

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique**

UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU

FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE

DÉPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Microélectronique

Filière : Génie Electrique

Thème

**Gestion d'énergie dédiée à
l'optimisation
énergétique des toitures photovoltaïques**

Présenté par:

DERRAB Hamida

IKENE Wissem

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. ZIRMI Rachid

UMMTO

Président

M^{me}. CHIBANE Loundja

UMMTO

Examinatrice

Mr. SEMAOUI Smail

CDER

Encadrant

M^{elle}. HOCINE Dalila

UMMTO

Co-encadrante

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toute la période consacrée à la réalisation de ce travail. Nous exprimons nos

plus sincères remerciements à notre encadrant

Mr. SEMAOUI Smail, Directeur de Recherche au CDER, pour

avoir accepté d'encadrer et de diriger ce travail. Nous le

remercions également pour ses précieux conseils qui nous ont

permis une progression concrète dans ce projet, son aide et sa

grande patience. Nous tenons aussi à exprimer nos vifs

remerciements à notre promotrice, Mlle HOCINE Dalila, pour nous

avoir encadrés durant notre projet de fin d'études et nous avoir

conseillé tout au long de notre travail. Nos remerciements

s'adressent à tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous

font en acceptant d'évaluer notre travail. Nous exprimons nos

sincères reconnaissances à l'égard de tous ceux qui ont contribué à

nos études, particulièrement les enseignants de l'université

Mouloud MAMMERI. Enfin, nous remercions tous ceux qui ont

prêté main-forte dans l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Au terme de ce modeste travail, je le dédie a

Mes chers parents en hommage à leurs sacrifices. Ma chère mère BOUBKREUK Fatma celle qui m'accompagne toujours par ses prières, qui m'a soutenu moralement au cours de mes études et des moments difficiles, grâce à qui j'ai pu braver beaucoup d'embuches et arriver là où je suis actuellement.

A Mon adorable père DERRAB Said Mon père qui m'a soutenu sans relâche et m'a donné la force et la volonté de faire des efforts et ne jamais baisser les bras. Je suis très reconnaissante et j'éprouve un profond respect pour votre soutien, patience, compréhension et le réconfort que vous m'avez apporté auront été irréprochables.

Mama, papa Que Dieu vous gardes et vous donne santé, longue vie et que de bonheur. Mes frères Yazid et Amirouche que Dieu vous garde et vous protège et inshaa Allah que votre chemin soit plein de succès.

Et à tous mes amis qui m'aiment m'apprécient

*AMEL, NOUNA, WISSEM, HANA, SALIM, HACIN, SAMY, LYDIA,
DAHVIA*

Hamida

Dédicaces

*Je dédie ce projet de fin d'études
Aux deux êtres les plus chers, mes parents*

"Mourad & Nacira"

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. C'est à travers vos encouragements que j'ai opté pour la réussite dans mes études, et c'est à travers vos critiques que je me suis réalisée. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi. Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon amour infini. Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie

A mes sœurs "Tiziri, Louiz et Amel" et mes frères" Aghiles et Nassim" Je ne peux exprimer à travers ces lignes tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers vous. Je vous souhaite une vie pleine de réussite, de santé et de bonheur

A mes adorables neveux Axel et Mayas.

A mes cher amis "Hamida, Hana et Aghiles».

