

+

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaïa

Faculté de technologie

Département de génie électrique



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE
en vue de l'obtention du diplôme de master
Énergie renouvelable

Thème
**Etude et réalisation d'une installation photovoltaïque
reliée au réseau**

Réalisé par :

AcherchourtayebMme REKIOUA

Haroune sahibDjamila

Encadré par :

Saloua

Co encadreur

Melle BELAID

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Avant tout, on remercie le bon dieu, le tout puissant de nous avoir donné la force nécessaire pour mener à terme notre travail.

Ensuite, nous voulons exprimer notre reconnaissance a notre promoteur Mme REKIOUA pour son encadrement efficace, et Mr idirahmed et toute l'entreprise SARL Photo énergie, et Melle BELAID,

. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

On tient à remercier vivement les membres de nos familles ; nos amis(es) qui nous ont toujours encouragé et soutenue.

On remercie, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, de même ceux qui ont participé à notre formation, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Enfin, sans oublier on remercie les jurys qui nous feront l'honneur de juger ce travail.

Dédicaces

A ma très chère famille

Je ne saurais vous remercier pour tous vos sacrifices et votre
dévouement, merci d'être toujours là pour moi

A mes chers amis(es) et proche

Qui sont d'un soutien inestimable

Une pensée spéciale mes amis de G305 et B409

A mes très chères amies

A Lydia qui ne cesse de m'encourager

A tous ceux que j'aime

Tayeb

Jedédie ce travailla ma famille a tous mes proches

A mes amis

A tous ceux que j'aime

Sahib

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables	2
I.1.Introduction	2
I.2.Historique	2
I.3 Les énergies renouvelables :	3
I.4. Les énergies renouvelables en Algérie :	4
I.5.Énergie solaire photovoltaïque :	5
I.5.1. Les différents types de panneaux solaires photovoltaïques :	5
I.6.Générateur photovoltaïque	6
I.6.1. Cellules photovoltaïques :	6
I.6.2 Principe de fonctionnement d'une cellule Photovoltaïque :.....	6
I.6.3. Types et le rendement des cellules PV.....	7
I.6.4. Association des cellules :	7
I.6.5. Protections classiques d'un générateur photovoltaïque :	8
I.6.6. Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques :.....	8
I.7.Types de systèmes photovoltaïques :	8
I.7.1. Systèmes autonomes :	9
I.7.2 Système photovoltaïque hybride :	11
I.7.3 Les systèmes connectés au réseau :	11
Introduction	14
II.1 Objectif de l'étude :	14
II.2 Dimensionnement du système photovoltaïque:	14
II.2.1 Choix des méthodes de dimensionnement:	14
II.3.1. Les méthodes de dimensionnement des panneaux photovoltaïque	15
II.3.2. Les principaux éléments d'une installation photovoltaïque reliée au réseau.....	15
II.3.3.Dimensionnement des panneaux et caractéristiques.....	15
II.3.4. Dimensionnement de l'onduleur	19
II.3.5. Section des câbles :	23
II.4. Réalisation d'un schéma électrique de l'installation	29
II.5. Conclusion	30
Chapitre III : Installation du système photovoltaïque	31
III. 1. Introduction	31
III.2. Détails des équipements utilisés	31

III.2.1. Générateur	31
III.2.2. Onduleur	33
III.2.3. Armoire de brassage	35
III.3. Montage de l'installation.....	40
III.3.1. Montage de l'armoire de brassage.....	40
III.3.2. Installation photovoltaïque	41
III.3.3. Raccordement du système	42
Conclusion.....	43
Chapitre IV : Etude technico-économique.....	44
Introduction	44
IV.1. Les technologies à privilégier pour le photovoltaïque :	44
IV.2. Maintenance des installations [23] :	45
IV.3. Evaluation du coût de l'installation:	46
IV.4. Temps de retour de l'investissement :	47
IV.5. Puissance produite par l'installation :	47
V.6.Evaluation du coût du kWh :	47
Conclusion :	49
Conclusion générale :	51
Références Bibliographiques	52

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

Figure I.1 : Alexandre Edmond Becquerel	2
Figure I.2: Objectifs du programme algérien des Energies	5
FigureI.3: Le principe de la cellule photovoltaïque	7
Figure I.4: Associations en série des cellules	7
FigureI.5: Associations en parallèle des cellules PV	8
Figure I.6 : Système photovoltaïque sans stockage électrochimique	10
Figure I.7: Système photovoltaïque avec stockage électrochimique	11
FigureI.8: Système photovoltaïque connecté au réseau	12

Chapitre II :Dimensionnement du système étudié :

Figure II .1 : Abaque pour déterminer la section de câble	27
--	----

Figure. II .2 : Schéma électrique de la première installation réalisé	29
--	----

Figure II .3 : Schéma électrique de la deuxième installation réalisé	30
---	----

Chapitre III : réalisation d'un prototype (photovoltaïque)

Figure.III.1 plaque signalétique de panneau	31
--	----

Figure.III.2. Panneau photovoltaïque	32
---	----

Figure.III.3 : structure porteuse des modules photovoltaïque	32
---	----

Figure.III.4 : installation des panneaux sur la première structure (l'ordre des figures)	33
---	----

Figure.III.5 : installation des panneaux sur la deuxième structure	33
---	----

Figure.III.6 : Caractéristiques technique des onduleurs GOODWE	35
---	----

Figure.III.7 : onduleur 5000W	36
--------------------------------------	----

Figure.III.8 : onduleur 3000W	36
--------------------------------------	----

Figure.III.9 : structure pour l'onduleur	36
---	----

Figure.III.10 : montage de l'onduleur sur la Structure	36
---	----

Figure.III.11: les deux armoires utilisées	37
---	----

Figure.III.12 : armoire de brassage	37
--	----

Figure.III.13 : porte fusible	37
--------------------------------------	----

Figure.III.14 : disjoncteur	37
------------------------------------	----

Figure.III.15 : parafoudre	38
-----------------------------------	----

Figure.III.16 : borne de raccordement	38
--	----

Figure.III.17 : compteur électronique d'énergie	39
--	----

Figure.III.18 : smartmeter	39
-----------------------------------	----

Figure.III.19 : Connexion du smart meter	40
---	----

Figure.III.20 : vue d'ensemble du smart meter	40
--	----

Figure.III.21 : câblage des différents éléments de l'armoire	42
---	----

Figure.III.22 : armoire de brassage fini	42
---	----

Figure.III.23 : structure des panneaux photovoltaïque	42
--	----

Figure.III.24: toiture avec les panneaux photovoltaïques installés	43
---	----

Figure.III.25 : onduleur en plein fonctionnement	43
Chapitre IV : Etude technico-économique	
FigureIV.1 :Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage	50

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

Tableau II.1 : Irradiation moyennes mensuelles journalières et moyennes mensuelles des températures	15
Tableau II.2: Besoin journalier de l'école	16
Tableau II.3 : Fiche technique du module photovoltaïque	16
Tableau II.4 : Calcule de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier	17
Tableau II.5 : Calcule de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la puissance	17
Tableau II.6 : Les lois de calculs de la méthode de dimensionnement selon la surface	17
Tableau II.7 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque avec le montage des panneaux selon les dimensions du toit et des panneaux	17
Tableau II.8 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la surface	18
Tableau II.9 : Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la surface	18
Tableau II.10 : Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la longueur et la largeur des surfaces	18
Tableau II.11 : Tableau comparatif des résultats de différentes méthodes de dimensionnement	18
Tableau II.12: Dimensionnement de l'onduleur	18
Tableau II.13: Vérification des compatibilités	18
Tableau II.14 : Fiche technique de l'onduleur GOODWE MODEL :GW5000-NS	20
Tableau II.15 : Fiche technique de l'onduleur GOODWE MODEL :GW3000-NS	20
Tableau II.16 : Dimensionnement de chacun des onduleurs selon la méthode du besoin journalier	20
Tableau II.17 : Vérification des compatibilités par la méthode de dimensionnement selon le besoin	20
Tableau II.18 : Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon la puissance	21
Tableau II.19 : Vérification de la compatibilité pour la méthode de dimensionnement selon la puissance	22
Tableau II.20 : Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon la surface	22
Tableau II.21 : Vérification de la compatibilité pour la méthode de dimensionnement selon la surface	23
Tableau II.22 : Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier	24
Tableau II.23 : Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon la puissance	25

Tableau II.24 : Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon la surface	26
Tableau II.25 : Courant admissible d'un câble en cuivre (60°)	28
Tableau II.26 : Courant admissible d'un câble en cuivre (70°)	28
Tableau II.27 : Courant admissible d'un câble en cuivre (80°)	28
Chapitre III : Réalisation d'un prototype (photovoltaïque)	
Tableau.III.1 : Caractéristique technique	40
Chapitre IV: Etude technico-économique	
Tableau IV.1 : Tableau récapitulatif des prix des différents composants	49

Nomenclature

ΔV : la chute de tension tolérée

σ : sigma

ρ : la masse volumique

P_c : La puissance crête

B_j : besoin journalier

I_{mpp} : Le courant de puissance maximale

I : courant

I_{cc} : Le courant de court-circuit

J : le jours

K : facteur de correction

L : la longueur de câble

G_s : gisement solaire

l : la largeur

N_{pv} : nombre de panneaux photovoltaïque

$N_{pv,prov}$: nombre provisoire de panneau

N_L : nombre de panneaux selon la longueur

N_l : nombre de panneaux selon la largeur

$N_{pv,t}$: nombre de panneaux totale

N_{pvp} : nombre de panneaux en parallèle

N_e : nombre d'heure

N_{pvs} : nombre de panneaux en série

P_{pv} : la puissance d'un panneau photovoltaïque

$P_{t,nouv}$: nouvelle puissance totale

P_{nouv} : nouvelle puissance estimée

P_{ond} : la puissance de l'onduleur

P_{tot} : la puissance totale

$P_{annuelle}$: la production annuelle

S_{pv} : surface d'un panneau

S_{inst} : nouvelle surface a installer

Sc : surface de captage

S : la section

S1 : surface 1 (toiture1)

S2 :surfaace2 (toiture2)

Umpp :La tension de puissance maximale

Uco :La tension à vide

Vn : la tension nominale

V : tension

Vmax : la tension maximale

RSE : responsabilité sociétale des entreprises

Introduction générale

Les énergies renouvelables le plus utilisées sont les énergies solaires, éoliennes et hydrauliques. L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen du capteur relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité par effet photovoltaïque [1], dans notre travail nous allons nous baser sur la production d'électricité par effet photovoltaïque.

Dans cette thématique, s'intègre notre projet, qui s'intitule «Réalisation d'une installation photovoltaïque relié au réseau». C'est une application pour l'électrification en énergie électrique une école à partir du solaire photovoltaïque. Le stage a été effectué dans l'entreprise SARL Photo énergie, et l'application a été faite pour l'école sise à Rahouia dans la wilaya de Tiaret.

Dans notre cas on va s'intéresser à système photovoltaïque relié ou réseau (injection directe ou réseau) afin de fournir en permanence en énergie électrique du moins pendant la journée (vu que le système étudié ne comporte pas de batteries de stockage) de l'école. Auparavant, l'école dépendait que du réseau fourni par la SONALGAZ qui consommait beaucoup d'énergie. Notre objectif et celui des autorités concernées est de réduire une partie de la consommation de cette école et de la remplacer par l'énergie solaire. Nous avons réalisé un système photovoltaïque pour alimenter l'école en plus du réseau de la SONELGAZ déjà existant sur site pour assurer la continuité des services et soulager le soutirage sur le réseau et surtout réduire les frais. Pour mener à bien cette étude, un dimensionnement précis de toute l'installation est nécessaire. Puis une étude économique sera faite afin d'évaluer le prix de l'installation.

Ce mémoire sera divisé en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous avons présenté quelques notions de base sur les énergies renouvelables en général et particulièrement sur l'énergie solaire, ainsi que les différentes modes d'exploitation de celle-ci.
- Le deuxième chapitre sera consacré au dimensionnement du site avec différentes méthodes et comparaisons. Puis on choisira la méthode la plus adéquate à appliquer dans ce projet.
- Dans le troisième chapitre, le déroulement du stage effectué est présenté. Les différentes étapes suivis sur site, et les éléments utilisés, ainsi que l'application faite à une école pour l'électrification en énergie électrique à partir du solaire photovoltaïque sont présentés.
- Le chapitre quatre sera dédié à l'étude technico-économique de l'installation réalisée.

On terminera notre travail par une conclusion générale, dans laquelle, nous ferons une synthèse récapitulative, ainsi que des perspectives.

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

I.1.Introduction

Nous commençons dans ce premier chapitre par notions de base sur les énergies renouvelables en général et particulièrement sur l'énergie solaire, ainsi que les différentes modes d'exploitation de celle-ci.

I.2.Historique

Le système solaire contient la source d'énergie, de lumière et de chaleur la plus importante qui est le soleil, responsable notamment de la vie sur Terre. La croissance exponentielle de la consommation énergétique par l'homme au cours du 20^{ème} siècle, a clairement éveillé l'intérêt de l'utilisation de l'énergie solaire. L'expression " il n'y a rien de nouveau sous le soleil " [3] est particulièrement bien appropriée ici car, bien sûr l'homme a créé les panneaux solaires, mais depuis la sédentarisation de l'humanité, la lumière du soleil a toujours été exploitée. Au fil des millénaires, nous avons utilisé le soleil comme source de lumière et de chaleur. La dernière utilisation se résume en un mot : photovoltaïque qui est la combinaison de deux mots : "photo", mot d'origine grecque qui signifie la lumière ; et "voltaïque", provenant de "volt" qui représente l'unité de mesure pour quantifier le potentiel électrique, nommé en l'honneur du physicien italien Alessandro Volta, qui inventa la première pile électrique au 18^{ème} siècle [2][3].

