (onduleurs DC/DC) ou soit alternative (onduleurs DC/AC, qui sont les plus communs) [15].

La Figure 1.25 montre le schéma de principe d'un onduleur. Les transistors, utilisés comme commutateurs statiques, sont contrôlés par un signal d'ouverture-fermeture qui se traduit en mode simple par une forme d'onde de sortie carrée [19].

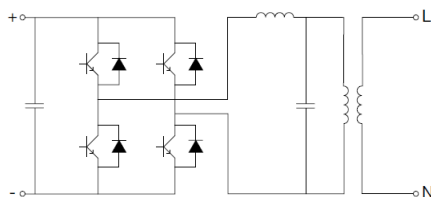


FIGURE 1.25 – Schéma de principe d'un onduleur monophasé

Pour obtenir une forme d'onde aussi sinusoïdale que possible, une technique plus sophistiquée, la modulation de largeur d'impulsions (MLI), est utilisée ; la technique MLI permet d'obtenir une régulation de la fréquence ainsi que de la valeur r.m.s de la forme d'onde de sortie (Figure 1.26). L'énergie fournie par un générateur PV dépend de son

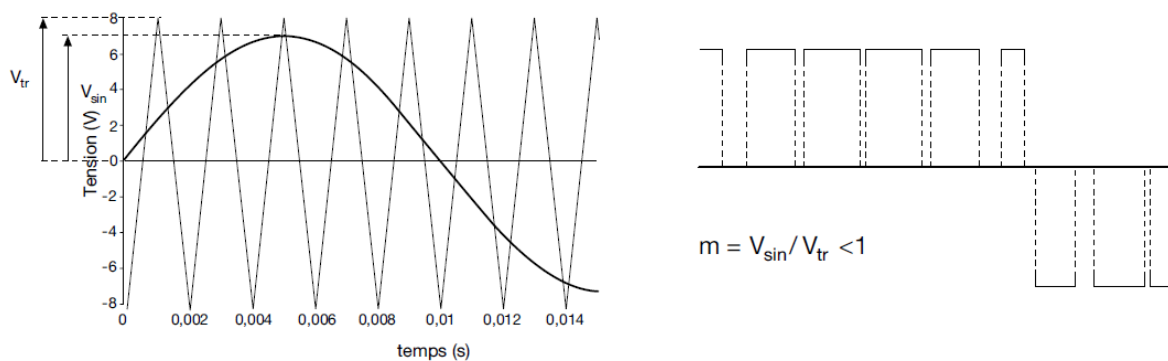


FIGURE 1.26 – Principe de fonctionnement de la technologie MLI

point de fonctionnement. Afin de maximiser la production d'énergie de l'installation, le générateur doit s'adapter à la charge, afin que le point de fonctionnement corresponde toujours au Maximum Power Point (MPP).

À cette fin, un hacheur contrôlé appelé Maximum Power Point Tracker (MPPT) est utilisé à l'intérieur de l'onduleur.

Le MPPT calcule régulièrement la paire de valeurs « courant-tension » du générateur à laquelle la puissance maximale disponible est produite. À partir de la courbe I-V du générateur PV :

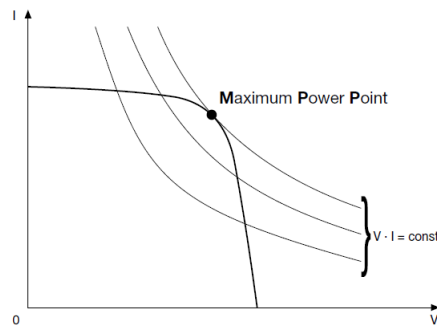


FIGURE 1.27 – Maximum Power Point (MPP) d'un générateur photovoltaïque

Le point maximum de transfert de puissance correspond au point de tangence entre la caractéristique I-V d'une valeur donnée de rayonnement solaire et l'hyperbole de l'équation  $V \cdot I = \text{const}$ .

Les systèmes MPPT disponibles dans le commerce identifient le Maximum Power Point (MPP) sur la courbe de caractéristique du générateur en provoquant, à intervalles réguliers, de légères variations de charges qui se traduisent par des écarts des valeurs courant-tension et en évaluant si la valeur I-V du nouveau produit est supérieure ou inférieure à la précédente.

En cas de hausse, les conditions de charge continuent de varier dans le sens en question. Dans le cas contraire, les conditions sont modifiées dans le sens opposé [19].

#### Caractéristiques de fonctionnement les plus importants :

- Tension et courant d'entrée/sortie
- Forme de l'onde
- Limites de la tension d'entrée - Basse de consommation et haut rendement
- Puissance de sortie
- Capacité de surcharge (important quand il a accès au moteur)
- Facilité de réparation et la maintenance
- Fonctionnement dans les points de puissance maximale
- Conditions ambiantes (température de fonctionnement).

## 1.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents systèmes photovoltaïques et leur application, le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes composant essentielle constituant le système d'installation photovoltaïques ; à savoir les panneaux photovoltaïques. L'onduleur, régulateur de charge et décharge et les batteries

## Chapitre 2

# Méthodes d'installation et configurations

## 2.1 Introduction

De grands progrès ont été faits au cours des dernières années dans l'intégration architecturale des panneaux à la structure des bâtiments grâce à la fabrication de panneaux dont les dimensions et les caractéristiques peuvent entièrement remplacer certains composants.

## 2.2 Intégration architecturale :

Trois types d'intégration architecturale des installations PV peuvent être définis [20] :

1. Installations avec une intégration au bâti.
2. Installations avec une intégration simplifiée au bâti.
3. Installations non intégrées

### 2.2.1 Les installations non intégrées :

Sont des installations composées de modules montés au sol, autrement dit les modules sont placés sur les éléments de mobilier urbain, la surface extérieure des enveloppes de bâtiment (figure 2.1).



FIGURE 2.1 – Installations non intégrées.

### 2.2.2 Les installations partiellement intégrées

Sont des installations dont les modules sont placés sur les éléments de mobilier urbain, les surfaces extérieures des enveloppes de bâtiment, les bâtiments et les structures à toute fin sans remplacer les matériaux de construction de ces structures (figure2.2).



FIGURE 2.2 – Installations avec une intégration simplifiée au bâti.

### 2.2.3 Les installations avec intégration architecturale

Sont les installations dans lesquelles, ils remplacent, totalement ou partiellement, la fonction des éléments de construction (soutien, insonorisation, isolation thermique, éclairage, ombrage).



FIGURE 2.3 – Installations avec une intégration au bâti.

## 2.3 Configuration du champ solaire :

Le raccordement des strings formant le champ solaire de l'installation PV peut être réalisé en utilisant :

- Un seul onduleur pour toutes les installations (onduleur simple ou central) (figure2.4).
- Un onduleur pour chaque string (figure2.5).

- Un onduleur pour plusieurs strings (installations multi onduleurs) (figure2.6).

### 2.3.1 Un seul onduleur pour toutes les installations

Cette configuration est utilisée dans les petites installations avec des modules du même type ayant la même exposition. La présence d'un onduleur unique présente des avantages économiques, en réduisant l'investissement initial et les coûts d'entretien.

Cependant, la défaillance de l'onduleur peut entraîner l'arrêt de la production de l'ensemble de l'installation.

De plus, cette solution n'est pas très adaptée à l'agrandissement de l'installation PV, car elle augmente les problèmes de protection contre les surintensités et ceux liés à un ombrage différent, autrement dit lorsque l'exposition des panneaux n'est pas la même dans l'ensemble de l'installation. Le fonctionnement de l'onduleur est régulé par le MPPT, en tenant compte des paramètres moyens des strings raccordés à l'onduleur ; par conséquent, si tous les strings sont raccordés à un onduleur unique, l'ombrage ou la défaillance de tout ou partie des strings entraîne une réduction accrue des performances électriques de l'installation par rapport à d'autres configurations [20].

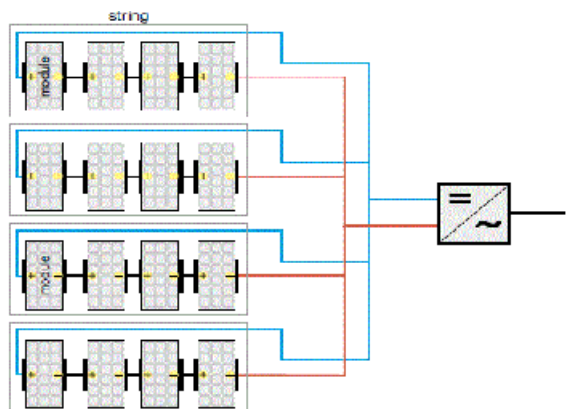


FIGURE 2.4 – Installation mono-onduleur..

### 2.3.2 Installation avec un onduleur pour chaque string :

Dans une installation de taille moyenne, chaque string peut être directement raccordé à son propre onduleur et donc fonctionner selon son propre Maximum Power Point.

Dans cette configuration, la diode, qui empêche la source de circuler dans le sens inverse, est généralement incluse dans l'onduleur. Ce dernier réalise un diagnostic de la production et assure également la protection contre les surintensités et les surtensions d'origine atmosphérique du côté DC.

De plus, la présence d'un onduleur sur chaque string limite les problèmes de couplage entre les modules et les onduleurs de même que la réduction des performances causée par

l'ombrage ou une exposition différente.

Par ailleurs, avec plusieurs strings, des modules présentant différentes caractéristiques peuvent être utilisés, augmentant par conséquent l'efficacité et la fiabilité de l'ensemble de l'installation [20].

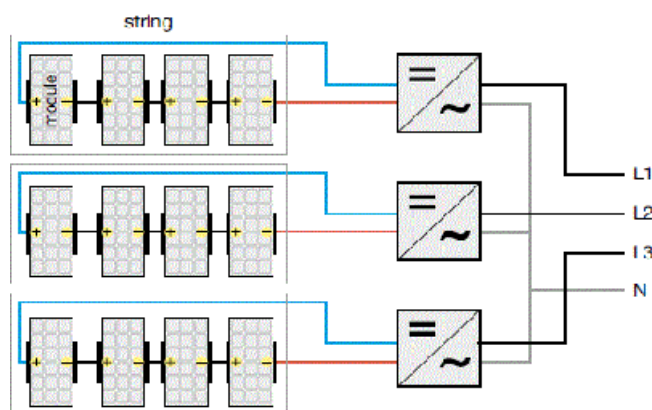


FIGURE 2.5 – Installation avec un onduleur pour chaque string

### 2.3.3 Installation multi-onduleurs :

Dans les installations de grande taille, le champ PV est généralement divisé en un plus grand nombre de parties (sous-champs), chacune étant alimentée par un onduleur auquel différents strings sont raccordés en parallèle. Par rapport à la configuration précédente, le nombre d'onduleurs est dans ce cas inférieur, entraînant une réduction conséquente de l'investissement et des coûts d'entretien.