WISSEM

Résumé

La thèse explore l'importance des systèmes photovoltaïques dans le domaine des énergies renouvelables et de la durabilité, en se concentrant sur les tendances mondiales de la consommation d'énergie et la transition croissante vers l'énergie solaire. Il souligne l'importance d'optimiser l'efficacité énergétique des toitures photovoltaïques afin d'atteindre les objectifs de durabilité. Le document met en lumière le paysage de la production énergétique de l'Algérie et la nécessité d'une coopération internationale pour relever les défis climatiques et énergétiques. L'Algérie vise à produire 27 % de son électricité à partir d'énergies renouvelables d'ici 2030, et prévoit d'installer 14 GW de capacité à partir de sources solaires et éoliennes. L'énergie solaire photovoltaïque est louée pour sa fiabilité et son caractère respectueux de l'environnement, exploitant la lumière du soleil pour produire de l'électricité. Malgré certains inconvénients comme la variabilité de l'ensoleillement et les coûts élevés, l'énergie photovoltaïque offre des avantages en matière d'électricité propre et durable. La thèse détaille le processus de dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'école AKLI BABOU en Algérie, en tenant compte de facteurs tels que l'emplacement, la consommation d'énergie et l'irradiation solaire pour déterminer le nombre requis de modules solaires. Les panneaux solaires IF-P335-72 et l'onduleur Growatt 5000TL3-S choisis sont jugés adaptés à l'installation, ainsi qu'un système de stockage par batterie. L'étude utilise le logiciel PVsyst pour une analyse précise, recommandant 28 modules et une capacité de batterie spécifique. Il présente les avantages des systèmes photovoltaïques bien planifiés pour les zones hors réseau et décrit les perspectives d'avenir telles que les progrès technologiques, les évaluations environnementales et les facteurs socio-économiques pour améliorer l'optimisation énergétique et la durabilité à une plus grande échelle.

Mots clés : photovoltaïques, système photovoltaïque, modules, dimensionnement, PVsyst.

Abstract

The thesis explores the importance of photovoltaic systems in the field of renewable energy and sustainability, focusing on global trends in energy consumption and the growing transition to solar energy. It highlights the importance of optimizing the energy efficiency of photovoltaic roofs in order to achieve sustainability objectives. The document highlights Algeria's energy production landscape and the need for international cooperation to address climate and energy challenges. Algeria aims to produce 27% of its electricity from renewable energy by 2030, and plans to install 14 GW of capacity from solar and wind sources. Solar photovoltaic power is praised for its reliability and environmentally friendly nature, harnessing sunlight to produce electricity. Despite some disadvantages such as solar variability and high costs, photovoltaic energy offers advantages in terms of clean and sustainable electricity. The thesis details the process of sizing a photovoltaic system for the AKLI BABOU school in Algeria, taking into account factors such as location, energy consumption and solar irradiation to determine the required number of solar modules. The chosen IF-P335-72 solar panels and Growatt 5000TL3-S inverter are deemed suitable for the installation, along with a battery storage system. The study uses PVsyst software for precise analysis, recommending 28 modules and specific battery capacity. It presents the benefits of well-planned photovoltaic systems for off-grid areas and describes future prospects such as technological advancements, environmental assessments and socio-economic factors to improve energy optimization and sustainability on a larger scale.

Key words: photovoltaics, photovoltaic system, modules, sizing, PVsyst.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1 : Contexte et problématique

1.1. Introduction.....	3
1.2. Consommation mondiale d'énergie primaire.....	3
1.3. Production d'électricité primaire en Algérie.....	5
1.4. Energies renouvelables dans le monde	6
1.5. Potentiel et Stratégies Énergétiques de l'Algérie.....	8
1.6. Conclusion	11

Chapitre 2 : Production d'électricité par le solaire photovoltaïque

2.1. Introduction.....	12
2.2. Énergie solaire	12
2.3. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	13
2.4. Cellule photovoltaïque	14
2.4.1. Effet photovoltaïque	14
2.4.2. Différents types de cellules photovoltaïques	15
2.5. Générateur photovoltaïque.....	16
2.5.1. Module photovoltaïque.....	16
2.5.2. Panneau photovoltaïque.....	17
2.5.3. Paramètres d'un module PV	18
2.5.4. Influences de l'éclairement sur les caractéristiques I-V et P-V	19
2.5.5. Influences de la température sur les caractéristiques I-V et P-V	20
2.6. Modèle de cellule photovoltaïque	22
2.6.1. Cas d'une cellule idéale	22
2.6.1. Cas d'une cellule photovoltaïque réelle.....	23
2.7. Les types des installations photovoltaïques	25
2.7.1. Installation autonome	25
2.7.2. Installation photovoltaïque hybride	26
2.7.3. Installation photovoltaïque connectée au réseau	27
2.8. Onduleur réseau	28
2.8.1. Le principe de fonctionnement	30