- Quelques décennies après le travail d'Alessandro Volta sur les piles. Un autre scientifique du nom d'Alexandre Edmond Becquerel (Figure I.1) découvre pour la première fois en 1839 l'effet photovoltaïque. Ce scientifique français a constaté que cette pile constituée d'électrodes de platine et de cuivre oxydé plongeant dans une solution électrolytique acide est capable de fournir un courant dès l'instant où elle est éclairée.
- En 1877, William Grylls Adams et Richard Evans Day découvrent l'effet photovoltaïque du sélénium, Charles Fritts lui met au point le premier panneau photovoltaïque à base de cellules au sélénium. Il est surtout le premier à croire à l'énorme potentiel de l'énergie solaire. À cette époque, le niveau des connaissances scientifiques était limité pour expliquer le fonctionnement de ces dispositifs.
- Par la suite, Albert Einstein se pencha sur ce travail, en 1905, il publie un papier sur le potentiel de production d'électricité à partir de la lumière du soleil. Ce document explore l'effet photovoltaïque, ce qui lui a valu le prix Nobel en 1921. [2][3]



Figure.I.1: Alexandre Edmond Becquerel [3]

- En 1913, William Coblentz a posé le premier brevet pour une cellule solaire, mais sans jamais la faire fonctionner.
- A l'inverse de Robert Millikan qui en 1916 a réussi pour la première fois à produire de l'électricité avec cette cellule. Pendant les quarante années suivantes, personne ne fit beaucoup de progrès en énergie solaire car les cellules photovoltaïques avaient un trop mauvais rendement pour transformer la lumière du soleil en énergie. [2][3]
- Le premier panneau solaire a été construit en 1954 par les laboratoires Bell. Il a été appelé batterie solaire mais c'était juste un effet d'annonce car il était trop coûteux à produire.
- Ce sont les satellites qui ont réellement fait avancer l'énergie solaire dans les années 1960 lors de la course à l'espace par besoin d'une source d'énergie fiable. L'énergie solaire est parfaite car elle est constante pour les satellites en orbite. L'industrie spatiale a mis beaucoup de fonds dans le développement des panneaux solaires. C'était la première utilisation importante de la technologie solaire. [2][3]
- Grâce à l'espace, les panneaux solaires ont prouvé leur fiabilité. Le coût de production des cellules solaires a également diminué. L'énergie solaire a eu un second élan au cours de la crise de l'énergie dans les années 1970. Suite à l'inflation des prix du pétrole, les panneaux solaires photovoltaïques ont commencé à être utilisés pour la première fois dans les maisons. Depuis ils se sont développés lentement. Pendant longtemps, ils ont été considérés comme des sources d'énergie alternatives mais maintenant ils sont de nouveau en plein essor car on prévoit prochainement une pénurie de pétrole, du fait de notre préoccupation à l'égard du réchauffement planétaire et notamment des prix d'énergie qui n'ont jamais été aussi hauts [2][3] .

I.3 Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables (ou EnR) désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées. On parle généralement des énergies renouvelables par opposition aux énergies tirées des combustibles fossiles dont les stocks sont limités et non renouvelables à l'échelle du temps humain : charbon, pétrole, gaz naturel... Au contraire, les énergies renouvelables sont produites à partir de sources comme les rayons du soleil, ou le vent, qui sont théoriquement illimitées à l'échelle humaine.

Les énergies renouvelables sont également désignées par les termes « énergies vertes » ou « énergies propres ». Le faible impact environnemental de leur exploitation en fait un élément majeur des stratégies RSE des entreprises en matière de développement durable. [4]

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables, produites à partir de sources différentes.

1.Énergie solaire

Ce type d'énergie renouvelable est issu directement de la captation du rayonnement solaire. On utilise des capteurs spécifiques afin d'absorber l'énergie des rayons du soleil et de la rediffuser selon deux principaux modes de fonctionnement :

Solaire photovoltaïque (panneaux solaires photovoltaïques) : l'énergie solaire est captée en vue de la production d'électricité.

Solaire thermique (chauffe-eau solaire, chauffage, panneaux solaires thermiques) : la chaleur des rayons solaires est captée et rediffusée, et plus rarement sert à produire de l'électricité.

2.Énergie éolienne

Dans le cas de l'énergie éolienne, l'énergie cinétique du vent entraîne un générateur qui produit de l'électricité. Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables éoliennes : les éoliennes terrestres, les éoliennes off-shore, les éoliennes flottantes... Mais le principe reste globalement le même pour tous ces types d'énergies renouvelables.

3.Énergie hydraulique

L'énergie cinétique de l'eau (fleuves et rivières, barrages, courants marins, marées) actionne des turbines génératrices d'électricité. Les énergies marines font partie des énergies hydrauliques.

4.Biomasse

L'énergie est issue de la combustion de matériaux dont l'origine est biologique (ressources naturelles, cultures ou déchets organiques). On en distingue trois catégories principales :

- Le bois
- Le biogaz
- Les biocarburants

5.Géothermie

L'énergie est issue de la chaleur émise par la Terre et stockée dans le sous-sol. Selon la ressource et la technologie mise en œuvre, les calories sont exploitées directement ou converties en électricité.

I.4. Les énergies renouvelables en Algérie :

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie renouvelable devient de plus en plus une solution prometteuse avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations utilisant l'énergie solaire, surtout pour les applications sur des sites isolés [5]

L'Algérie s'engage donc avec une grande volonté sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions sérieuses et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile [6].

Ainsi, un programme très ambitieux est envisagé pour développer les énergies renouvelables durant la période 2015-2030, il consiste à installer une capacité totale de 22000 MW, et le solaire photovoltaïque sera la principale source de production d'énergie propre car il représenterait 62% de la capacité totale projetée à 2030 [6].

Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables

22 GW à l'horizon 2030

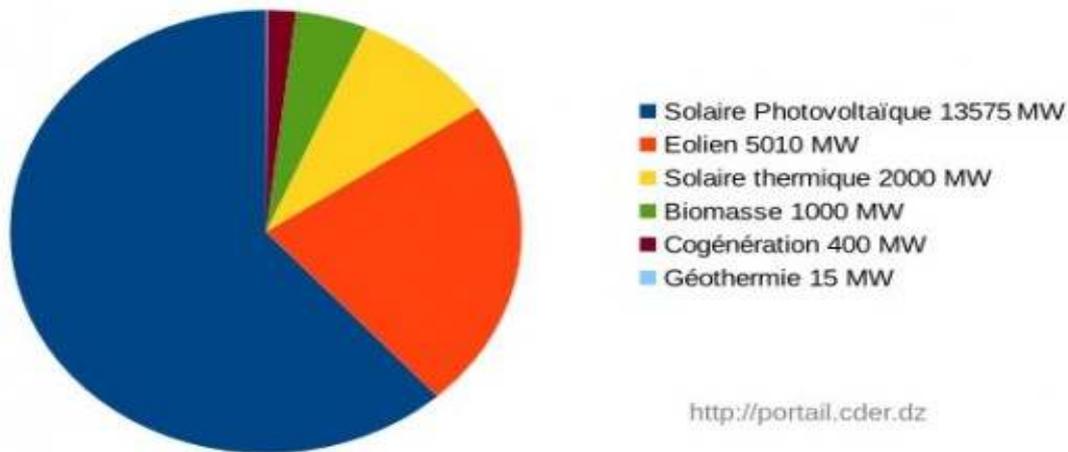


Figure I. 2: Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables

I.5.Énergie solaire photovoltaïque :

Le terme « photovoltaïque » peut désigner le phénomène physique (l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839) ou la technologie associée. L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire au moyen d'une cellule photovoltaïque. Schématiquement, un photon de lumière incidente permet sous certaines circonstances de mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique.

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées avec des matériaux semi-conducteurs principalement produits à partir de silicium. Ces matériaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière. Ceux-ci sont éjectés du matériau et ils circulent dans un circuit fermé, produisant ainsi de l'électricité. L'énergie solaire est, à l'échelle humaine, inépuisable et disponible en très grande quantité. Ce processus ne nécessite aucun cycle thermodynamique intermédiaire, c'est-à-dire que le rayonnement est directement converti en électricité sans utilisation intermédiaire de la chaleur (contrairement au solaire thermodynamique). [7]

I.5.1. Les différents types de panneaux solaires photovoltaïques :

On distingue actuellement 3 principaux types de panneaux photovoltaïques, qui sont différenciés par le type de cellules qui les composent. Toutes les cellules sont produites à base de silicium, mais les méthodes de fabrication différentes leur donnent des caractéristiques très différentes, notamment en matière de productivité [8] .

- **LES CELLULES AMORPHES :**

Les cellules amorphes sont produites à partir d'un "gaz de silicium", qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.

La cellule est grise très foncée. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires », car ce type de cellule est bon marché et la technologie est utilisable sur de nombreux

supports, notamment des supports souples. Le problème c'est que son rendement est 2 à 3 fois plus faibles que les cellules monocristallines [8].

- **LES CELLULES MONOCRISTALLINES**

Les cellules monocristallines sont issues d'un seul bloc de silicium fondu, elles sont donc très "pures". Elles offrent le meilleur rendement (entre 13 et 17%), mais sont aussi plus chères à la production, donc à la vente. Ces cellules sont en général octogonales et d'une couleur uniforme foncée (bleu marine ou gris).

Ces cellules sont les plus performantes, elles permettent donc de constituer des panneaux qui sont très performants : ceux qui produisent le plus d'énergie avec le moins de surface. [8]

- **LES CELLULES POLYCRISTALLINES**

Les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux. Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Elles sont en général de forme rectangulaire et son couleur bleu nuit avec des reflets [8].

I.6.Générateur photovoltaïque

I.6.1. Cellules photovoltaïques :

La cellule PV est le plus petit élément dans une installation photovoltaïque, elle est composée de matériaux semi de type P-N qui produit un courant électrique sous l'effet des photons lumineux. Les cellules sont raccordées entre elles pour former des modules photovoltaïques pouvant convertir en électricité environ 15% de l'énergie solaire reçue. Les cellules PV les plus répandues sont constituées des semi-conducteurs, principalement à base de silicium (SI), c'est-à-dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants [9]

I.6.2 Principe de fonctionnement d'une cellule Photovoltaïque :

Est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'[électrons](#) . Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément [semi-conducteur](#) comme le [silicium](#) , ils arrachent des électrons à ses [atomes](#) . Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner.

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour les y aider, on va associer deux types de silicium. La face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de [bore](#) qui comportent moins d'électrons. Cette double-face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique.

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur

sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée. Une couche antireflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface (Fig.I.3)

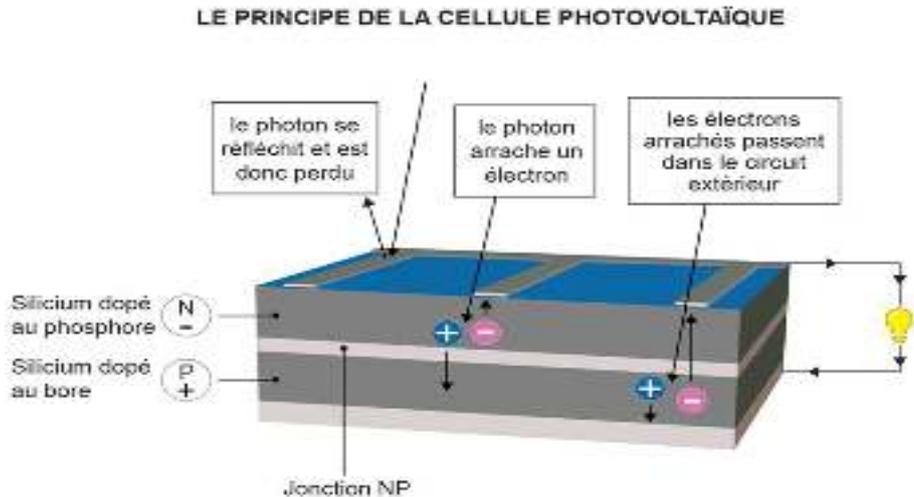


Figure I. 3 : Le principe de la cellule photovoltaïque [10]

I.6.3. Types et le rendement des cellules PV

. Le rendement des cellules PV :

Le rendement η , des cellules PV désignent le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée sous la cellule et la puissance lumineuse incidente.

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant circuit et la tension à circuit ouvert.

I.6.4. Association des cellules :

Les cellules produisent une très faible puissance électrique (1 à 3 W) avec une tension continue de moins de 1 V. Ces cellules sont disposées en série et en parallèle pour former un module ou un panneau permettant de produire une puissance plus élevée. Les panneaux sont finalement interconnectés entre eux (en série et/ou en parallèle) pour obtenir un champ photovoltaïque [11].

• Association série :

Pour augmenter la tension du générateur PV, en disposent d'un nombre (N_s) de cellules en série. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. [12]

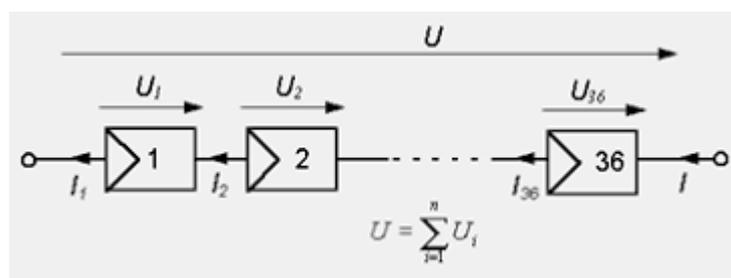


Figure.I.4 : Associations en série des cellules PV

• Association en parallèle :

Pour faire augmenter le courant du générateur PV, on dispose d'un nombre (N_p) de cellules en parallèle. Les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. [12]

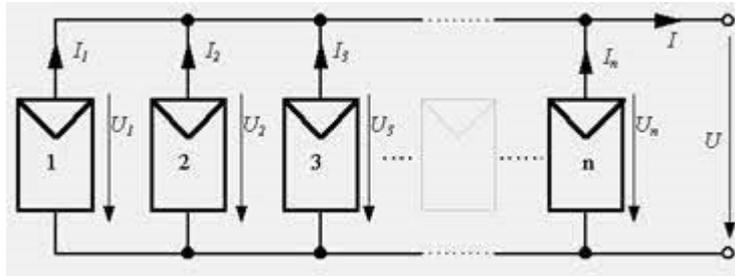


Figure.I.5: Associations en parallèle des cellules PV.

