

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE Saad DAHLAB, BLIDA-1



Faculté de Technologie
Département des Énergies Renouvelables

Mémoire :
Pour l'obtention du diplôme de
MASTER EN ENERGIES RENOUVELABLES
OPTION : Conversion Photovoltaïque
THEME :

Etude et modélisation des Installations photovoltaïques hybride avec stockage (off-grid)

Préparé Par : LARABI Younes
Et : MAAMRI Abdessattar

Soutenu devant le jury composé par :

M. DOUMAZ Toufik	M.A.A	USDB1	Président
M. BOUZAKI Moustafa Med	M.C.B	USDB1	Encadreur
M. BENAHMED Abdelmoumen	M.C.B	USDB1	Examineur

Octobre 2020

ملخص

تعتبر الجزائر من أحسن المناطق في الطاقات المتجددة ومن أجل استثمار هذه الطاقة قمنا بإجراء دراسة شاملة حول إدارة قسم الطاقات المتجددة لجامعة سعد دحلب بليدة 1، لتزويده بالطاقة الكهروضوئية، بجمع المعلومات الضرورية كل من الأجهزة المستعملة واستهلاكها للطاقة لعمل حسابات أكاديمية وذلك لمعرفة كل ما يناسب من الألواح الشمسية والمحولات والبطاريات وكل ما يخص تركيب النظام الكهروضوئي وما يترتب عنها من فواتير، والتي تتيح لنا استخدام هذا التطبيق من أجل طاقة نظيفة ومريحة.

الكلمات المفتاحية:

الخلايا الكهروضوئية، حسابات، الألواح الشمسية، الطاقة، المحولات، البطاريات، المنظم، النظام الكهروضوئي، PVsyst.

Résumé

Dans le but d'élargir l'exploitation des énergies renouvelables en Algérie, nous avons fait une étude sur l'administration du département des énergies renouvelables Université Saad DAHLAB BLIDA1, pour l'alimenter avec l'énergie photovoltaïque, où nous avons collecté les données de consommation électrique d'après l'administration du département, afin de faire un dimensionnement destiné à la connaissance des panneaux solaires, des onduleurs et des batteries avec le schéma de l'installation. Nous avons aussi effectué aussi une étude économique te se projet afin de permettre à notre administration quant au choix de la configuration en tenant compte du rapport qualité/ prix.

Mots clé :

Photovoltaïque, dimensionnement, panneaux solaires, onduleurs, batteries, régulateur, schéma de l'installation, PVsyst.

Abstract

In order to expand the exploitation of renewable energies in Algeria, we have made a study on the administration of department of renewable energies SAAD DAHLEB BLIDA1 University, to supply it with photovoltaic energy, where we have collected the data of electric consumption according to the administration of the department, in order to make a dimensioning intended for the knowledge of solar panels, inverters and batteries with the schematic of the installation and the price of the necessary invoice, and to make out has a result that will allow us to use this application in the future.

Keywords:

Photovoltaic, dimensioning, solar panels, inverters, batteries, regulator, installation diagramme, PVsyst.

DEDICACES

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie,
que je dédie mon travail à mes parents, ma famille, pour tous
leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et
leurs prières tout au long de mes études.*

*A tous mes amis et toute ma promotion pour leurs appuis et
leur encouragement.*

*A tous ce qui de loin ou de près n'ont pas cessé de m'apporter
leur soutien, pendant mes années d'études.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant
allégués, et le fruit de votre soutien infailible.*

REMERCIEMENTS

Je remercie ALLAH le tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Je tiens à remercier sincèrement

Dr. BOUZAKI Moustafa Mohammed pour son encadrement, sa compréhension, ses conseils, ses observations et son aide durant la réalisation de ce mémoire.

Je remercie M. DOUMAZ Toufik président de jury et le Dr. BENAHMED Abdelmoumen pour avoir acceptés de juger ce travail.

Je remercie mes amis pour l'aide qu'ils m'ont apporté pour la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I: GENERALITE SUR L'ENERGIE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE	3
I.1. Origine de l'énergie photovoltaïque:	3
I.2. Système photovoltaïque:	3
I.2.1. Les types de systèmes photovoltaïques :	3
I.2.1.1. Les systèmes solaires autonomes	3
I.2.1.2. Les systèmes solaires connectés au réseau :	4
I.2.1.3. Les systèmes solaires hybrides :	5
I.3. Composants du système photovoltaïque autonome :	5
I.3.1. Modules photovoltaïques	5
I.3.2. Comportement d'un générateur photovoltaïque	5
I.3.2.1. Influence de l'ensoleillement	5
I.3.2.2. Influence de la température	6
I.4. Fiche technique du module PV :	7
I.4.1. Structure générale	7
I.4.2. Spécification mécanique dans la fiche technique :	9
I.4.3. Caractéristiques électriques	9
I.4.3.1. Qualifications et certificats	10
I.5. Onduleur	10
I.5.2. Fonctionnement :	11
I.5.3. Les types d'onduleurs :	11
I.5.3.1. Onduleurs à branche standard (Standard String Inverters) :	11
I.5.3.2. Les onduleurs de batterie	12
I.5.3.3. Onduleur hybride	12
I.5.3.4. Onduleurs de réseau	13
I.5.4. Raccordement monophasé	14
I.5.5. Raccordement triphasé	14
I.6. La fiche technique de l'onduleur	17
I.6.2. Paramètres côté continu de l'onduleur	18
I.6.3. Puissance max d'entrée maximale	19
I.6.4. Tension d'entrée maximale	19
I.6.5. Plage de tension MPPT de l'onduleur photovoltaïque	19
I.6.6. Tension DC (d'entrée) minimale / tension de démarrage	21

I.6.7. Courant d'entrée maximal de l'onduleur photovoltaïque	21
I.6.8. Paramètres côté alternatif de l'onduleur	21
I.6.9. Tension nominale de sortie AC.....	21
I.6.10. Courant de sortie de l'onduleur photovoltaïque	22
I.6.11. Puissance de sortie de l'onduleur photovoltaïque	22
I.6.12. Puissance apparente maximale en courant alternatif	22
I.6.13. Phases de sortie / connexions de lignes	23
I.6.14. Plage de tension AC.....	23
I.6.15. Fréquence nominale du réseau AC	23
I.6.16. Efficacité	23
I.7. Régulateurs	23
I.7.1. Régulateur shunt	24
I.7.2. Régulateur série	24
I.7.3. Quel contrôleur de charge solaire choisir: PWM ou MPPT ?	25
I.8. Les Batteries.....	25
I.8.1. Les différentes technologies de la batterie acide-plomb.....	25
I.8.1.1. Les batteries ouvertes acide-plomb.....	25
I.8.1.2. Les batteries acide-plomb étanches	26
I.8.2. Les avantages et les inconvénients de la batterie.....	26
I.8.3. Une décharge et une charge de la batterie.....	27
I.8.3.1. Principe électrochimique de la décharge d'une batterie acide-plomb.....	27
I.8.3.2. Principe électrochimique de la charge d'une batterie acide-plomb.....	28
I.8.4. Caractéristique de charge	28
I.8.5. Influences de la température	28
I.8.6. Fiche technique d'une batterie [22]	29
I.8.6.1. Tension de charge (V).....	29
I.8.6.2. Tension nominale (V) :	29
I.8.6.3. Tension de coupure (V) :	29
I.8.6.4. La capacité, exprimée en Ampères heures.....	29
I.8.6.5. L'intensité maximale de démarrage (CCA).....	29
I.8.6.6. La vitesse de décharge	30
I.8.6.7. Le nombre de cycles	30
CHAPITRE II: Les appareils de mesure et de protection	31
II.1. Les appareils de mesure.....	31
II.1.1. Pyranomètre.....	31

II.1.2. Anémomètre	31
II.1.3. Multimètre :	31
II.2. Les appareils de protection et la mise à la terre :	32
II.2.1. Interrupteur- sectionneur :	32
II.2.2. Le Parafoudre	32
II.2.3. Interrupteur- disjoncteur DC :	32
II.2.4. Fusible:	33
II.2.5. Mise à la terre	34
II.2.6. Les diodes by-pass.....	34
CHAPITRE III: DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUE DU SITE ETUDIE.....	35
III.1. Présentation	35
III.2. Description	35
III.3. L'orientation des modules photovoltaïques	36
III.4. L'inclinaison des modules photovoltaïques	36
III.5. Ombrage ou repérage des masques	36
III.5.1. Les masques lointains.....	37
III.5.2. Les masques proches	37
CHAPITRE IV:	38
DIMENSIONNEMENT ET INSTALLATION DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE OFF- GRID	38
IV.1. Le dimensionnement analytique:	38
IV.1.1. Les besoins électriques :	38
IV.1.2. Bilan des puissances :	39
IV.1.3. Evaluation du gisement solaire local.....	40
IV.1.4. L'angle d'inclinaison des panneaux solaires.....	40
IV.1.5. Données complémentaires :	40
IV.1.6. Tension nominale	41
IV.1.7. Calcule de l'énergie à produire E_p :	41
IV.1.8. Calcule de la puissance de l'onduleur	42
IV.1.9. Détermination du nombre de panneaux solaires:.....	42
IV.1.10. La puissance crête P_c du générateur photovoltaïque nécessaire :.....	43
IV.1.10.2. Détermination le nombre des modules raccordés en série :.....	43
IV.1.10.3. Détermination du nombre de modules raccordés en parallèles :.....	44
IV.1.11. Détermination le nombre des régulateurs	44
IV.1.12. Calcule de la capacité des accumulateurs nécessaires à ce système ainsi que leurs nombres :	44

IV.1.13. Détermination du nombre de batteries	45
IV.2. Refaire le dimensionnement avec l'économie de la consommation :	45
IV.3. Les besoins électriques.....	45
IV.3.2. Bilan des puissances.....	46
IV.3.2.1. Tension nominale :.....	46
IV.3.2.2. L'énergie à produire E_p :	46
IV.3.2.3. La puissance de l'onduleur :	46
IV.3.2.4. La puissance crête P_c du générateur photovoltaïque	46
IV.3.3. Le nombre des panneaux solaire :.....	46
IV.3.4. Le nombre de régulateurs.....	46
IV.3.5. La capacité des accumulateurs nécessaires à ce système ainsi que leurs nombres	47
IV.4. Refaire le dimensionnement avec une autonomie de 8 heures :	47
IV.5. Choix des câbles pour le système de 24 heures d'autonomie	48
IV.5.1. Données complémentaires	48
IV.5.2. Calcul du courant et tension de sortie de chaîne PV :.....	49
IV.6. Les éléments de protection électrique pour 24 h d'autonomie :	50
IV.6.1. Fusible pour les branches	50
IV.6.2. Sectionneur DC	50
IV.6.3. Parafoudre DC.....	50
IV.6.4. Parafoudre AC.....	50
IV.6.5. Disjoncteur différentiel DC.....	50
IV.6.6. Disjoncteur différentiel AC 8800/220V	50
IV.6.7. Mis à la terre	50
IV.7. Les éléments de protection électrique pour 8h d'autonomie :	51
IV.7.1. Fusible pour les branches	51
IV.7.2. Sectionneur DC	51
IV.7.3. Parafoudre DC.....	51
IV.7.4. Parafoudre AC.....	51
IV.7.5. Disjoncteur différentiel DC.....	51
IV.8. Cahier de charge.....	52
IV.9. Schéma d'installation de système PV pour autonomie 8h :	54
IV.10. Logiciel PVSyst	55
IV.10.1. Les besoins d'utilisateurs :	55
IV.10.2. Résultats :	55

Sommaire

CONCLUSION GENERALE 56

REFERENCES 57

Annex

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I: GENERALITE SUR L'ENERGIE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

Figure (I.1): Schéma synoptique d'un système photovoltaïque sans stockage	4
Figure (I.2): Systèmes photovoltaïque connectés au réseau sans batteries.....	4
Figure (I.3): Schéma de base d'un système solaire hybride.	5
Figure (I.4): I(V) d'un GPV pour une température constante et un ensoleillement variable....	6
Figure (I.5): P(V) d'un GPV pour une température constante et un ensoleillement variable....	6
Figure (I.6): Caractéristique I(V) en fonction de la température et une irradiation constante..	7
Figure (I.7): P(V) d'un GPV pour une température variable et une irradiation constante.....	7
Figure (I.8): Fiche technique du panneau solaire Dimel polycristalin.....	8
Figure (I.9): Spécification mécanique et électriques du panneau photovoltaïque	8
Figure (I.10): Spécification mécanique et électriques du panneau photovoltaïque	8
Figure (I.11): Qualifications et certificats	10
Figure (I.12): Conversion DC / AC.....	11
Figure (I.13): Onduleurs à branche standard SMA (Sunny Boy).	12
Figure (I.14): Fonctionnement d'un onduleur à chaîne quand t'il y a un ombrage.	12
Figure (I.15): Onduleur solaire de batterie de 3 000 watts à 12 volts hors réseau	12
Figure (I.16): Onduleur hybride de 5KVA avec une puissance de 4000W pure sinus.....	13
Figure (I.17): Onduleur connecté au réseau pour un système solaire	13
Figure (I.18): Raccordement monophasé	15
Figure (I.19): Raccordement triphasé.....	16
Figure (I.20): Onduleur solaire DSI-SERIES	17
Figure (I.21): Les caractéristiques de l'onduleur DSI-SERIES.	17
Figure (I.22): Schéma d'installation parti courant continue.	19
Figure (I.23): Le courant de sortie de panneau en fonction de la tension et la plage de tension cas normal ..	20
Figure (I.24): Le courant de sortie du panneau en fonction de la tension et la plage de tension cas anormal .	20
Figure (I.25): Régulateur shunt	24
Figure (I.26): Régulateur série.	24
Figure (I.26): Parc constitué de 12 éléments de batteries ouvertes de 2V.	26
Figure (I.27): Batterie de type étanche.....	26
Figure (I.28): Caractéristique de décharge, batterie de 100 Ah (C10).....	27
Figure (I.29): Capacité/temps de décharge	28
Figure (I.30): Caractéristique de charge d'une batterie au plomb.....	28
Figure (I.31): Capacité/température	29

CHAPITRE II: LES APPAREILLES DE MESURE ET DE PROTECTION

Figure (II.1): Pyranomètre.....	31
Figure (II.2): Anémomètre	31
Figure (II.3): Un multimètre.....	31
Figure (II.4): Différents modèles d'Interrupteurs-sectionneurs	32
Figure (II.5): Différents types de Parafoudre	32
Figure (II.6): Différents types d'interrupteurs- disjoncteurs DC	33
Figure (II.7): Fusible solaire et son porte fusible	33
Figure (II.8): Réalisation d'une mise à la terre	34
Figure (II.9): Diodes by-pass dans un panneau PV.....	34

CHAPITRE III: DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUE DU SITE ETUDIE

Figure (III.1): Localisation géographique de L'Université Saad DAHLAB Blida.....	35
Figure (III.2): Angle d'inclinaison d'un panneau solaire.....	36
Figure (III.3): Les montagnes de CHREA représentent un masque lointain.	37
Figure (III.4): Montre que les arbres représentent un masque proche.	37

CHAPITRE IV: DIMENSIONNEMENT ET INSTALLATION DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE OFF-GRID

Figure (IV.1): Rayonnement moyen quotidien sur plan fixe d'inclinaison	40
Figure (IV.2): Schéma représentant la longueur des câbles entre les composants de l'installation. ..	48
Figure (IV.3): Schéma d'installation de notre système solaire photovoltaïque	54
Figure (IV.4): Les résultats donné par PVsyst	55

Liste des tableaux

CHAPITRE I: GENERALITE SUR L'ENERGIE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

Tableau (I.1): La fiche technique de l'onduleur.....	18
Tableau (I.2): Paramètres côté continu de l'onduleur.....	18
Tableau (I.3): Paramètres côté Alternatif de l'onduleur	21
Tableau (I.4): La puissance électrique	22
Tableau (I.5): Les avantages et inconvénients de la batterie.....	26

CHAPITRE IV: Dimensionnement et installation du système photovoltaïque off-grid

Tableau (IV.1): Evaluation globale des besoins électriques de l'administration.	39
Tableau (IV.2): Les caractéristiques de notre module dans les conditions STC.....	42
Tableau (IV.3): Rayonnement moyen quotidien sur plan fixe d'inclinaison 35° et d'azimut 0°.....	42
Tableau (IV.4): Les caractéristiques électriques à l'entrée de l'onduleur DSI-P5000.....	43
Tableau (IV.5): Evaluation économique des besoins électriques de l'administration.	45
Tableau (IV.6): Cahier de charge pour l'autonomie 1 jour.....	52
Tableau (IV.7): Cahier de charge pour l'autonomie 8 heures	53
Tableau (IV.8): Les besoins d'utilisateurs	55

INTRODUCTION GENERALE

Depuis des siècles, l'humanité a vécu selon le rythme du soleil et de la nuit. Avec l'évolution de la technologie, l'homme a amélioré son mode de vie en transformant des structures principalement naturelles, gratuites et surtout inépuisables pour la production de l'énergie électrique notamment l'eau, le vent, le soleil, etc.

De nos jours, l'énergie électrique s'avère indispensable dans notre environnement car faisant partie des conditions primordiales du développement d'une contrée ou d'un pays.

La production de l'énergie électrique devient un investissement important et son efficacité ne sera assurée que si le consommateur se voit être approvisionné en puissance répondant aux exigences de son installation et sachons qu'actuellement nous visons à améliorer nos conditions de vie tout en réduisant le coût, ainsi le choix d'un des modes de production de l'énergie électrique se base sur le coût d'investissement et sur celui du fonctionnement. Ceci nous amène à faire appel aux énergies renouvelables pour la production de l'énergie électrique.

En se basant sur ces principes, dans notre travail nous cherchons à produire de l'énergie électrique par transformation directe de l'énergie solaire grâce aux cellules photovoltaïques.

La conversion directe de l'énergie solaire en celle électrique est appelée « Effet photovoltaïque », elle a été découverte en 1939 par Antoine BECQUEL et fut approfondie plus tard par les scientifiques. Cette conversion se fait par le biais de la production et du transport des charges électriques sous l'effet de la lumière dans un matériau semi-conducteur dont le plus utilisé est le Silicium à partir duquel les cellules photovoltaïques sont fabriquées.

Le problème étant celui d'augmenter le rendement de conversion des cellules photovoltaïques et de développer des processus de fabrication moins onéreux, la filière du Silicium couvre actuellement 90 % du marché car elle offre le meilleur compromis entre coût de production, rendement et frais d'installation.

L'installation d'un système photovoltaïque nécessite tout d'abord son dimensionnement pour lequel il faut calculer à combien s'élève les besoins énergétiques que nous comptons satisfaire et calculer par la suite la puissance du champ photovoltaïque satisfaisant bien sûr ces besoins énergétiques. Lors du dimensionnement, on tiendra compte des conditions atmosphériques les plus défavorables pour l'obtention un bon dimensionnement.

Introduction générale

L'énergie fournie par les cellules photovoltaïques étant en courant continu, il est prudent de la stabiliser avant toute utilisation car elle est fortement dépendante des variations climatiques. Pour les récepteurs fonctionnant au courant alternatif, l'utilisation d'un onduleur est indispensable.

Pendant les périodes les plus défavorables (en absence du rayonnement) ou pendant la nuit, l'utilisation des batteries est nécessaire pour une fourniture de cette énergie à plein temps. Les technologies de stockage dont les batteries au plomb sont en tête, progressent rapidement et améliorent la fiabilité des solutions.

Ce travail vise à dimensionner et proposer un système photovoltaïque pour les locaux de notre administration de notre département des énergies renouvelable situé à l'université de Saad DAHLAB Blida1 (pavillon 23).

Il faut noter que dans ce travail, nous ne traiterons que le cas d'un système photovoltaïque autonome car toute l'énergie produite sera directement consommée par le site. D'où un système de stockage est indispensable.