Cette configuration présente également l'avantage de réduire les problèmes liés à l'ombrage et à la différence d'exposition des strings mais également ceux liés à l'utilisation de modules différents, à condition que les strings du sous-champ ayant des modules et une exposition identiques soient raccordés au même onduleur.

De plus, la défaillance d'un onduleur n'implique pas la perte de production de l'ensemble de l'installation (comme dans le cas de l'onduleur unique) mais du sous champ correspondant. Dans cette configuration, le diagnostic de l'installation est réalisé par un système de supervision qui vérifie la production des différents strings [20].



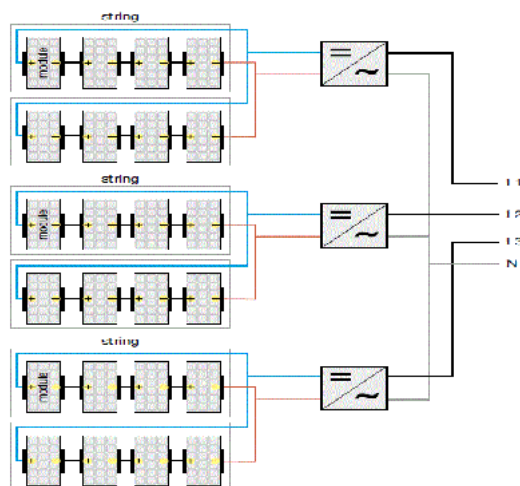


FIGURE 2.6 – Installation avec un onduleur pour chaque string

## 2.4 Choix de l'onduleur et interfaçage :

Le choix de l'onduleur et de sa taille est réalisé en tenant compte de la puissance assignée PV prise en charge. La taille de l'onduleur peut être déterminée par un rapport variant de 0.8 à 0.9 entre la puissance active mise dans le réseau et la puissance assignée du générateur PV.

Ce rapport tient compte de la perte de puissance des modules PV dans des conditions réelles d'utilisation (température d'utilisation, chutes de tension au niveau des raccordements électriques...) et de l'efficacité de l'onduleur.

Il dépend également des méthodes d'installation des modules (latitude, inclinaison, température ambiante...) susceptibles d'entraîner une variation de la puissance générée [20] [21].

Les caractéristiques suivantes doivent notamment être considérées :

- Côté DC :
  - Puissance assignée et puissance maximale ;
  - Tension assignée et tension maximale admissible ;
  - Champ de variation de la tension du MPPT dans des conditions d'utilisation standards.
- Côté AC :
  - Puissance assignée et puissance maximale pouvant être fournies en continu par le groupe de conversion, ainsi que la plage de température ambiante auquel cette puissance peut être fournie ;
  - Courant assigné fourni ;
  - Courant fourni maximum permettant le calcul de la contribution de l'installation PV au courant de court-circuit ;
  - Tension maximale et distorsion du facteur de puissance



— Rendement maximal

De plus, il est nécessaire d'évaluer les valeurs assignées de tension et de fréquence à la sortie et de tension à l'entrée de l'onduleur.

Pour les installations raccordées au réseau public, les valeurs de tension et de fréquence à la sortie sont imposées par le réseau dans les tolérances définies. Concernant la tension à l'entrée, les conditions extrêmes d'utilisation du générateur PV doivent être évaluées afin de garantir un fonctionnement sûr et productif de l'onduleur [21].

Il est tout d'abord nécessaire de vérifier que la tension à vide  $U_{oc}$  à la sortie des strings, à la température prospective minimale ( $-10^{\circ}\text{C}$ ), est inférieure à la température maximale prise en charge par l'onduleur, à savoir :

$$U_{ocmax} \geq U_{MAX} \quad [2.1]$$

Certains modèles d'onduleurs présentent une batterie de condensateurs à l'entrée ; par conséquent, la connexion dans le champ PV peut générer un appel de courant égal à la somme des courants de court-circuit de tous les strings raccordés.

Ce courant ne doit pas déclencher les protections internes, le cas échéant. Chaque onduleur est caractérisé par une plage normale de tensions à l'entrée. Étant donné que la tension à la sortie des panneaux PV est fonction de la température, il est nécessaire de vérifier que dans des conditions d'utilisation prévisibles (de  $-10^{\circ}\text{C}$  à  $+70^{\circ}\text{C}$ ), l'onduleur fonctionne dans la plage de tensions déclarée par le fabricant.

Par conséquent, les deux inégalités [2.2] et [2.3] doivent être simultanément vérifiées :

$$U_{min} \geq U_{MPPTmin} \quad [2.2]$$

autrement dit, la tension minimale (à  $70^{\circ}\text{C}$ ) à la sortie du string pour une puissance maximale correspondante dans des conditions de rayonnement solaire standards doit être supérieure à la tension d'utilisation minimale du MPPT de l'onduleur ; la tension minimale du MPPT est la tension maintenant la logique de commande active et permettant une livraison de puissance correcte sur le réseau du distributeur [21] [20].

De plus, elle doit être :

$$U_{max} \leq U_{MPPTmax} \quad [2.3]$$

Autrement dit, la tension minimale (à  $-10^{\circ}\text{C}$ ), à la sortie du string pour une puissance maximale correspondante dans des conditions de rayonnement solaire standards, doit être inférieure ou égale à la tension d'utilisation maximale du MPPT de l'onduleur.

La Figure 2.7 montre un schéma de couplage entre le champ PV et l'onduleur tenant compte des trois inégalités susmentionnées. Pour permettre la maintenance des onduleurs PV, des moyens de sectionnement doivent être prévus par onduleur, tant du côté continu que du côté alternatif.

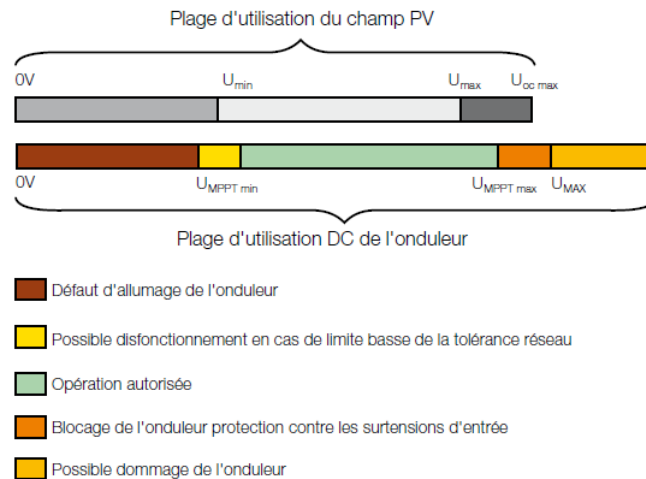


FIGURE 2.7 – Installation mono-onduleur..

De plus, il est recommandé d'installer un dispositif de déconnexion sur chaque string, afin qu'il soit possible d'effectuer les opérations de vérification et d'entretien sur chaque string sans mettre hors service les autres parties de l'installation [20] [21].

## 2.5 Choix de câbles :

Tout d'abord, les câbles doivent avoir une tension assignée compatible avec celle de l'installation. C'est à- dire que pour la partie à courant alternatif, la tension de l'installation ne doit pas excéder la tension assignée des câbles [20] [22].

Les câbles utilisés dans la partie à courant continu doivent posséder une tension assignée supérieur ou égale à  $U_{oc MAX}$ . La caractéristique  $U_{oc MAX}$ , définit la tension maximale du système.

Sa valeur est :

$$U_{ocMAX} = kx U_{oc} (STC)$$

avec  $K$  : correspondant au facteur de correction en fonction de la température ambiante minimale au lieu d'installation des modules (Tableau 2.4, issu de l'UTE C 15-712-1).

En l'absence d'information de température  $k = 1,2$ .

Température ambiante minimale (en °C)	Facteur de correction k
20 à 24	1.02
15 à 19	1.04
10 à 14	1.06
5 à 9	1.08
0 à 4	1.10
-1 a -5	1.12
-6 a -10	1.14
-11 a -15	1.16
-16 a -20	1.18
-21 a -25	1.20
-26 a -30	1.21
-31 a - 35	1.23
-36 a -40	1.25

TABLE 2.1 – Facteur de correction k pour les modules mono ou poly cristallins

### 2.5.1 Types de câbles :

Les câbles des installations PV sont divisés en deux types.

- Les câbles installés sur la partie à tension alternative. Ils se conforment aux règles applicables sur les installations électriques communes (en France : NF C15-100, ...).
- Les câbles installés sur la partie à tension continue. Ceux-ci possèdent des particularités.

Les conducteurs du côté DC de l'installation doivent avoir **une isolation double** ou renforcée (classe II) afin de minimiser le risque de défauts à la terre et de court-circuit (CEI 60364-7-712). Ils doivent être au minimum **de type C2** (non propagateur à la flamme). Ils doivent posséder en régime permanent, **une température minimale sur l'âme d'au moins 90°C**.

Les câbles du côté DC sont divisés en :

- Câbles solaires (ou câbles de string) qui raccordent les modules et le string du premier tableau de distribution du sous-champ ou directement l'onduleur ;
- Câbles non solaires qui sont utilisés du côté charge du premier tableau de distribution.

Les câbles raccordant les modules sont fixés à l'arrière de ces derniers, où la température peut atteindre 70° à 80°C. Par conséquent, des câbles particuliers sont utilisés, généralement des câbles unipolaires à gaine et isolation en caoutchouc.

Pour ceux qui sont soumis directement au rayonnement solaire, il faut qu'ils assurent une

résistance aux rayons UV [20] [22].