• Association en série- parallèle :

La connexion en série de plusieurs cellules forme une branche de cellules où on a une augmentation de tension pour même courant, un assemblage de plusieurs branches de cellules en parallèle forme un module où on a un accroissement du courant et une conservation de tension [13].

I.6.5. Protections classiques d'un générateur photovoltaïque :

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage. Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisés dans les installations actuelles [14] :

- la protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour).
- la protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds.

I.6.6. Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques :

• Avantages

- 1- Gratuité de cette ressource et énormité de son potentiel réparti sur le globe terrestre,
- 2- Propreté durant son utilisation,
- 3- Grande fiabilité,
- 4- Peu d'entretien,
- 5- Grande souplesse de production (variant de milliwatts aux mégawatts),
- 6- Utilisation autonome et décentralisée. [15]

• Inconvénients

- 1- Source diffuse du rayonnement solaire qui nécessite de grandes surfaces,
- 2- Technologie coûteuse,
- 3- Facteur de charge faible,
- 4- Stockage difficile,
- 5- Difficulté à recycler les composants du système,
- 6- Investissement élevé dépendant des décisions politiques [15]

I.7. Types de systèmes photovoltaïques :

On rencontre généralement deux types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes et les systèmes connectés à un réseau [16]. Les premiers sont indépendants du

système de distribution d'électricité, on les applique souvent dans les régions éloignées du réseau électrique.

I.7.1. Systèmes autonomes :

Une installation photovoltaïque (PV) est dite autonome – ou isolée – quand elle n'est pas reliée à un réseau de distribution. Le système PV autonome permet de fournir du courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau. Donc l'énergie produite est utilisée immédiatement (pompage, l'éclairage, etc...) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Pour ces applications il n'est pas toujours possible de mettre en place un réseau d'alimentation classique, soit à cause de contraintes techniques, soit pour des raisons économiques [16].

I.7.1.1 Système photovoltaïque sans stockage électrochimique :

Le système photovoltaïque fonctionne comme précédemment mais il est connecté directement sur l'installation électrique intérieure du site (Figure.I.6). L'électricité solaire est autoconsommée par les récepteurs en service. L'excédent éventuel d'électricité solaire produite 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. 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 fossile). [17]

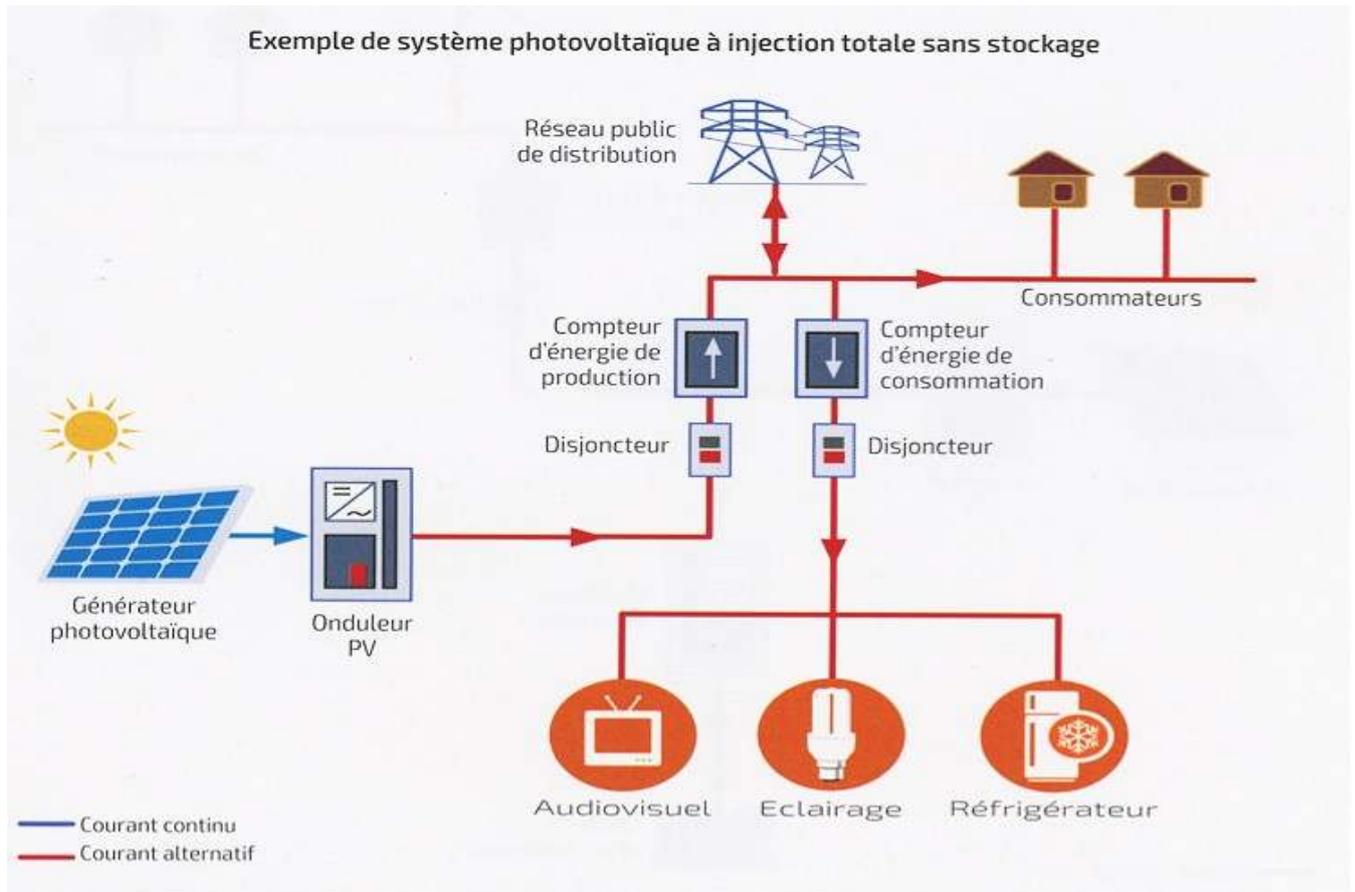


Figure. I.6: Système photovoltaïque sans stockage électrochimique

I.7.1.2. Système photovoltaïque avec stockage électrochimique :

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré à la centrale de production (**Figure I.7**). 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. [17]

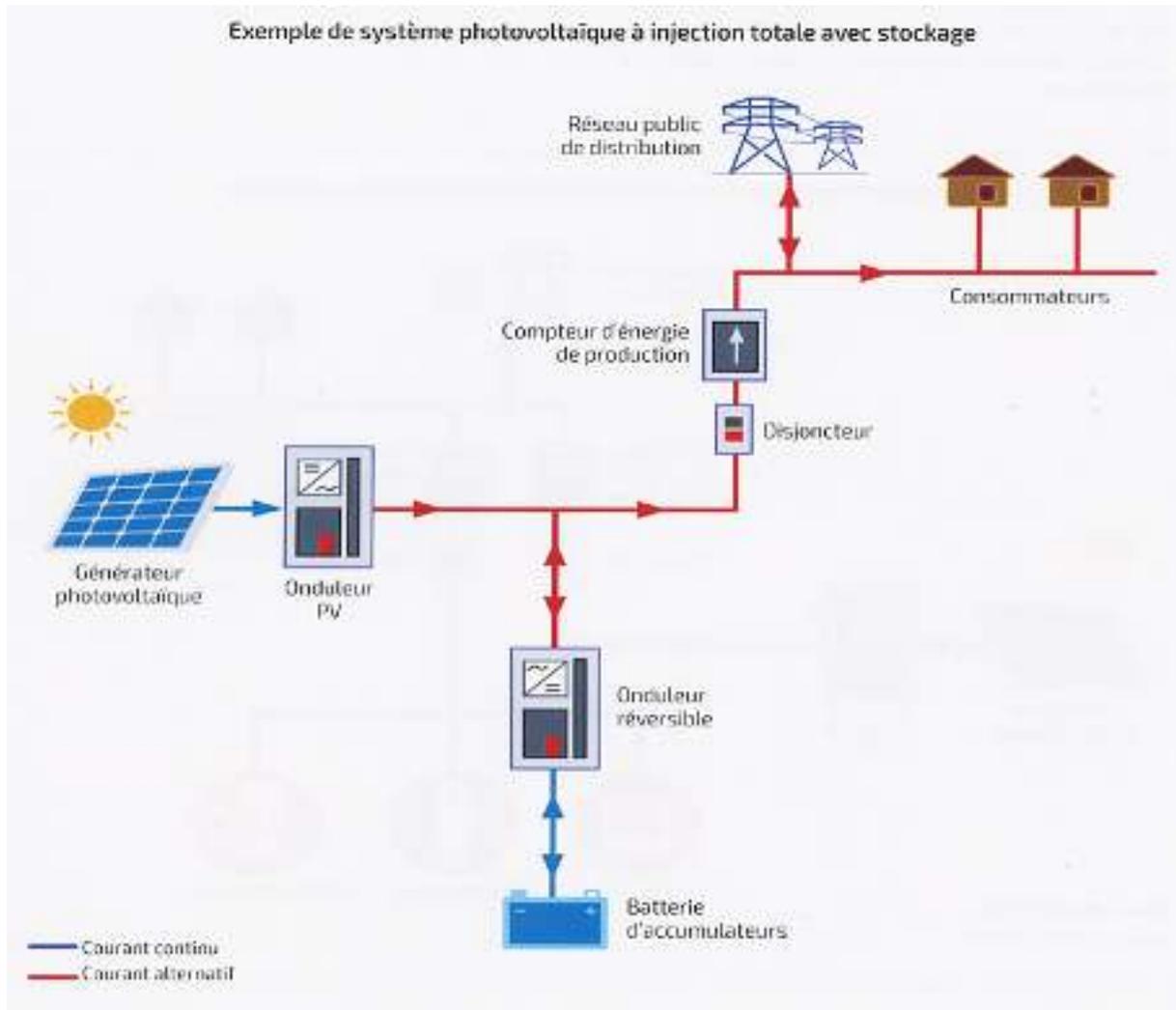


Figure.I.7 : système photovoltaïque avec stockage électrochimique

I.7.2 Système photovoltaïque hybride :

La combinaison de plusieurs sources d'énergie renouvelable permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien de point de vue technique qu'économique [18].

I.7.3 Les systèmes connectés au réseau :

Les systèmes connectés au réseau (**Figure.I.8**) ou « gridconnected » proposées dans cette étude, c'est-à-dire le système relié en parallèle au réseau électrique public, et conçu pour injecter dans le réseau l'énergie électrique produite par les champs Photovoltaïque . Dans Les systèmes reliés au réseau, les consommateurs standards de puissance sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur CC-CA) [19]. La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux en courant alternatif.

Dans les systèmes connectés au réseau, c'est l'onduleur qui remplace les batteries, dans ce cas c'est l'élément de base dans ces types des systèmes.[19]

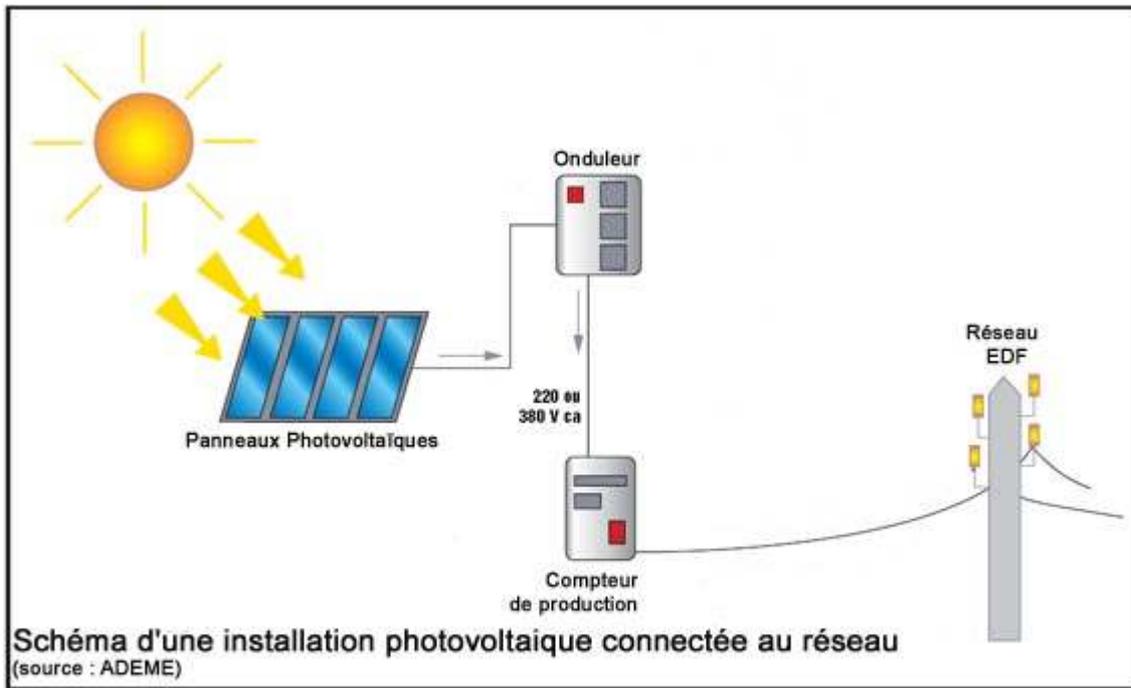


Figure.I.8 : Système photovoltaïque connecté au réseau

I.10.Convertisseurs :

Par convention, des systèmes de conversion photovoltaïques reliés au réseau se composent de convertisseur DC-DC et DC-AC. Le convertisseur DC-DC est contrôlé pour la poursuite du point de puissance maximum du panneau photovoltaïque et l'onduleur est contrôlé pour produire le courant de telle manière que le courant de système ait une faible déformation totale d'harmonique et il ait en phase avec la tension de réseau. Cette partie décrit certains convertisseurs d'électronique de puissance et les techniques de commande et de conversion (DC-DC)[20].