Après une brève introduction situant le sujet de cette étude et les objectifs du travail, quatre chapitres y sont consacrés dont le premier mettra en évidence les généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque, le deuxième parlera des appareils de mesure et de protection, le troisième lui, décrira le site étudiée et donnera ses caractéristiques et enfin le quatrième et dernier chapitre sera consacré au dimensionnement proprement dit, à l'installation et à la maintenance du système photovoltaïque off-grid.

**CHAPITRE I:
GENERALITE SUR
L'ENERGIE ET SYSTEME
PHOTOVOLTAIQUE**

I.1. Origine de l'énergie photovoltaïque:

Le mot photovoltaïque vient de la grecque photo qui veut dire lumière et de volta du nom du physicien italien qui, en 1800 découvrit la pile électrique.

L'énergie photovoltaïque est une conversion directe du rayonnement solaire en électricité à partir de la cellule photovoltaïque.

Cette conversion appelée Effet photovoltaïque, a été découverte en 1839 par Antoine BECQUEL et, est utilisée dans les cellules photovoltaïques que l'on assemble en modules puis en champ photovoltaïques permettant de convertir directement l'énergie solaire en électricité sous l'effet de la lumière dans un matériau semi-conducteur, généralement à base de Silicium [1].

I.2. Système photovoltaïque:

Un système photovoltaïque est constitué en plus d'un champ photovoltaïque d'autres composants comme le régulateur, la batterie et l'onduleur.

I.2.1. Les types de systèmes photovoltaïques :

On rencontre généralement trois types de systèmes photovoltaïques :

- **Les systèmes autonomes (off-grid)**
- **Les systèmes hybrides (off-grid)**
- **Les systèmes connectés à un réseau. (on-grid)**

Les deux premiers sont indépendants du système de distribution d'électricité, en les retrouvant souvent dans les régions éloignées.

I.2.1.1. Les systèmes solaires autonomes

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons, les chalets ou les camps dans les régions isolées et éloignées du réseau. Ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau [1].

Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes ont les possibilités de couplage direct à une charge adaptée ou couplage avec adaptateur d'impédance MPPT (Maximum Power Point Tracking), fonctionnement au fil du soleil ou avec stockage d'énergie électrique [2].

Les systèmes photovoltaïques autonomes sont classés comme suit :

- ❖ **Système autonome avec stockage électrochimique :** le stockage électrochimique est indispensable pour assurer le fonctionnement nocturne ou durant un nombre de jours prédéfinis dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

❖ Système autonome sans stockage électrochimique :

Le pompage photovoltaïque est un exemple de cette catégorie de système autonome.

Les appareils d'utilisation sont branchés soit directement sur le générateur solaire, soit, éventuellement, par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu (régulateur).

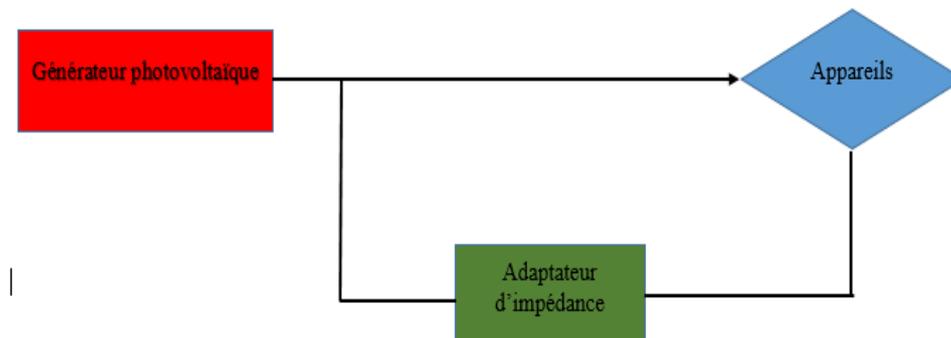


Figure (I.1): Schéma synoptique d'un système photovoltaïque sans stockage

Pour les systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à un stockage mais qui ne sera pas sous forme électrochimique.

Exemple :

- pompage \Rightarrow stockage par réservoir d'eau.
- Réfrigération \Rightarrow stockage par le froid.

I.2.1.2. Les systèmes solaires connectés au réseau :

Il produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin, ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie. Il est toujours possible d'utiliser ces systèmes pour servir d'alimentation d'appoint lorsque survient une panne de réseau [2].

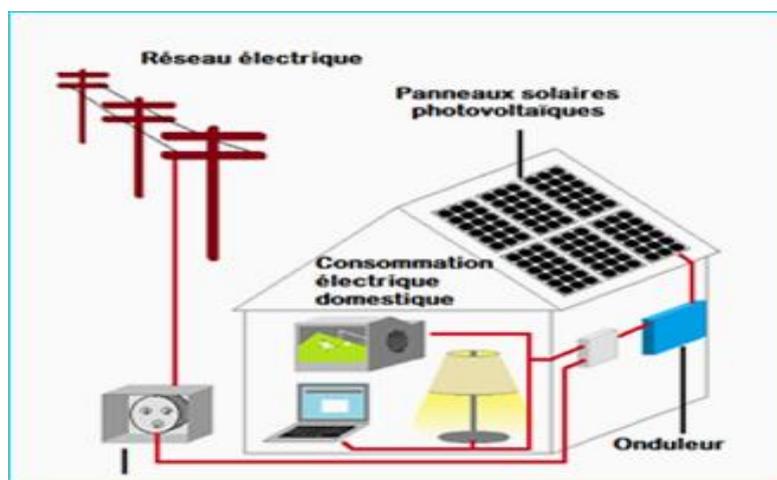


Figure (I.2): Systèmes photovoltaïque connectés au réseau sans batteries [3].

I.2.1.3. Les systèmes solaires hybrides :

Les systèmes solaires hybrides produisent de l'électricité de la même manière qu'un système solaire ordinaire raccordé au réseau, mais utilisent des onduleurs et des batteries (stationnaires) pour stocker l'énergie en vue d'une utilisation ultérieure. Cette capacité de stockage d'énergie permet à la plupart des systèmes hybrides de fonctionner également comme une alimentation de secours en cas de panne.

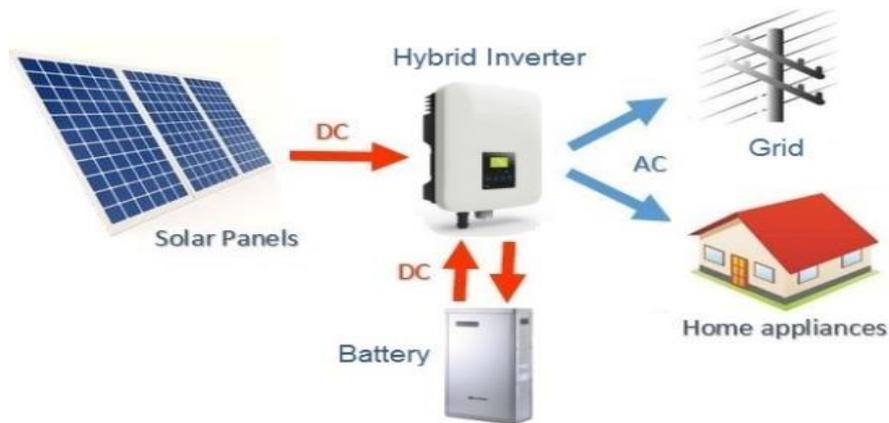


Figure (I.3): Schéma de base d'un système solaire hybride [4].

I.3. Composants du système photovoltaïque autonome :

I.3.1. Modules photovoltaïques

Le module photovoltaïque est donc un ensemble de cellules connectées en série, en parallèle ou en série parallèle. Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension.

I.3.2. Comportement d'un générateur photovoltaïque

I.3.2.1. Influence de l'ensoleillement

L'objectif ici dans cette étude est de montrer l'influence de certain nombre de paramètres extérieurs tels que (l'ensoleillement ou irradiation, la température) sur le générateur photovoltaïque (GPV).

Les graphes suivants représentent les caractéristiques $P(V)$ et $I(V)$ respectivement d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et un ensoleillement variable.

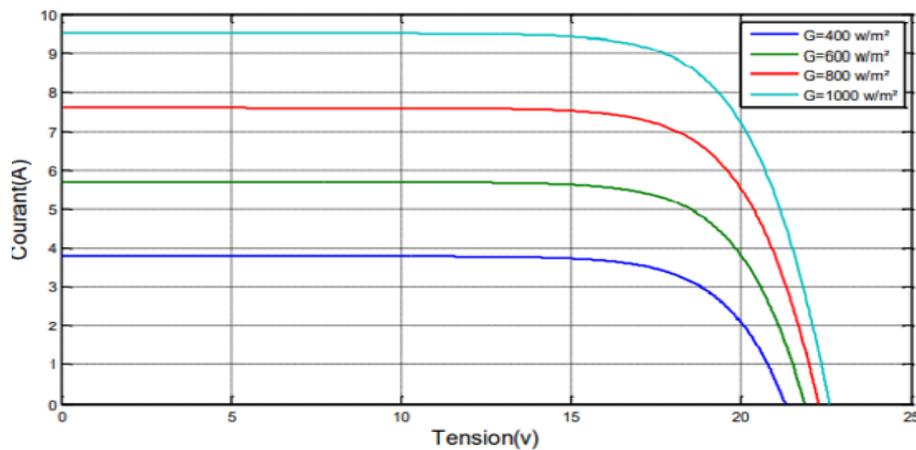


Figure (I.4): Variation de $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et un ensoleillement variable.

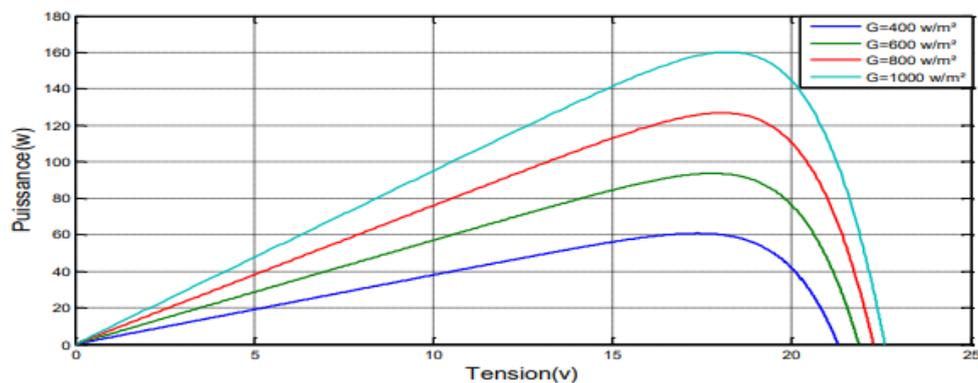


Figure (I.5): Variation de $P(V)$ d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et un ensoleillement variable.

Il est clair que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, mais reste quasiment identique même à faible éclairage. Ceci implique donc que :

- La puissance optimale de la cellule (P_{max}) est pratiquement proportionnelle à l'éclairage.
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension.

1.3.2.2. Influence de la température

Les graphes suivants représentent des courbes $I(V)$ et $P(V)$ pour différentes températures de fonctionnement d'un GPV à une irradiation constante.

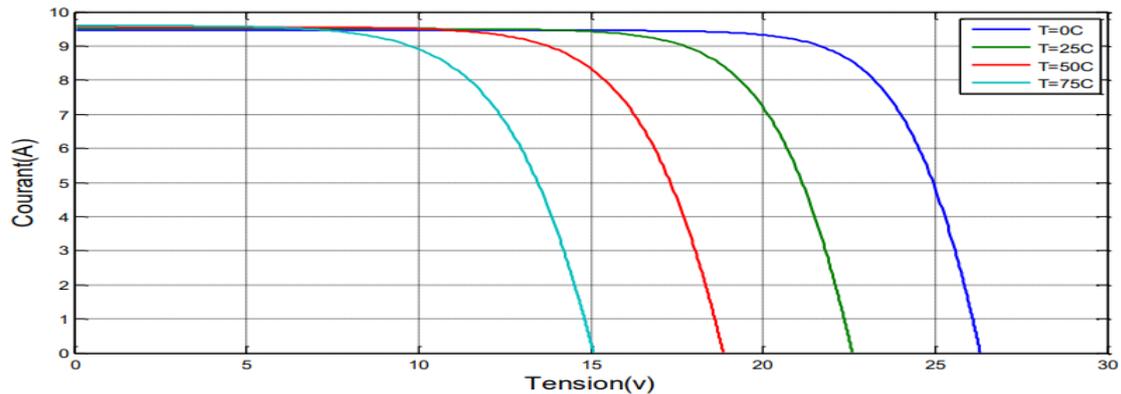


Figure (1.6): Caractéristique $I(V)$ en fonction de la température et une irradiation constante.

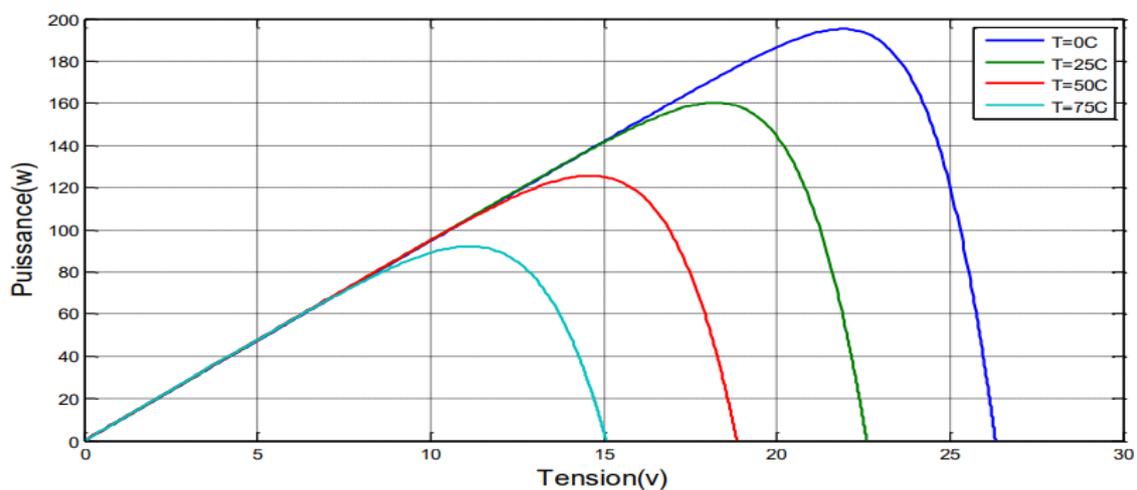


Figure (1.7): Variation de $P(V)$ d'un générateur photovoltaïque pour une température variable et une irradiation constante

Nous remarquons que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente.

I.4. Fiche technique du module PV :

I.4.1. Structure générale

Dans la première page de la fiche technique de chaque panneau solaire, on trouve le nom du module (dans notre cas DIMEL P300), puis la catégorie de module solaire et enfin la puissance du panneau solaire fig. ().



Figure (I.8): Fiche technique du panneau solaire Dimel polycristallin [5].

Référence	DP100	DP135	DP150	DP250	DP300
Puissance nominale [Wc]	100	135	150	250	300
Type de cellules	Polycristallin				
Tension en circuit ouvert V _{oc} [V]	22.1	21.9	22.7	36.6	44.8
Tension à puissance max V _{mpp} [V]	17.9	17.9	18.3	30.9	37
Courant de court-circuit I _{sc} [A]	6.1	8.2	8.75	8.75	8.7
Courant à puissance max I _{mp} [A]	5.6	7.55	8.2	8.1	8.1
Nombre de cellules	36 Pcs			72 Pcs	
Dimensions de module (L*H) [mm]	1075*676*35	1428*676*35	1482*676*35	1640*992*40	1956*992*45
Tension maximale système [V DC]	1000				
Coeff.de température de I _{sc} [% /°C]	+0.06				
Coeff.de température de V _{oc} [% /°C]	-0.35				
Coeff.de température de P _{mpp} [% /°C]	-0.5				
Température de fonctionnement [°C]	-40...+85				
Poids [Kg]	6	12.5	12.5	19	22.5
Garantie produit	2 ans				

Figure (I.9): Spécification mécanique et électriques du panneau photovoltaïque [5]



Figure (I.10): Spécification mécanique et électriques du panneau photovoltaïque

Et obligatoirement, chaque panneau doit comporter en son dos une fiche dite « signalitique » normalisée. Exemple : fig.(I.10) :

I.4.2. Spécification mécanique dans la fiche technique :

Les dimensions : Le format fournit des informations sur la taille du module solaire. Les dimensions standard sont de 1956 x 992 x 45, les dimensions sont indiquées en millimètres.

Le nombre de cellules solaires : le module est constitué de 72 cellules de type poly cristallin.

Le poids : le module pèse 22 kilogrammes.

I.4.3. Caractéristiques électriques

Considérons le module de puissance 300 WC. La fiche technique nous apporte des informations sur les points suivants :

➤ **Puissance crête du module $P_c = 250 W_c$.**

La puissance nominale de votre module solaire a été déterminée dans des conditions de test standard (STC), ce qui signifie qu'elle a été mesurée avec un rayonnement de $1000W/m^2$, une température de cellule de 25° et une masse d'air de « AM=1,5 ». Ces mesures sont des conditions de laboratoire standard.

➤ **Le rendement :** est le rapport entre la puissance produite par la cellule solaire et la puissance du rayonnement incident. En général, les modules solaires ont un rendement supérieur à 15 %.

Dans cet exemple, la puissance crête vaut $P_c = 300 W_c$, et la surface du module est $1.956 \times 0.992 = 1.9403 m^2$. D'où le rendement du module dans les conditions STC :

$$\eta_{STC} = 300 / (1000 \times 1.9403)$$
$$\eta_{STC} = 15.46 \%$$

En plus de la puissance nominale (STC), le courant et la tension sont donnés à MPP (Maximum Power Point). Dans notre cas:

➤ **Tension de puissance maximale $U_{MPP} = 37 V$**

➤ **Courant de puissance maximale $I_{MPP} = 8.1 A$**

La tension de circuit ouvert (à vide) est la tension du côté de la sortie si aucune charge n'est connectée, aucun courant électrique ne circule. Le courant de court-circuit est la valeur du courant lorsque la tension est nulle.

➤ **Tension à vide $U_{co} = 44.8 V$**

➤ **Courant de court-circuit $I_{cc} = 8.7 A$.**

Les coefficients de température sont essentiels pour le dimensionnement de l'onduleur solaire. Ils indiquent le pourcentage de variation de la tension, du courant ou de la puissance par degré Celsius.

- **Coefficient de température de la puissance maximale** : $K_T(P) = -0.5 \text{ \%/}^\circ\text{C}$. Cela signifie que la puissance diminue de 1.5 W ($0.5 \text{ \%} \times 300 = 1.5 \text{ W}$) lorsque la température des cellules augmente de 1 °C.
- **Coefficient de température de la tension en circuit ouvert** : $K_T(U_{co}) = -0.35 \text{ \%/}^\circ\text{C}$. Cela signifie que la tension à vide diminue de 0.15 V ($0.35 \text{ \%} \times 44.8 = 0.15 \text{ V}$) lorsque la température des cellules augmente de 1 °C.
- **Coefficient de température du courant de court-circuit** : $K_T(I_{cc}) = +0.06 \text{ \%/}^\circ\text{C}$. Cela signifie que le courant de court-circuit I_{cc} augmente 5.3 mA ($0.06\% \times 8.7 = 0.0053 \text{ A}$) lorsque la température des cellules augmente de 1 °C.

1.4.3.1. Qualifications et certificats



Figure (I.11): Qualifications et certificats [5].

Enfin, je tiens à mentionner les certificats de module. Dans la fiche technique des panneaux solaires, vous les trouvez généralement illustrés en couleur sur la première page ou la dernière page en bas. Le module solaire est conformé à la norme iso, et doit porter le sigle CE.

ISO : Organisation internationale de normalisation est une organisation non gouvernementale éditrice de normes internationales

RoHS : vise à limiter l'utilisation de six substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques

CE : Une inspection, un examen de l'assurance qualité, un contrôle de la conception ou une combinaison de plusieurs de ces moyens peuvent être utilisés pour l'évaluation de la conformité des fabricants des produits aux exigences essentielles des normes de la Communauté Européenne (CE).