2.8.2. La recherche du point de puissance maximal	30
2.8.3. La conversion DC/AC	31
2.8.4. Choix et placement d'un onduleur.....	31
2.9. Système de protection électrique	33
2.9.1. Protection courant continu.....	33
2.9.2. Protection courant alternatif	34
2.10. Compteur électrique (smart meeter)	35
2.11. Conclusion	36

Chapitre 3 : Analyse de l'installation photovoltaïque de l'écoleAKLI BABOU

3.1. Introduction.....	37
3.2. Etapes de dimensionnement.....	37
3.3. Calculs du système.....	39
3.3.1. Problématique.....	39
3.3.2. Calcul des besoins énergétique.....	39
3.4. Dimensionnements des modules photovoltaïques	41
3.4.1 Calcul d'énergie à produire.....	41
3.4.2. Détermination le nombre des modules photovoltaïques	43
3.5. Dimensionnement de l'onduleur	46
3.6. Dimensionnement Du système de stockage.....	47
3.7. Dimensionnement d'un système autonome sur PVsyst.....	49
3.7.1. Présentation du logiciel PVsyst	49
3.7.2. Conception du projet	50
3.7.3. Les résultats de notre analyse	50
3.8. Conclusion	51
Conclusion générale	52

Bibliographie

Annexes

Liste des figures

Figure 1.1: La consommation mondiale d'énergie primaire	4
Figure 1.2: La consommation finale mondiale d'énergie par continents	5
Figure 1.3: Structure de la production commerciale d'énergie primaire	6
Figure 1.4: La croissance de l'énergie solaire photovoltaïque dans les politiques déclarées de 2015 à 2030	7
Figure 1.5: a) irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal au mois de juillet b) irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal au mois du décembre	10
Figure 2.1: Principe de Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	15
Figure 2.2: Différents types de cellules photovoltaïques	16
Figure 2.3: Cellules forment un module photovoltaïque.....	17
Figure 2.4: a) Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de l'éclairement à température constante b) Caractéristiques P-V pour différentes valeurs de l'éclairement à température constante.....	20
Figure 2.5: a) Caractéristique IV en fonction de l'éclairement b) Caractéristique PV en fonction de l'éclairement.....	21
Figure 2.6: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale.....	22
Figure 2.7: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale.....	24
Figure 2.8: Le circuit équivalent du module PV	25
Figure 2.9: Installation photovoltaïque autonome.....	26
Figure 2.10: Installation PV hybride	27
Figure 2.11: Installation PV connectée au réseau	28
Figure 2.12 : Caractéristique d'un onduleur réseau	29
Figure 2.13: Un onduleur réseau	29
Figure 2.14: Principe de fonctionnement d'un onduleur réseau.....	30
Figure 2.15: Smart meter.....	35
Figure 3.1: Irradiation globale horizontale Algérie.....	38
Figure 3.2 : Irradiation solaire de l'Algérie	42
Figure 3.3: La fiche technique des modules photovoltaïque la marque IFRI-SOL	43
Figure 3.4: Le champ photovoltaïque de l'école AKLI BABOU	44

Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Consommation des appareils	39
Tableau 3.2 : Puissance et énergie consommé par l'école	40
Tableau 3.3 : Paramètres du panneau solaire PV IF-P335-72	46
Tableau 3.4 : Les tensions de systèmes correspondantes à chaque intervalle de puissance crête	48