1.ConvertisseursDC/AC

Un convertisseur (DC/AC)(hacheur) est un convertisseur statique qui permet la transformation de l'énergie de type continue, en une énergie alternative. La forme de la tension de la sortie de l'onduleur doit être plus proche d'une sinusoïde (l'allure sinusoïdale), c'est que le taux d'harmonique soit très faible, et ça dépend essentiellement de la technique de commande utilisée.

Les convertisseurs (DC/AC) se distinguent principalement par la nature de l'étage continu et par le nombre de phases de la source alternative. Si l'étage continu est vu comme étant une source de courant, les convertisseurs continu-alternatif associés sont des onduleurs de courant. Si l'étage continu est vu comme étant une source de tension, les convertisseurs continu- alternatif associés sont des onduleurs de tension.

Le plus souvent, on utilise deux ou trois phases. Ces convertisseurs (DC/AC) sont

des convertisseurs directs, ils ne sont composés que d'interrupteurs semi-conducteurs, et la nature de la source continue impose la nature de la source alternative [21].

2. ConvertisseursDC/DC

Ce type de composant est utilisé pour transformer la tension des batteries en une tension DC différente pour alimenter un appareil spécial comme par exemple un chargeur pour Téléphone portable, une radio, un ordinateur portable... Deux types de convertisseurs DC/DC sont possibles : les convertisseurs élévateur pour augmenter la tension et les Convertisseurs abaisseur pour abaisser la tension.

Conclusion :

Dans ce chapitre, une introduction aux systèmes solaire photovoltaïque est donnée, les principales notions de ces systèmes liées à la technologie ont été aussi présentées. Cette partie, nous a permis de fixer le choix sur le système à étudier, un système de production connecté au réseau, consacré pour alimenter une école primaire. Le chapitre suivant sera consacré au dimensionnement du système photovoltaïque.

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

Introduction

Afin d'alimenter une installation solaire, il est important de faire un certain nombre des calculs et de suivre des étapes permettant de déterminer le matériel le mieux adopté permettant de satisfaire les besoins énergétiques de la charge avec un cout minimal.

II.1 Objectif de l'étude :

Dans notre cas on va s'intéresser au système photovoltaïque relié au réseau (injection directe au réseau). Intérêt est de fournir en permanence en énergie électrique du moins pendant la journée (vu que le système étudié ne comporte pas de batteries de stockage) de l'école sise à Rahouia dans la wilaya de Tiaret. Auparavant, l'école dépendait que du réseau fourni par la SONALGAZ qui consommait beaucoup d'énergie. Notre ambition et celle des autorités concernées est de réduire une partie de la consommation de cette école et de la remplacer par l'énergie solaire. Nous avons réalisé un système photovoltaïque pour alimenter l'école en plus du réseau de la SONELGAZ déjà existant sur site pour assurer la continuité des services et soulager le soutirage sur le réseau et surtout réduire les frais.

II.2 Dimensionnement du système photovoltaïque:

II.2.1 Choix des méthodes de dimensionnement:

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. La méthode de probabilité d'erreur dans la consommation, de la moyenne annuelle et celle du mois le plus défavorable. Notre travail se base sur la deuxième méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois appelé le mois le plus défavorable, ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays où la période d'hiver est rude.

II.2.1.1. Le gisement solaire :

Une bonne connaissance du gisement solaire est plus que nécessaire pour étudier un système photovoltaïque et toutes les applications de l'énergie solaire dans notre étude nous allons nous intéresser plus précisément au gisement solaire en Algérie.

II.2.1.2 Le gisement solaire en Algérie :

L'Algérie, compte tenu de sa position géographique, dispose de l'un des gisements solaire les plus élevés au monde", a précisé le CEREFÉ dans une publication diffusée sur sa page facebook, précisant que "la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut même atteindre 3900 heures notamment dans les hauts plateaux et le Sahara [22]

II.2.1.3 Situations du site du projet donné :

L'école dimensionnée se situe à TIARET au niveau de la commune de RAHOUIA : latitude 35.53N ; Longitude : 1.02 E ; Altitude 654m. L'irradiation moyenne mensuelle journalière sur un plan horizontal du site de TIARET et les **moyennes mensuelles** des températures sont présentées dans le tableau suivant

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Gj(kWh/j/m ²)	2.8	3.6	5.1	6.4	7.3	7.8	7.9	7.1	5.7	4.5	3.2	2.6
Températures Max journalière	11.2	12	15.7	19.2	23.6	29.6	34	33.4	27.9	23	15.2	12.1
Températures Min journalière	2	2.4	5	7.4	11.2	15.8	19.5	19.6	15.9	12	6.3	3.5

Tableau II.1 : Irradiation moyennes mensuelles journalières et moyennes mensuelles des températures

II .3. Dimensionnement solaire photovoltaïque pour le site

L'installation photovoltaïque doit répondre au besoin de l'école en énergie durant la journée. La réalisation de cette installation exige une méthode de calcul et de dimensionnement. Dans cette partie, nous allons nous intéresser à la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire à travers une chaîne de conversion composée de différents éléments. Ainsi, nous allons présenter les différentes méthodes de dimensionnement de l'installation photovoltaïque.

II .3.1. Les méthodes de dimensionnement des panneaux photovoltaïque

Il existe plusieurs méthodes, les plus appliquées sont :

- Méthode du besoin journalier
- Méthode des puissances
- Méthode des surfaces

II .3.2. Les principaux éléments d'une installation photovoltaïque reliée au réseau

- Un générateur photovoltaïque
- Un système de régulation
- Un convertisseur
- Des câbles

II .3.3. Dimensionnement des panneaux et caractéristiques

Avant d'entamer le calcul de dimensionnement, il est indispensable d'établir le bilan énergétique. Afin de déterminer la consommation journalière de l'école. Le tableau ci-dessous contient les différents appareils utilisés, ainsi leurs puissances unitaires et leurs durées d'utilisations

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

	Appareils	Nombre	Pu(W)	Durée(h/j)	P _{ch} (W/j)	E(Wh/j)
Surface1 Restaurant	Lampe (12 W)	6	12	8	72	576
	Lampe (18W)	12	18	6	216	1296
	Lampe (20W)	20	20	6	400	2400
	Mixeur	1	600	0.5	600	300
	Réfrigérateur	1	1500	10	1400	15000
	Four	1	400	0.5	400	200
	Chargeur	5	12	0.5	60	30
Surface2 Le reste de l'école	Lampe (18W)	100	18	7	1800	12600
	PC bureautique et accessoires	1	500	3	500	1500
	Téléphone	1	5	8	5	40
	Téléviseur	1	50	4	50	200
	Somme				5503(W/j)	34142(Wh/j)

Tableau II .2: Besoin journalier de l'école

La consommation de l'école est de 34142Wh/jour. Le tableau suivant montre les caractéristiques du module photovoltaïque qu'on a choisi pour établir ces dimensionnements.

La puissance crête d'un module :P_c= 340Wc
La tension à vide :U_{co}=36.6V
Le courant de puissance maximale : I_{mpp}=10.59A
La tension de puissance maximale :U_{mpp}=32.1V
Le courant de court-circuit :I_{cc}=13.08A

Tableau II .3 : Fiche technique du module photovoltaïque

II .3.3.1. Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier

Le tableau ci-dessous montre les lois de calculs de la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

Avec:

Ne : nombre d'heure équivalente

Pc : puissance crête du panneau

Bj : besoin journalier

Gs : la valeur de l'ensoleillement moyen mensuelle

Ppv/j : puissance journalière du panneau

1000 : la valeur de l'ensoleillement dans les conditions STC(W/m²)

Npv : nombre de panneau

Spv : surface du panneau

S_{pv.u}:surface du panneau unitaire

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

Besoin journalier	Energie photovoltaïque journalière	Nombre d'heures d'équivalentes	Puissance réelle	Nombre de panneaux	Nouvelle puissance estimée	Surface de captage
B_j $= \sum_1^n P_{cjt} * \Delta t$	$P_{pv} / j = P_c * N_e$	$N_e = \frac{G_s}{1000}$	$P_{pv/jr\acute{e}elle} = P_{pv/j} * (1 - 0.2)$	$N_{pv} = \frac{B_j}{P_{pv/jr\acute{e}el}}$	$P_{nouv} = B_j * N_{pv,nouv}$	$S_c = N_{pv} * S_{pv, u}$
34142	1812.2Wh/j	5.33 (h/j)	1449.6 W	23.55 ≈ 24 panneaux	8160W	46.57m ²

Tableau II.4 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

II.3.3.2. Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon la puissance

Le tableau ci-dessous montre les lois de calculs de la méthode de dimensionnement selon la puissance.

Avec :

η : Rendement du panneau

P_{est} : puissance estimée

Puissance crête estimée	Nombre provisoire de panneaux	Nouvelle puissance estimée
$P = E_s * S_{pv} * \eta$	$N_{pv,prov} = \frac{P_{est}}{P_c}$	$P_{nouv} = N_{pv,prov} * P_c$
6864 Wc	19.61 ≈ 20 panneaux	6800 (W)

Tableau II.5 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la puissance

II.3.3.3. Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon la surface

Les tableaux ci-dessous illustrent les lois de calculs de la méthode de dimensionnement selon la surface

Avec :

S_{toit} surface du la toiture

N_{pv}	$P_{nouv}(Wc)$
$N_{pv} = S_{toit} / S_{pv,u}$	$P_{nouv} = N_{pv,prov} * P_c$

Tableau II.6 : Les lois de calculs de la méthode de dimensionnement selon la surface
-Montage des panneaux selon les dimensions du toit et des panneaux

	Selon la longueur		Selon la largeur		
N_{L_1}	N_{L_2}	$N_{p,max}$	N_{l1}	N_{l_2}	N_{p,max_2}
$N_{L_1} = \frac{longtoit}{longdupann}$	$N_{L_2} = \frac{largdutoit}{largdupann}$	$N_{pv,max} = N_{l_1} * N_{l_2}$	$N_{l_1} = \frac{longueurdutoit}{largeurdupann}$	$N_{l_2} = \frac{largeurdutoit}{longueurdespan}$	$P_{t,nouv} = N_{pv,nou} * P_c$

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

Tableau II.7: Calcul de la taille du générateur photovoltaïque avec le montage des panneaux selon les dimensions du toit et des panneaux

-La vraie surface qui sera occupée est calculée selon les trois rapportées sur le tableau ci-dessous :

$N_{pv,nouv}$	Nouvelle puissance totale	Nouvelle surface a installé
$N_{p,max_1} * N_{p,max_2}$	$P_{t,nouv} = N_{pv,nouv} * P_c$	$S_{inst} = N_{pv,nouv} * S_{pv,u}$

Tableau II.8 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la surface

Cahier des charges

Soit la surface de la toiture de l'école qui est de 98 m² constitués de deux surfaces différentes, la première surface égale à $S_1=56m^2$ (L=8 m;l=7m) (figure III.4), la deuxième est de 42m² (L=6 m ;l=7m) (figure III.5) et le panneau choisi est de 340Wc (Blue Carbon Tech BCT340-24) de dimension (1.956m de longueur et de 0.992m selon la largeur). Les résultats du troisième type des méthodes de dimensionnement sont réunis dans les tableaux ci-dessous

$S_1=56m^2$		$S_2=42m^2$	
N_{pv}	$P_{nouv}(Wc)$	N_{pv}	$P_{nouv}(Wc)$
28	9520	21	7140

Tableau II.9 : Récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la surface

	Selon la longueur					Selon la largeur				
$S_1 = 56 m^2$	N_{L_1}	$N_{L_1,corrigé}$	N_{L_2}	$N_{L_2,corrigé}$	$N_{pann,Max}$	N_{l_1}	$N_{l_1,corrigé}$	N_{l_2}	$N_{l_2,corrigé}$	$N_{pan,max}$
	4.08	4	7.05	7	28	8.06	8	3.57	3	24
$S_2 = 42 m^2$	N_{L_1}	$N_{L_1,corrigé}$	N_{L_2}	$N_{L_2,corrigé}$	$N_{pann,Max}$	N_{l_1}	$N_{l_1,corrigé}$	N_{l_2}	$N_{l_2,corrigé}$	$N_{pan,Max}$
	3.06	3	7.05	7	21	6.04	6	3.57	3	18

Tableau II.10 : Récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la longueur et la largeur des surfaces

Commentaires et discussions :

Dans le tableau II.9 les résultats montrent que l'on peut placer 28 panneaux sur la première surface et 21 panneaux sur la deuxième surface. Soit 49 panneaux sur les deux toitures, qui pourront assurer une puissance de 16660Wc.

Et dans le tableau II.10 pour la première surface on prend le nombre de panneaux selon le sens de la largeur qui est de 24 panneaux, et on prend le même sens concernant la seconde surface qui est de 18 panneaux, ce qui fait un nombre total de panneaux qui est égal à 24 + 18 = 42 panneaux. Nous aurons par conséquent un total de puissance crête de 42*340=14280Wc.