I.5. Onduleur

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC) (fig. (I.11)). C'est la fonction inverse d'un redresseur.

En fait, cette conversion d'énergie est assurée à l'aide d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en

fréquence et en valeur efficace. La tension de sortie d'un onduleur a une forme d'onde périodique quasi sinusoïdale [6].



Figure (I.12): Conversion DC / AC [8].

I.5.2. Fonctionnement :

La création d'une sinusoïde à partir d'une tension continue s'obtient grâce à des impulsions de tension de largeur bien déterminée, cette technologie fait appel à la MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) ou PWM (Pulse width Modulation) [7].

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

I.5.3. Les types d'onduleurs :

Les onduleurs sont classés selon le type d'application et leurs performances, Il existe différents types d'onduleurs :

I.5.3.1. Onduleurs à branche standard (Standard String Inverters) :

Un onduleur de branche est une unité autonome, généralement installée près de la boîte à fusibles et du compteur électrique, et qui crée du courant alternatif (AC) à partir de chaînes de panneaux.

Un onduleur de branche est un onduleur central avec des entrées pour des "branches" de panneaux à faire fonctionner en une seule unité. Les panneaux sont câblés en série, et l'extrémité de la chaîne se branche sur l'onduleur. Les onduleurs en chaîne peuvent comporter plusieurs entrées.

Un onduleur à chaîne standard ne permet pas à lui seul d'intégrer une batterie. Vous devrez installer un [onduleur de batterie](#) séparé [8].



Figure (I.13): Onduleurs à branche standard SMA (Sunny Boy) [8].

Un système d'onduleur à chaîne ne peut être performant que si son panneau est le moins performant. Ainsi, si l'ombre ou un tas de feuilles entrave les performances d'un panneau, tous les autres panneaux fonctionnent avec la même capacité réduite. Cela signifie que chaque petit obstacle a un impact important sur votre production d'énergie et pèse sur vos économies potentielles [9].

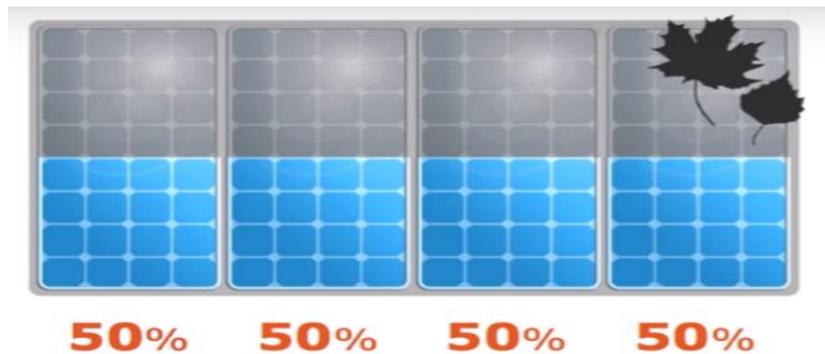


Figure (I.14): Fonctionnement d'un onduleur à chaîne quand t'il y a un ombrage [9].

I.5.3.2. Les onduleurs de batterie

Les onduleurs de batterie sont responsables de la charge et de la décharge de l'électricité stockée dans une batterie solaire. Les onduleurs de batterie sont souvent installés à côté d'un onduleur de chaîne standard, avec lequel il sera couplé en courant alternatif [8].

Les onduleurs à batterie peuvent souvent être installés facilement et rapidement dans les systèmes PV solaires.



Figure (I.15): Onduleur solaire de batterie « Renogy » de 3 000 watts à 12 volts hors réseau [10].

I.5.3.3. Onduleur hybride

Un onduleur hybride (smart-grid) permet de choisir et d'orienter l'énergie renouvelable, l'énergie du réseau et l'énergie du stockage en fonction de la consommation.

Ce système permet aussi de choisir si l'électricité provenant des panneaux photovoltaïques doit être stockée ou consommée par un appareil piloté grâce à une intelligence interne [11].

Les onduleurs hybrides fonctionnent donc en techniques *On-grid* mais aussi *Off-grid*, Hybride (les deux en même temps) et *Backup* (alimentation sécurisée en cas de coupure réseau) [12].



Figure (I.16): Onduleur hybride de 5KVA avec une puissance de 4000W pure sinus [13].

I.5.3.4. Onduleurs de réseau

Un onduleur connecté au réseau convertit un courant continu (DC) en un courant alternatif (AC) adapté à l'injection dans un réseau électrique, normalement 120 V RMS à 60 Hz ou 240 V RMS à 50 Hz. Les onduleurs de couplage au réseau sont utilisés entre les producteurs d'électricité locaux : panneau solaire, éolienne, hydroélectrique et le réseau [14].

Pour injecter efficacement et en toute sécurité de l'énergie électrique dans le réseau, les onduleurs de raccordement au réseau doivent correspondre avec précision à la tension et à la phase de l'onde sinusoïdale AC du réseau.

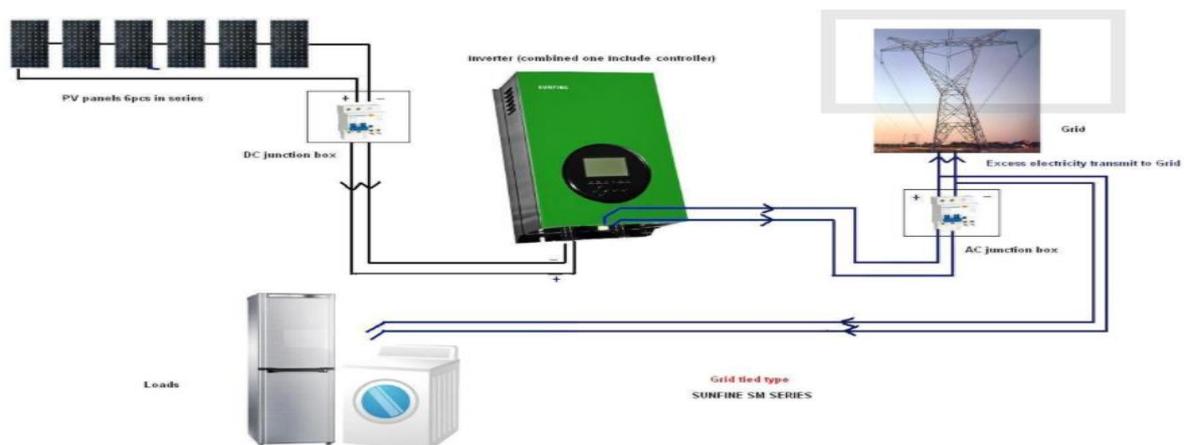


Figure (I.17): Onduleur connecté au réseau pour un système solaire [14].

- Ces types d'onduleurs sont divisés en deux familles :
 - **Onduleurs monophasés**
 - **Onduleurs triphasés**

I.5.4. Raccordement monophasé

Lorsque le raccordement au réseau s'effectue en monophasé, les onduleurs disposent forcément d'une sortie en monophasé. Chacune des sorties des onduleurs sont mises en parallèles dans le coffret AC. En sortie du coffret AC, on disposera donc d'un câble de phase et d'un câble de neutre.

I.5.5. Raccordement triphasé

Dans le cas où les onduleurs présentent une sortie en triphasé, il n'y a, à priori, plus de problème d'équilibrage des phases. En effet, chacune des trois phases de chaque onduleur se connecte à une phase du réseau triphasé.

Equilibrage des onduleurs triphasés

Il est à noter que tous les onduleurs triphasés n'équilibrent pas forcément leurs phases. En effet, il existe des onduleurs triphasés multitracker dont chaque tracker est associé à une des trois phases, de façon indépendante.

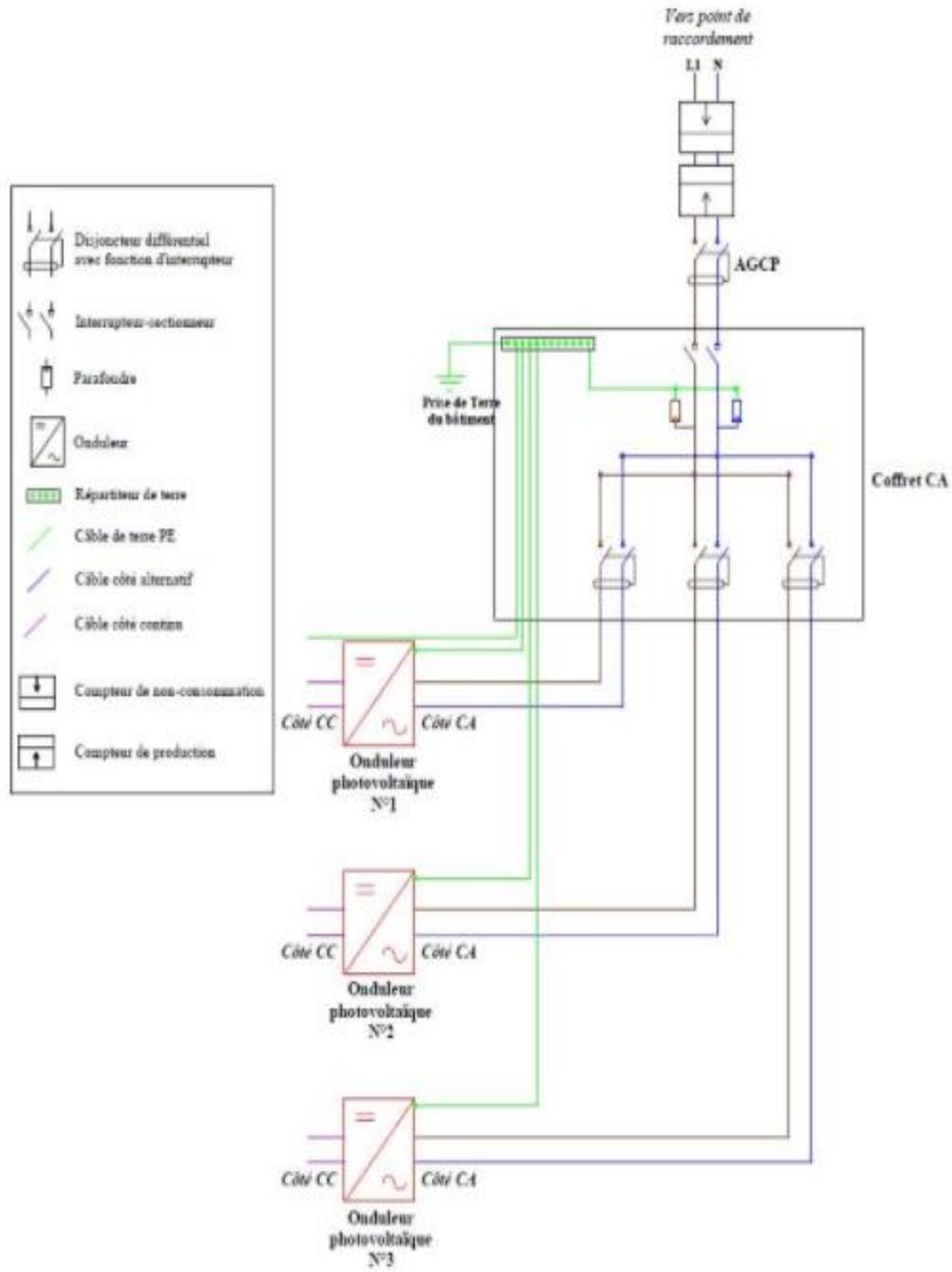


Figure (I.18): Raccordement monophasé [15]

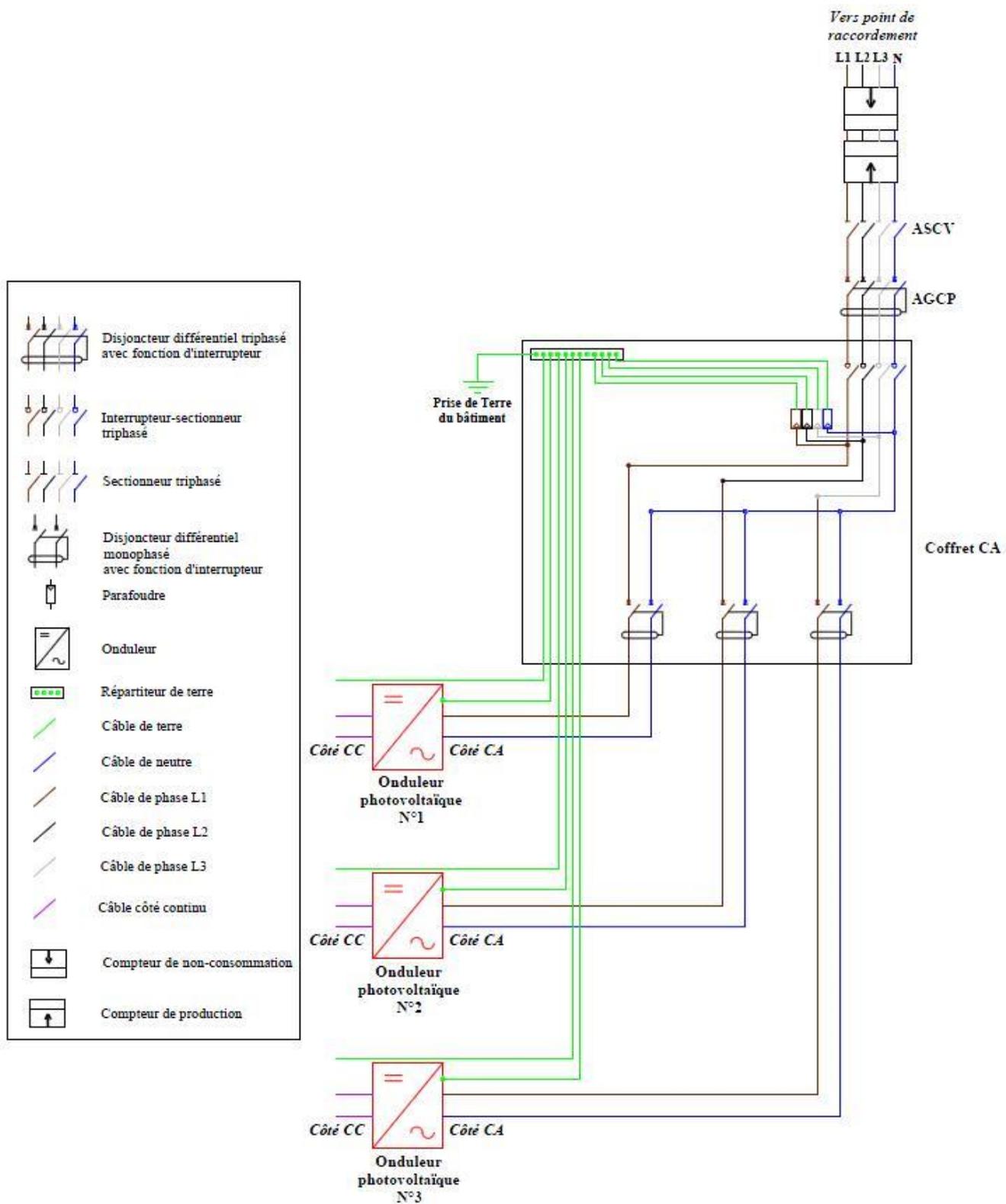


Figure (I.19): Raccordement triphasé [15]

I.6. La fiche technique de l'onduleur

Dans une fiche technique, on retrouve toujours deux parties distinctes :

- Les paramètres d'entrées de l'onduleur
- Les paramètres de sortie de l'onduleur



Figure (I.20): Onduleur solaire DSI-SERIES [16].

Sur la première page de chaque fiche technique d'un onduleur solaire, on trouvera le nom de l'onduleur, puis le nom du fabricant (ici DSI pour Dimel Solar Inverter) et après, la catégorie de l'onduleur solaire (hybride).

Le reste de la première page comprend souvent une image de l'onduleur, puis énumère les avantages de cet onduleur PV, et les caractéristiques par exemple la flexibilité de conception, l'efficacité du système et les fonctions supplémentaires de l'onduleur solaire [17].

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

- ⇒ **Priorité d'entrée AC / solaire configurable**
- ⇒ **Compatible avec la tension du secteur ou la puissance du générateur**
- ⇒ **Surveillance à distance WIFI / GPRS (en option)**
- ⇒ **Paramètre de charge configurable, adapté à toutes sortes de batteries rechargeables**
- ⇒ **Fonctionnement en parallèle disponible pour DSI-P5000**
- ⇒ **Fonctionnement en parallèle en monophasé avec jusqu'à 3 inverseurs de 15 KW**
- ⇒ **Fonctionnement de trois l'onduleur ensemble pour soutenir l'équipement triphasé 15KW**

Figure (I.21): Les caractéristiques de l'onduleur DSI-SERIES [16].

Voici un exemple de fiche technique d'un onduleur solaire, "DIMEL":

Tableau (I.1): La fiche technique de l'onduleur [16].

Séries DSI	DSI –P3000		DSI-P5000
Puissance de convertisseur à 25°C [W]	3000		5000
Puissance de pointe [W]	6000		10000
Tension d'entrée [VDC]	24	48	48
Tension / Fréquence de sortie [V] / [Hz]	110 ou 230 ±5 % / 50 ou 60		Pure sinus THD<3%
Efficacité maxi [%]	90		93
Parallèle kit	No		Oui
CHARGEUR SOLAIRE MPPT			
Puissance maximale du PV [W]	1800	2000	4500
MPPT Plage @ Tension de fonctionnement [VDC]	30 ~80	60 ~115	
Tension d'entrée Max de PV [VDC]	100	145	
Courant de charge Max [A]	40	60	80
Consommation électrique en veille [W]	2		
Efficacité maximale [%]	97		
CHARGRUE AC/BYPASS			
Courant de charge Max [A]	60		
Tension de sortie [VAC]	230		
Fréquence de sortie [Hz]	50 /60 (Auto)		
Courant Bypass Max [A]	25	40	
Puissance Bypass Max [W]	5500	8800	
Tempe de transfert [mS]	10 (pour ordinateurs); 20 (pour les appareils ménagers)		
SPECIFICATIONS GENERALES			
Section de câble maximale	10	10	25 / 10 / 10
Dimensions (HxLxP) [mm]	100 x272 x385		130 x 295 x 455
Poids [kg]	7		11
Humidité [%]	5% à 95% d'humidité relative (sans condensation)		
Température de fonctionnement [°C]	0 - 55		
Degré de protection	IP21		
Garantie	2 an		
Certificat de conformité	CE, ISO, EBO		

I.6.2. Paramètres côté continu de l'onduleur

Tableau (I.2): Paramètres côté continu de l'onduleur [16]

Séries DSI	DSI –P3000		DSI-P5000
Puissance de convertisseur à 25°C [W]	3000		5000
Puissance de pointe [W]	6000		10000
Tension d'entrée [VDC]	24	48	48
Tension / Fréquence de sortie [V] / [Hz]	110 ou 230 ±5 % / 50 ou 60		Pure sinus THD<3%
Efficacité maxi [%]	90		93
Parallèle kit	No		Oui
CHARGEUR SOLAIRE MPPT			
Puissance maximale du PV [W]	1800	2000	4500
MPPT Plage @ Tension de fonctionnement [VDC]	30 ~80	60 ~115	
Tension d'entrée Max de PV [VDC]	100	145	
Courant de charge Max [A]	40	60	80
Consommation électrique en veille [W]	2		
Efficacité maximale [%]	97		

I.6.3. Puissance max d'entrée maximale

La puissance DC maximale utilisable de l'onduleur solaire photovoltaïque est définie comme la plus grande puissance absorbée (ici 4500 Watt pour DSI-P5000) autorisée à passer des panneaux photovoltaïques connectés à l'onduleur solaire, lorsque le facteur de puissance est maximal ($\cos(\varphi)=1$). La puissance d'entrée maximale correspond à la puissance maximale que peut recevoir l'onduleur. Cette puissance reçue par l'onduleur provient du groupe photovoltaïque (ici 4500 Watt pour DSI-P5000) qui débite un courant continu « I » et une tension continue « U » aux bornes d'entrées de l'onduleur, lorsque le facteur de puissance est maximal ($\cos(\varphi) = 1$).