## 2.5.2 Section et intensité admissible :

La section d'un câble doit être telle que :

- Son intensité admissible  $I_z$  ne soit pas inférieure au courant d'emploi  $I_b$  ;
- la chute de tension à son extrémité se trouve dans les limites fixées.

Dans des conditions d'utilisation ne nécessitant pas de protection pour tous les strings, chaque module fournit un courant proche du courant de court-circuit, de sorte que le courant maximal  $I_b$  du circuit du string est supposé au plus égal à :

$$I_b = 1.25 * I_{SCSTC} \quad [2.4]$$

où  $I_{SCSTC}$  est le courant de court-circuit dans des conditions d'essai standards et l'augmentation de 25 % tient compte des valeurs de rayonnement supérieures à 1000 W/m<sup>2</sup>.

Lorsque chaque string possède un appareil de protection, le calibre ( $I_n$ ) de cet appareil de protection à pour valeur minimale :

$$I_n = 1.4 * I_{SCSTC} \quad [2.5]$$

Dans ce cas, le courant admissible des câbles doit au moins être égal au courant conventionnel  $I_2$ . Ce dernier dépend du type d'appareil de protection utilisé. Il est défini comme suit :

pour les fusibles :  $I_2 = 1,45 \times I_n$

pour les disjoncteurs :  $I_2 = 1,3 \times I_n$

Le mode de pose influe également sur la section et l'intensité admissible des câbles. Pour le calcul des câbles de chaînes, la température à prendre en compte pour leur dimensionnement est considérée égale à 70°C et un facteur de correction de 0,58 est à appliquer conformément au Tableau 2.2 dans les cas suivant :

- Câbles soumis à l'échauffement direct des modules ;
- Câbles soumis au rayonnement solaire. Dans ce cas, le facteur de correction de 0,85 défini à l'article 5122-11 de la NF C 15-100 n'est pas à prendre en compte ;
- Câbles cheminant dans des isolants thermiques de toiture ou de façade. Dans ce cas, le facteur de correction de 0,58 doit être multiplié par 0,77, soit 0,45. »

Température Ambiante (°C)	Elastomère (caoutchouc)	Isolation PVC	Isolation Per / Pr
10	1.29	1.22	1.15
15	1.22	1.17	1.12
20	1.15	1.12	1.08
25	1.07	1.06	1.04
30	0.93	0.94	0.96
40	0.71	0.79	0.81
45	0.58	0.71	0.82
50		0.61	0.76
55		0.50	0.71
60			0.65
65			0.58
70			0.50
75			0.41

TABLE 2.2 – Facteur de correction k selon le type d'isolation

Dans les installations PV il est nécessaire de différencier la partie à tension continue de la partie à tension alternative.

Dans le premier cas, la chute de tension maximale autorisée est de 3 % à  $I_{mpp}$  STC.

Dans le second cas, la chute de tension maximale entre les bornes de l'onduleur et l'AGCP est de 3 % à puissance nominale [20] [22].

## 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types d'intégration architecturale. Ainsi, la configuration du champ solaire on détaillons le principe du (faux) triphasée et les autres. De plus, les technique et les calculs pour le choix de l'onduleur et de câble solaire

# Chapitre 3

## Etude de cas

## 3.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de définir les clauses administratives, les prescriptions techniques communes et spéciales, qui correspondent aux règles professionnelles applicables aux procédés constructifs normalisés liés à la bonne exécution de mon installation photovoltaïque, de la conception du système, jusqu'à la mise en service tout en respectant la conformité en vigueur et en fixant les spécifications techniques relatives à la protection des biens et des personnes afin de mettre en valeur la normalisation sécuritaire et de garantir l'installation sur le long terme.

La phase avant-projet procède à une visite technique sur site, prélèvement des besoins en analysant les puissances des récepteurs, établir le bilan énergétique dans le but de définir la conception du projet et de minimiser au maximum la consommation d'électricité SONEGAS.

## 3.2 Visite technique et localisation des écoles :

Le projet en général a pour objectif d'installer 76 systèmes photovoltaïques hybrides en autoconsommation sans injection au réseau, sur les 38 communes de la wilaya de Relizane réparties en 2 écoles par commune.

En générale les écoles se composent de différents espaces : classes, administration, cantine, salle de réunion, toilette ainsi qu'un espace extérieur pour l'éclairage de nuit.

Dans ce qui suit, nous définirons la solution nécessaire au bon fonctionnement des écoles (les récepteurs). Ensuite nous verrons la spécification du matériel et son descriptif technique ainsi que les spécifications particulières d'installation des systèmes solaires photovoltaïques.

A savoir que l'alimentation électrique est d'origine hybride : le solaire photovoltaïque pour la majeure partie si besoin le système bascule automatiquement sur le réseau, la solution est prévue pour éviter toute coupure électrique.

### 3.2.1 Les espace a alimenter (Analyse environnementale) :

Le besoin en électricité diffère en fonction du type d'espace de l'école ainsi qu'en fonction de la quantité de récepteurs.

#### Espace classe :

Le bâtiment ' classe ' est composé de 4 néons.

### **Espace Administratif :**

L'espace 'administration' est composé de 2 néons, 2 ordinateurs, 2 a 4 imprimantes et une tv en moyenne. L'alimentation électrique sera assurée par le système solaire photovoltaïque hybride.

### **Espace salle de réunion :**

L'espace ' salle de réunion ' est destiné aux différents réunions entre le directeur de l'école est les instituteurs. Il sera équipé de 6 néons et 2 ordinateurs, 2 lampes dans la cuisine, Comme pour les deux précédents espaces, le système solaire photovoltaïque alimentera ces appareils.

### **Espace cantine :**

L'espace cantine est destiné pour le petit déjeuner et déjeuner des élèves. Cet espace est équipé de 6 a 10 néons et 2 lampes, ainsi qu'un réfrigérateur et congélateur pour la conservation des aliments. Le tout alimenté par le système solaire photovoltaïque hybride. Afin d'éviter le cas d'insuffisance temporaire et éviter toute coupure d'alimentation électrique, le système bascule sur le réseau pour conforter la production électrique.

### **Espace toilette :**

L'espace toilette est équipé de 2 a 4 lampes pour les besoins journaliers des élèves.

### **Divers :**

L'espace extérieur des écoles, est équipé d'une applique murale sur chaque hauteur des classes ainsi que 6 à 8 luminaires pour l'éclairage placés sur les toits des bâtiments, terrasses ou bordure des écoles.

## **3.2.2 Estimation de la demande**

### **Compréhension et évaluation des besoins**

L'ensemble des écoles primaires à alimenter en énergie solaire est répartie en 4 types (A, B, C, D) selon le nombre de classes et la construction BTP, Le besoin journalier total en moyenne est estimé dans un intervalle de 6 kWh/j à 30kWh/j selon le nombre de classes.



### 3.3 Choix du système le mieux adapté

Après l'analyse du dimensionnement énergétique de l'ensemble des écoles, il convient techniquement un nouveau regroupement selon les bilans énergétiques plus adaptable et économique.

La nouvelle répartition est comme suit :

Nombre de classes	Estimation des puissances	Désignation des systèmes PV
3	1.8 kW <sub>c</sub>	Système A
5-6-7	2.7 kW <sub>c</sub>	Système B
8-9-10-11	3.6 kW <sub>c</sub>	Système C
12-13-14-15	4.5 kW <sub>c</sub>	Système D
16-17-18-19	5.4 kW <sub>c</sub>	Système E
22 (19 + 3 )	1.8 kW <sub>c</sub> et 5.4 kW <sub>c</sub>	Système F( $F_a$ et $F_e$ )

TABLE 3.1 – Désignation des systèmes PV.

#### Faisabilité technique

- 100 % PV è
- Si besoin le système bascule sur le réseau.

### 3.4 Etude du systeme photovoltaïque hybride :

#### 3.4.1 Les données climatiques du site :

La conception d'un système photovoltaïque nécessite une connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation

Pour un besoin électrique donné, plus l'énergie solaire reçue est grande, moins on a des modules à installer et inversement.

Pour avoir les données métrologiques de notre site d'installation, nous allons utiliser le logiciel Retscreen. Le logiciel prend en compte toute les variables climatiques et intègre plusieurs stations météorologiques dans le monde. La photo ci-dessous est une capture d'écran du logiciel. Retscreen qui nous donne les différentes données climatiques de OudRhiou wilaya de Relizane.

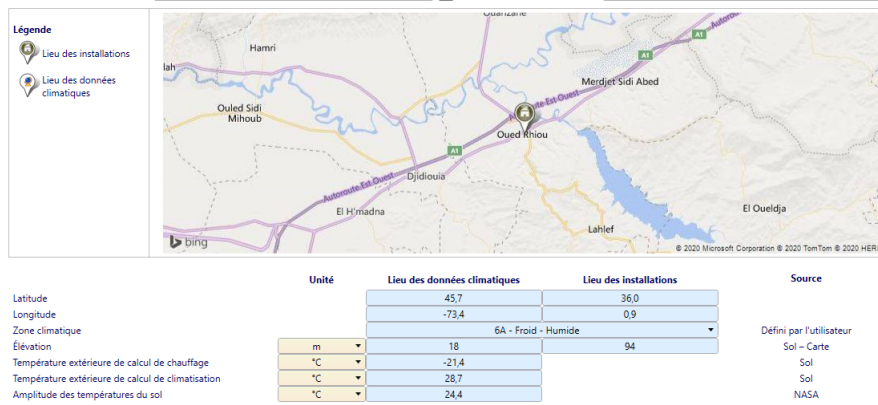


FIGURE 3.1 – localisation de la commune Oud Rhiou ( wilaya de Relizane )