Dimensionnement selon le besoin journalier	Dimensionnement selon la puissance	Dimensionnement selon la surface
--	------------------------------------	----------------------------------

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

24	20	42
----	----	----

Les résultats des méthodes de dimensionnement sont réunis dans le tableau suivant :

Tableau II .11 : tableau comparatif des résultats de différentes méthodes de dimensionnement

II.3.4. Dimensionnement de l'onduleur

Le dimensionnement des onduleurs va imposer la façon de câbler les modules entre eux à partir des trois critères suivants :

- La compatibilité en puissance
- La compatibilité en tension
- La compatibilité en courant

-Le tableau ci-dessous illustre les lois de calculs des paramètres de compatibilité :

$N_{pv, ch}$ nombre de panneau charge

$P_{ond, min}$: puissance de l'onduleur minimale

$P_{ond, max}$: puissance de l'onduleur maximale

$N_{pv, p}$: nombre de panneau en parallèle

$N_{pv, s}$: nombre de panneau en série

$N_{pvs, min}$: nombre de panneau en série minimal

$N_{pvs, max}$: nombre de panneau en série maximal

$U_{mpp, min, ond}$: Tension minimale de l'onduleur

$U_{mpp, max, ond}$: Tension maximale de l'onduleur

20%des pertes dans les installations électrique

Compatibilité en puissance		Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
$P_{ond, min}$	$P_{ond, max}$	$N_{pvs, min}$	$N_{pvs, max}$	$N_{pv, p}$
$P_{ond, min} = 0.9 * P_p$ $v, nouv$	$P_{ond, max} = 0.95 * P_p$ $v, nouv$	$N_{pvs, min} = ENT \left(\frac{U_{mpp, min, ond}}{U_{mpp, pv} * 0.85} \right)$	$N_{pvs, max} = ENT \left(\frac{U_{mpp, max, ond}}{U_{mpp, pv} * 1.25} \right)$	$N_{pv, p} = ENT \left(\frac{I_{max-ond}}{I_{mpp} * 1.25} \right)$

Tableau II .12 : Dimensionnement de l'onduleur

-Avec les lois du tableau suivant, on calcule la puissance courant et la tension pour vérifier les comptabilités de ces derniers avec celle de l'onduleur

I_{mpp} courantde la puissance maximal

Vérifier la compatibilité en puissance	Vérifier la compatibilité en tension	Vérifier la compatibilité en courant
$P_{calculé} = N_{pvs} * N_{pv, p} * P_c$	$I_{calculé} = I_{mpp} * N_{pv, p}$	$V_{max} = N_{pvs} * U_{co}$

Tableau II .13: Verification des compatibilités

- **Dimensionnement de l'onduleur pour les trois méthodes**

On a choisi deux onduleurs de la marque GOODWE model :GW5000D-NS et GW3000D-NS, avec leurs fiches techniques qui indiquent leurs caractéristiques :

Puissance d'entrée CC max.(W)	65000
Tension d'entrée max.cc(V)	600
Plage MPPT(V)	80~550
Tension de démarrage (V)	80
Min. Tension d'alimentation (V)	120
Tension d'entrée max.(V)	360
Courant d'entrée max.(A)	11/11
Courant de court-circuit max. (A)	13.8/13.8
Nombre de trackers MPP	2
Nombre de chaînes d'entrée par tracker	1

Tableau II.14 : Fiche technique de l'onduleur GOODWE MODEL :GW5000-NS

Puissance d'entrée CC max.(W)	3900
Tension d'entrée max.cc(V)	600
Plage MPPT(V)	80~550
Tension de démarrage (V)	80
Min. Tension d'alimentation (V)	120
Tension d'entrée max.(V)	360
Courant d'entrée max.(A)	11/11
Courant de court-circuit max. (A)	13.8/13.8
Nombre de trackers MPP	2
Nombre de chaînes d'entrée par tracker	1

Tableau II.15 : Fiche technique de l'onduleur GOODWE MODEL :GW3000-NS

II.3.4.1. La méthode de dimensionnement selon le besoin

L'installation étudiée est composée de 24 panneaux d'une puissance de 340Wc. Donc la puissance crête totale est de 8160Wc

Compatibilité en puissance		Compatibilité extension		Compatibilité en courant
$P_{ond,min}(kW)$	$P_{ond,max}(kW)$	$N_{pvs, min}$	$N_{pvs, max}$	$N_{pv, p}$
7.344	7.752	2	13	1

Tableau II.16 : Dimensionnement de chacun des onduleurs selon la méthode du besoin journalier

Vérifier la compatibilité en puissance	Vérifier la compatibilité en courant	Vérifier la compatibilité en tension
--	--------------------------------------	--------------------------------------

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

$P_{\text{calculé}}(\text{kW})$	$I_{\text{calculé}} (\text{A})$	$V_{\text{max}} (\text{V})$
4.42	11	475.8

Tableau II.17 : vérification des compatibilités par la méthode de dimensionnement selon le besoin

-
- **Vérifier la comparabilité en puissance**
-

$$P_{\text{calculé}} < P_{\text{max de l'onduleur}}$$

$$4.42 \text{ kW} < 6500 \text{ kW}$$

Donc la compatibilité en puissance est vérifiée

-
- **Vérifier la comparabilité en tension**
-

La tension max du photovoltaïque st $V_{\text{max}} 475.8 \text{ V}$

Donc les modules en série sont compatibles avec la tension

-
- **Vérifier la comparabilité en courant**
-

$I_{\text{calculé}}$ égale à I_{max} de l'onduleur

$$11 \text{ A } (I_{\text{calculé}}) = 11 \text{ A } (\text{Courant d'entrée max})$$

Dans ce cas la compatibilité en courant est vérifiée

On remarque que pour le dimensionnement des onduleurs selon la méthode du besoin journalier, les compatibilités en tension, en courant et en puissance sont vérifiées

Nombre de panneaux restant :

$$N_{\text{pret, b}} = N_{\text{pvtot}} - N_{\text{pvbr}}$$

$$N_{\text{pret, b}} = 24 - 14 = 10 \text{ panneaux}$$

La puissance totale :

$$P_{\text{tot}} = N_{\text{pvrest}} * P_c$$

$$P_{\text{tot}} = 10 * 340$$

$$P_{\text{tot}} = 3400 \text{ Wc}$$

II.3.4.2. La méthode de dimensionnement selon la puissance

L'installation étudiée est composée de 20 panneaux (BCT340-24) d'une puissance crête de 340Wc. Donc la puissance crête totale est de 6800Wc.

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

Compatibilité en puissance		Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
$P_{ond, min}$	$P_{ond, max}$	$N_{pv, min}$	$N_{pv, max}$	$N_{pv, p}$
6.12kW	5.78kW	2	13	1

Tableau II.18 : Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon la puissance

Vérifier la compatibilité en puissance	Vérifier la compatibilité en tension	Vérifier la compatibilité en courant
$P_{calculé}(kW)$	$I_{calculé}(A)$	$V_{max}(V)$
4.420	11	475.8

Tableau II.19: Vérification de la compatibilité pour la méthode de dimensionnement selon la puissance

- **Vérifier la compatibilité en puissance**

$$P_{calculé} < P_{max\ onduleur}$$

$$4.42kW < 8kW \text{ (pour les onduleurs)}$$

Donc la compatibilité en puissance est vérifiée

- **Vérifier la compatibilité en tension**

La tension max de photovoltaïque est $V_{max} = 475.8$

Donc les 13 modules en série est compatible avec la tension maximale admissible de l'onduleur.

- **Vérifier la compatibilité en courant**

$$11A = I_{max, ond} = 11A$$

La compatibilité en courant vérifier

On remarque que pour le dimensionnement des onduleurs selon la puissance, les compatibilités en tension, en courant et en puissance sont vérifiées

II.3.4.3. La méthode de dimensionnement selon la surface

L'installation étudiée est composée de 42panneaux (BCT340-24) d'une puissance crête de 340Wc. Donc la puissance crête totale est de 14280Wc.

Compatibilité en puissance		Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
$P_{ond, min}$	$P_{ond, max}$	$N_{pv, min}$	$N_{pv, max}$	$N_{pv, p}$
12852kW	13566kW	3	13	1

Tableau II.20 : Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon la surface

Vérifier la compatibilité en puissance	Vérifier la compatibilité en tension	Vérifier la compatibilité en courant
$P_{\text{calculé}}(\text{kW})$	$I_{\text{calculé}}(\text{A})$	$V_{\text{max}}(\text{V})$
4.420	11	475.8

Tableau II.21 : Vérification de la compatibilité pour la méthode de dimensionnement selon la surface

- **Vérifier la compatibilité en puissance**

$$P_{\text{calculé}} < P_{\text{max}} \text{ onduleur}$$

$$4.42\text{kW} < 8\text{kW} \text{ (pour les onduleurs)}$$

Donc la compatibilité en puissance est vérifiée

- **Vérifier la compatibilité en tension**

La tension max de photovoltaïque est $V_{\text{max}} = 475.8$

Donc les 13 modules en série est compatible avec la tension maximale admissible de l'onduleur.

- **Vérifier la compatibilité en**

$$11\text{A} = I_{\text{max, ond}} = 11\text{A}$$

La compatibilité en courant vérifier

On remarque que pour le dimensionnement des onduleurs selon la surface, les compatibilités en tension, en courant et en puissance sont vérifiées.

II.3.5. Section des câbles :

Dans ce qui suit, on calcule de la section des câbles est établie pour chaque méthode de dimensionnement proposée

II.3.5.1. La méthode de dimensionnement selon le besoin

Avec :

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

ρ : résistivité du matériau conducteur en service normal

L : longueur de la canalisation (m)

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

S : section des conducteurs (mm²)

Cos (δ) : facteur de puissance

I_b : courant maximal d'emploi

Relations à utiliser	Calculs			
Section des câbles coté DC				
Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L ₁ =8m ; L ₂ = 12 m)				
$I = 1.25 \times I_{cc}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$ $= \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times L \times 16.35}{0.02 \times 32.1}$	Section calculée (mm ²)	Section normalisée (mm ²)	Courant I (A)	Chute de tension (%)
	S ₁ =3.259 S ₂ = 4.89	S ₁ =4 S ₂ =6	I=1.25×13.08 I=16.35	2%
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le coté DC (L=1m)				
$I = I_{ppm} \times N_{pv} I = 24 \times 10.59$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$ $= \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 1 \times 254.16}{0.02 \times 32.1}$	S= 6.33	10	I=254.16A	2%
Section des câbles entre le coté DC et l'onduleur (L=1m)				
$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$ $= \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 1 \times 254.16}{0.02 \times 32.1}$ $I = I_{ppm} \times N_{pv} I = 24 \times 10.59$	S= 6.33	10	I=254.16A	2%
Section des câbles coté AC				
Calcul du courant et de la section coté AC				
$I = \frac{P_{charge}}{3 \times V}$ $S = B \times \rho_1 \times I_B \times \frac{L}{\epsilon \times V_n} \times \cos(\delta)$	$S = 2 \times 0.0225 \times 11.82 \times \frac{8}{0.02 \times 230} \times \cos(36.68)$ $S = 0.7418$	1.5	11.82	0.2

Tableau II.22 : Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

II.3.5.2. La méthode de dimensionnement selon la puissance

Relations à utiliser	Calculs			
Section des câbles côté DC				
Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement ($L_1=8m$; $L_2=12 m$)				
$I = 1.25 \times I_{cc}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times L \times 16.35}{0.02 \times 32.1}$	Section calculée (mm ²)	Section normalisée (mm ²)	Courant I(A)	Chute de tension (%)
	S ₁ =3.259 S ₂ = 4.89	S ₁ =4 S ₂ =6	I=1.25×13.08 I=16.35	2%
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le coté DC (L=1m)				
$I = I_{ppm} \times N_{pv} = 20 \times 10.59$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 1 \times 211.80}{0.02 \times 32.1}$	S= 5.28	6	I=211.80	2%
Section des câbles entre le coté DC et l'onduleur (L=1m)				
$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 1 \times 211.80}{0.02 \times 32.1}$ $I = I_{ppm} \times N_{pv} = 20 \times 10.59$	S= 5.28	6	I=211.80	2%
Section des câbles coté AC				
Calcul du courant et de la section coté AC				
$I = \frac{P_{charge}}{3 \times V} = \frac{6800}{3 \times 230}$ $S = B \times \rho_1 \times I_B \times \frac{L}{\epsilon \times V_n} \times \cos(\delta)$	$S = 2 \times 0.0225 \times 11.82 \times \frac{8}{0.02 \times 230} \times \cos(36.68)$ $S = 0.618$	1.5	9.85	2%

Tableau II.23 : Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon la puissance

II.3.5.3. La méthode de dimensionnement selon la surface

Relations à utiliser	Calculs			
Section des câbles coté DC				
Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L ₁ =8m ; L ₂ = 12m)				
$I = 1.25 \times I_{cc}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V} = \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times L \times 16.35}{0.02 \times 32.1}$	Section calculée (mm ²)	Section normalisée (mm ²)	Courant I(A)	Chute de tension (%)
	S ₁ =3.259 S ₂ = 4.89	S ₁ =4 S ₂ =6	I=1.25×13.0 8 I=16.35	2%
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le coté DC (L=1m)				
$I = I_{ppm} \times N_{pv} I = 42 \times 10.59$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$ $= \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 1 \times 254.16}{0.02 \times 32.1}$	S= 1.108	1.5	I=444.78	2%
Section des câbles entre le coté DC et l'onduleur (L=1m)				
$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$ $= \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 1 \times 444.78}{0.02 \times 32.1}$ $I = I_{ppm} \times N_{pv} I = 42 \times 10.59$	S= 1.108	1.5	I=444.78	2%
Section des câbles coté AC				
Calcul du courant et de la section coté AC				
$I = \frac{P_{charge}}{3 \times V} I = \frac{6800}{3 \times 230}$ $S = B \times \rho_1 \times I_B \times \frac{L}{\epsilon \times V_n} \times \cos(\delta)$	$S = 2 \times 0.0225 \times 11.82$ \times $\frac{8}{0.02 \times 230} \times \cos(36.68)$ $= 1.29$	1.5	20.70	2%

Tableau II.24 : Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon la surface

NB :

L₁ : la longueur de câble pour la première installation

L₂ : la longueur de câble pour la deuxième installation

II.3.5.4. Dimensionnement avec une méthode rapide

Comme on peut aussi déterminer rapidement avec un abaque que nous allons voir ci-dessous la section de câble selon deux variables : le courant passant maximum (A) et la longueur de câble (mètres).