$\cos(\varphi) = 1$ signifie qu'il n'y a que la puissance réelle qui circule vers la charge. Le produit de ce courant et de cette tension correspond à la puissance injectée côté DC dans l'onduleur [17].

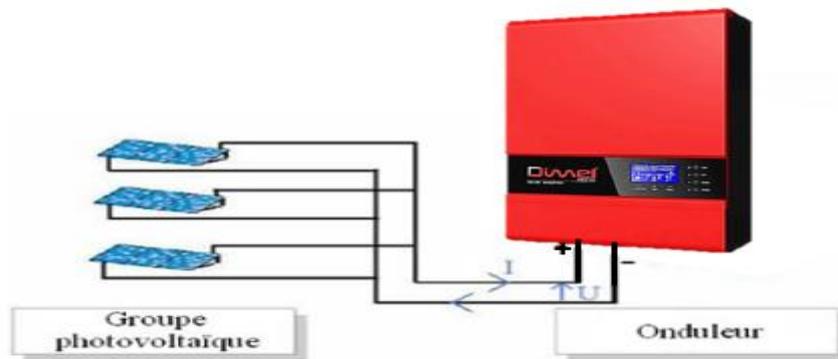


Figure (I.22): Schéma d'installation parti courant continu.

I.6.4. Tension d'entrée maximale

La tension d'entrée maximale correspond à la tension maximale que peut supporter l'onduleur côté DC. Contrairement au dépassement de la puissance maximale ou du courant maximal, dès que la tension délivrée par le groupe photovoltaïque dépasse la valeur de la tension maximale admissible par l'onduleur, celui-ci sera irrémédiablement détruit [17].

Tension d'entrée Max de PV [VDC]	100	145
---	------------	------------

➡ La valeur de la tension d'entrée maximale augmente à mesure que la température diminue et détermine le nombre de panneaux solaires photovoltaïques que vous pouvez connecter en série à l'onduleur solaire.

I.6.5. Plage de tension MPPT de l'onduleur photovoltaïque

Les onduleurs photovoltaïques disposent d'un système intégré permettant de détecter et de se caler sur le point de puissance maximum du groupe photovoltaïque. Ce système s'appelle le MPPT (Maximale Power Point Tracking). Le MPPT force donc le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système de conversion électrique [17].

Cependant, le système MPPT ne fonctionne que pour une plage de tension d'entrée d'onduleur définie par le fabricant.

Dans l'exemple ci-dessous (onduleur DSI-SERIES), la plage de tension MPPT est de 60 à 115 V_{DC}.

MPPT Plage @ Tension de fonctionnement [VDC]	30 ~80	60 ~115
---	--------	---------

- ☛ Lorsque la tension d'entrée de l'onduleur côté DC est inférieure à la tension minimale MPPT, l'onduleur continue de fonctionner mais fournit au réseau la puissance correspondante à la tension minimale MPPT.

Cas normal :

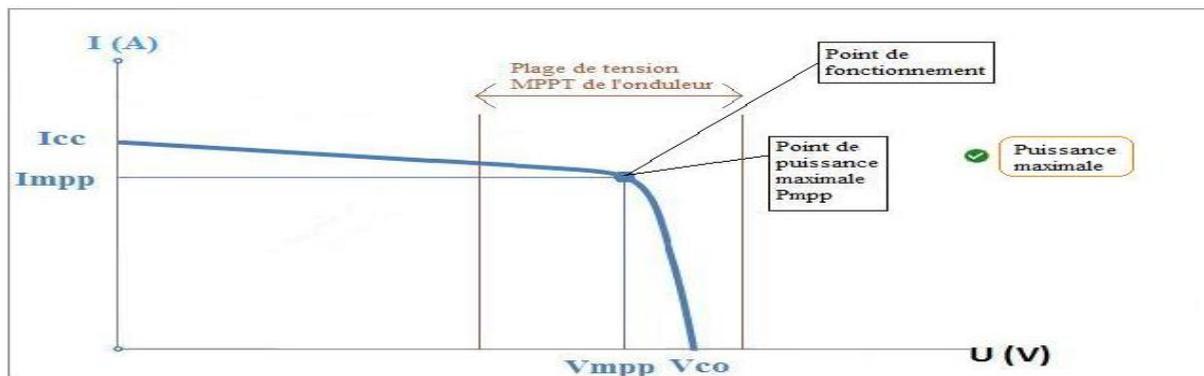


Figure (I.23): Le courant de sortie de panneau en fonction de la tension et la plage de tension cas normal [18].

Cas anormal :

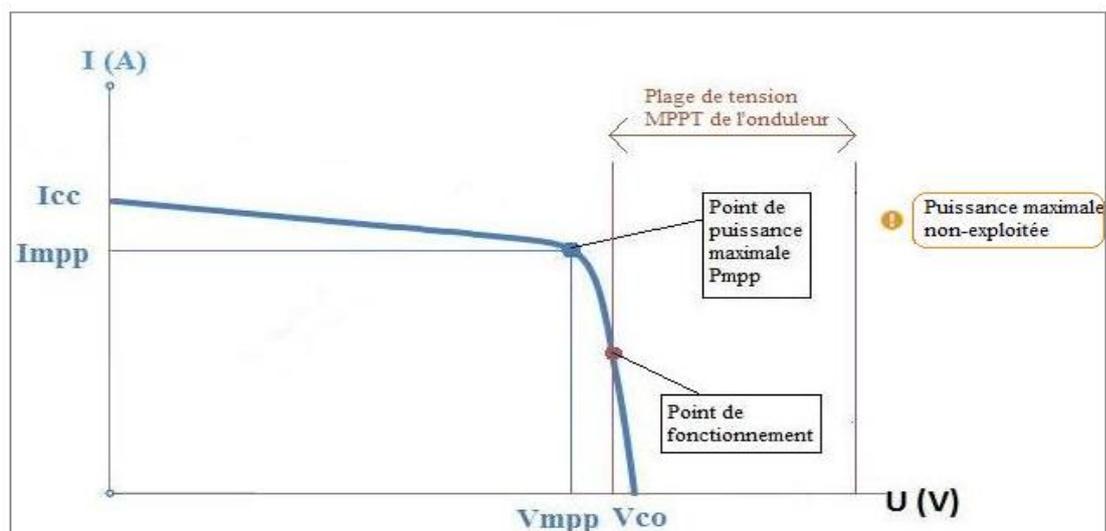


Figure (I.24): Le courant de sortie du panneau en fonction de la tension et la plage de tension cas anormal [18]

- ☛ Lors du dimensionnement des onduleurs, il faudra tenir compte de cette plage de tension MPPT, au risque de provoquer une perte de production du groupe photovoltaïque.

I.6.6. Tension DC (d'entrée) minimale / tension de démarrage

La tension d'entrée minimale est la tension que l'onduleur solaire doit recevoir pour pouvoir trouver le point de la puissance maximale (MPP) du générateur photovoltaïque.

La tension d'entrée de démarrage de l'onduleur solaire est la tension minimale à partir de laquelle l'onduleur commence à tirer de l'énergie du générateur photovoltaïque.

Plus ces deux valeurs sont petites, plus l'onduleur solaire est performant.

I.6.7. Courant d'entrée maximal de l'onduleur photovoltaïque

Le courant d'entrée maximal de l'onduleur correspond au courant maximal que peut supporter l'onduleur côté DC.

Dans ce cas, le courant d'entrée maximum qui circule du côté DC de l'onduleur solaire PV ne doit pas dépasser la valeur de 40, 60 ou 80A suivant le type d'onduleur.

Courant de charge Max [A]	40	60	80
---------------------------	----	----	----

I.6.8. Paramètres côté alternatif de l'onduleur

Tableau (I.3): Paramètres côté Alternatif de l'onduleur DSI-DIMEL [16].

CHARGRE AC/BYPASS	
Courant de charge Max [A]	60
Tension de sortie [VAC]	230
Fréquence de sortie [Hz]	50 /60 (Auto)
Courant Bypass Max [A]	25 40
Puissance Bypass Max [W]	5500 8800
Tempe de transfert [mS]	10 (pour ordinateurs); 20 (pour les appareils ménagers)

Contrairement au côté DC, le côté AC est caractérisé par un courant alternatif et une tension alternative compatibles avec le réseau, c'est-à-dire, en Algérie : fréquence de 50 Hz et tension efficace de 230 V.

I.6.9. Tension nominale de sortie AC

En sortie de l'onduleur (côté AC), son raccordement peut se faire de deux façons :

- Monophasé
- Triphasé

La tension de sortie de l'onduleur est indiquée sur la fiche technique :

Tension de sortie [VAC]	230
-------------------------	-----

La tension en sortie de l'onduleur ne varie jamais, elle est théoriquement toujours égale à 230 V (entre phases et neutre).

I.6.10. Courant de sortie de l'onduleur photovoltaïque

Le courant en sortie de l'onduleur est un courant alternatif de fréquence 50 Hz.

A l'inverse de la tension, le courant de sortie de l'onduleur varie en fonction de la production électrique instantanée du groupe photovoltaïque (onduleur côté DC).

Il est important de connaître le courant maximal en sortie de l'onduleur afin de pouvoir dimensionner les composants électriques situés après celui-ci.

L'extrait de la fiche technique de l'onduleur ci-dessous indique un courant maximal de sortie est de 25 A:

Courant Bypass Max [A]	25	40
------------------------	----	----

I.6.11. Puissance de sortie de l'onduleur photovoltaïque

La puissance nominale AC de l'onduleur solaire est définie comme la puissance spécifiée pour l'onduleur PV en fonctionnement continu.

Plus cette valeur est élevée, plus l'onduleur solaire est performant et coûteux.

La puissance de sortie est tout simplement le produit de la tension et du courant efficaces multiplié par le facteur de puissance $\cos(\varphi)$:

Tableau (I.4): La puissance électrique

	Monophasé	Triphasé
Puissance électrique (W)	$U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos(\varphi)$ $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$	$3 \times U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos(\varphi)$ $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$

La valeur du facteur de puissance $\cos(\varphi)$ est donnée dans la fiche technique. Il est généralement égal à 1 (le courant et la tension sont en phase) :

Comme pour le courant de sortie, la puissance de sortie de l'onduleur varie en fonction de la production électrique instantanée du groupe photovoltaïque (en amont de l'onduleur côté DC).

D'après la fiche technique de l'onduleur DSI-DIMEL, la puissance maximale de sortie est de 8800 W:

Puissance Bypass Max [W]	5500	8800
--------------------------	------	------

I.6.12. Puissance apparente maximale en courant alternatif

Il est important de connaître la puissance maximale (apparente) en sortie de l'onduleur afin de pouvoir dimensionner les composants électriques situés en aval de celui-ci. Plus celle-ci est élevée, plus l'onduleur d'énergie solaire est puissant et coûteux [17].

Cette puissance apparente se compose de deux parties:

- Une partie utilisable appelée puissance réelle
- Une partie inutile appelée puissance réactive.

I.6.13. Phases de sortie / connexions de lignes

Le DSI-SERIES convertit le courant continu de l'installation photovoltaïque en courant triphasé conforme au réseau.

3 / N / PE se réfère au courant alternatif triphasé système à 5 fils avec neutre séparé et conducteur de protection

- 3 est le nombre de conducteurs de phase (trois fils extérieurs L1, L2 et L3)
- N est pour le conducteur neutre
- PE est pour le conducteur de protection (conducteur de terre)

L'onduleur solaire triphasé est meilleur que l'onduleur monophasé [17].

I.6.14. Plage de tension AC

C'est la plage de tensions alternatives avec laquelle l'onduleur solaire peut fonctionner.

Un bon onduleur solaire a une large gamme de tension alternative

I.6.15. Fréquence nominale du réseau AC

La fréquence nominale du réseau AC à la sortie de l'onduleur solaire PV est de 50/60 Hz (Auto).

Fréquence de sortie [Hz]	50 /60 (Auto)
--------------------------	---------------

I.6.16. Efficacité

Elle est fournie par le fabricant de l'onduleur PV, généralement évalué pour un niveau de puissance spécifique.

Elle exprime le rendement de l'onduleur :

Efficacité maxi [%]	90	93
---------------------	----	----

I.7. Régulateurs

Le régulateur protège et contrôle la charge et la décharge de la batterie, ils sont de trois types principaux:

- Les régulateurs série qui incorporent un interrupteur entre le générateur et l'accumulateur pour arrêter la charge ;
- Les régulateurs shunt qui ont un interrupteur en parallèle avec le générateur pour couper la charge, ce qui impose la présence d'une diode de blocage dans le régulateur;
- Les régulateurs MPTT qui utilisent un circuit spécial cherchant le point de puissance maximale du générateur pour charger l'accumulateur avec le plus grand courant possible.

A ces trois types de circuit, il faut ajouter en général un régulateur de décharge qui va empêcher une décharge profonde de la batterie en coupant les utilisateurs à une tension précise. Ce circuit sera toujours de type série.

I.7.1. Régulateur shunt

Le courant du panneau solaire est envoyé dans un interrupteur en parallèle avec la batterie lorsque celle-ci atteint sa pleine charge.

Le principe de fonctionnement est un simple aiguillage : tout le courant délivré par les panneaux photovoltaïques, passe normalement dans les batteries jusqu'à ce que le seuil de coupure soit atteint.

Alors, le courant est dérivé dans l'interrupteur équipé d'une diode.

Cette diode joue également le rôle de blocage du courant nocturne pouvant « s'écouler » des batteries.

L'interrupteur le plus souvent utilisé est un MOSFET à faible résistance de passage, plus intéressant qu'un transistor bipolaire qui dissipe trop d'énergie.

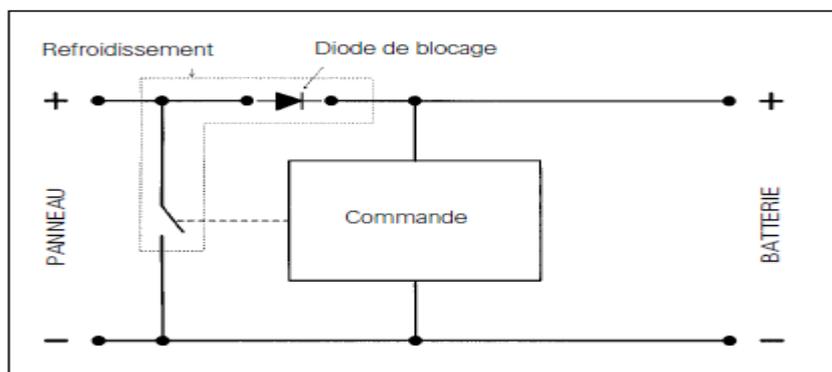


Figure (I.25): Régulateur shunt [19]

I.7.2. Régulateur série

Ce régulateur devient de plus en plus répandu et devrait à terme remplacer le régulateur shunt.

Cette fois-ci, l'interrupteur de charge est en série avec la batterie et il s'ouvre lorsque la fin de la charge est atteinte. Les mêmes interrupteurs peuvent être utilisés pour les shunts [19].

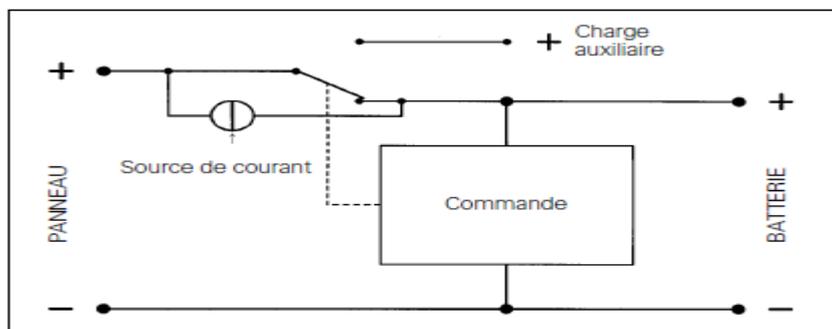


Figure (I.26): Régulateur série [19].

I.7.3. Quel contrôleur de charge solaire choisir: PWM ou MPPT ?

- ✚ **PWM** : Le contrôleur de charge PWM est une bonne solution à faible coût pour tous les petits systèmes quand la température des cellules solaires est modérée (entre 45° C et 75° C).
- ✚ **MPPT** : Pour exploiter au maximum le potentiel du contrôleur MPPT, la tension du champ doit être considérablement supérieure à la tension de la batterie. Le contrôleur MPPT est la solution idéale pour les systèmes présentant une puissance supérieure grâce au coût plus faible de l'ensemble du système dû à des sections de câble plus petites. Le contrôleur MPPT récupérera également nettement plus d'énergie lorsque la température de la cellule solaire est basse (inférieure à 45°C), ou très élevée (supérieure à 75°C), ou lorsque l'ensoleillement est très faible.

I.8. Les Batteries

Une batterie solaire est un appareil destiné à stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaires photovoltaïques sous forme dite électrochimique. Le courant qui y entre ou qui en sort est forcément continu (DC).

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale [20].

I.8.1. Les différentes technologies de la batterie acide-plomb

Les batteries acides-plomb sont utilisées pour 3 grands types d'applications :

- Domaine du démarrage - Batterie utilisée pour le démarrage d'un moteur thermique (exemple : démarrage des moteurs de véhicules).
- Domaine de la traction - Batterie d'accumulateurs conçue pour fournir l'énergie aux véhicules et engins électriques (exemple : alimentation des chariots de manutention).
- Domaine des applications stationnaires - Batterie d'accumulateurs conçue pour fonctionner à un emplacement fixe et qui n'est normalement pas déplacée au cours de sa vie de fonctionnement (exemple : énergie de secours, photovoltaïque).

Nous approfondissons ci-après ces 2 technologies de batteries acide-plomb.

- Les batteries ouvertes
- Les batteries étanches

I.8.1.1. Les batteries ouvertes acide-plomb

On parle de batterie ouverte lorsque les gaz produits issus de l'électrolyse de l'eau au sein de la batterie peuvent s'échapper en dehors de celle-ci. Nous rappelons que ces gaz sont le dihydrogène et le dioxygène et que cette réaction consomme l'eau de l'électrolyte [18].



Figure (I.26): Parc constitué de 12 éléments de batteries ouvertes de 2V (Capacité 800 Ah - Tension 24 V) [18].

I.8.1.2. Les batteries acide-plomb étanches

Dans les batteries étanches, l'électrolyte se présente sous la forme d'un gel (et non-pas sous la forme d'une solution liquide, comme dans le cas des batteries ouvertes). On assiste toujours à la production de dihydrogène et de dioxygène, mais cette fois-ci, ces gaz ne s'échappent pas en dehors de la batterie. En effet, sous l'effet des forces de viscosité du gel, les bulles de gaz sont piégées et diffusent les unes vers les autres afin d'y être recombinaés en eau.



Figure (I.27): Batterie de type étanche [18].

I.8.2. Les avantages et les inconvénients de la batterie

Tableau (I.5):Les avantages et inconvénients de la batterie

	Avantages	Inconvénients
Batterie ouverte	<ul style="list-style-type: none"> -Faible coût -Durée de vie importante (3 000 cycles de charges/décharges à 70% de profondeur de décharge). -Capacité élevée : jusqu'à 4 000 Ah. 	<ul style="list-style-type: none"> -Dégagement gazeux : nécessite des mesures de sécurité du local des batteries. -Diminution du niveau de l'électrolyte : nécessite entretien régulier, environ 1 fois par trimestre.

	Avantages	Inconvénients
Batterie étanche	<ul style="list-style-type: none"> -Faible coût -Pas de dégagement gazeux => moins de contrainte de sécurité. -Recombinaison de gaz => maintenance réduite 	<ul style="list-style-type: none"> - La durée de vie est moins importante (1000 cycles de charges/décharges à 70% de profondeur de décharge). -Les coûts des équipements annexes (chargeurs) est plus important que celui des produits de batteries ouvertes. - Faible capacité des batteries : 200 Ah maximum -La charge optimisée fait appel à un courant de charge à commande électronique avec un contrôle d'algorithme plus complexe que pour les batteries plomb ouvert.