Mois	Température de l'air	Humidité relative	Précipitation	Rayonnement solaire quotidien - horizontal	Pression atmosphérique	Vitesse du vent	Température du sol	Degrés-jours de chauffage	Degrés-jours de climatisation
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /j	kPa	m/s	°C	18 °C	10 °C
Janvier	-9,6	74,1%	91,26	1,58	98,7	4,7	-12,3	856	0
Février	-7,8	71,4%	65,87	2,53	98,8	4,5	-10,6	722	0
Mars	-2,3	70,9%	85,60	3,62	98,7	4,6	-4,9	629	0
Avril	5,6	63,8%	81,75	4,46	98,6	4,4	4,7	372	0
Mai	13,4	63,5%	95,52	5,10	98,6	4,2	12,8	143	105
Juin	18,9	68,6%	122,52	5,61	98,5	3,6	18,5	0	267
Juillet	20,5	74,9%	117,07	5,52	98,6	3,2	20,9	0	326
Août	19,5	75,9%	101,99	4,91	98,8	2,8	19,6	0	295
Septembre	15,1	77,7%	101,07	3,77	98,9	3,1	14,6	87	153
Octobre	8,3	76,5%	110,43	2,38	98,9	3,7	6,9	301	0
Novembre	2,1	78,9%	101,13	1,45	98,8	4,2	-0,2	477	0
Décembre	-4,5	78,5%	107,09	1,28	98,8	4,4	-8,2	698	0
<b>Annuel</b>	<b>6,7</b>	<b>72,9%</b>	<b>1 181,30</b>	<b>3,52</b>	<b>98,7</b>	<b>3,9</b>	<b>5,2</b>	<b>4 284</b>	<b>1 145</b>
Source	Sol	Sol	NASA	NASA	NASA	Sol	NASA	Sol	Sol
Mesuré à						m	10	0	

FIGURE 3.2 – Donnée Climatique

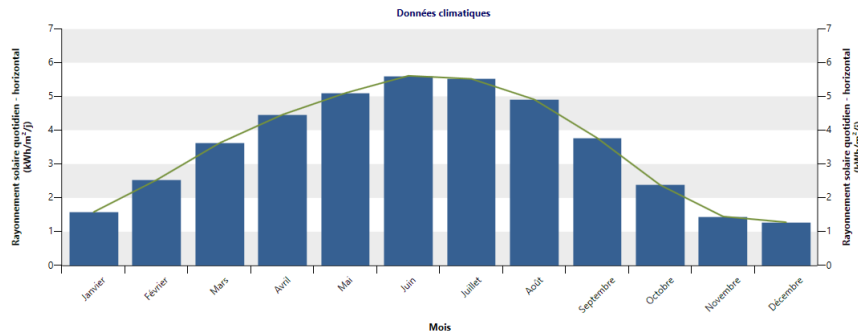


FIGURE 3.3 – Irradiation moyenne journalière sur un plan horizontal a Oud Rhiou

La station météorologique de RELIZANE montre par le logiciel donne les valeurs suivantes : Latitude du lieu (Oud Rehiou ) 36 °, qui permet de déterminer l'inclinaison optimale des modules PV, Longitude 0.9 Est, les différentes températures extérieures, la température de l'air permettant ainsi le choisir les types de la batterie et câbles, humidité relative en pourcentage (%), rayonnement solaire quotidien horizontal en kWh/m<sup>2</sup>, la pression atmosphérique, la vitesse du vent, la température du sol, le degrés-jours de chauffage et de climatisation.

Par définition le rayonnement solaire quotidien équivaut à la puissance solaire maximale reçue par une surface de 1 m<sup>2</sup> pendant un nombre d'heures donné au cours d'une journée.

Le logiciel nous donne une moyenne qui est  $E_{moyen}=5.5\text{KWh}/m^2/\text{jour}$ .

### 3.4.2 Dimensionnement du système

Afin de montrer l'intérêt du dimensionnement pour un système photovoltaïque hybride, un dimensionnement en fonction des récepteurs AC et DC que nous avons eu à l'occasion lors de notre visite technique est nécessaire.

Le dimensionnement comporte des règles qu'il faut respecter entre autres une règle est : l'énergie consommée doit être égale ou inférieure à l'énergie produite.

Hypothèse : Le choix des composants sera celui de l'entreprise d'installation photovoltaïque.

- Module de 270 Wc de marque SHARP GERMANY
- Batteries de 180 Ah de marque FIAMM FIT ITALY
- Onduleur de 4000 VA de marque EFFEKTA
- Différents moyens de protection de marque Schneider

#### Dimensionnement du champ photovoltaïque

La puissance photovoltaïque est la puissance que doit fournir le champ photovoltaïque pour couvrir le besoin en énergie électrique de notre charge, quel que soient les conditions. Elle se calcule par rapport à la consommation électrique totale, l'ensoleillement journalier, et les rendements des composants du système la formule théorique est :  $E_j/E_i * k$

- $k$  le coefficient de perte.
- $E_i$  ensoleillement journalier.
- $E_j$  la consommation journalière.

On remarque de la formule que pour déterminer la puissance du champ photovoltaïque, il faut d'abord déterminer la consommation électrique par jour qui est la quantité d'énergie que consomment tous les appareils électriques en présence durant une journée (24 heures).

Désignation	Nombre	Puissance (W)	Puissance (W)	Heure d'utilisation	Energie Journalière (Wh)
14 Calsses					
Néon	56	10	560	8	4480
Lampe	14	9	126	8	1008
La cantine					
Néon	10	10	100	4	400
Lampe	5	9	45	6	270
Congélateur	1	250	250	6	1500
Réfrigérateur	2	200	400	6	2400
Outils Divers	1	50	50	6	300
Spot	4	9	36	4	144
L'administration					
Néon	8	10	80	8	640
Oridinateur	4	150	600	8	4800
Imprimante	1	160	160	1	160
Télévision	1	150	150	1	150
Lampe	2	9	18	6	108
Divers					
Luminaire	8	100	800	10	8000
Lampe	4	20	80	8	640
		Puissance Totale (W)	3455		
				Energie Electrique	25000

TABLE 3.2 – Consommation journaliere d'une école.

### Détermination de la consommation journalière :

Le tableau ci-dessous donne les différentes récepteurs, la puissance ainsi que les heures utilisations. Ces données recueillis lors de la visite, permettent de déterminer la puissance totale des récepteurs ainsi que l'énergie consommée durant la journalière.

- Calcul de puissance crête  $P_c$ .
- $P_c = E_j / E_s * k$  avec  $k=0,8$  et  $E_s = 6.5$  qui est l'ensoleillement du moi le moins ensoleillé donné par le logiciel Retscreen.
- $P_c = \frac{25000}{(6.5 * 0.8)} = 4807.69$
- $P_c = 4807.69 W_c$

La tension de service est choisie en fonction de la puissance crête.

<b>Puissance crête(KWc)</b>	0-0,5	0,5-2	2-10	>10
<b>Tension (V)</b>	12	24	48	>48

TABLE 3.3 – Tension de service.

Comme puissance crête  $P_c = 4807 W_c$  est supérieur à  $2 KW_c$  et les régulateurs utilisés sont de type MPPT.

Nous allons déterminer le nombre de module avec pour hypothèse que nous allons acheter des modules de  $270 W_c/24V$ .

$$N_m = \frac{P_c}{P_m} = \frac{4807}{270} = 17.80$$

$$N_m = 17.80 \text{ modules} \sim 18 \text{ modules}$$

$$N_m = 18 \text{ modules.}$$

Nous avons au total 18 modules de  $270 W_c$  de marque SHARP. Mais puisque notre installation est triphasée donc on doit dévisée le nombre des modules en en 3 champs photovoltaïque de 6 panneaux pour chacun.

- Nombre de modules mises en séries (Pour chaque champ photovoltaïque).

$$N_s = \frac{U_s}{U_m} = \frac{105}{37.99} = 2.76$$

$$N_s = 2 \text{ modules}$$

Nous avons 2 modules en séries

- Nombre de séries de modules mises en parallèle (Pour chaque champ photovoltaïque)

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} = \frac{6}{2} = 3$$

$$N_p = 3 \text{ modules}$$

Nous avons 3 strings qui seront câblés en parallèle.

### Dimensionnement des batteries de stockage

La batterie, compte tenu de son rôle très important dans un système photovoltaïque car elle stocke l'énergie et la restitue lorsque l'application le nécessite, Il est donc très

important de bien déterminer sa capacité à partir des paramètres suivants :

La consommation journalière totale  $E_j$  en (Wh/jour), le nombre de jours d'autonomie  $N_j$ , la profondeur de décharge maximale (PDD) de la batterie. La tension de service de la capacité de stockage est 48V. La capacité des batteries de stockage est déterminée à partir de la formule :

$$C_{ah} = \frac{E_{jt} * N_j}{PDD * V} = \frac{25000 * 1}{0.8 * 48} = 651.04.$$

$$C_{ah} = 651.04 \text{ Ah.}$$

Nous allons déterminer le nombre de batteries par branche N à partir de la batterie de 180 Ah/12V de marque FIAMM .

$$N = \frac{C_{ah}}{C_b} N_b = \frac{651.04}{180} = 3.61.$$

$$N = 3.61 \text{ batteries par branche de 12V}$$

Le nombre de batteries proposé par branche est :  $N = 4$  batteries.

Le nombre de batteries pour tout le système de stockage est :

$$N_b = N * N_s = 2 * 4 = 8.$$

$$N_b = 8 \text{ batteries.}$$

Nombre de batteries en série  $N_{bs}$  : 4 batteries.

$$N_{bs} = \frac{U_{sb}}{U_b} = \frac{48}{12}$$

$$N_{bs} = 4 \text{ batteries}$$

Nombre de string de batteries en parallèles  $N_{bp}$  :

$$N_{bp} = \frac{8}{4} = 2$$

$$N_{bp} = 2 \text{ batteries}$$

Toutes les batteries sont interconnectées.

### **Détermination du régulateur de charge Intégrée dans Onduleur multifonctionnel**

Pour assure une bonne protection des batteries contre la surcharge de courant provenant du module PV, il faut bien dimensionner le régulateur en tenant compte de tous les paramètres importants qui le caractérisent comme sa tension nominale, son courant d'entrée et son courant sortie.

- Le courant d'entre du régulateur.

$$I_{er} = I_{ccm} * N_p.$$

$$I_{er} = 9.15 * 3 = 27.45A$$

- Courant de sortie du régulateur.

$$I_{sr} = \frac{P_{ci}}{U_b}, \text{ avec } P_{ci} \text{ la puissance crête installée et } U_b \text{ la tension de service des batteries.}$$

$$I_{sr} = \frac{270 * 6}{48} = 33.75A.$$

Les régulateurs étant de types MPPT, le champ est divisé en trois petits champs.

- Configuration du champ.