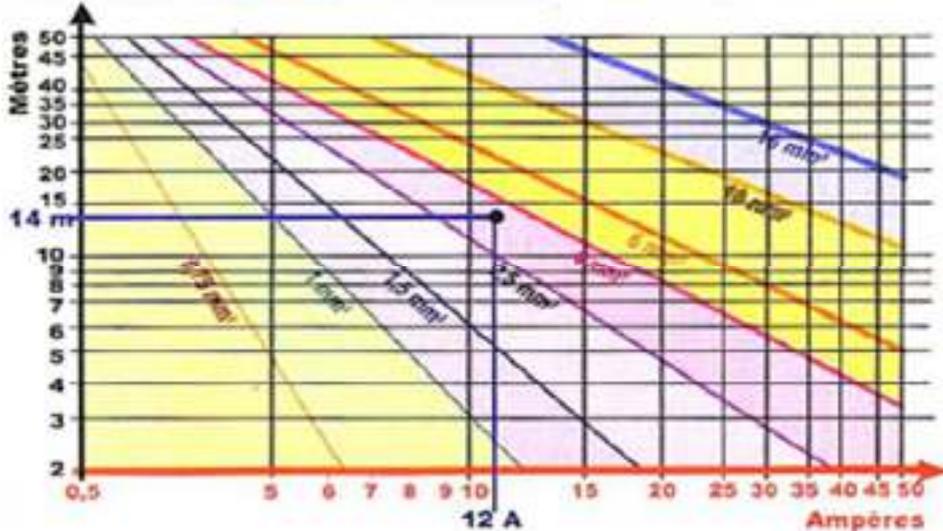


Figure. II.1 : Abaque pour déterminer la section de câble

II.3.5.5. Conditions de fonctionnement des câbles photovoltaïque

Les câbles de la partie du champ photovoltaïque doivent respecter plusieurs contraintes réglementaires récapitulées dans le guide de l'UTE C32-502. Ce sont des câbles spécifiquement soumis à des conditions de fonctionnement particulières ils doivent être conçus pour fonctionner avec des températures ambiantes comprises entre -35°C et $+70^{\circ}\text{C}$. ainsi, il est prévu que :

- La température maximale admissible sur l'âme en régime permanent est de 90°C .
- La température maximale admissible sur l'âme en régime surcharge est de 120°C .

II 3.5.6. Courant admissible des câbles IZ

Le premier paramètre à prendre en compte pour le calcul de la section des câbles est le courant admissible. Le courant admissible des câbles dépend notamment du mode de pose et la température du conducteur.

Le courant admissible d'un câble est la valeur maximale de l'intensité du courant pouvant parcourir en permanence ce conducteur sans que sa température soit supérieure à sa température spécifique.

Ci-dessous le courant admissible d'un câble en cuivre -température ambiante 60°C – température maximale à l'âme 120°C

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

Section (mm ²)	Courant admissible I _z (A)		
	Un seul câble a l'air libre	Un seul câble sur paroi	Deux câbles adjacents sur paroi
1.5	29	28	24
2.5	40	38	32
4	54	51	43
6	69	66	56
10	96	92	78
16	130	123	105
25	173	164	139
35	214	203	173
50	259	249	210
70	330	313	268
95	402	379	325
120	465	440	377
150	536	504	434
185	611	575	496
240	720	676	584

Tableau II .25 : Courant admissible d'un câble en cuivre (60)

Le courant admissible d'un câble en cuivre -température ambiante 70°C –température maximale à l'âme 120°C

Section (mm ²)	Courant admissible I _z (A)		
	Un seul câble a l'air libre	Un seul câble sur paroi	Deux câbles adjacents sur paroi
1.5	27	26	22
2.5	37	35	30
4	50	47	40
6	64	61	50
10	89	85	72
16	120	114	97
25	160	152	129
35	198	188	160
50	240	228	194
70	306	290	248
95	372	351	301
120	431	407	349
150	496	467	402
185	566	532	459
240	667	626	541

Tableau II .26 : courant admissible d'un câble en cuivre (70)

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

Le courant admissible d'un câble en cuivre-température ambiante 80°C –température maximale à l'âme 120°C

Section (mm ²)	Courant admissible I _z (A)		
	Un seul câble a l'air libre	Un seul câble sur paroi	Deux câbles adjacents sur paroi
1.5	25	24	20
2.5	34	32	27
4	46	43	36
6	58	56	47
10	81	77	66
16	109	104	88
25	146	138	117
35	180	171	146
50	218	207	177
70	278	264	226
95	339	319	274
120	392	370	318
150	451	425	366
185	515	484	418
240	607	570	492

Tableau II .27 : Courant admissible d'un câble en cuivre (80)

Afin d'éviter tout phénomène de surchauffe des câbles, il convient de choisir des sections présentant un courant admissible (I_z) supérieur au courant maximal d'emploi (I_{max}) du circuit électrique.

II .4. Réalisation d'un schéma électrique de l'installation

Ci-dessous on a représenté les schémas électriques de l'installation fait sur notre site

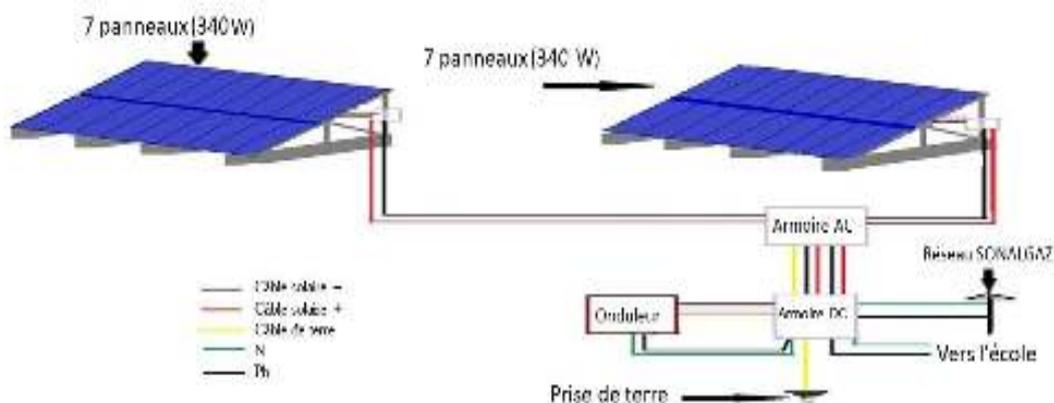


Figure. II .2 : Schéma électrique de la première installation réalisé

Chapitre II : Dimensionnement du système étudié

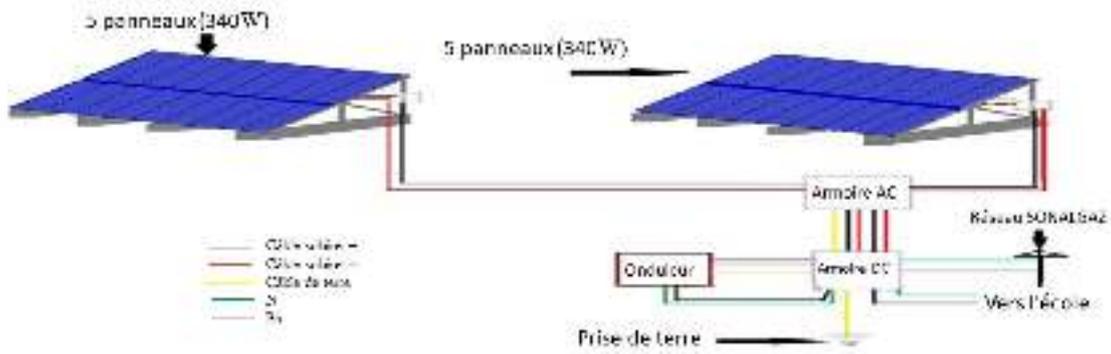


Figure. II.3 : Schéma électrique de la deuxième installation réalisé

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes consacrés au dimensionnement d'un système photovoltaïque à injection directe vers le réseau. On a détaillé trois méthodes pour dimensionner le nombre de panneaux photovoltaïques et la taille du générateur photovoltaïque et la section des câbles

Chapitre III : Installation du système photovoltaïque

III. 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes étapes qu'on a suivies pour réaliser notre projet qui est composé de deux installations différentes dans deux toitures différentes d'une école primaire dans la wilayat de Tiaret. La première installation comporte quatorze panneaux photovoltaïques et un onduleur de 5000W et une armoire de brassage, cette installation est réservée pour le restaurant de l'école, quant à la deuxième installation qui est réservée pour le reste de l'école, est composée de dix panneaux photovoltaïques et d'un onduleur de 3000W et d'une armoire de brassage. L'installation photovoltaïque réalisée s'agit du système le plus populaire pour les maisons entreprises situées en zones développées. La connexion au réseau local d'électricité permet d'injecter et de revendre l'électricité produite. En cas d'ensoleillement insuffisant, l'électricité est importée du réseau. Un onduleur est utilisé pour transformer le courant continu produit par le système photovoltaïque en courant alternatif afin d'alimenter les équipements électriques standards.

III.2. Détails des équipements utilisés

Les équipements utilisés sont fournis par l'entreprise qui nous a accueilli la SARL PHTON ENERGIE ALGERIE

III.2.1. Générateur

. Caractéristiques techniques :

Blue Carbon Tech		
dimension: 1195*992*35mm	BCT	
Model Type:	BCT340-24	
Rated Max Power(Pmax)	340W	
Current at Pmax (Imp)	10.59A	
Voltage at Pmax (Vmp)	32.1V	
Short Circuit Current (Isc)	13.08A	
Open Circuit Voltage (Voc)	36.6V	
Normal Operating Cell Temp(Tnoct)	45°C	
Weight	23Kg	
Max System Voltage:	1000VDC	
All Technical Data at Standard Test Condition (irradiation of 1000W/m²)		
AM1.5and PV module measurement temperature of 25°C		
AM=1.5	E=1000W/m²	TC=25°C
CE		ISO
Address: No. 18 & 20, Technology Innovation Center, High-tech Zone		
276800 Rizhao, Shandong Province, China		

Figure. III.1 : Plaque signalétique de panneau

Le module qu'a utilisé et panneau de 72 cellules au silicium poly cristallin de 11956*992*35mm, caractérisé par la face avant en verre trempé entouré par un cadre autoportant en aluminium anodisé, boîtier de connexion étanche .



Figure.III.2. Panneau photovoltaïque

. La structure de support :



Figure.III.3 : Structure porteuse des modules photovoltaïques

. Raccordement

Le raccordement des panneaux s'est fait en deux chaînes de sept modules chacune pour la première structure, et deux autres chaînes de cinq panneaux en série pour la deuxième structure



Figure.III.4 : Installation des panneaux sur la première structure (S1)



Figure.III.5 : Installation des panneaux sur la deuxième structure (S2)

III.2.2. Onduleur

On a choisi d'utiliser deux l'onduleur pour les deux structures de la marque GOODWE, le premier de 5000W d'une puissance CC max=6500W, avec deux trackers, et un deuxième de 3000W d'une puissance CC max=3900W pour deux trackers. La série DNS de GOODWE est un onduleur sur réseau monophasé avec une excellente taille compacte, une technologie

Chapitre III : Installation du système photovoltaïque

logicielle et matérielle complète. Cet onduleur offre une protection contre la poussière et l'étanchéité IP65 avec une conception silencieuse et sans ventilateur.

Caractéristiques techniques

Données techniques	GW3000D-NS	GW3600D-NS	GW4200D-NS	GW5000D-NS	GW6000D-NS
Données d'entrée de chaîne PV					
Puissance d'entrée CC max. (W)	3 000	4 580	5 460	6 500	7 200
Tension d'entrée max. CC (V)	600	600	600	600	600
Plage MPPT (V)	80-550	80-550	80-550	80-550	80-550
Tension de démarrage (V)	80	80	80	80	80
Min. Tension d'alimentation (V)	120	120	120	120	120
Tension d'entrée nominale CC (V)	360	360	360	360	360
Courant d'entrée max. (A)	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
Courant de court-circuit max. (A)	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8
Nombre de trackers MPPT	2	2	2	2	2
Nombre de chaînes d'entrée par tracker	1	1	1	1	1
Données de sortie CA					
Puissance de sortie nominale (W)	3 000 ¹⁾	3 680 ¹⁾	4 200 ¹⁾	5 000 ¹⁾	6 000 ¹⁾
Puissance apparente de sortie max. (VA)	3 000	3 680	4 200	5 000	6 000
Tension de sortie nominale (V)	220/230	220/230	220/230	220/230	220/230
Fréquence de sortie nominale (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Courant de sortie max. (A)	13,6	16	19	22,8	27,3
Facteur de puissance de sortie	-1 (réglable de 0,8 inductif à 0,8 capacitif)				
Sortie THD (à sortie nominale)	< 5%	< 5%	< 5%	< 5%	< 5%
Rendement					
Rendement max.	97,8%	97,8%	97,8%	97,8%	97,8%
Rendement en Europe	97,5%	97,5%	97,5%	97,5%	97,5%
Protection					
Protection anti-éclaboussure	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée
Protection d'entrée inverse de polarité	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée
Détection de résistance d'isolement	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée
Unité de surveillance du courant résiduel	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée
Protection de surintensité de sortie	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée
Protection de court-circuit de sortie	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée
Protection de surtension de sortie	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée
Protection SPD CC	Intégrée (catégorie II)				
Protection SPD CA	Intégrée (catégorie II)				
Données générales					
Plage de température de fonctionnement (°C)	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60
Humidité relative	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
Altitude de fonctionnement (m)	≤ 4 000	≤ 4 000	≤ 4 000	≤ 4 000	≤ 4 000
Refroidissement	Convection naturelle				
Interface utilisateur	LED & LCD	LED & LCD	LED & LCD	LED & LCD	LED & LCD
Communication	RS485 ou WiFi ou LAN	RS485 ou WiFi ou LAN	RS485 ou WiFi ou LAN	RS485 ou WiFi ou LAN	RS485 ou WiFi ou LAN
Poids (kg)	13	13	13	13	13,5
Dimensions (Largeur x Hauteur x Profondeur (mm))	354x433x147	354x433x147	354x433x147	354x433x147	354x433x147
Classe de protection	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Autoconsommation de nuit (W)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Topologie	Sans transformateur				

¹⁾ Pour CE 0-21, la puissance de sortie nominale de GW1000D-NS est de 2 700, pour GW3600D-NS de 3 350, pour GW4200D-NS de 3 800, pour GW5000D-NS de 4 540, pour GW6000D-NS de 5 050.