I.8.3. Une décharge et une charge de la batterie

I.8.3.1. Principe électrochimique de la décharge d'une batterie acide-plomb

La décharge d'une batterie repose sur la théorie des réactions d'oxydoréduction.

La fig. (I.28) représente les courbes de décharge à différents courants.

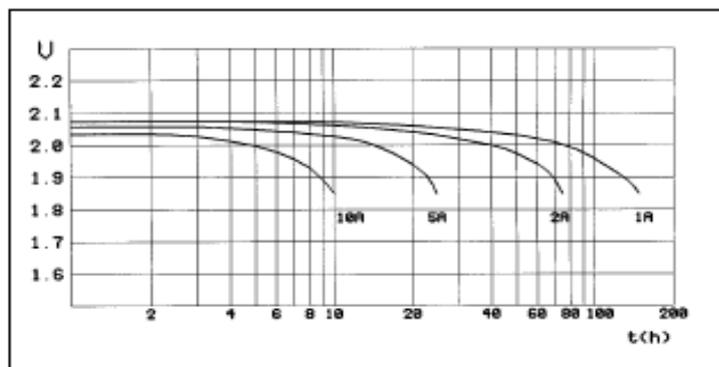


Figure (I.28): Caractéristique de décharge, batterie de 100 Ah (C10) [19].

La première observation est que la tension baisse lorsque le courant augmente, de même que la tension minimale autorisée sans endommager la batterie: cet effet est dû à la résistance interne. On en tiendra compte pour les régulateurs si les courants de décharge dépassent $C/10$ (C : la capacité de la batterie). Un autre effet que l'on observe sur cette courbe est que la capacité baisse lorsque le courant augmente : à la capacité de référence de $C=100$ Ah correspond une décharge en 10 h, et donc un courant de 10 A de d'où la notations C10.

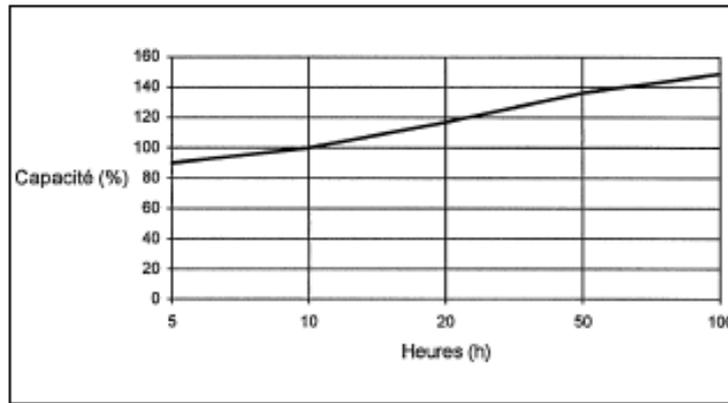


Figure (I.29): Capacité/temps de décharge [19]

- ✚ Pour comparer deux batteries, il faut connaître leur capacité au même courant de décharge, ou au moins à la même vitesse de décharge.

I.8.3.2. Principe électrochimique de la charge d'une batterie acide-plomb

La charge d'une batterie consiste à réaliser la réaction chimique inverse de la décharge. Cette réaction inverse n'étant pas naturellement possible, il convient de réaliser ce qu'on appelle une réaction forcée. Pour cela, on utilise un générateur qui va forcer le passage des électrons dans le sens inverse on appelle ce procédé électrolyse.

I.8.4. Caractéristique de charge

La figure I.31 représente l'allure de la courbe de charge à courant constant d'une batterie au plomb pour différentes températures

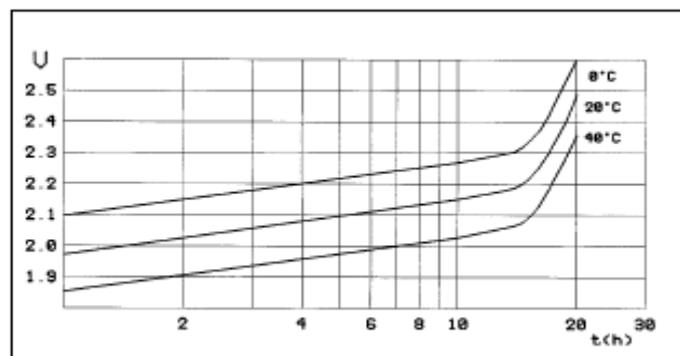


Figure (I.30): Caractéristique de charge d'une batterie au plomb [19]

- ✚ On remarque que la tension augmente rapidement lorsque la batterie approche de la pleine charge ; ceci facilite la conception de régulateurs.

I.8.5. Influences de la température

La fig. (I.31) représente une allure de la capacité de la batterie en fonction de la température. On remarque que la capacité de la batterie augmente quand la température augmente [21].

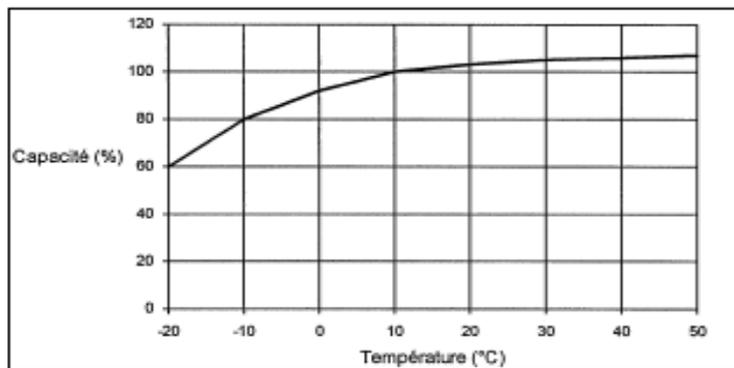


Figure (I.31): Capacité/température [19]

Des températures plus faibles réduisent la capacité des batteries significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie [21].

1.8.6. Fiche technique d'une batterie [22]

Dans une fiche de spécifications d'une batterie typique, on trouve généralement toutes sortes de termes techniques qu'il faut comprendre pour pouvoir utiliser la batterie de la bonne manière afin d'en tirer le maximum de profit dans une application particulière.

1.8.6.1. Tension de charge (V)

C'est la tension à laquelle la batterie lorsqu'elle est chargée à pleine capacité

1.8.6.2. Tension nominale (V) :

Les batteries au plomb sont constituées d'éléments délivrant chacun une tension de 2,1 V. Le montage en série de ces éléments permet d'atteindre les voltages usuels souhaités, en général 12 V, soient 6 éléments. Pour réaliser des systèmes en 24 ou 48 V, on monte des batteries 12 V en série.

Conseil : Ne jamais monter dans un même parc, des batteries hétérogènes, ni de mélanger d'anciennes et de nouvelles. La batterie plus faible affaiblissant l'ensemble

1.8.6.3. Tension de coupure (V) :

C'est la tension minimale admissible d'une batterie. C'est la tension qui définit généralement l'état "vide" de la batterie.

1.8.6.4. La capacité, exprimée en Ampères heures

Il s'agit du nombre d'ampères contenus dans une batterie. Quand on installe un ensemble de batteries 12V pour en additionner les capacités (on parle alors de parc batterie), on les monte en parallèle. Si on les monte en série, on additionnera les tensions, transformant alors 2 batteries 12 V en un parc 24 V.

1.8.6.5. L'intensité maximale de démarrage (CCA)

Il s'agit de l'intensité maximale extractible d'une batterie sur une courte période en situation de démarrage de moteur par exemple. Ici notre batterie peut fournir 420 A pendant 5 secondes.

C'est l'information importante quand on choisit une batterie qui servira pour démarrer un moteur thermique.

1.8.6.6. La vitesse de décharge

Exprimée en C10, C20 ou C100, elle indique la capacité d'une batterie en fonction de sa vitesse de décharge.

- C100 = 104 Ah, signifie que notre batterie peut fournir 1,4 A pendant 100h (104/100).
- C20 = 90 Ah, signifie que notre batterie peut fournir 4,5 A pendant 20h (90/20).

1.8.6.7. Le nombre de cycles

Pour une batterie, un cycle représente une décharge suivie d'une charge. Mais attention, le nombre de cycles d'une batterie est fonction de la profondeur de la décharge subie. Dans le cas de notre batterie

- 500 cycles à décharges 80%
- 750 cycles à décharge 50%
- 1800 cycles à décharge 30%

CHAPITRE II:
LES APPAREILLES DE
MESURE ET DE PROTECTION

II.1. Les appareils de mesure

II.1.1. Pyranomètre

Un pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en Watt par mètre carré [23].



Figure (II.1): Pyranomètre [23].

II.1.2. Anémomètre

Cet Anémomètre permet de mesurer la vitesse du vent, de la température et de l'humidité.



Figure (II.2): Anémomètre [24]

II.1.3. Multimètre :

Le multimètre permet de réaliser différentes mesures électriques (tension, résistance, continuité et courant) d'un appareil. En fait il remplace un voltmètre, un Amperemètre et un Ohmmètre.



Figure (II.3): Un multimètre [25]

II.2. Les appareils de protection et la mise à la terre :

II.2.1. Interrupteur- sectionneur :

Il sera placé juste à la sortie du générateur et servira entre autres d'isoler électriquement le champ PV afin de permettre des opérations de maintenance en toute sécurité. Il doit être dimensionné selon la règle suivante :

- Tension assignée $\geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$ (Nombre des Modules en Séries).
- Intensité nominale $\geq 1,5 \times I_{cc} \times N_{BP}$ (Nombre des Batteries en Séries).



Figure (II.4): Différents modèles d'Interrupteurs-sectionneurs [7].

II.2.2. Le Parafoudre

Le parafoudre permet de protéger contre les risques de surtensions éventuelles dans l'installation. Pour prévenir les surtensions dû à la foudre, la protection contre les risques de surtensions induites dans le circuit de la partie à tension alternative ou continue de l'installation est important.



Figure (II.5): Différents types de Parafoudre [7].

II.2.3. Interrupteur- disjoncteur DC :

Le disjoncteur miniature DC (exemple : la gamme GSB1Z-40 avec une tension nominale jusqu'à 250V et un courant nominal de service jusqu'à 40A) est principalement utilisé dans les circuits électriques DC avec pour la protection contre les surcharges, les courts-circuits ainsi que les commutations non fréquentes. Ce disjoncteur peut être équipé de contacts auxiliaires, de contacts d'alarme et de déclenchement d'excitation, de contacts d'alarme et des accessoires de déclenchement d'excitation pour réaliser les fonctions de coupure à distance et de commande du signal.



Figure (II.6): Différents types d'interrupteurs- disjoncteurs DC [7].

II.2.4. Fusible:

Le fusible ou coupe-circuit à fusible est un dispositif de sécurité conçu pour couper le courant électrique lors d'une surcharge ou d'un court-circuit. Le composant principal de ce dispositif est un petit isolant enveloppant un fil conducteur qui fond quand il est traversé par un courant d'intensité supérieure au calibre supporté. Ainsi, il permet d'ouvrir le circuit électrique pendant une période de surintensité et prévient les incendies ainsi que la destruction de l'ensemble du système.

La protection d'un champ photovoltaïque est réalisée à l'aide de fusible installé sur chaque branche. Il sera placé à la sortie de chaque branche parallèle et sera choisi en tenant compte de :

- La tension de fonctionnement d'un fusible doit être de 1,15 fois la tension à vide dans les conditions STC des modules raccordés en série :

Tension assignée du fusible $\geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$

- Le calibre des fusibles doit être compris entre 1,5 et 2 fois le courant I_{sc} (STC) de chaque chaîne. ($1,5 \times I_{cc} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc}$).



Figure (II.7): Fusible solaire et son porte fusible [7].

II.2.5. Mise à la terre

La mise à la terre est une protection contre tout accident électrique éventuel sur une personne en contact avec un appareil présentant un défaut électrique et aussi une protection pour le matériel mis en place dans le système. On relie donc tout l'équipement électrique et les parties métalliques à la terre à l'aide d'un conducteur de faible résistance (5 Ohms), de sorte que le courant électrique en défaut soit évacué dans la terre. Le conducteur de terre qui assure la liaison entre la prise de terre et la barrette de mesure est de 16 mm² en cuivre isolé ou 25 mm² en cuivre nu. Le conducteur de terre qui assure la liaison entre la barrette de mesure et aux équipements est un câble en cuivre de couleur jaune-verte de 6 mm².

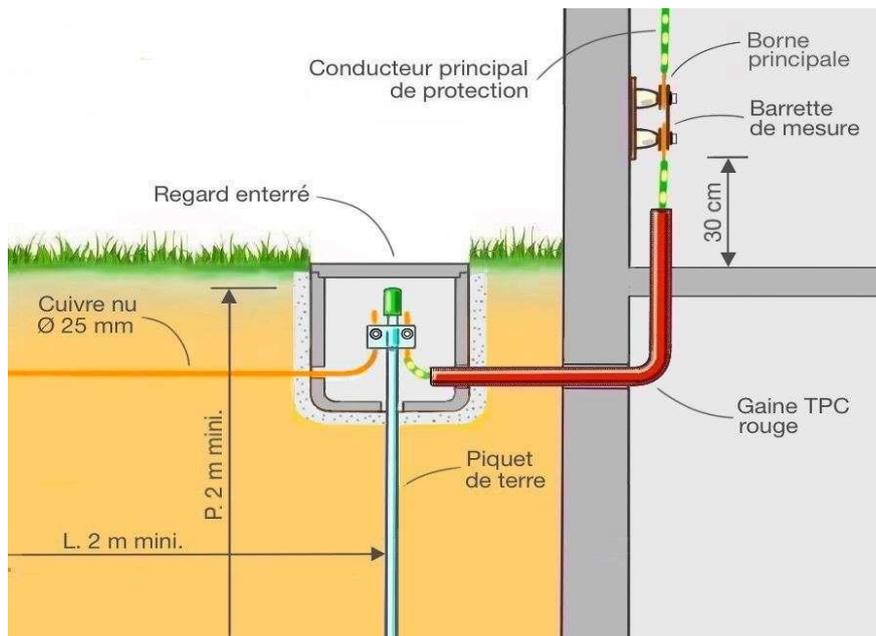


Figure (II.8): Réalisation d'une mise à la terre [7].

II.2.6. Les diodes by-pass

Les modules photovoltaïques sont munis de diodes by-pass. Celles-ci se trouvent dans le boîtier de connexion à l'arrière des modules, et on les utilise pour éviter les effets indésirables du phénomène point chaud et aussi contre le court-circuit des cellules ombragées.



Figure (II.9): Diodes by-pass dans un panneau PV[15]

**CHAPITRE III:
DESCRIPTION ET
CARACTERISTIQUE DU
SITE ETUDIE**

III.1. Présentation

Le site que nous étudions, est l'administration du département des énergies renouvelables de l'université de Saad DAHLAB, situé dans la wilaya de Blida.

III.2. Description

Le département des énergies renouvelables affilié à la commune d'Ouled Yaïch est situé au centre de la wilaya de Blida, à environ 4 km au nord-est de Blida et à environ 42 km au sud-ouest d'Alger. Et à environ 29 km au nord-est de Médéa

Situation Géographique

Le site étudié ou à alimenter est caractérisé par les éléments suivants :

Altitude : 262 m

Latitude : 36.47° nord

Longitude : 2.878

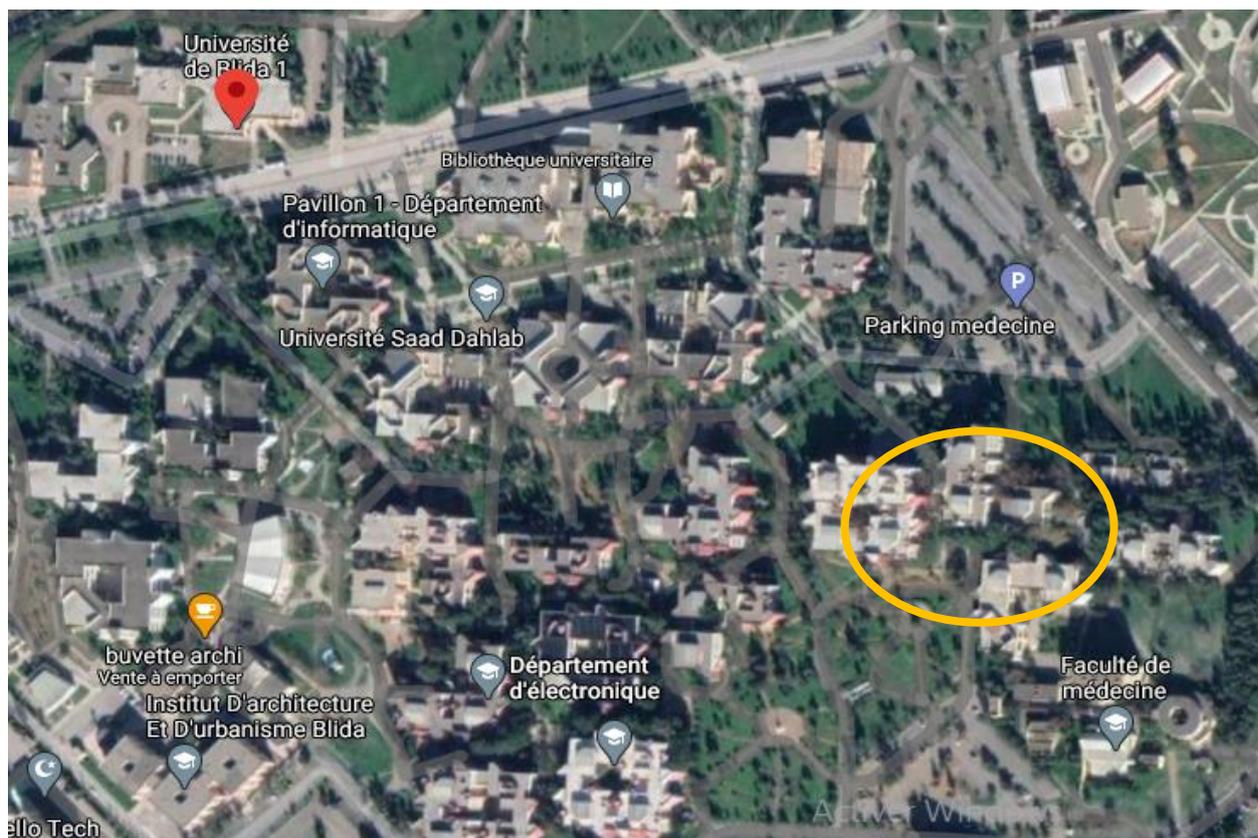


Figure (III.1): Localisation géographique de L'Université Saad DAHLAB Blida [google map].

III.3. L'orientation des modules photovoltaïques

En Algérie, et plus généralement dans tout l'hémisphère nord, l'orientation plein sud est la meilleure orientation possible pour un module photovoltaïque. C'est avec cette orientation qu'il produira le maximum d'électricité.

III.4. L'inclinaison des modules photovoltaïques

L'inclinaison correspond à la pente du module par rapport à l'horizontale. Elle est donnée en degré Celsius:

- Une inclinaison de 0° signifie que le module est à plat.
- Une inclinaison de 90° signifie que le module est à la verticale.

Pour un captage annuel, l'angle d'inclinaison du capteur est fixé à la latitude de lieu.

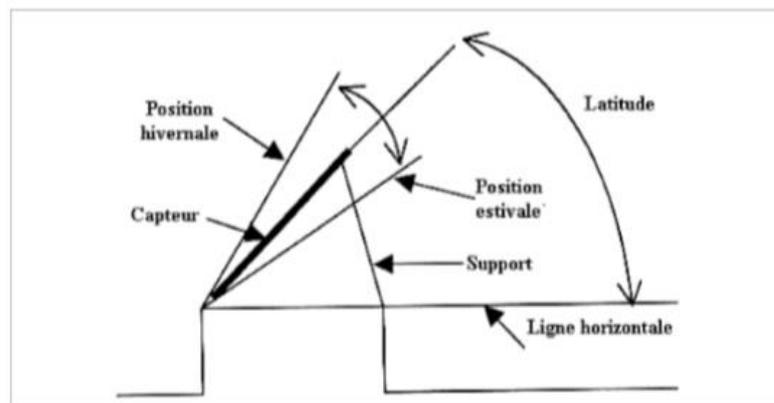


Figure (III.2): Angle d'inclinaison d'un panneau solaire [27]

III.5. Ombrage ou repérage des masques

Pour fonctionner de manière optimale, une installation solaire photovoltaïque doit être soumise au moins d'ombrage possible. Cependant, certaines contraintes liées au lieu d'installation (présence de montagne, d'arbres, cheminée, poteau électrique...) ne peuvent être évitées.