Pour permettre la configuration série-parallèle, la répartition des modules est la suivante :

On a 18 modules au total, Chaque onduleur va recevoir 6 modules avec une configuration de 2 séries de modules de 3 en parallèles donc on a 3 champs photovoltaïque pour 3 onduleurs.

### Choix du convertisseur ( Onduleur )

Lorsque l'application se compose d'appareils fonctionnant en électricité alternative (AC), il faut convertir la tension continue que produisent les modules PV, en tension alternative compatible et utilisable par ces appareils. Ce pendant nous avons utilisé des convertisseurs DC/AC. Le convertisseur est choisi en fonction de la puissance des équipements et le facteur de perte. La puissance du convertisseur est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Pond} = \frac{P_t}{f_t * r}, \text{ avec } f_t \text{ est facteur et } r, \text{ le rendement.}$$

$$\text{Pond} = \frac{3455}{0.9 * 0.96} = 3998.84$$

$$\text{Pond} = 3998.84 \text{ VA}$$

trois 4 000 VA/48 V sont proposés.

### Dimensionnement des sections des Câbles

Les câbles jouent un rôle important dans une installation, ils assurent la liaison entre tous les équipements de l'installation. Afin évité le maximum de pertes dans l'installation la section des câbles entre les différents appareils doit être bien dimensionnée. La formule pour le calcul de la section des câbles est la suivante :

$$S = \frac{2 * l * I_{max}}{\gamma * \Delta U_{max}}$$

La section des câbles est déterminée en fonction des répartitions du champ PV soit 3 petits champs PV.

Dans la suite du calcul des sections, la chute de tension  $\Delta U_{max}$  est la même dans la suite. La chute de tension  $\Delta U_{max}$  pour les systèmes photovoltaïques ne doit pas dépasser 5 % de la tension nominale des batteries. Elle se calcule par la formule suivante :

$$\Delta U_{max} = \frac{U_b * 5}{100} = \frac{48 * 5}{100} = 2.4.$$

$$\Delta U_{max} = 2.4V \text{ et } \gamma = 58^{-1} \text{ mm}^{-1}.$$

### Champ PV- Régulateur/convertiseur

Le courant maximal est le courant de court-circuit des modules des petits champs PV. La section est calculée en fonction des champs de 6 modules soit  $N_s=2$  et  $N_p=3$ .

$I_{max} = N_p * I_{ccm}$  avec  $I_{ccm}$  le courant de court-circuit de chaque module.

$$I_{max} = 3 * 9.15 = 27.45 \implies I_{max} = 27.45$$

$$S = \frac{2 * 35 * 27.45}{58 * 2.4} = 13.80. S = 2 * 13.80 \text{ mm}^2.$$

Compte tenu de la disponibilité de la section sur le marché, la section  $S = 2 * 13.80 \text{ mm}^2$  est proposée pour Champ PV-convertiseur/régulateur.

### Batterie-Convertisseur/régulateur

Déterminons le courant maximal entre les batteries et les convertisseurs.

$$I_{max} = \frac{Pond_{max}}{U} = \frac{3998.84}{48} = 84.30$$

$$I_{max} = 84.3A$$

$$S = \frac{2 * 2 * 84.3}{58 * 2.4} = 2.42.$$

$$S = 2 * 2.42 \text{ mm}^2$$

Compte tenu de la disponibilité de la section sur le marché, la section  $S = 2 * 2.42 \text{ mm}^2$  est proposée pour Batterie - convertisseur /régulateur.



## 3.5 Analyse du système photovoltaïque

### 3.5.1 Analyse de l'installation

Pour cette partie du travail nous allons montrer les différents écarts entre les résultats du dimensionnement.

	Équipements installés	Équipement proposé
<b>Modules</b>	18 modules	17 modules
<b>Batteries</b>	8 batteries	7 batteries
<b>Convertisseur</b>	3 x4000 VA	3x 4000 VA
<b>Câblage</b>	10 ; 16 mm <sub>20</sub>	2 ; 13 mm <sub>2</sub>

TABLE 3.4 – Résultat final de l'installation.

Informations générales de l'installation Champ PV	
	<b>système D</b>

PARAMETRES DE BASE POUR LE DIMENSIONNEMENT						
	Application	Type de système	Autoconsommation	sans	Endroit	Installation
	Système PV	PV Hybride	injection au réseau		W. Relizane	Surimposée
	<b>Production annuelle : 7658 kWh</b>		Coordonnées		Inclinaison	SONELGAZ
	Consommation annuelle : 3543 kWh		35.7339361		45°	Disponible

Entrée - résumé		Valeur			Produits	Système D	
<b>E<sub>m</sub>:</b>	35.4	<u>Kwh/jr</u>			Onduleur 48 /3x230 v		3x4 kVA
<b>Mois de pointe:</b>	Juillet				<b>Générateur solaire:</b>		6.5 kWc
<b>H<sub>a</sub></b>	6.15	kWh/m <sup>2</sup>			PV system losses (cables,- inverter etc) 25.9%		
<b>Poursuite du soleil:</b>	Non (fixé)				<b>Accumulateurs</b>	Batteries	14 400 Wh / 48 V

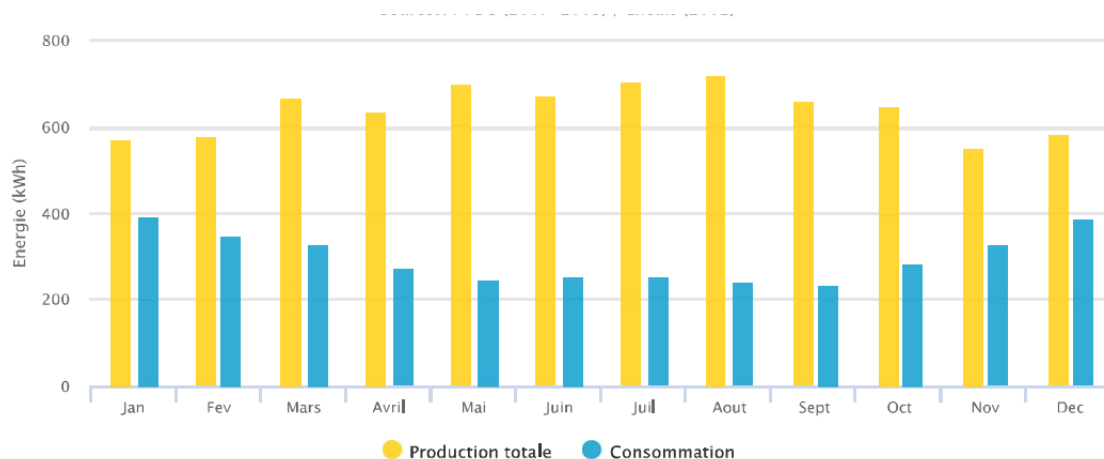


FIGURE 3.4 – Production / consommation mensuelles / sources PVGIS 2019



FIGURE 3.5 – Autonomie / économie d'énergie

**Empreinte carbone de la fabrication 58.22 g CO<sub>2</sub> éq/kWh**

- Avant du dimensionnement sur le plan économique Estimation du financement que le client pourrait économiser est donné par le tableau ci-dessous.

Équipement	Nombre	Prix unitaire	Prix total
Modules	18	20 000 DA	360 000
Batteries	8	46 000 DA	368 000
Onduleur	1	180 000 DA	180 000
Total			908 000 DA

TABLE 3.5 – Estimation du financement.

Le tableau ci-dessus nous montre que pour une installation d'une école que sa facture d'un trimestre ( trois mois) est de 25 000 Da. Cest a dire 100 000 DA par une Année.

**Recommandation.**

Pour les recommandations nous avons deux points qui sont :

- Le respect des heures de fonctionnement
- Optimisation de la consommation
- Maintenance du système

- Le respect des heures de fonctionnement.

Les heures de fonctionnement sont également un paramètre essentiel dans le dimensionnement solaire. Le client doit obligatoirement faire tout pour ne pas dépasser les heures de fonctionnement inscrite dans le dimensionnement.

Le client ne doit pas également d'ajouté des appareils qui n'ont pas été pris en compte lors du dimensionnement.

- Optimisation de la consommation.

Un système optimisé doit avoir un rapport de l'énergie consommée par rapport à l'énergie produite qui tend vers 1, cela montre la fiabilité du dimensionnement.

### Maitrise des Coûts

Numéro LOT	Système	Lieu	Ecole	Montant
LOTN°6	D	OUED RHIOU	EL HAKIM LO- QMANE	3 080 910,00
	D	OUED RHIOU	ADDA TIRESS	3 080 910,00

TABLE 3.6 – Comparaison des rendements des différentes technologies des cellules (Année 2015)

## 3.6 Caractéristique des équipements

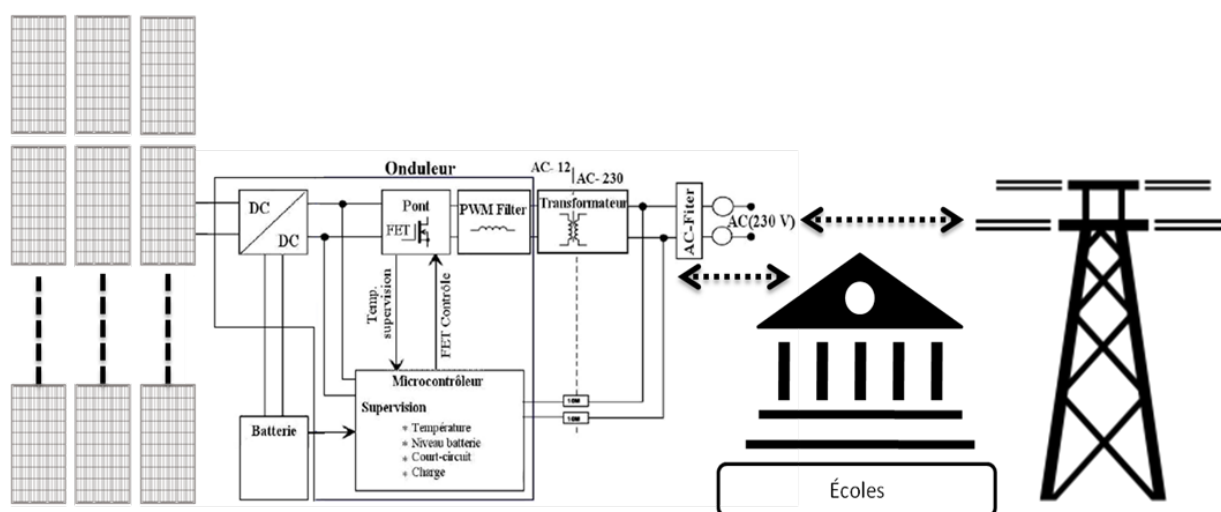


FIGURE 3.6 – Schéma de principe

Les principaux composants de la centrale sont :

1. Modules photovoltaïques.
2. Structure solaires fixes à 45°.
3. Batteries.
4. Contrôleurs batteries.
5. Capteurs de températures.
6. Onduleurs chargeurs.
7. Coffret AC
8. Coffret D
9. Système d'acquisition de données
10. Réseau SONALGAZ.