* Veuillez consulter le site web de GoodWe pour obtenir les derniers certificats.



Figure.III.6 : Caractéristiques technique des onduleurs GOODWE



Figure.III.7 : Onduleur 5000W **Figure.III.8 :** onduleur 3000W

. Structure de support



Figure. III.9 : Structure pour l'onduleur **Figure.III.10 :** Montage de l'onduleur sur la structure

III.2.3. Armoire de brassage

III.2.3.1. Détails sur l'armoire

On a utilisé une armoire de moyenne taille de 1150*750*280mm, qui vont contenir l'onduleur et les composants de protection électriques



Figure.III.11 : Les deux armoires utilisées **Figure.III.12** : Armoire de brassage

III.2.3.2. Dispositifs de protections utilisés

III.2.3.2.1. Coté DC

➤ Porte fusible



Figure.III.13 : Porte fusible

➤ Disjoncteur



Fig.III.14 : Disjoncteur

Un porte-fusible est un appareillage qui interrompt le courant en cas de surcharge électrique ou de court-circuit. Installé en amont d'un circuit électrique, un porte-fusible héberge un fusible, et sa valeur est exprimée en ampères.

Dans notre cas on a utilisé un fusible de 12A

Un disjoncteur est un interrupteur électrique à commande automatique conçu pour laisser circuler le courant électrique, et, protéger un circuit électrique contre les dommages causés par un courant excessif provenant d'une surcharge, d'un court-circuit ou d'une fuite à la terre.

Dans notre cas on a utilisé un disjoncteur de 32A

➤ Parafoudre



Le rôle d'un parafoudre n'est pas seulement de protéger contre les surtensions atmosphériques générées par la foudre. En effet, il prévient de tous les écarts de tension, qui peuvent être aussi causés par autre chose que la foudre, comme un défaut électrique, court-circuit

Figure.III.15 : Parafoudre

➤ Borne de raccordement

On l'utilise dans les tableaux électriques, c'est lui qui permet de relier un ou plusieurs conducteurs au reste de l'installation, comme une sorte de pont de distribution. On parle parfois de bornier de raccordement du tableau électrique, ou de bornier de répartition.

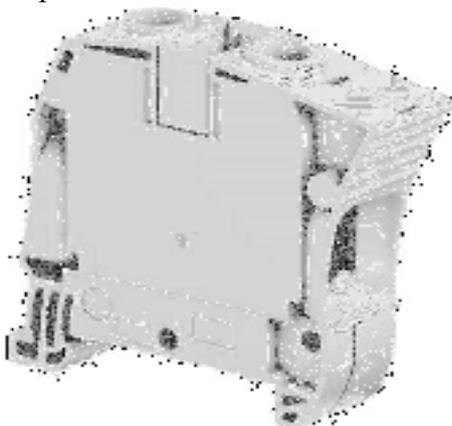


Figure.III.16 : Borne de raccordement

III.2.3.2. Coté AC

- Disjoncteurs
- Borne de raccordement

➤ Compteur électronique d'énergie

Un compteur électrique est un organe électrique servant à mesurer la quantité d'énergie électrique consommée dans un lieu : habitation, industrie... il est utilisé par les fournisseurs d'électricité afin de facturer la consommation d'énergie au client



Figure.III.17 : Compteur électronique d'énergie

➤ Smart meter

Dans nos installations sur le site nous avons utilisé le smart meter (compteur intelligent) de GOODWE qui est conçu avec de petites dimensions de hautes précisions, un fonctionnement et une installation pratique. Il est disponible pour la connexion de réseau monophasé et triphasé (dans notre cas a utilisé celui de monophasé) afin de détecter la tension, le courant, la puissance et l'énergie, afin de fonctionner avec des onduleurs comprenant des systèmes SEMS dans le but de gérer l'énergie.



Figure.III.18 : Smart meter

❖ smart meter

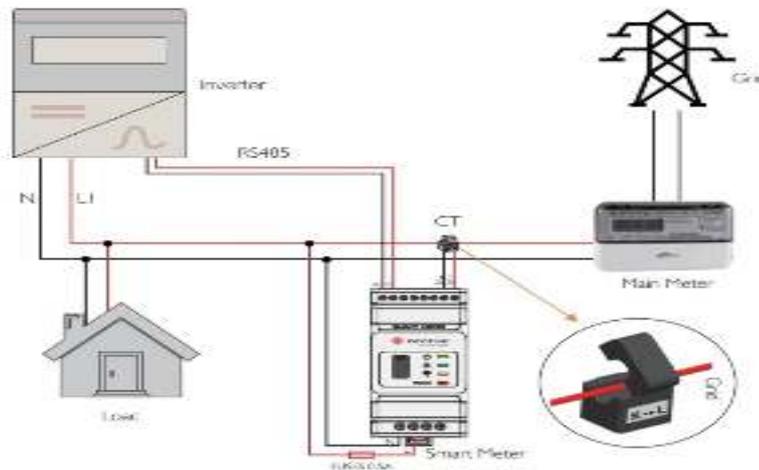


Figure.III.19 : smart meter

Vue d'ensemble du smart meter

1. voyant d'alimentation
2. voyant de consommation d'énergie
3. voyant de communication
4. bouton de réinitialisation
5. port USB

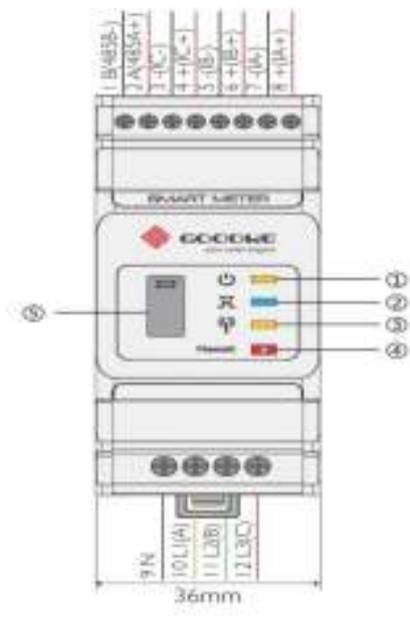


Figure.III.20 : Vue d'ensemble du smart meter

Caractéristiques technique

Modele	GM1000	
Application	Monophasé	
Tension	Tension nominale	230V
	Tension de la gamme	0.7~1.2Un
	Fréquence	50Hz/60Hz
Entrée du courant	Courant nominal	120A/40A
	Courant de la gamme	0.48A~120A
Détection des données	Tension, courant, puissance active, puissance réactive,	

Tableau.III.1 : Caractéristique technique

III.3. Montage de l'installation

Le montage de l'installation photovoltaïque s'est faite en trois étapes

- Montage et raccordement de l'armoire de brassage avec l'onduleur
- La partie génie civil, montage des panneaux et armoire sur les structures
- Raccordement est mis en service de l'installation

III.3.1. Montage de l'armoire de brassage

On a entamé le projet avec le brassage de l'armoire, en premier lieu on a commencé par le côté DC ou on a raccordé l'arrivage des deux séries de panneaux avec des borniers de répartition puis les porte-fusibles pour protéger notre onduleur contre les surcharges électriques, par la suite on a installé nos disjoncteurs, eux-mêmes relié en série avec les parafoudres pour éviter les surtensions atmosphériques, à la sortie des disjoncteurs on alimente notre onduleur avec les deux séries de panneaux photovoltaïques.

Puis on est passé au côté AC de notre installation, là on a commencé par relier le réseau de SONELGAZ a un disjoncteur, que nous avons relié à l'entrée du disjoncteur différentiel avec la sortie du smart meter et celle du compteur. Et connecter la sortie de l'onduleur au smart meter, et au final, de la sortie du disjoncteur différentiel, on a alimenté notre site avec notre installation photovoltaïque.



Figure.III.21 : câblage des différents éléments de l'armoire



Figure.III.22 : Armoire de brassage fini

III.3.2. Installation photovoltaïque

Après avoir terminé la réalisation de notre armoire, on est passé au montage des différentes structures.



Figure.III.23 : Structure des panneaux photovoltaïques

Chapitre III : Installation du système photovoltaïque

On a d'abord commencé par placer les supports sur lesquels les panneaux ont été installés puis on a procédé au scellement des supports, en suite on a placé nos panneaux en série.



Figure.III.24 : Toiture avec les panneaux photovoltaïques installés

III.3.3. Raccordement du système

Après avoir monté les panneaux et l'armoire de brassage on a procédé au raccordement des panneaux entre eux puis on les a intégrés dans l'armoire, et enfin on a terminé par la mise en service de notre système.



Figure.III.25 : Onduleur en plein fonctionnement

Chapitre III : Installation du système photovoltaïque

Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour la partie pratique. On a présenté en détail les différentes étapes de réalisation du projet d'une étude et installation d'un système photovoltaïque connecté au réseau. On a montré les composants utilisés dans notre projet et le parcours qu'on a suivi

Chapitre IV : Etude technico-économique

Introduction

Le premier, l'aspect réglementaire, qui vise à étudier le cadre réglementaire actuel, la concordance entre le projet et ce cadre, et si nécessaire les dispositions et les aménagements à mettre Dans le cadre d'une étude de faisabilité du photovoltaïque, trois aspects paraissent pertinents à examiner :

- En œuvre pour la réussite de l'entreprise.
- Le second, l'aspect technique, et qui consiste à travers des études de dimensionnement et de coûts, à définir des gammes de puissance photovoltaïques pour la réalisation de projets photovoltaïques.
- Le troisième, l'aspect économique, qui permet d'étudier la rentabilité des projets photovoltaïques.

Il est favorable à l'implantation du photovoltaïque, de par son a un ensoleillement important et aussi une stratégie de relance des énergies renouvelables a été proposée. Il reste donc à étudier plus profondément les aspects technico-économiques et les orientations à adopter pour assurer un développement de la filière. Ce volet est développé dans cette partie du travail, et il s'agit d'énoncer ce qui suit :

- Les technologies à privilégier pour le photovoltaïque.
- Les gammes de puissance photovoltaïques que nous avons retenue pour notre étude.
- Les éléments d'analyse économique considérés dans l'étude de faisabilité.

IV.1. Les technologies à privilégier pour le photovoltaïque :

- Technologie et architecture du photovoltaïque.
- Technologie des modules photovoltaïques :

Il existe plusieurs technologies de modules, dont : les siliciums monos et polycristallins.

-Les cellules mono et polycristallines sont à ce jour très employé dans le domaine photovoltaïque car elles offrent un rapport « rendements de conversion/ prix » acceptable.

- Mais compte tenir des progrès observés sur les modules de couches minces, le silicium amorphe, séléniure de cuivre et autres, auront vraisemblablement un rôle non négligeable à jouer dans l'avenir du photovoltaïque.

- Technologies de l'onduleur :

L'onduleur transforme le courant électrique continu produit par les cellules PV en courant électrique alternatif, semblable à celui qui est délivré par le réseau. En cas de défaillance, l'onduleur se déconnecte automatiquement pour des raisons de sécurité : c'est la « protection de découplage » qui permet de supprimer tout risque d'électrocution lorsque des techniciens font une opération de maintenance sur le réseau,

- « Règle d'or » : la puissance crête des modules ne doit jamais être inférieure à la puissance de l'onduleur,

-Comme tout composant électronique, l'onduleur a une durée de vie limitée. Ainsi il faut prévoir de le changer tous les 8 à 10 ans.

-Recommandations :

- Opter pour un onduleur performant dont le rendement est proche de 95%,
- Existence d'une protection contre les surtensions.
- Situer l'onduleur dans un endroit aéré, accessible et protégé de la pluie et des rayons directs du soleil,
- Installer un dispositif spécifique de coupure du réseau aisément accessible à l'extérieur de la maison.

➤ Technologie de câblage :

Le choix des câbles est très important dont les installations électriques soient côtés sections ou matières d'isolation, en calculant le courant admissible qui le traverse.

On a ici quelques sections de câble avec leurs courantes limites :

1.5mm² : moins de 16A

2.5mm² : moins de 20A

6 mm² : moins de 32A

10 mm² : raccordement d'un tableau de protection et de répartition pour une puissance domestique moderne (15/45A).

Concernant la matière d'isolation elle est choisie selon les conditions du milieu et du climat.

IV.2. Maintenance des installations [23] :

Les actions techniques minimales de maintenance doivent être envisagées durant le cycle de vie d'une installation photovoltaïque pour maintenir ou rétablir l'installation dans un état dans lequel elle peut accomplir la fonction pour laquelle elle a été conçue. Toutes les opérations de maintenance doivent être envisagées avec pour priorité d'assurer et de maintenir la sécurité des biens et des personnes. En marge de la maintenance, peuvent être envisagées des opérations visant à pallier l'usure de certains matériels et les adapter à l'évolution des techniques, des normes et règlements en vigueur, et également des opérations ayant pour but d'optimiser l'installation existante.

On distingue trois niveaux de maintenance correspondant aux opérations qui sont :

-La maintenance conditionnelle, basée sur une surveillance des paramètres significatifs de l'installation,

-La maintenance prévisionnelle, exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien (ex. : corrosion) ;

-La maintenance systématique, exécutée à des intervalles de temps préétablis et sans contrôle préalable de l'état du bien ni de ses éléments constitutifs.

Pour les tous types d'installation, hormis les locaux d'habitation individuelle non destinés à une occupation temporaire ou saisonnière, les trois niveaux de maintenance doivent être envisagés. Pour les locaux d'habitation non destinés à une occupation temporaire ou saisonnière, seul le niveau de maintenance systématique sera envisagé. Pour la maintenance systématique la périodicité recommandée est d'un an.