On appelle masque tout obstacle cachant les modules photovoltaïques de la lumière du soleil. On distingue les masques proches et les masques lointains. Ces deux notions sont définies par la suite.

III.5.1. Les masques lointains

Le masque lointain peut être une colline, une montagne, un bâtiment lointain. Il s'agit de l'horizon lointain.

Par exemple, sur la photo ci-dessous, les collines de CHREA représentent un masque lointain : elles risquent de provoquer de l'ombre à l'installation photovoltaïque au lever et au coucher du soleil.



Figure (III.3): Les montagnes de CHREA représentent un masque lointain.

III.5.2. Les masques proches

Les masques proches peut-être d'arbres, cheminée, poteau électrique...Par exemple, sur les photos ci-dessous, les arbres représentent un masque proche : elles risquent de provoquer de l'ombre à l'installation photovoltaïque pendant la journée



Figure (III.4): Montre que les arbres représentent un masque proche.

**CHAPITRE IV:
DIMENSIONNEMENT ET
INSTALLATION DU SYSTEME
PHOTOVOLTAÏQUE OFF-GRID**

IV.1. Le dimensionnement analytique:

Le dimensionnement d'une installation autonome est beaucoup plus complexe que celui d'une installation reliée au réseau: il faut connaître:

- les besoins réels de l'utilisateur durant l'année ;
- les données climatiques locales (irradiation, ombres, températures, etc.).
- les caractéristiques de charge du panneau choisi (disponible sur le marché).
- les caractéristiques des accumulateurs, régulateurs et onduleurs (disponible sur le marché).

IV.1.1. Les besoins électriques :

D'abord, il convient d'identifier l'ensemble des appareils électriques qui seront alimentés par l'installation photovoltaïque autonome. Pour chacun de ces appareils, la puissance nominale de fonctionnement doit être identifiée. Pour cela, on pourra s'appuyer sur des mesures directement sur site, ou bien les indications inscrites sur les fiches techniques/signalétiques des appareils. En dernier recours, si aucune information n'est disponible, on pourra effectuer une approximation de la puissance électrique de l'appareil.

- Ensuite, une estimation de la durée d'utilisation journalière devra être effectuée. En ce sens, il est primordial de connaître les habitudes des usagers (car ce sont bien eux qui utilisent, à leur guise, les appareils consommateurs d'énergie).
- Le produit de la puissance électrique (en W) par le temps d'utilisation (en h) indiquera l'énergie journalière consommée (en Wh) par l'appareil considéré. Dans le domaine de l'électricité, il est d'usage d'utiliser le W et le Wh comme unités de mesure respectivement de la puissance et de l'énergie électriques.
- Enfin, la somme des énergies journalières calculées donnera une évaluation globale des besoins électriques du département côté administratif. Cette méthodologie peut s'effectuer facilement grâce à un tableau.

IV.1.2. Bilan des puissances :

Tableau (IV.1): Evaluation globale des besoins électriques de l'administration.

<i>Récepteurs alimentés par onduleur</i>					
Appareils	Nombre	Puissance unitaire	Fréquence ou durée d'utilisation quotidienne	Puissance	Energie Wh/jour
Lampe	140	18 W	8h	2520 W	20160
Lampes de la couloire	10	18 W	10 h	180 W	1800
Les ordinateurs du bureau	10	200 W	8h	2000 W	16000
Les imprimantes	8	200 W	1 h	1600 W	1600
L'imprimante photocopiee	3	180 W	1h	540 W	540
Les onduleurs	6	400 W	4h	2400 W	9600
L'onduleur	2	660 W	4h	1320 W	5280
L'onduleur	1	300 W	4h	300 W	1200
data show	1	2000 W	1h	2000 W	2000
Divers				900 W	21600
			TOTAL	13760 W	79780 Wh/jour

IV.1.3. Evaluation du gisement solaire local

Pour déterminer l'énergie solaire disponible, il faut disposer de tables statistiques d'irradiations. On utilise le site PVGIS. (Cette étape est faite soit par l'outil PVGIS, soit Logiciel Métronome ou autres...).

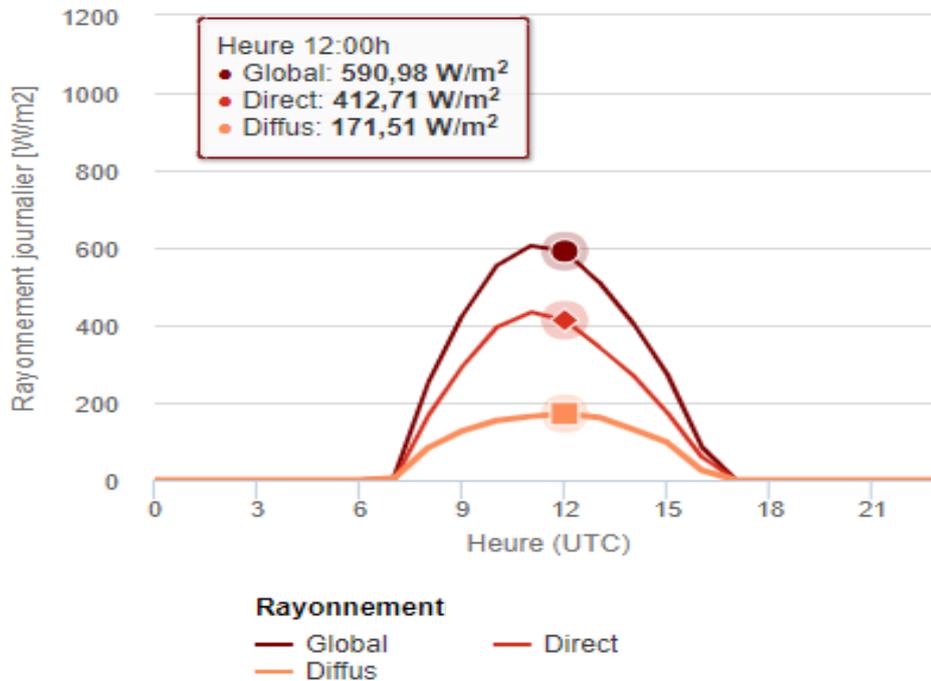


Figure (IV.1): Rayonnement moyen quotidien sur plan fixe d'inclinaison de 35° et d'azimut 0° [8].

IV.1.4. L'angle d'inclinaison des panneaux solaires

Blida se situe à 36,47° de latitude, donc pour faire connaitre l'angle d'inclinaison des panneaux solaires on doit d'abord calculer la déclinaison liée au jour choisi (21 décembre) suivant la loi :

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(2 \times \pi \times \frac{(d+284)}{365}\right) \quad (IV.1)$$

Tel que:

d: est le nombre de jour [21 décembre =356].

L'application numérique nous a donné :

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(2 \times \pi \times \frac{356 + 284}{365}\right) = 4,48^\circ$$

Alors que :

L'angle d'inclinaison = Latitude - δ

$$\text{L'angle d'inclinaison} = 36,47 - 4,48 = 31,988^\circ = 32^\circ$$

IV.1.5. Données complémentaires :

- Site : université Saad DAHLAB blida1 » pavion23 » 36.47° de latitude Nord, Altitude = 262m et longitude=2.878°

- Pente de toit : 32° par rapport à l'horizontale et l'orientation des panneaux est plein sud (0°)
- Le site est prévu pour fonctionner du début septembre à fin juin.
- L'autonomie doit être de 1 jour en cas de mauvais temps.
- Les batteries seront de type accumulateurs au plomb, stationnaire de 12v.
- L'onduleur sera de type onduleur off-grid (type DIMEL) de 5kVA.
- L'ensemble batteries, panneaux et onduleur fonctionnera en 48 V_{DC}.
- Les panneaux seront de type DIMEL P300

IV.1.6. Tension nominale

Dans le choix de la tension nominale on considère la puissance de notre consommation où on racontera trois cas possibles :

➤ **Puissance ≤ 500 W :**

Une tension de **12 V** du parc de batterie est acceptable.

➤ **500 W < Puissance ≤ 2 000 W**

Une tension de **24 V** du parc de batterie est raisonnable.

➤ **2 000 W < Puissance**

Au-delà de 2 000 W, Une tension de **48 V** est donc requise afin de minimiser la section des câbles.

Dans notre cas on a une puissance de 13760 W, donc on est dans le troisième cas où la tension du système doit être égale à **48 V**.

IV.1.7. Calcule de l'énergie à produire E_p :

Pour calculer l'énergie produite et délivrer par le champ PV on devise l'énergie consommable totale par un facteur k :

$$E_p = \frac{E_c}{k} \quad \text{AN : } E_p = \frac{79780}{0,8}$$

$$E_p = 99725 \text{ Wh}$$

Le coefficient k tient compte des facteurs suivant :

- ✓ Incertitude météorologique.
- ✓ L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison.
- ✓ Le point de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par : la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des modules dans le temps (vieillessement et poussières).
- ✓ Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (90%).
- ✓ Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%).
- ✓ Les pertes dans les câbles et connexions.

Pour les systèmes avec parc batterie, le coefficient k est en général compris entre 0,55 et 0,8. La valeur approchée que l'on utilise pour les systèmes avec batterie sera souvent de 0,8.

IV.1.8. Calcule de la puissance de l'onduleur

Pour faire connaître la puissance nécessaire de l'onduleur on doit multiplier la puissance totale de nos besoins par un facteur de correction Comme si de suite :

$$P_{ond} = P_t * 1.25 \quad (IV.2)$$

$$P_{ond} = 13760 * 1.25 = 17200 \text{ watt}$$

☛ On a deux choix : soit 4 onduleurs de DSI-P5000 ou 6 onduleurs de DSI-P3000. On a choisi le premier cas.

IV.1.9. Détermination du nombre de panneaux solaires:

A partir de la puissance crête des panneaux DIMEL DP300 on détermine le nombre de panneaux solaires nécessaires à l'installation.

Voici les caractéristiques de notre module dans les conditions STC :

Tableau (IV.2): Les caractéristiques de DIMEL DP300 module dans les conditions STC

V _{co}	V _{max}	I _{cc}	I _{max}	P _{max}
44.8	37	8.7	8.1	300

Les valeurs précédentes sont dans les conditions STC mais dans notre cas on est dans le mois de décembre cas défavorable ou l'irradiation moyenne à Blida est égale à 520 w/m².jour.

Tableau (IV.3):Rayonnement moyen quotidien sur plan fixe d'inclinaison 35° et d'azimut 0° [8].

Heure	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G(i)	0	0	0	0	0	0	0	5	252	425	554	605	591	511	404	272	85	0	0	0	0	0	0	0
G_b(i)	0	0	0	0	0	0	0	0	166	294	394	434	413	343	270	173	60	0	0	0	0	0	0	0
G_d(i)	0	0	0	0	0	0	0	5	83	127	154	164	172	161	130	96	25	0	0	0	0	0	0	0

Où :

G(i): Rayonnement global sur plan fixe [W/m²].

G_b(i): Rayonnement direct sur plan fixe [W/m²].

G_d(i): Rayonnement diffus sur plan fixe [W/m²].

L'application numérique :

A partir de ce tableau on tire :

$$I_{moy} = (425+554+605+591+511+404) / 6 = 520 \text{ w/m}^2 \cdot \text{Jour.}$$

IV.1.10. La puissance crête P_c du générateur photovoltaïque nécessaire :

La méthode la plus simple consiste à calculer ce que produit un panneau à partir des données d'irradiation du lieu et ensuite à chercher combien de panneaux sont nécessaires pour compenser la consommation.

On prendra une irradiation moyenne de 6 kWh/m²/jour (presque la même valeur de la durée d'ensoleillement) pour la période estivale de fonctionnement comme suit:

$$P_c = \frac{Ep \cdot N}{\text{duree de solieiment}} = \frac{99725 \times 1}{6} = 16621 \text{ watt crête} \quad (IV.3)$$

P_c : puissance crête en Watt crête (Wc)

- La puissance d'un panneau :

$$\begin{array}{l} 300 \longrightarrow 1000 \text{ W/m}^2 \\ P \longrightarrow 520 \text{ W/m}^2 \end{array}$$

$$P = 300 * 0.52 = 156 \text{ watt}$$

Alors dans nos conditions réelles le panneau délivre une puissance de 156 W (au lieu des 300W) ce qui implique une augmentation du nombre de panneaux :

$$N_{\text{panneau}} = \frac{P_c}{\text{puissance crête unitaire panneau}} = \frac{16621}{156} = 106.5 \quad (IV.4)$$

Donc le nombre il va être :

Nbre = 108 panneaux

Pour déterminer le nombre exact des panneaux on doit d'abord connaître la plage de tension et le courant maximal que peut supporter le régulateur pour éviter sa destruction.

Voici les caractéristiques à l'entrée du régulateur :

Tableau (IV.4): Les caractéristiques électriques à l'entrée de DSI-P5000

La plage de fonctionnement	I nominal	La tension max d'entrée de PV
60V < V _{module} < 115V	80A	145V

IV.1.10.2. Détermination le nombre des modules raccordés en série :

On prend la valeur minimale de la tension pour que le régulateur fonction et on l'a divisée par la tension maximale délivrée par le panneau :

$$\frac{60}{V_{\text{max}}} = \frac{60}{37} = 1.6 \approx 2 \quad \text{Donc en prend au minimum 2 panneaux en série.}$$

On refaire la même chose pour la valeur maximale de tension que le régulateur peut supporter

$$\frac{115}{V_{\text{max}}} = \frac{115}{37} = 3.1 \approx 3 \quad \text{Donc en prend au maximum 3 panneaux en série.}$$

Si on fait : 3 * 44.8 = 135 V < 145 V donc 3 panneaux en série au max.

IV.1.10.3. Détermination du nombre de modules raccordés en parallèles :

On prend la valeur nominale du courant que le régulateur peut supporter et on l'a divisé par le courant de court-circuit du panneau :

$$\frac{I_{nom}}{I_{cc}} = \frac{80}{8.7} = 9.19 \quad \text{Donc en prend au maximum 9 branches en parallèles.}$$

☛ Neuf branches en parallèles à l'entrée d'un seul régulateur.

Au total on a :

3 panneaux en séries dans chaque une des 9 branches en parallèles pour un régulateur.

IV.1.11. Détermination le nombre des régulateurs

Le nombre des régulateurs quand on a besoin est le même que le nombre des onduleurs car ils sont intégrés.

Dans notre cas l'onduleur DSI-P5000 ne peut supporter que 80 A à l'entrée donc :

Nombre de régulateurs : $108/3=36$ et $36 / 9 = 4$.

En résumé : on a 4 régulateurs, chacun est relié à 9 branches contenant chaque une d'elles trois panneaux en série ($4*9*3=108$).

☛ Si on prend le cas de l'onduleur DIMEL DSI-P3000 :

La même plage de tension de fonctionnement sauf que ce type peut supporter que **60 A** (Inom).

$I_{nom} / I_{cc} = 60 / 8.7 = 6.8 = 6$ Donc en prend au maximum 6 branches en parallèles.

Nombre de régulateur $36 / 6 = 6$.

IV.1.12. Calcule de la capacité des accumulateurs nécessaires à ce système ainsi que leurs nombres :

$$C = \frac{Ec.N}{D.U}$$

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

EC : énergie consommée par jour (Wh/j).

N : nombre de jour d'autonomie.

D : décharge maximale admissible (0,75 pour les batteries au plomb).

U : tension de la batterie (V).

$$C = \frac{79780 \times 1}{0,75 \times 12} = 8864.44 \approx 8865 \text{ Ah}$$

☛ Si on prend une autonomie de 24 heures (un jour) la capacité totale qu'il faut stockée sera de **8865 Ah**.

IV.1.13. Détermination du nombre de batteries

On divise la capacité totale du parc par la capacité d'une seule batterie :

$$\frac{8865}{260} = 34.09 \approx 36 \text{ batteries}$$

❖ **Le nombre de batteries raccordées en série pour un système de 48 V :**

La tension du système c'est elle qui détermine le nombre des batteries raccordés en série.

$$\frac{\text{Tension du système}}{\text{Tension d'une batterie}} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4 \text{ batteries}$$

❖ **Le nombre de batteries raccordées en parallèles:**

C'est la fraction des batteries totales par le nombre des batteries en série :

$$\frac{36}{4} = 9 \text{ branches de batteries raccordées en parallèles}$$

IV.2. Refaire le dimensionnement avec l'économie de la consommation :

👉 Pour faire l'économie d'énergie on doit enlever certains éléments non essentiels comme les Onduleurs de PC (on a 9) qui ont un rôle seulement en absence d'électricité.

A la place des lampes normale en préfère utiliser des lampes de 12 W avec des détecteurs de mouvement pour économiser encore plus.

Investir dans une multiprise intelligente qui coupe automatiquement le courant des appareils qui ne sont pas utilisés.

IV.3. Les besoins électriques

Tableau (IV.5): Evaluation économique des besoins électriques de l'administration.

Récepteurs alimentés par onduleur					
Appareils	Nombre	Puissance unitaire	Fréquence ou durée d'utilisation quotidienne	Puissance	Energie Wh/jour
Lampe	140	15 W	4h	2100 W	8400
Lampes de la calorie Avec détecteurs	10	12 W	2 h	120 W	420
Les ordinateurs du bureau	10	200 W	8h	2000 W	16000
Les imprimantes	8	200 W	1 h	1600 W	1600
L'imprimante photocopie	3	180 W	1h	540 W	540

data show	1	2000 W	1h	2000 W	2000
Divers				900 W	21600
			TOTAL	9260 W	50560 Wh/jour

IV.3.2. Bilan des puissances

IV.3.2.1. Tension nominale :

On a une puissance de 9260 W > 2000 W donc notre système est de 48 V.

IV.3.2.2. L'énergie à produire E_p :

$$E_p = \frac{50560}{0.8} = 63200 \text{ Wh/jour} \quad \boxed{E_p = 63200 \text{ Wh/jour}}$$

IV.3.2.3. La puissance de l'onduleur :

$$P_{\text{ond}} = 9260 * 1.25 = 11575 \text{ Watt.}$$

☞ On a deux choix : soit 3 onduleurs de DSI-P5000 ou 4 onduleurs de DSI-P3000.

IV.3.2.4. La puissance crête P_c du générateur photovoltaïque

(On prendra une irradiation moyenne de 6 kWh/m² /jour pour la période estivale de fonctionnement).

$$P_c = \frac{E_p \cdot N}{\text{durée de sollement}} = \frac{63200 \times 1}{6} = 10533.33 \text{ watt crête} \quad \boxed{P_c = 10534 W_c}$$

IV.3.3. Le nombre des panneaux solaire :

A partir de la puissance crête des panneaux DIMEL DP300 déterminer le nombre des panneaux solaire nécessaires à l'installation :

Pour le site de Blida on a une irradiation défavorable (en décembre) de 520 W/m².

$$P = 300 * 0.52 = 156 \text{ Watt.}$$

$$N = \frac{P_c}{\text{puissance crête unitaire panneau}} = \frac{10534}{156} = 67.5 \quad \boxed{\text{Nbre} = 72 \text{ panneaux}}$$

☞ On a 3 régulateurs, chacun est relié à 8 branches contenant chaque une d'elles trois panneaux en série (8*3*3=72).

IV.3.4. Le nombre de régulateurs

Comme notre choix c'est porté sur l'onduleur DSI-P5000 et qu'il ne supporte que 80 A à l'entrée donc :

Nombre de régulateur : 72/3=24 avec 24 / 8 = 3 régulateurs.