### 3.6.1 Caractéristique des modules photovoltaïque :

Un champ solaire comme nous l'avons décrit ci-dessus se compose généralement de plusieurs modules photovoltaïques. Les modules photovoltaïques eux-mêmes, des générateurs électriques de courant continu constitués d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement.

Le nombre des modules à installer est de  $3 * 6$  avec une puissance de  $6480 W_c$  au total . Les caractéristiques des modules sont données par la photo ci-dessous :

Données électriques (STC)		ND-RJ270
Puissance maximale	$P_{max}$	270
Tension de circuit ouvert	$U_{oc}$	37,99
Courant de court-circuit	$I_{sc}$	9,15
Tension de puissance maximale	$U_{mpp}$	31,29
Courant de puissance maximale	$I_{mpp}$	8,70
Efficacité de module	$\eta_m$	16,5

FIGURE 3.7 – Caractéristiques des modules

STC = Conditions standards de test : irradiance 1 000W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, température de cellule 25 °C.

Le module doit, sur le plan de la qualité, être certifié selon la norme IEC 61215 et, sur le plan de la sécurité, satisfaire aux exigences de la classe de protection II (SKL II).

FIGURE 3.8 – Module photovoltaïque SHARP GERMANY

### 3.6.2 Caractéristique des batteries :

Une batterie est un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux de façon à créer un générateur électrique de tension et de capacité désirée.

La batterie joue un rôle très important dans un système photovoltaïque car elle stocke l'énergie et la restitue lorsque l'application la nécessite.

Le total des batteries à installer est de 8 avec une capacité 180 Ah chacune sous un système de 48 V.

FIGURE 3.9 – Batterie Solaire FIAMM.

Les caractéristiques des batteries sont données sur le tableau ci-dessous :

Données	Valeur
Capacité de stockage	180Ah
Voltage	12V
Poids	65 Kg
Dimensions (Long. x Larg. x Haut.)	522 x 238 x 240 mm
Garantie	2 ans

TABLE 3.7 – Comparaison des rendements des différentes technologies des cellules (Année 2015)

- 180Ah en décharge 10h
- 300 cycles en décharge 100 %.
- 800 cycles en décharge 60 %.
- 1600 cycles en décharge 30 %.
- Tension de fin décharge à 10,8V pour une batterie 12V.
- Tension de fin décharge à 10,8V pour une batterie 12V.
- Très longue durée de vie (jusqu'à 12 ans).

### 3.6.3 Caractéristique des onduleurs :

L'onduleur aussi connu sous le nom convertisseur DC/AC transforme le courant continu produit par le générateur solaire en courant alternatif, qui peut utiliser pour faire fonctionner les appareils alternatifs. Pour notre installation nous disposons de trois onduleurs de 4000VA.

Les caractéristiques des onduleurs sont données par le tableau ci-dessous :

Onduleur Multifonctionnelle	EFFEKTA SOLAIRE
Puissance	4000W
Puissance crête (max.)	8 000W
Tension et courant d'entrée	48V/94A
Tension et courant de sortie	230V +/- 2%, 18 A, 50Hz
Poids	29 Kg
Température de fonctionnement	0C à +55°C(refroidissement par ventilateur)
Garantie	5 ans

TABLE 3.8 – caractéristique électrique de l'onduleur

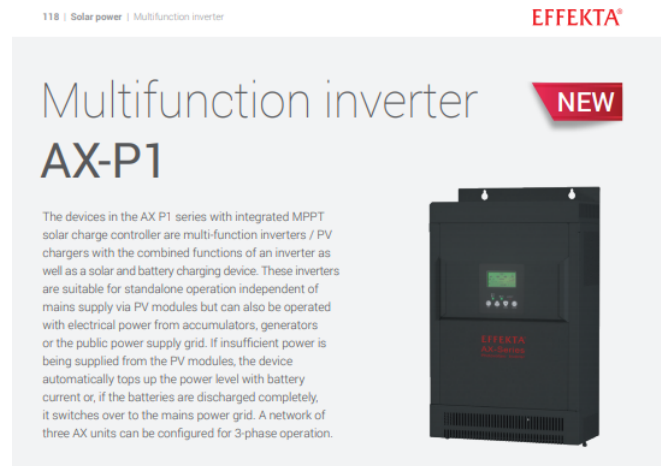


FIGURE 3.10 – Onduleur multifonctionnel EFFEKTA

### 3.6.4 Caractéristique des câbles :

Pour le câblage d'une installation photovoltaïque, il faut particulièrement être attentif au câblage à courant continu. Pour éviter des pertes importantes, il convient de choisir des câbles de section suffisamment grande. S'ils sont placés à l'extérieur, les câbles doivent résister aux UV et à l'ozone, ainsi qu'à la chaleur et au froid. Le plus souvent on utilise pour cela un câble souple sous caoutchouc et isolé du **type H07 RN-F**.

Pour assurer la connexion du courant électrique dans les différents appareils de hors de l'installation, le client dispose de différentes sections de câble dont **2x35 mm<sup>2</sup>**, **4x16 mm<sup>2</sup>**, **2x10 mm<sup>2</sup>** et **2x6 mm<sup>2</sup>**. Ces conducteurs sont essentiellement du cuivre qui ont une bonne conductivité.

### Visite techniqu (Installateur) :

#### Comment savoir si la toiture est propice à une installation photovoltaïque ?

Cette question nous a invités à faire une visite sur le site où nous devrions faire l'installation.

D'autres éléments interviennent également dans le rendement d'un module photovoltaïque tels que la situation géographique, le matériel utilisé, l'absence d'ombres, etc..

Nous avons constaté également lors de la visite que nous disposons d'une toiture plane et suffisante pour installation. Le ciel est bien dégagé et pas de maison à étage et des arbres qui puissent projeter leurs ombres sur le champ PV qui sera installé.

La toiture plane permet de bien orienter les supports des modules vers le sud, et de bien les incliner (à 45° ou à la latitude du lieu) afin de recevoir le maximum rayonnement.



FIGURE 3.11 – Ecole TAZZI Mohamed Relizane.

## 3.7 Installation du système

L'installation s'est déroulée en plusieurs étapes que sont :

### 3.7.1 Fixation des supports des modules

Après la visite une étude de faisabilité a été faite, montrant ainsi comment les supports des modules seront fixés. Cela prend en compte l'orientation et l'inclinaison.

Une distance minimale de 0,5m a été respectée entre la face arrière du module et la toiture.



FIGURE 3.12 – Semelle de béton 50\*50\*20



FIGURE 3.13 – alignement les semelles de béton

Les blocs de ciments qui suporte jsqua 120 Km/h.





FIGURE 3.14 – Structure porteuse en aluminium.

### 3.7.2 Installation des modules

Après la fixation des modules le travail suivant est la pose des modules. Les modules sont placés en sandwich entre les IPN.

Vue la section très importante pour transporter le courant continue de grande installation et vue le nombre d'onduleur que nous disposons pour l'installation, le champ photovoltaïque est divisé en trois (3) petit champ soient 3 coffrets de départ vers l'onduleur.



FIGURE 3.15 – Structure porteuse avec modules photovoltaïques.



FIGURE 3.16 – Boîte de jonction (toiture).

Les Chaque champ a une tentions de 62.58 V dont 2 modules en série et trois en parallèle qui est une tension supportée par les régulateurs MPPT de l'installation (105 V) . Nous avons utilisé du 2x16 mm<sup>2</sup> pour le câblage de chaque champ.

Les chemins de câble sont fixés sous les modules afin de permettre de bien ranger les câbles de connexion et de fixer les boîtes de jonction.

Les bornes + et - à la sortie de la boîte de jonction sont reliées aux bornes + et - du l'onduleur multifonctionnel avec un câble de 2 x 16 mm<sup>2</sup>, pour une distance module-batterie n'excédant pas 30 mètres.



FIGURE 3.17 – Boîte de jonction.

### 3.7.3 Installation des batteries

Les batteries sont placées dans un local aéré ou dans une armoire électrique (IP60). Elles sont installées sur un support à 2 rangés de 4 batteries pour chaque rangé (le support est en fer lourd peint en noir dans lequel sont rangées des planches servant de support pour les batteries).

La distance entre les batteries et les onduleurs est d'environ 0.5 m.

Les régulateurs MPPT nous permet opter pour un système stockage de 48V vue que les onduleurs sont de 48V. Ainsi nous avons 4 batteries en série ce qui donne au total 2 séries mises en parallèles.

Le câble entre chaque champ et le son régulateur est de 2x16 mm<sup>2</sup>.

Le parc de stockage sera protégé par une grille à fin d'éviter les manipulations étrangères.



FIGURE 3.18 – Armoire électrique avant de mettre les batteries et Avec les batterie

### 3.7.4 Installation des onduleurs multifonctionnel

Les onduleurs sont également dans le même local que les batteries. La distance entre deux convertisseurs est bien respectée afin de permettre une bonne aération. Cette distance est de **15 cm** minimum.



FIGURE 3.19 – Onduleurs solaires multifonctionnelle (3 triphasé ).

Les convertisseurs possèdent tous sept bornes, **Deux pour arriver des panneaux, deux pour arriver des batteries, deux bornes sortie AC pour alimentation des équipements et une borne pour la mise en terre.**

Tous les convertisseurs sont connectés au parc de stockage. Nous avons utilisé un conducteur de  $35\text{mm}^2$  pour les connexions batteries-convertisseurs.