-Points techniques de maintenance :

Sont à distinguer les actions relatives à la sécurité des personnes et des biens, des actions relatives à la sûreté de fonctionnement. Ces actions techniques de maintenance peuvent être amenées à être complétées en fonction des obligations réglementaires de sécurité auxquelles le bâtiment peut être soumis. La maintenance ne porte que sur les parties normalement et facilement accessibles de l'installation.

Les points relatifs à la sécurité des personnes et des biens sur le plan électrique sont les suivants

État général de l'installation ; vérification de l'absence de corrosion, état des câbles ; état des boîtes de jonction ; état des connexions ; resserrage des bornes sur tableaux électriques ; contrôle visuel et caractéristiques techniques des fusibles ; contrôle visuel du disjoncteur ; Vérifications des liaisons équipotentielles ; fonctionnement de la fonction coupure d'urgence. Toutes ces actions doivent être envisagées dans le cadre d'une maintenance systématique, et ce pour tous types de locaux.

Les points réservés exclusivement à la sûreté de fonctionnement sont les suivants :

- Nettoyage des modules photovoltaïques,
- Vérification du maintien des conditions initiales de l'environnement des modules PV,
- Maintien des conditions thermiques d'exploitation des modules (aération en sous-face des modules) en fonction des prescriptions du fabricant,

Vérification des mises à la terre fonctionnelle,

- Vérification du maintien des conditions d'exploitation des locaux et du maintien de leur destination initiale,
- Dépoussiérage.

Pour les locaux d'habitation équipés de modules photovoltaïques il convient pour assurer la sûreté de fonctionnement des installations PV de prévoir la maintenance sur la base du périmètre ci-dessus. Pour les ensembles industriels ou tertiaires. Le maintien ou l'amélioration de la sûreté de fonctionnement de l'installation sont envisagés en fonction de la politique de maintenance de l'établissement.

IV.3. Evaluation du coût de l'installation:

Le coût du matériel (panneaux et onduleur) a diminué dès à 10% par an depuis une dizaine d'années et cette performance devrait être renouvelée sur la prochaine décennie. Le coût des travaux peut varier, suivant la situation locale : bâtiment neuf ou existant, pose une surimposition ou en intégration, réglementation spécifique pour les permis de construire, normes de raccordement au réseau, distances panneaux onduleurs et onduleurs tableau, participation du propriétaire aux travaux...

Les coûts de maintenance sont en principe très peu élevés, mais il est nécessaire d'avoir une information claire à ce sujet de la part du fournisseur dans le cas d'un projet individuel ou du prestataire de service (le réseau, la municipalité, une association locale...) dans le cas d'un programme collectif.

IV.4. Temps de retour de l'investissement :

Temps de retour en année = coût final de la centrale photovoltaïque subvention déduite / (nombre de kWh produits en un an x tarif d'achat du kWh par le réseau).

IV.5. Puissance produite par l'installation :

$$P_c = N \times P_{cpv} \times K \quad (IV.1)$$

Avec :

P_c : puissance crête de l'installation.

N : nombre de panneaux.

P_{cpv} : puissance crête d'un panneau

K : facteur de correction.

$$AN : P_c = 24 \times 0.34 \times 0.9$$

$$P_c = 7.344 \text{ kW}$$

$$P_{annuelle} = P_c \times G_s \quad (IV.2)$$

G_s : Gisement solaire moyen annuelle selon la région

Avec :

$P_{annuelle}$: la production annuelle.

P_c : la production max de l'installation.

Pour le gisement solaire moyen annuel à Tiaret est de 1700 kWh/an/kW

$$P_{annuelle} = P_c \times G_s$$

$$P_{annuelle} = 7.344 \times 1700$$

$$P_{annuelle} = 12461 \text{ KW}$$

On calcule la production de notre installation pour une durée de vie de 20 ans, les panneaux photovoltaïques ont des pertes 1% de leur rendement chaque année, d'où au bout de 20 ans de production les panneaux ne seront qu'à 80% de leur capacité initiale.

$$P_{(\text{produite en 20ans})} = P_{annuelle} \times P_{annuelle} \times 0.99 + P_{annuelle} \times 0.98 \dots + P_{annuelle} \times 0.80$$

$$P_{(\text{produite en 20ans})} = P_{annuelle} \times (1 + 0.99 + 0.98 + 0.97 + 0.96 + \dots + 0.80)$$

$$P_{(\text{produite en 20ans})} = P_{annuelle} \times 18.9 = 235512.9 \text{ kWh}$$

V.6. Evaluation du coût du kWh :

Les éléments qu'on a besoin pour une durée de vie de 20 ans sont donnés dans le tableau suivant :

Eléments		Nombre	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Panneaux PV/340Wc		24	19000	456 000
Onduleurs	SMC5000TL	1	350000	350000
	SMC3000TL	1	285000	285000
Câble (Sections normalisées en m)	4mm ²	8m	300	2400
	6mm ²	12m	350	4200
	2.5mm ²	2m	180	360
Disjoncteurs		4	2500	10000
Structure des panneaux		24	4000	96000
Parafoudre		4	6000	24000
Armoire		2	20000	40000
Porte fusibles		8	450	3600
Fusible		8	600	4800
MC4 mal femelle		4	300	1200
Smart Meter		2	35000	70000
Marqueur		2	2000	4000
Disjoncteur du coté AC		2	3500	7000
Disjoncteur bipolaire 32		2	350	700
Main d'œuvre		/	10%	133926

Tableau IV.1 : Récapitulatif des prix des différents composants

$$C_{T20ans} = C_{panneaux} + C_{onduleurs} + C_{cable} + C_{disjoncteurs} + C_{parafoudre} + C_{armoire} + C_{porte\ fusibles} + C_{smart\ meter} + C_{MO} + C_{fusible} + C_{mc4\ mal\ femelle} + C_{disjoncteur\ (coté\ AC)} + C_{disjoncteur\ bipolaire32}$$

Avec :

C_{T20ans} : coût total de l'installation pour 20 ans.

$C_{panneaux}$: coût des panneaux.

$C_{Onduleurs}$: coût des onduleurs.

$C_{Câble}$: coût de câble.

$C_{disjoncteurs}$: coût des disjoncteurs.

$C_{parafoudre}$: coût de parafoudre

$C_{armoire}$: coût de l'armoire

$C_{porte\ fusibles}$: coût de porte fusibles

$C_{smart\ meter}$: coût de smart meter

C_{MO} : coût de la main d'œuvre.

$C_{fusible}$:coût de fusible

$C_{mc4\ mal\ femelle}$: coût de MC4 mal femelle

$C_{disjoncteur\ (coté\ AC)}$: coût de disjoncteur (coté AC)

$C_{disjoncteur\ bipolaire32}$: coût de disjoncteur bipolaire 32

Chapitre IV : Etude technico-économique

$$C_{T20ans} = C_{panneaux} + C_{onduleurs} + C_{cable} + C_{disjoncteurs} + C_{parafoudre} + C_{armoires} + C_{porte\ fusibles} + C_{smart\ meter} + C_{MO} + C_{fusible} + C_{mc4\ mal\ femelle} + C_{disjoncteur\ (coté\ AC)} + C_{disjoncteur\ bipolaire}$$

$$C_{T20ans} = 1473186 \text{ DA}$$

On doit prendre en compte le prix de maintenance en considération qui représente 1% du prix totale de l'installation photovoltaïque.

Alors le prix total de l'installation est de $1473186 + 14731.86 = 1487917.86\text{DA}$

D'où le coût du kWh est :

$$C_{kWh} = C_{T20ans} / P_{produite\ en\ 20\ Ans}$$

$$C_{kWh} = 6.31\text{DA/kWh}$$

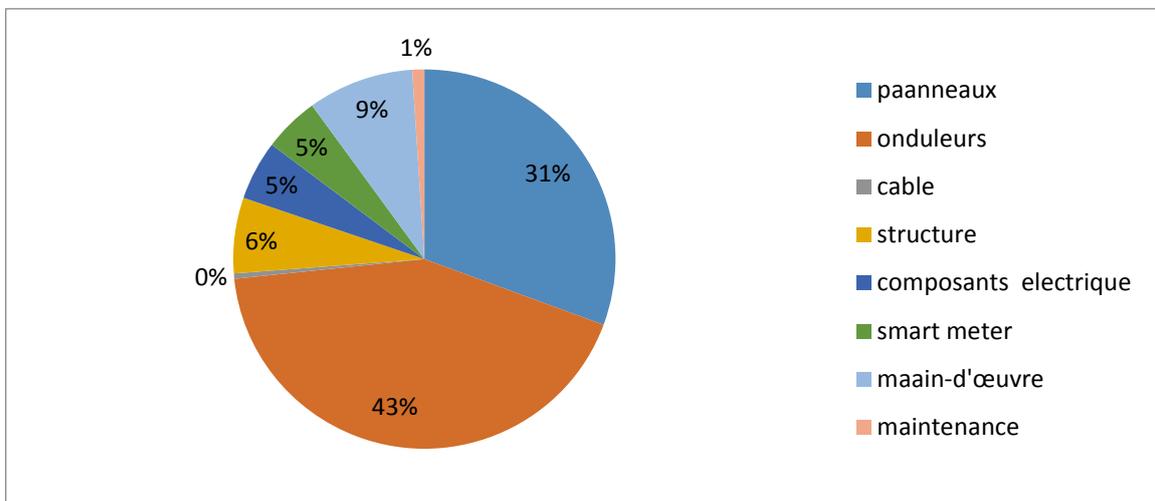


Figure IV.1 : Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage

Conclusion :

Dans ce chapitre on a parlé sur les principales technologies éléments d'une installation photovoltaïque et ainsi sur la maintenance et la sécurité, on a fait l'évaluation du prix du kWh d'énergie produite. Ce qui nous a permis de déterminer le coût de l'installation fait sur le site.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans notre travail présenté dans ce mémoire nous avons étudié et appliqué un système photovoltaïque relié au réseau (sans stockage) pour alimenter en énergie électrique une école primaire. En effet, on a fait un stage sous la direction de Mr Idir Ahmed, gérant de l'entreprise SARL Photo énergie, et l'application a été faite pour l'école sise à Rahouia dans la wilaya de Tiaret.

Cette étude nous a permis de tirer quelques conclusions :

- ❖ De bien choisir un site d'implémentation de l'installation photovoltaïque en fonction du gisement solaire (rayonnement solaire) .
- ❖ Pour satisfaire la demande d'électricité de la charge il est primordial d'établir un bon dimensionnement
- ❖ Afin d'estimer le prix total de l'installation, une étude économique est très nécessaire.

En perspectives de ce travail, il sera intéressant :

- D'intégrer un système de stockage ;
- D'ajouter un système de pompage pour l'eau avec le solaire,
- ...

Références Bibliographiques

- [1] C .benbousa., « Production et performance des coapteurs hybrides (PV/T) a eau intègres dans le bâtiment-casdel'Algérie » mémoire de magistère, université de Constantine 1, 2014
- [2] K. Butti and J. Perlin, « A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology » (New York, NY: Van Nostrand Reinhold), p289, 1980.
- [3] L. Szabo, « The History of UsingSolarEnergy », The 7th International Conferenceon Modern Power Systems (MPS 2017), TechnicalUniversity of Cluj- Napoca, « THE HISTORY OF PHOTOVOLTAICS », p7, 2017.
- [4] <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/> (consulté le 05/04/2021)
- [5] [7]<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique>(consulté le 05/04/2021)
- [6] A.Mekemeche, « Modélisation à deux dimensions des propriétés physiques de cellules solaires au silicium à base de substrat de type n, Étude de quelques cas particuliers de cellules innovantes », Thèse de Doctorat, L'Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem, 2017.
- [7]<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique1>(consulté le 05/04/2021)
- [8]<https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/panneau-solaire-photovoltaique-fonctionnement-et-description-les-differents-types-de-panneaux-solaires-photovoltaiques-1>(consulté le 5/04/2021)
- [9] MENADI, ABDELKRIM Commande Par Les Techniques Intelligentes D'un Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau. ["eprint_fielldopt_thesis_type_phd" not defined] thesis, Université Mohamed Khider - Biskra.(2016)
- [10]<https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaique-comment-ca-marche>(consulté le 05/04/2021)
- [11] S.Bensalem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaire », université Farhat Abbas- Setif, mémoire de magister, 2011
- [12] O.Benseddik, F.Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de master, université KasdiMarbah- Ouargala, 2012
- [13] Y.Riffonneau, "Gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecte au réseau", thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, 23/10/2009
- [14] M. Belhamel, S. moussa, A. Kaabech « Production d'électricité au moyen d'un système hybride (éolien-photovoltaïque-diesel) » revue des énergies renouvelables pages (49-54), Algérie, 2002.
- [15] H.Boukli.-. Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique. Mémoire de magister. Université ABOU BAKR BELKAID de Tlemcen, 2011.
- [16] Pinault D, "Reduction of mismatchlosses in grid-connectedphotovoltaicsystemsusing alternative topologies, " Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2010.
- [17]<https://www.encyclopedie-energie.org/lenergie-solaire-photovoltaique-pv-une-filiere-competitive-en-site-isole/>(consulté le 07/04/2021)

Références Bibliographiques

- [18] S. Vighetti, "Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion," Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2010.
- [19] A. Labouret, M. Viloz, Energie solaire photovoltaïque, Edition LE MONITEUR.
- [20].A.Sahli.,« Filtrage actif et contrôle de puissances: application aux systèmes photovoltaïques interconnectés au réseau ». Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas de Setif, 2012
- [21] A. Hamdani, B. Kacem, « Etude et Simulation de Connection d'une Centrale Photovoltaïque au Réseau Electrique Triphasé ». Mémoire master, l'Université Adrar, 2018.
- [22] <https://www.aps.dz/economie/114724-energies-renouvelables-l-algerie-possede-l-un-des-gisements-solaires-les-plus-elevés-au-monde>(consulté le 15/05/2021)
- [23] <https://www.photovoltaique.info/fr/exploiter-une-installation/exploitation-technique/entretien-et-maintenance/>(consulté le 15/09/2021)