☞ Si on prend le cas du l'onduleur DIMEL DSI-P3000 :

La même plage de tension de fonctionnement sauf que ce type ne peut supporter que **60 A** (Inom).

$Inom / Icc = 60 / 8.7 = 6.8 = 6$ Donc en prend au maximum 6 branches en parallèles.

Nombre de régulateur : $24 / 6 = 4$ régulateurs.

IV.3.5. La capacité des accumulateurs nécessaires à ce système ainsi que leurs nombres

$$C = \frac{50560 \times 1}{0,75 \times 12} = 5617.77 \approx 5618 \text{Ah}$$

👉 Pour une autonomie de 24 heures la capacité totale qu'il faut pour stocker sera de **5618 Ah**.

On divise la capacité totale du parc par la capacité d'une seule batterie :

$$N_{\text{batterie}} = \frac{5618}{260} = 22 \approx 24 \text{ batteries}$$

❖ **Le nombre de batteries raccordés en série pour un système de 48 V :**

4 batteries de 12 V raccordés en série.

❖ **Le nombre de batteries raccordés en parallèles:**

$$\frac{24}{4} = 6 \text{ branches de batteries raccordées en parallèles}$$

IV.4. Refaire le dimensionnement avec une autonomie de 8 heures :

Dans la deuxième partie on a fait le dimensionnement sur une autonomie de 24 heures mais la période du travail de l'admiration ne dépasse pas les 8 heures par jour, nous avons donc recalculé et réduit la facture comme si de suit :

Nous avons divisé notre système de 24 heures d'autonomie par 3 car 8 heures est le 1/3 du jour.

Donc :

Nombre de batterie : $24 / 3 = 9$ batteries donc soit en prend 8 batteries ou 12 batteries parce qu'il faut 4 batteries 12V en série à chaque fois pour avoir 48V.

Pour les panneaux : $72 / 3 = 24$ panneaux.

IV.5. Choix des câbles pour le système de 24 heures d'autonomie

C'est sur la partie courant continu de l'installation que les intensités sont les plus importantes, c'est donc dans cette partie que se pose le problème des pertes joules et des chutes de tensions dans les câbles.

On va déterminer les sections des câbles entraînant le moins de chute de tension possible entre les panneaux et l'onduleur, mais aussi entre les batteries et l'onduleur. Le câble panneaux-régulateur est un câble DC appelé câble solaire. Entre le régulateur et l'onduleur, c'est un câble dit DC et enfin entre l'onduleur et les charges AC le câble est dit câble AC.

IV.5.1. Données complémentaires

Pour la section des câbles:

$$S = \frac{2 \times L \times \rho \times I}{\varepsilon \times V} (mm^2) \quad (IV.5)$$

Où :

S : section de câble

L : longueur de câble en mètre

ρ : Conducteurs en cuivre ($\rho = 0.00185 \Omega.m$).

I : le courant en A

ε : Chute de tension maximale $\varepsilon = 2\%$

V : la tension en Volt

Panneaux photovoltaïques

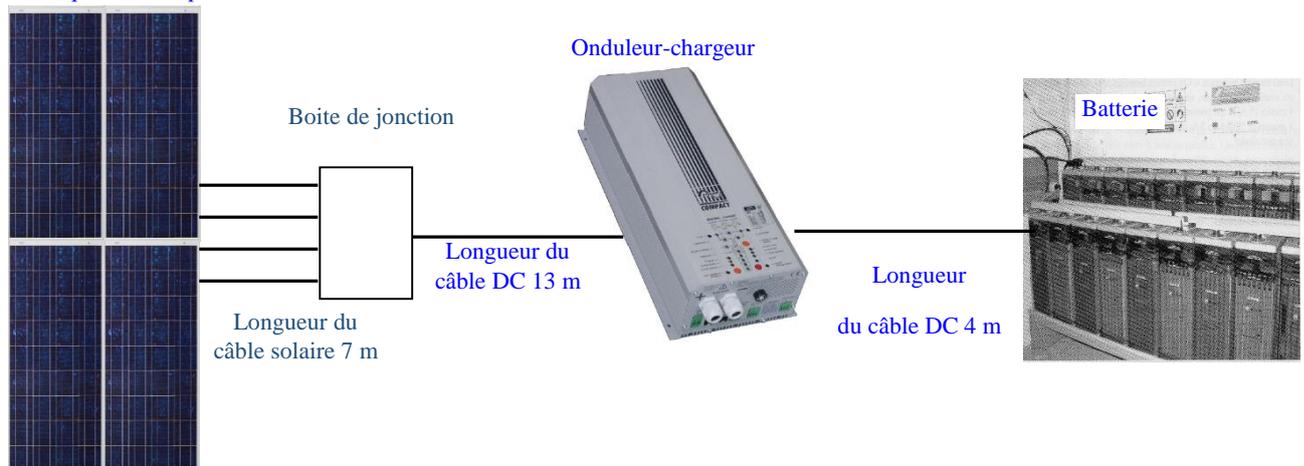


Figure (IV.2): Schéma représentant la longueur des câbles entre les composants de l'installation.

IV.5.2. Calcul du courant et tension de sortie de chaîne PV :

On a trois panneaux en série et huit branches en parallèles :

$$I_{cc} * 8 = 8.7 * 8 = 69.7A.$$

$$V_{co} * 3 = 44.8 * 3 = 134,4V.$$

- ❖ **La section des conducteurs entre les panneaux et le boîtier de jonction :**

$$L=7m$$

$$S = \frac{2 \times 7 \times 69.7 \times 0,0185}{0,02 \times 134.4} = 6.71 \text{ mm}^2$$

Section de 6.71 mm² on prendra donc des câbles de 8 mm².

- ❖ **La section des conducteurs entre la boîte de jonction et l'armoire DC :**

$$L=18m$$

$$S = \frac{2 \times 18 \times 69.7 \times 0,0185}{0,02 \times 134.4} = 17.29 \text{ mm}^2$$

Il nous faut un conducteur d'une section minimale de 20 mm².

- ❖ **La section des conducteurs entre l'armoire DC et l'onduleur :**

$$L=2m$$

$$S = \frac{2 \times 2 \times 69.7 \times 0,0185}{0,02 \times 134.4} = 1.92 \text{ mm}^2$$

Il nous faut un conducteur d'une section minimale de 2.5 mm²

- ❖ **Le courant circulant entre les batteries et l'onduleur lorsque celui-ci débite sa puissance :**

$$I \text{ max batteries} = \frac{P \text{ max onduleur}}{U \text{ batterie}} = \frac{5000}{48} = 104,1667A$$

- ❖ **La section des conducteurs entre le parc batterie et l'onduleur :**

$$S = \frac{2 \times 4 \times 104.17 \times 0,0185}{0,02 \times 48} = 16 \text{ mm}^2$$

Il nous faut un conducteur d'une section minimale de 16 mm²

- 👉 **Pour 8 heures la section entre les panneaux et la boîte de jonction devient:**

$$\text{Alor } I=I_{cc}*4=8.7*4=34.8A$$

$$\text{Et } V=V_{co}*2=89.6V$$

$$S=5.03\text{mm}^2 \rightarrow \text{ on prend } S=8 \text{ mm}^2 \text{ (dimension existant sur le marché)}$$

IV.6. Les éléments de protection électrique pour 24 h d'autonomie :

IV.6.1. Fusible pour les branches

La tension de fonctionnement d'un fusible est $1,15 \times V_{co} \times \text{modules raccordés en série}$

$$1,15 \times 44,8 \times 3 = 154,56V$$

Le calibre des fusibles $1,5 \times I_{cc} \times \text{nombre des branches} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc} \times \text{nombre des branches}$

$$1,5 \times 8 \times 8,7 \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times 8 \times 8,7$$

$$104,4 A \leq \text{calibre fusible} \leq 139,2 A$$

IV.6.2. Sectionneur DC

Sectionneur (3 panneaux en série avec 8 en parallèle)

- Tension assignée $\geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$

$$\text{Tension assignée} \geq 1,15 \times 44,8 \times 3 = 154,56 V$$

- Intensité nominale $\geq 1,5 \times I_{cc} \times NBP$

$$\text{Intensité nominale} \geq 1,5 \times 8,7 \times 8 = 104,4 A$$

IV.6.3. Parafoudre DC

Le parafoudre DC choisi est de : - Courant maximal : 40 kA

- Tension maximale 1000 V_{DC}

IV.6.4. Parafoudre AC

Le parafoudre AC choisi est de : - Courant maximal : 40 kA

- U_{CPV} = 320 V

IV.6.5. Disjoncteur différentiel DC

- $1,25 \times 44,8 \times 3 = 168V$
- $1,25 \times 8,7 \times 8 = 87 A$

IV.6.6. Disjoncteur différentiel AC 8800/220V

Nombre de pôles : 1P+N

Calibre 40A

Tension : 230VAC

Conforme à la norme IEC61009

IV.6.7. Mis à la terre

On prend section 25mm²

IV.7. Les éléments de protection électrique pour 8h d'autonomie :

IV.7.1. Fusible pour les branches

La tension de fonctionnement d'un fusible est $1,15 \times V_{co} \times$ modules raccordés en série

$$1,15 \times 44,8 \times 2 = 103,04V$$

Le calibre des fusibles $1,5 \times I_{cc} \times \text{nombre des branches} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc} \times \text{nombre des branches}$

$$1,5 \times 4 \times 8,7 \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times 4 \times 8,7$$

$$52,2 A \leq \text{calibre fusible} \leq 69,6 A$$

IV.7.2. Sectionneur DC

Sectionneur (2 panneaux en série avec 4 en parallèle)

- Tension assignée $\geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$

$$\text{Tension assignée} \geq 1,15 \times 44,8 \times 2 = 103,04V$$

- Intensité nominale $\geq 1,5 \times I_{cc} \times NBP$

$$\text{Intensité nominale} \geq 1,5 \times 8,7 \times 4 = 52,2 A$$

IV.7.3. Parafoudre DC

Le parafoudre DC choisi est de : - Courant maximal : 40 kA

- Tension maximale 1000 V_{DC}

IV.7.4. Parafoudre AC

Le parafoudre AC choisi est de : - Courant maximal : 40 kA

- U_{CPV} = 320 V

IV.7.5. Disjoncteur différentiel DC

- $1,25 \times 44,8 \times 2 = 112V$
- $1,25 \times 8,7 \times 4 = 43,5 A$

IV.8. Cahier de charge

Tableau (IV.6):Cahier de charge pour l'autonomie 1 jour

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaires	Montant
1	F/P panneau photovoltaïque 300 W monocristallin y compris connecteur MC4	U	72	23000.00 DA	1656000.00 DA
2	F/P de support en charpente métallique galvanisé supportant tous les panneaux photovoltaïque avec une inclinaison 32°	U	72	7500.00DA	540000.00DA
3	F/P Onduleur solaire off grid 5000 (W) avec Smart mètre et toutes sujétions de bonne exécution	U	3	224500.00DA	673500.00DA
4	F/P batteries étanche à gel 260 Ah et toutes sujétions de bonne exécution	U	24	92000.00 DA	2208000.00 DA
5	Socle de béton	U	1	20000.00DA	20000.00DA
6	F/P câble solaire de 2.5 mm ² (deux couleurs différent RN) y compris connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	ML	12	130.00DA	1560.00DA
7	F/P câble solaire de 10 mm ² (deux couleurs différent RN) y compris connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	ML	42	500.00DA	21000.00DA
8	F/P câble solaire de 16 mm ² (deux couleurs différent RN) y compris connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	ML	24	800.00DA	19200.00DA
9	F/P câble solaire de 20 mm ² (deux couleurs différent RN) y compris connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	ML	108	1000.00DA	108000.00DA
10	F/P coffret AC le coffret doit être muni de fusible parafoudre mis à la terre interrupteur sectionneur	U	1	10000.00DA	10000.00DA
11	F/P boîte de jonction IP65 le coffret doit être muni : - 6 fusible et porte fusible	U	3	10000.00 DA	30000.00DA
12	F/P coffret AC le coffret doit être muni de fusible parafoudre mis à la terre interrupteur sectionneur	U	1	20000.00DA	20000.00DA
13	F/P coffret DC le coffret doit être muni de disjoncteur différentiel parafoudre mis à la terre	U	1	30000.00DA	30000.00DA
14	F/P piquet de mise à la terre et toutes sujétions de bonne exécution	U	1	1000.00DA	1000.00DA
15	F/P Tube à LED avec réglette T8 15W	U	150	650.00DA	97500.00DA
TOTAL EN HT : horS taxe					5435800.00
TVA 19% :					1032802.00D A
TOTAL EN TTC TOUS TAXE compris					6469000.00

CHAPITRE IV: Dimensionnement et installation du système PV off-grid

Tableau (IV.7): Cahier de charge pour l'autonomie 8 heures

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaires	Montant
1	F/P panneau photovoltaïque 300 W monocristallin y compris connecteur MC4	U	24	23000.00 DA	552000.00 DA
2	F/P de support en charpente métallique galvanisé supportant tous les panneaux photovoltaïque avec une inclinaison 32°	U	24	7500.00DA	180000.00 DA
3	F/P Onduleur solaire off grid 5000 (W) avec Smart mètre et toutes sujétions de bonne exécution	U	2	224500.00 DA	449000.00 DA
4	F/P batteries étanche à gel 260 AH et toutes sujétions de bonne exécution	U	8	92000.00 DA	736000DA
5	Socle de béton	U	1	10000.00	10000.00DA
6	F/P câble solaire de 2.5 mm ² (deux couleurs différent RN) y compris connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	ML	8	130.00DA	1040.00DA
7	F/P câble solaire de 10 mm ² (deux couleurs différent RN) y compris connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	ML	28	500.00DA	14000.00DA
8	F/P câble solaire de 16 mm ² (deux couleurs différent RN) y compris connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	ML	16	800.00DA	12800.00DA
9	F/P câble solaire de 20 mm ² (deux couleurs différent RN) y compris connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	ML	72	1000.00DA	72000.00DA
10	F/P câble AC (deux couleurs différent RN) et toutes sujétions de bonne exécution	U	1	4000.00DA	4000.00DA
11	F/P boîte de jonction IP65 le coffret doit être muni : - 6 fusible et porte fusible	U	2	10000.00 DA	20000.00DA
12	F/P coffret AC le coffret doit être muni de fusible parafoudre mise à la terre interrupteur sectionneur	U	1	20000.00D A	20000.00DA
13	F/P coffret DC le coffret doit être muni de disjoncteur différentiel parafoudre mise à la terre	U	1	30000.00D A	30000.00DA
14	F/P piquet de mise à la terre et toutes sujétions de bonne exécution	U	1	1000.00DA	1000.00DA
15	F/P Tube à LED avec réglette T8 15W	U	150	650.00DA	97500.00DA
TOTAL EN HT : hors tax					2180000.00da
TVA 19% :					414200.00DA
TOTAL EN TTC TOUS TAXE compris					2600000.00D A

F/P : fourniture/pause

- ➡ **Prise en compte les taxes, les tarifs du chargement des équipements et leurs transports avec les taxes des employant durant la conception du projet qui peut être atteindre les 20 jours.**

IV.9. Schéma d'installation de système PV pour autonomie 8h :

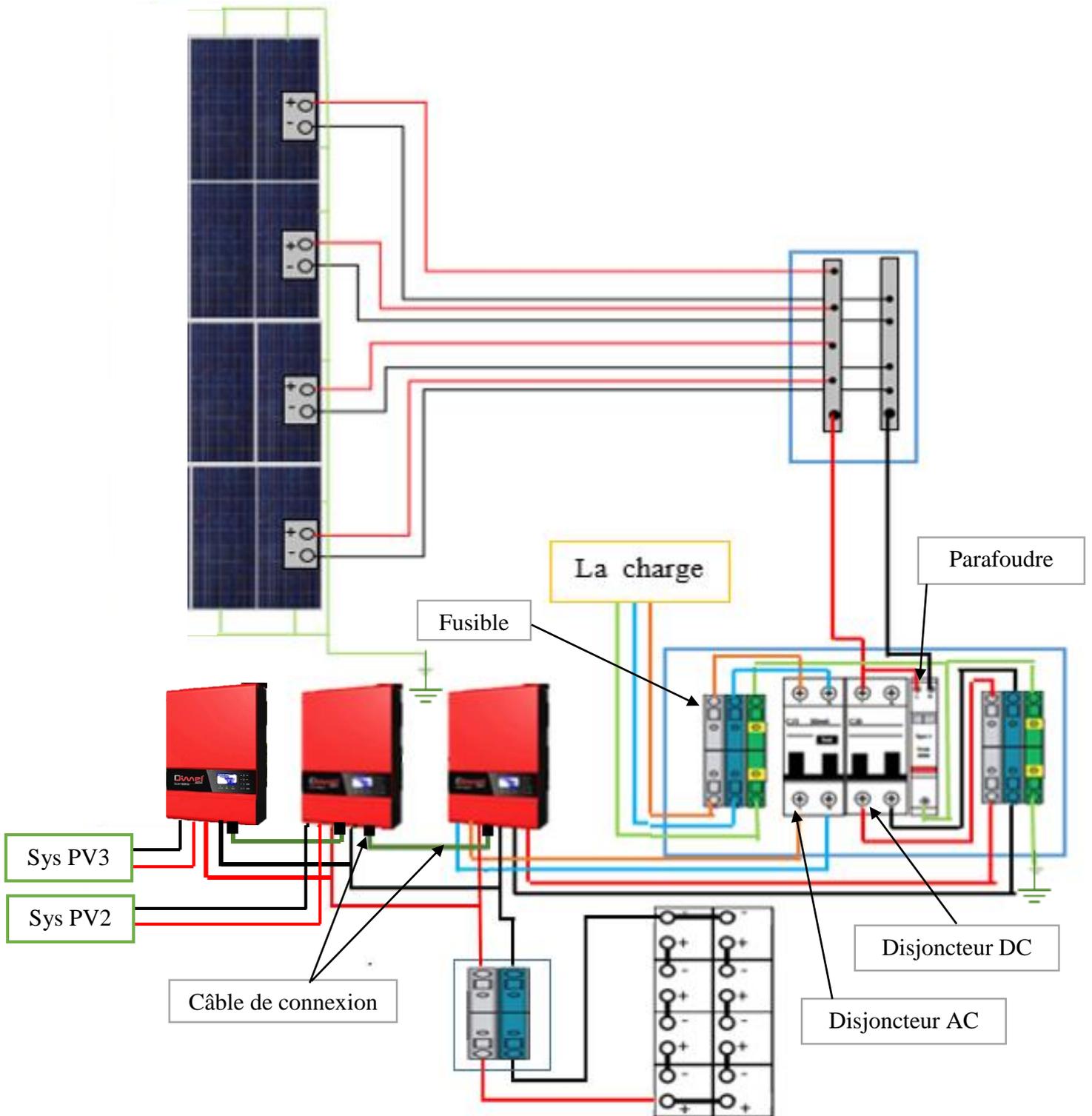


Figure (IV.3): Schéma d'installation de notre système solaire photovoltaïque

IV.10. Logiciel PVsyst

PVsyst est conçu pour être utilisé par les ingénieurs et les installateurs. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure de pré-dimensionnement de la base de données des composants (module PV, onduleur, batteries, pompes, etc.). PVsyst permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.