Les convertisseurs sont tous mis en parallèle et protégés individuellement par des disjoncteurs de 25A.

Les convertisseurs possèdent également deux ports RJ45 pour la configuration en parallèle ou la configuration en triphasé.

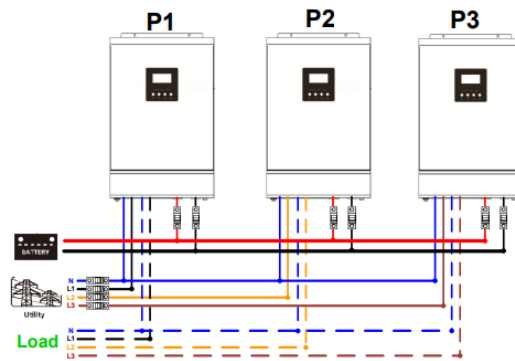


FIGURE 3.20 – Schéma de principe d'interconnexion des onduleurs.

### 3.7.5 Système de protection

Toute installation doit respecter les normes d'installation afin de garantir la protection des personnes et de biens. Pour ce faire nous avons choisi de mettre des disjoncteurs à la sortie des convertisseurs et la mise en terre.

Disjoncteurs de protections

- Des disjoncteurs DC de 63A ont été utilisés pour la protection des régulateurs de charge.
- Des disjoncteurs de 25A ont été utilisés entre l'utilisation et les convertisseurs.



FIGURE 3.21 – Différents systèmes de protection.

### 3.7.6 Mise à la terre

La norme électrique NF C 15-100 précise que la prise de terre et la mise à la terre sont obligatoires aussi bien dans le cadre d'une création, d'une mise en conformité, que d'une mise en sécurité d'installation électrique. Elle prévoit que l'ensemble de l'installation électrique ainsi que certains éléments pouvant devenir accidentellement conducteurs d'électricité soient raccordés à la terre.

Indispensable donc pour une installation électrique, la technique de la mise à la terre consiste à connecter à la terre tous les fils de terre ainsi que les masses métalliques susceptibles d'être mises accidentellement sous tension. Ces courants de "défaut" sont ainsi dirigés sans danger vers la terre. Elle assure donc la sécurité humaine et de bien (équipements de l'installation).

## 3.8 Configuration du système

La configuration du système est une étape importante pour notre installation triphasée. Dans cette étape nous avons le choix de donner une configuration claire de notre système c'est-à-dire un système triphasé.

Le programme de mise à niveau énergétique des écoles qui vise 15000 Ecoles, s'inscrit dans le cadre de la convention signée entre le Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, le Ministère de l'intérieur, l'Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique.

Ce programme répond à un double objectif :

la sensibilisation aux techniques d'efficacité énergétique des citoyens et la réduction de la consommation énergétique des écoles primaire par l'introduction de l'éclairage économique, des chauffe-eaux solaires, ainsi que le recours de solutions photovoltaïques pour la production d'électricité.

### 3.8.1 Mise en place des cartes de communication :

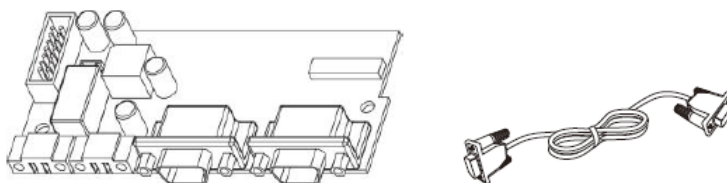


FIGURE 3.22 – Carte et câble de communication parallèle.

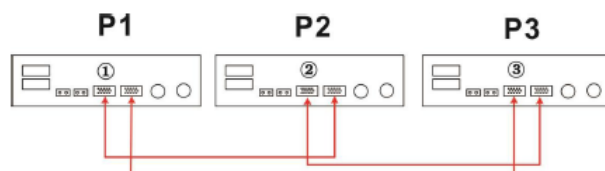


FIGURE 3.23 – Méthode de connexion.

Après avoir connecter les 3 onduleurs à l'aide d'un câble de communication.

On allume les 3 onduleurs ensuite on appuyer sur la touche « ENTER » pendant 3 secondes, l'appareil passe en mode « Modification des réglages ». Appuyez sur les boutons "UP" ou "DOWN" pour sélectionner les paramètres que vous souhaitez régler.

Ensuite appuyez sur le bouton "ENTER" pour confirmer la sélection ou sur la touche « ESC » pour sortir du menu.

### 3.8.2 Programmation onduleurs :

#### PROGRAMME 30

**Plusieurs onduleurs** Lorsqu'**ALL** est sélectionné, le système parallèle ou triphasé continuera à fonctionner conformément à la règle du premier réglage solaire uniquement lorsque tous les onduleurs sont connectés aux modules PV. Par exemple, les unités sont connectées en parallèle et définissent sol en priorité de source de sortie. Lors de la sélection de tout dans le programme 30, il est nécessaire de connecter toutes les inverseurs pour permettre au système de fournir. Puissance aux charges de l'énergie solaire et de la batterie. Autrement, le système fournira de l'énergie aux charges des services publics.

#### PROGRAMME 28

Lorsque les unités sont utilisées en parallèle avec une phase, veuillez sélectionner PAL dans le programme 28. Il est nécessaire d'avoir au moins 3 onduleurs ou au maximum 6 inverseurs pour supporter un équipement triphasé. il est nécessaire d'avoir au moins un onduleur dans chaque phase ou jusqu'à quatre onduleurs dans une phase.

Veuillez sélectionner

3P1 dans le programme 28 pour les inverseurs connectés à la phase L1,

3P2 dans le programme 28 pour les inverseurs connectés à la phase L2,

3P3 dans le programme 28 pour les inverseurs connectés à la phase L3.

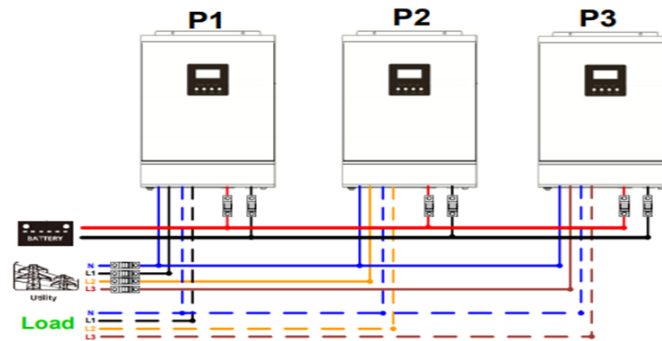


FIGURE 3.24 – Schéma de principe d'interconnexion des onduleurs.

### 3.9 Mise en service

Après l'installation s'en suit la mise en service. Elle consiste à mettre en marche tous les équipements composant l'installation solaire. Une période d'essai d'au moins une année sera donnée au directeur de l'école (vue qu'il est le premier responsable de l'école primaire) qui bénéficie d'une assistance technique gratuite durant cette période d'essai.

### 3.10 Maintenance preventive

Comme avec n'importe quel équipement, effectuer l'entretien et l'inspection régulière des composants aidera à assurer de bonnes performances des systèmes et à réduire au minimum la défaillance des composants, les équipements du système photovoltaïque ont besoin d'un entretien afin de garantir leurs bons fonctionnements.

### 3.11 Conclusion

Dans ce chapitre suite aux calculs de dimensionnement nous avons estimé le nombre et le choix des composants. Le dimensionnement nous avez permis de bien choisir les équipements selon les critère technique demander par le cahier des charge et des critère financier. Pour le bon fonctionnement de l'installation.

# Conclusion générale



L'objectif général de notre étude est de produire de l'énergie électrique à l'école primaire à partir de l'énergie solaire en utilisant une installation des systèmes photovoltaïques.

Dans un premier volet, nous avons cité les différents types d'installations photovoltaïques et leur application ainsi les composants majeurs d'une installation photovoltaïque.

Ensuite, nous avons décrit les méthodes d'installation et configurations d'une installation en générale.

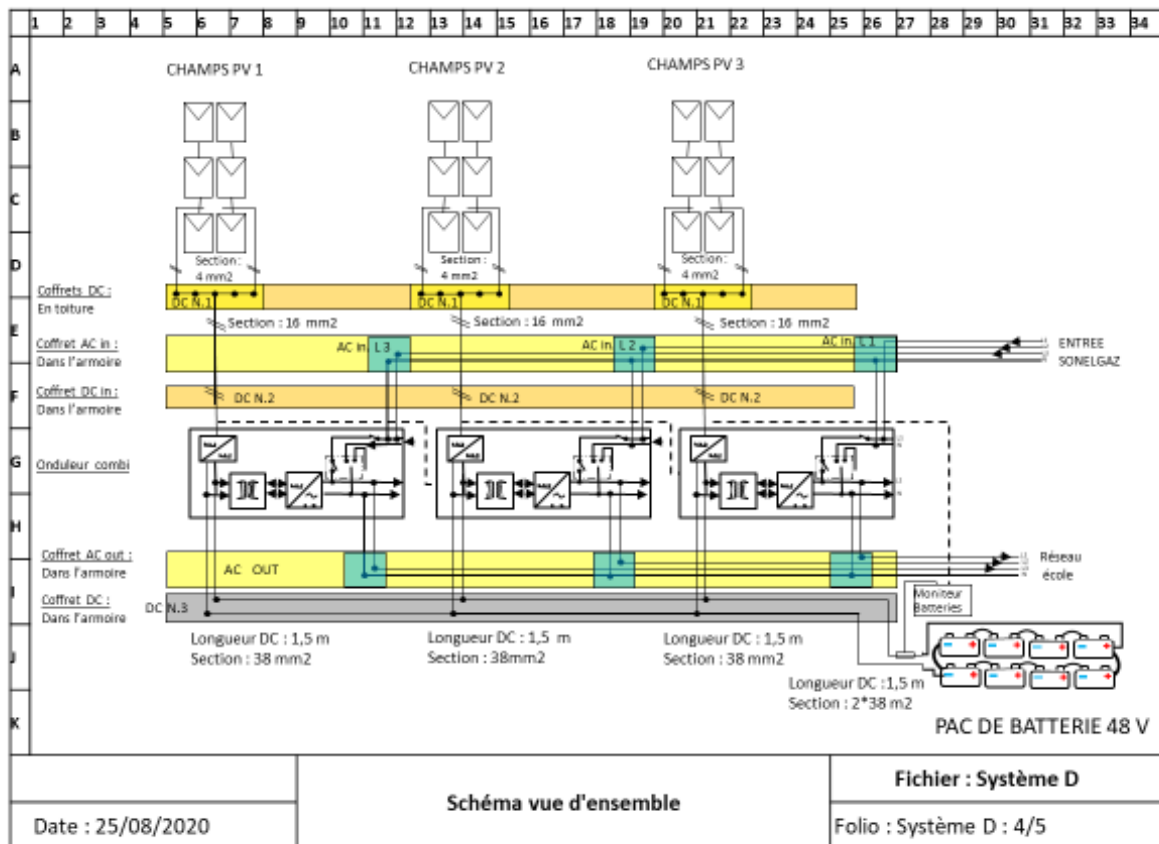
Dans le troisième chapitre nous avons Dimensionnée et identifié tous les équipements de notre installations photovoltaïque. PV qui alimente l'école, et même nous avons cités les caractéristiques des équipements de l'installation PV.