Dans ce chapitre, On va expliquer comment utiliser le logiciel PVsyst pour un système

IV.10.1. Les besoins d'utilisateurs :

Tableau (IV.8): Les besoins d'utilisateurs

	Nombre	Puissance	Utilisation	Énergie
Lamps (LED or fluo)	140	15 W/lampe	4 h/jour	8400 Wh/jour
TV / PC / Mobile	10	200 W/app	8 h/jour	16000 Wh/jour
imp	1	2140 W/app	2 h/jour	4280 Wh/jour
Lampes de la calorie Avec détecteurs	10	12 W tot	2 h/jour	240 Wh/jour
data show	1	900 W tot	1 h/jour	900 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/jour	21600 Wh/jour
Energie journalière totale				51420 Wh/jour

IV.10.2. Résultats :

Système isolé: Besoins de l'utilisateur			
Projet :		pavion23	
Variante de simulation :		Nouvelle variante de simulation	
Principaux paramètres système	Type de système	Système isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs	inclinaison	34°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	DP300	Pnom 300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	72	Pnom total 21.60 kWc
Batterie	Modèle	PVX-2580L	Technologie Pb-acide, scellée, AGM
Pack de batteries	Nombre d'unités	24	Tension / Capacité 48 V / 1434 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global 18.77 MWh/an

Figure (IV.4): Les résultats donné par PVsyst

Après le calcul manuel on a passé à le calcul dynamique par logiciel PV avoir une comparaison entre les deux manières

D'après le rapport de simulation sur le PVsyst :

Une énergie consommée de $E_c = 51420 \text{ Wh/jour}$

- 72 modules de 300Wc type poly DIMEL pour une autonomie minimale dans logiciel égale 1 journée
- 24 batterie montant sur : 4 en série * 6 en parallèle d'une capacité nominale de 239 Ah

NB : le nombre des panneaux sont égaux

Le nombre des batteries sont égaux

CONCLUSION GENERALE

Le recours au photovoltaïque se pose en terme de choix par rapport à une autre source d'électricité telle que la source éolienne, le groupe électrogène, etc.

La photovoltaïque présente au jour d'aujourd'hui d'énormes avantages à cause principalement de la simplicité de l'installation des modules et est adapté à des besoins énergétiques divers ainsi que les faibles couts de fonctionnement et le peu d'entretien des composants du système PV.

Cette technologie présente les qualités sur le plan écologique car le système photovoltaïque est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu si ce n'est que l'occupation de surface pour des installations de grandes dimensions.

Décider de faire appel aux énergies renouvelables, c'est aussi procéder à un investissement. Une telle démarche demande dans tous les cas, une estimation la plus précise et la plus rigoureuse possible de la rentabilité économique de la décision et rappelons qu'un bon dimensionnement photovoltaïque est une nécessité pour assurer une alimentation efficace du logement, du site, etc.

Ainsi pour ce qui concerne notre site pour lequel, l'alimentation devra être permanente, les résultats suivants ont été trouvés : après dimensionnement manuel et avec logiciel PVsyst.

Pour un besoin énergétique de 50560Watts heure par jour, on aura à installer :

- Un champ photovoltaïque de puissance égale à 3512 Watts Crête constitué de 24 modules de 300 Watt Crête. Ce champ est divisé en deux sous champs.

Chaque sous champ est formé de quatre branches où chaque branche est une chaîne de trois modules fig. (IV.3).

- Un parc de 8 batteries au plomb de 260 Ah.
- Un ensemble constitué de 2 régulateurs de 80 A intégrés chacun dans un onduleur
- Un onduleur remplissant les caractéristiques suivantes : la tension d'entrée de 48 V, celle de sortie 230 V, la fréquence de 50/60 Hz et une puissance de 5kVA

En présentant ce travail, nous osons croire avoir répondu à la demande de notre département.

Et comme toute œuvre humaine, ce travail peut être entaché d'erreurs et peut nécessiter une correction et même être complété. Ainsi donc toute critique constructive pour le développement sans cesse croissant de la technique et de la technologie est saluée.

REFERENCES

- [1]: Introduction to Photovoltaic Systems design, J. BALFOUR, M. SHAW, Ed. JONES & BARTLETT, 2011
- [2] Smail SEMAOUI, Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque, 2014.
- [3] <http://www.moreenergy.ma/nos-solutions.php>
- [4] www.cleanenergyreviews.info
- [5] fiche technique www.DIMEL.com
- [6] Mr. KHALEM Sofiane et Mr. GHERBI Azzedine, Technique MLI aléatoire en vue de la réduction des perturbations conduites dans les convertisseurs continus-continus et continus-alternatifs, 2016.
- [7] Dr BOUZOUKI, Cours sur les systèmes solaire photovoltaïque, USD Blida, 2019.
- [8] <https://www.wholesolar.com/blog/micro-inverters-vs-string-inverters>
- [9] <https://enphase.com/en-us/products-and-services/microinverters/vs-string-inverter>
- [10] <https://images.homedepot-static.com/productImages>.
- [11] http://www.arebor-energie.fr/encyclopedie/index.php/Rendement_d%27une_batterie
- [12] <http://www.erdf-leblog.fr/investissements-davenir-55-millions-deuros-pour-8-projets-innovants-de-reseaux-electriques-intelligents/>
- [13] www.aliexpress.com
- [14] <https://www.ecvv.com/product/3239451.html>
- [15] <https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/rendement-d-un-onduleur/>
- [16] Fiche technique DSI-séries. Onduleur solaire hors réseau hybride, Sarl DIMEL : www.dimel-dz.com.
- [17] <https://www.powerfromsunlight.com/>
- [18] Aurian ARRIGONI, Installations photovoltaïques autonomes, Ed. EDITIONS ALDEAU, 2015.
- [19] Centrales photovoltaïque: Dimensionnement et la réalisation du projet, Ed. PACER, 1996.
- [20] D. THÉVENARD, M. ROSS, validation and Verification of Component Models and System Models for the PV, CETC-internal report 2003-035, Canada, 2003.
- [21] N. ACHAIBOU, A. MALEK, N. BACHA, Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV, Ed. N. SPESIAL (CHEMSS), pp 61-66,2000.
- [22] <https://www.powerfromsunlight.com/easily-read-solar-inverter-datasheet-solar-power-inverter-specifications-part-4-general-data-features/>

Références

[23] WERNHER, SWIGERS, JOHAN H.R. ENSHIN, An integrated Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Panels, Ed. Press Poly techniques et Universitaires Romandes 1999

[24] Noureddine GOLEA, Commande par la logique floue, Thèse de Magister, université de Sétif, 1994.

[25] <http://www.moreenergy.ma/nos-solutions.php>

[26] M.G. SIMOES, N.N.FRANCESCHETTI AND M.FRIEDHOFER, A Fuzzy logic based Photovoltaic Peak Power tracking Controller, IEEE Energy Convers. Mgmt, pp: 300-305, 1998.

[27] https://www.myshop-solaire.com/myshop_images/articles/myshop-solaire/guide-de-montage/kit-autonome/2017/20-30w/20-30w---convert/schema-kit-20-30w-12v---convert---appareil.png

PVSYST V6.81		14/10/20	Page 1/5
Système isolé: Paramètres de simulation			
Projet :	pavion23		
Site géographique	Blida	Pays	Algérie
Situation	Latitude 36.47° N	Longitude	2.83° E
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU+1	Altitude	262 m
Données météo:	Albédo 0.20		
	Blida	pvgis - Synthetic	
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation			
	Date de la simulation	14/10/20 à 08h49	
Paramètres de simulation	Type de système	Système isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs	Inclinaison	34°	Azimut 0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus Perez, Meteonorm
Besoins de l'utilisateur :	Consomm. domestique moyenne	Constants sur l'année 51 kWh/Jour	
Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV	Si-poly	Modèle	DP300
Paramètres définis par l'utilisateur		Fabricant	DIMEL
Nombre de modules PV		En série	3 modules
Nombre total de modules PV		Nbre modules	72
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	21.60 kWc
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	95 V
Surface totale		Surface modules	130 m²
Paramètres du système	Type de système	Système isolé	
Batterie		Modèle	PVX-2580L
		Fabricant	Concorde
Caractéristiques du banc de batteries		Nombre d'unités	4 en série x 6 en parallèle
		Tension	48 V
		Décharge: min. SOC	20.0 %
		Température	Fixée (20°C)
		Capacité nominale	1434 Ah
		Energie stockée	55.1 kWh
Régulateur		Modèle	Universal controller with MPPT convert
		Technologie	MPPT convert
Convertisseur		Efficacité maxi et EURO	97.0 / 95.0 %
Seuils de régulation batterie		Seuils de commande selon	SOC calculation
		Charge	SOC = 0.90 / 0.75
		Décharge	SOC = 0.20 / 0.45
		i.e. approx.	55.0 / 49.5 V
		i.e. approx.	46.1 / 48.3 V
Facteurs de perte du champ PV			
Fact. de pertes thermiques		Uc (const)	20.0 W/m²K
		Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage		Rés. globale champ	8.4 mOhm
Perte diode série		Chute de tension	0.7 V
Perte de qualité module		Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte de "mismatch" modules		Frac. pertes	0.6 % aux STC
Perte de "mismatch" strings		Frac. pertes	3.0 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE		Frac. pertes	1.0 % au MPP
		Frac. pertes	0.10 %
		Param. bo	0.05

PVSYST V6.81		14/10/20	Page 2/5	
Système isolé: Besoins de l'utilisateur				
Projet : pavion23				
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation				
Principaux paramètres système	Type de système	Système isolé avec batteries		
Orientation plan capteurs	inclinaison	34°	azimut 0°	
Modules PV	Modèle	DP300	Pnom 300 Wc	
Champ PV	Nombre de modules	72	Pnom total 21.60 kWc	
Batterie	Modèle	PVX-2580L	Technologie Pb-acide, scellée, AGM	
Pack de batteries	Nombre d'unités	24	Tension / Capacité 48 V / 1434 Ah	
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global 18.77 MWh/an	
Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 51 kWh/jr				
Valeurs annuelles				
	Nombre	Puissance	Utilisation	Énergie
Lamps (LED or fluo)	140	15 W/lampe	4 h/jour	8400 Wh/jour
TV / PC / Mobile	10	200 W/app	8 h/jour	16000 Wh/jour
imp	1	2140 W/app	2 h/jour	4280 Wh/jour
ond	10	12 W tot	2 h/jour	240 Wh/jour
data show	1	900 W tot	1 h/jour	900 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/jour	21600 Wh/jour
Energie journalière totale				51420 Wh/jour
Profil horaire				

Système isolé: Résultats principaux

Projet : pavion23

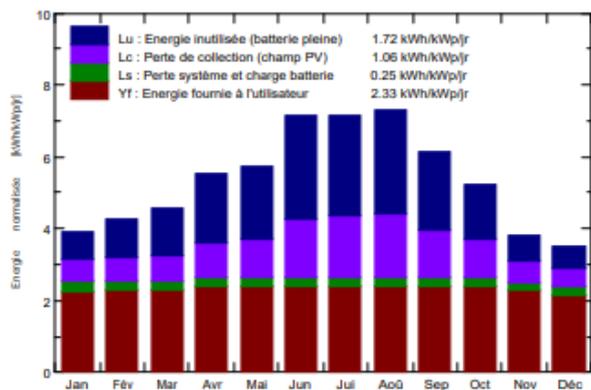
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Système isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs	inclinaison	34°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	DP300	Pnom 300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	72	Pnom total 21.60 kWc
Batterie	Modèle	PVX-2580L	Technologie Pb-acide, scellée, AGM
Pack de batteries	Nombre d'unités	24	Tension / Capacité 48 V / 1434 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global 18.77 MWh/an

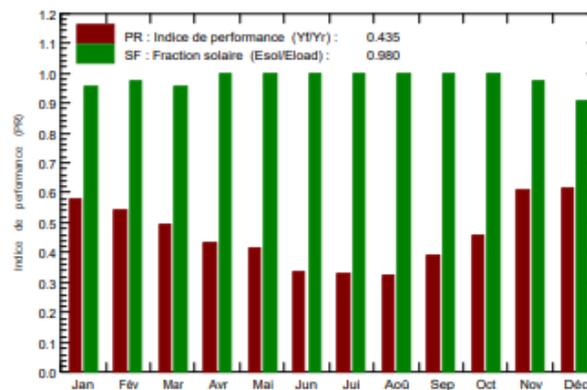
Principaux résultats de la simulation

Production du système	Energie disponible	32729 kWh/an	Productible	1515 kWh/kWc/an
	Energie utilisée	18397 kWh/an	En excès (inutilisée)	13550 kWh/an
	Indice de performance (PR)	43.51 %	Fraction solaire (SF)	98.02 %
Besoins non satisfaits	Fraction du temps	1.7 %	Energie manquante	371 kWh/an
Viellissement batterie (Etat d'usure (SOW))	SOW cyclage	87.1%	SOW statique	80.0%

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 21.60 kWc



Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF)



Nouvelle variante de simulation

Bilans et résultats principaux

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janvier	77.0	118.7	2131	520	73.2	1521	1594	0.954
Février	87.5	117.0	2103	659	40.8	1399	1440	0.972
Mars	121.6	138.5	2502	897	67.4	1527	1594	0.958
Avril	156.6	160.8	2840	1232	0.0	1543	1543	1.000
Mai	187.2	172.3	3010	1346	0.0	1594	1594	1.000
Juin	236.3	207.4	3469	1865	0.0	1543	1543	1.000
Juillet	238.0	215.1	3517	1857	0.0	1594	1594	1.000
Août	218.3	219.5	3586	1919	0.0	1594	1594	1.000
Septembre	157.9	178.7	3004	1396	0.0	1543	1543	1.000
Octobre	120.8	157.4	2666	997	0.0	1594	1594	1.000
Novembre	75.7	110.8	1972	455	42.9	1500	1543	0.972
Décembre	66.6	106.6	1931	407	147.0	1447	1594	0.908
Année	1743.5	1902.7	32729	13550	371.5	18397	18768	0.980

Légendes:	GlobHor	Irradiation globale horizontale	E_Miss	Energie manquante
	GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	E_User	Energie fournie à l'utilisateur
	E_Avail	Energie solaire disponible	E_Load	Besoin d'énergie de l'utilisateur
	EUused	Energie inutilisée (batterie pleine)	SolFrac	Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

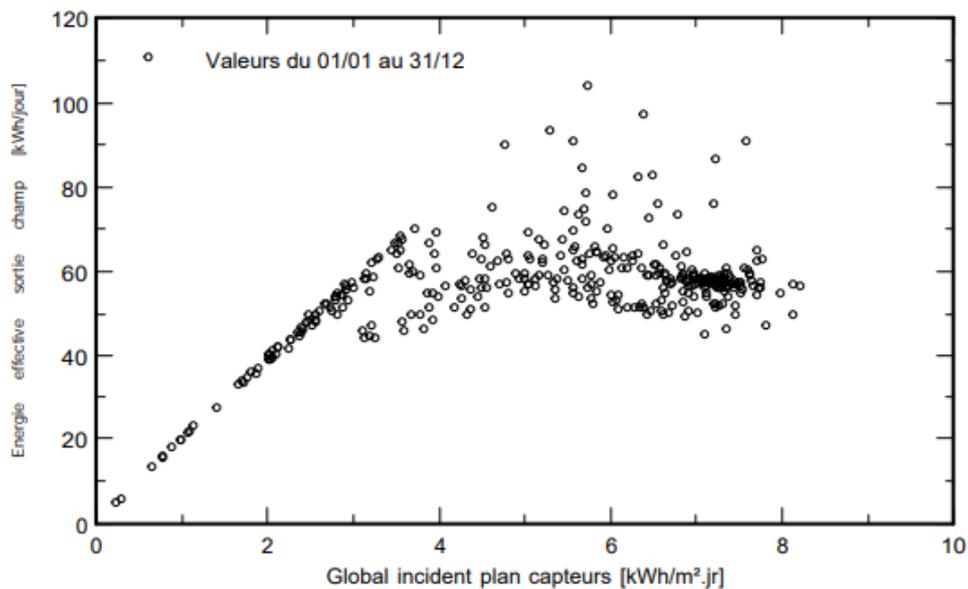
Système isolé: Graphiques spéciaux

Projet : pavion23

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Système isolé avec batteries		
Orientation plan capteurs	inclinaison	34°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	DP300	Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	72	Pnom total	21.60 kWc
Batterie	Modèle	PVX-2580L	Technologie	Pb-acide, scellée, AGM
Pack de batteries	Nombre d'unités	24	Tension / Capacité	48 V / 1434 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global	18.77 MWh/an

Diagramme d'entrée/sortie journalier



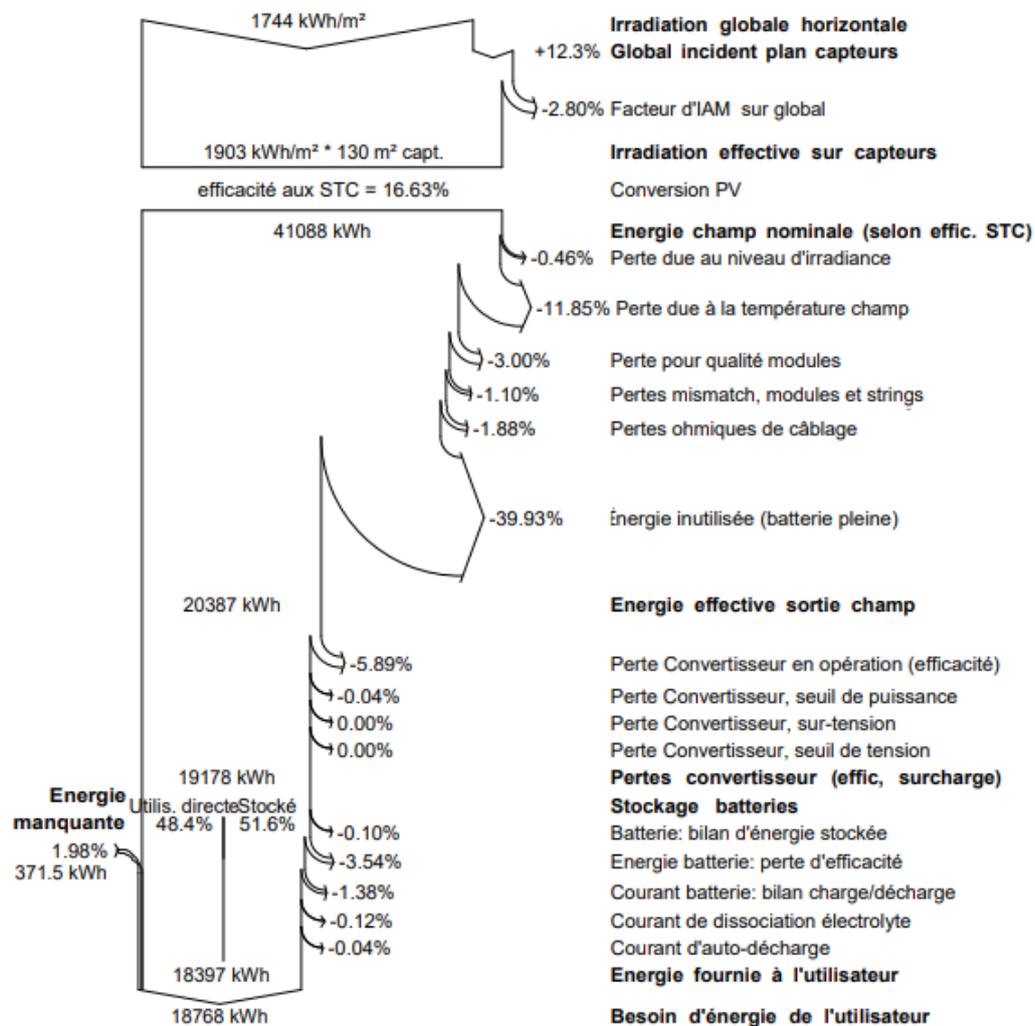
Système isolé: Diagramme des pertes

Projet : pavion23

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Système isolé avec batteries		
Orientation plan capteurs	inclinaison	34°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	DP300	Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	72	Pnom total	21.60 kWc
Batterie	Modèle	PVX-2580L	Technologie	Pb-acide, scellée, AGM
Pack de batteries	Nombre d'unités	24	Tension / Capacité	48 V / 1434 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global	18.77 MWh/an

Diagramme des pertes sur l'année entière



Système isolé: Diagramme des pertes

Projet : pavion23

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Système isolé avec batteries		
Orientation plan capteurs	inclinaison	34°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	DP300	Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	72	Pnom total	21.60 kWc
Batterie	Modèle	PVX-2580L	Technologie	Pb-acide, scellée, AGM
Pack de batteries	Nombre d'unités	24	Tension / Capacité	48 V / 1434 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global	18.77 MWh/an

Diagramme des pertes sur l'année entière