Finalement, d'après l'étude technico-économique et le style de l'installation (autoconsommation) nous avons constaté que l'installation PV peut être interconnectée au réseau est intéressante de signaler que notre installation devient rentable de vue de l'économie d'énergie qui actuelle très significatif par apport à la demande publique.

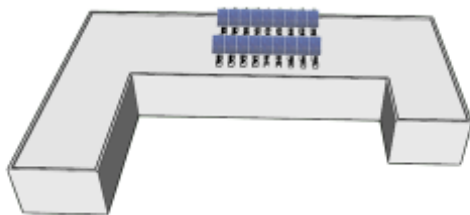

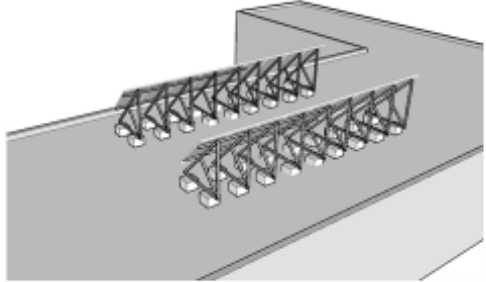
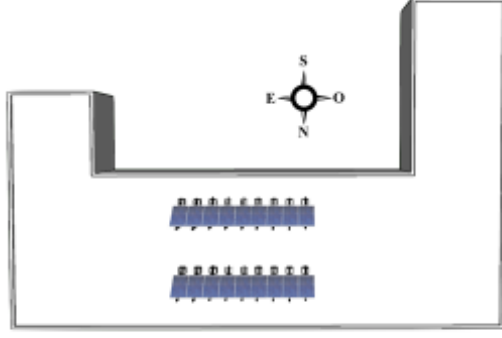
Au terme de mon stage, il convient de dire que l'entreprise dans laquelle nous l'avons effectué est très dynamique, opérationnelle, surtout très accueillante, elle m'a permis de mettre en pratique mes connaissances apprises à l'école portant sur la réalisation des systèmes photovoltaïque et d'approfondir mes connaissances dans ce domaine. Ce stage ma permis également de développer mon sens du contact et de l'organisation (travail sur le chantier) et de connaître le fonctionnement d'une entreprise.

# Annexe

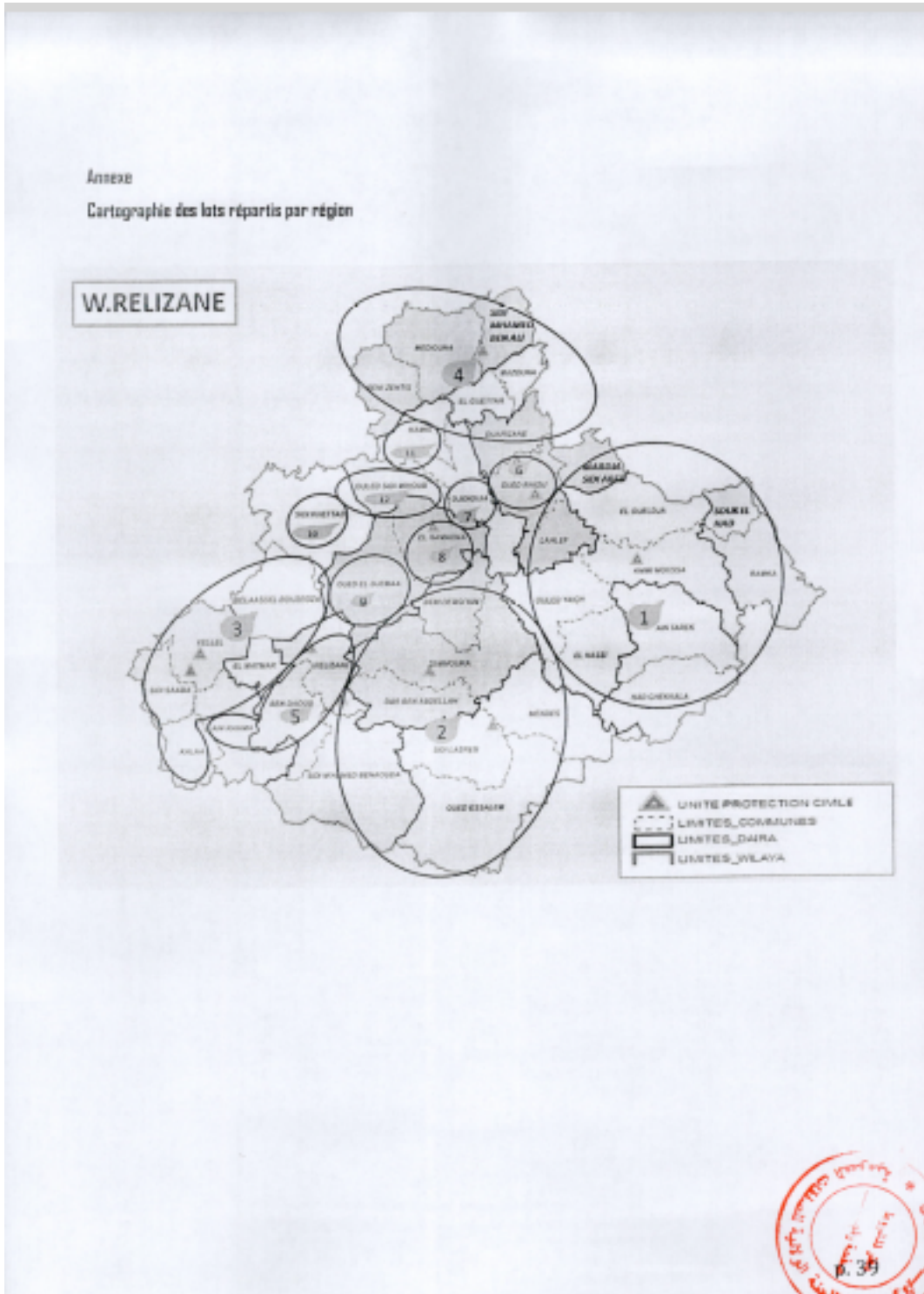
## A.1 Schéma Unifilaire :



## A.2 Vu 3 Dimension

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34														
A																																															
B																																															
C																																															
D																																															
E																																															
F																																															
G																																															
H																																															
I																																															
J																																															
K																																															
																<b>Vues D3 école</b>																<b>Fichier : Système D</b>															
Date : 25/08/2020																																Folio : Système D : 5/5															

### A.3 Cartographie des lots répartis par région de la wilaya de Relizane



# Bibliographie

- [1] *Installations photovoltaïques autonomes non raccordées au réseau public de distribution avec stockage par batterie.*
- [2] <http://www.pvsystem.org/es/photovoltaic-panels.html>.
- [3] Systèmes sites isolés et systèmes de secours Victron Energy [www.victronenergy.fr](http://www.victronenergy.fr).
- [4] Ch.Yauge Ch. p. De. Brichabaut. *le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique.* Technique et documentation Lavoisier. 1982.
- [5] E.SCHILLER J. Royer, T.Djiako. «*le pompage photovoltaïque*». l'intention des ingénieurs et techniciens bibliothèque national de CANADA, 1998.
- [6] B. Equer. *le pompage photovoltaïque manuel de cours.* énergie solaire photovoltaïque ellipses, 1993.
- [7] Y.Baklli. Etude et dimensionnement d'un convertisseur statique pour la connexion d'un générateur pv, 2005.
- [8] Guide de recommandations à destination des maîtres d'ouvrage « systèmes photovoltaïques raccordés au réseau », 2015. Ademe [www.ademefr](http://www.ademefr).
- [9] Gérard Moine. *Electricité solaire photovoltaïque Principes.* 1983.
- [10] Systèmes hybrides pv. diesel sans stockage SMA [wwwsma-france.com](http://wwwsma-france.com).
- [11] Guide du photovoltaïque, 2012. WWW.dgs-berlin.de.
- [12] Guide du photovoltaïque partout. Solarpraxis [wwwsolarpraxis.com](http://wwwsolarpraxis.com).
- [13] M. MUSTAPHA BELARBI. « *Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome* ». PhD thesis, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN, 2015.
- [14] <http://www.directindustry.es/prod/vhf-technologies/modulos-fotovoltaicos-de-silicio-amorfosobre-chapaflexible-54798-712351.html>.
- [15] Libro de ingeniería sin fronteras.
- [16] Informations sur l'accumulateur au plomb et batterie solaire Oldham [www.enersys.com](http://www.enersys.com).
- [17] Yvonne Booth Zrinski. *Planning and Installing Photovoltaic Systems.* second edition. A guide for installers, architects and engineer, 2008.

- [18] Documentation technique Steca [www.steca.fr](http://www.steca.fr).
- [19] Gérard Moine. *L'électrification solaire photovoltaïque*.
- [20] ABB. “*Document d'application technique n°10 Installations photovoltaïques,*”, 2010.
- [21] F. Icai. , “*Manuel de formation pour l ' Installation et la Maintenance de petits systèmes photovoltaïques.*”.
- [22] P. Houée. Une installation photovoltaïque en site isolé. pages 32–43.