Liste des Symboles

P_c	Puissance crête (W)
P_{max}	Puissance maximale (W)
V_{co}	Tension de circuit-ouvert (V)
I_{cc}	Courant de court-circuit (A)
I	Courant de la cellule photovoltaïque (A)
I_d	Courant de diode (A)
I_{ph}	Photo-courant, dépendant de l'intensité de l'irradiation (A)
I_p	Courant dérivé par la résistance parallèle (A)
I_0	Courant de saturation de diode, dépendant de la température (A)
V	Tension de la cellule photovoltaïque (V)
V_t	Tension thermique (V)
V_d	Tension de diode (V)
K	Constant de Boltzmann (1.38×10^{-23} J / K)
q	Charge de l'électron (1.6×10^{-19} C)
A	Facteur de qualité de la diode
R_s	Résistance série de la cellule (Ω)
R_p	Résistance parallèle de la cellule (Ω)
G	Éclairement (W/ m^2)
G_{ref}	Éclairement de référence ($1000W/ m^2$)
N_s	Nombre de cellules en série
N_p	Nombre de cellules en parallèle
K_i	Coefficient de courant en fonction de température ($A/$)

K_v	Coefficient de tension en fonction de température (V/)
D	Rapport cyclique du convertisseur
K	Rapport de transformation du transformateur d'isolement
N	Nombre de niveau de tension de sortie
V_{de}	Source de tension continue (V)
V_{ref}	Tension de signal de référence (V)
V_p	Tension de signal de porteuse (V)
f_r	Fréquence du signal de référence (Hz)
f_p	Fréquence de la porteuse (Hz)
V_{ao}	Tension entre le point a et le point 0 (V)
V_{ab}	Tension entre la phase a et la phase b (V)
P_{tot}	La puissance max de la charge (W)
E_c	Energie totale consommée (Wh/jour)
I_r	Irradiation globale (kWh/m ² /jour)
N_p	Nombre de module PV
C_{sys}	Capacité de stockage dans les batteries en (Ah).

Acronymes

PV: Photovoltaïque

MPPT: Maximum Power Point Tracking

IGBT : Transistor Bipolaire à Grille Isolée (Insulated Gate Bipolar Transistor)

MLI : Modulation de Largeur d'Impulsions

PWM : Pulse Width Modulation

P&O : Perturbation et Observation

DC : Courant Continu (Direct Current)

AC : Courant Alternatif (Alternatif Current)

DOD : Décharge maximale des batteries

Introduction

Générale

Introduction Générale

Les sources d'énergie photovoltaïques, contrairement aux combustibles fossiles, sont très propres et jouent un rôle crucial dans la production d'électricité en raison de leurs ressources illimitées. L'électricité peut être produite par diverses sources renouvelables telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie géothermique. Parmi ces alternatives, l'énergie solaire se distingue comme une option privilégiée pour deux raisons principales : sa disponibilité et sa propreté. La production d'énergie solaire dépend de l'ensoleillement reçu à des endroits spécifiques, mesuré en termes d'heures et d'intensité, connu sous le nom d'insolation solaire ou de rayonnement solaire [A1].

L'intensité et la durée de la lumière varient au cours des différentes saisons de l'année en fonction de la situation géographique. Cette variabilité influence la quantité d'énergie solaire pouvant être convertie en énergie électrique. Un système de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique comprend un champ de modules photovoltaïques et un ensemble de composants qui rendent l'électricité produite compatible avec les besoins des récepteurs [A2].

Les applications photovoltaïques sont principalement utilisées dans les systèmes connectés au réseau électrique. Ce mémoire présente les différents types de systèmes photovoltaïques et fournit une analyse détaillée de ces systèmes lorsqu'ils sont connectés à un réseau.

La gestion de l'énergie dédiée à l'optimisation énergétique des toitures photovoltaïques revêt une importance capitale dans le contexte actuel de transition énergétique et de lutte contre le changement climatique. En maximisant l'efficacité énergétique des installations photovoltaïques, il est possible de réduire la dépendance aux sources d'énergie fossiles, de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et de promouvoir une utilisation plus durable et responsable des ressources naturelles[A3].

De plus, l'optimisation des toitures photovoltaïques peut jouer un rôle essentiel dans la réalisation des objectifs nationaux et internationaux en matière de développement durable. En particulier, cette approche permet de tirer parti des surfaces disponibles sur les bâtiments, transformant les toitures en sources d'énergie renouvelable. L'intégration de ces systèmes dans le réseau électrique existant nécessite une gestion précise et une planification rigoureuse,

soulignant l'importance de la méthodologie de dimensionnement utilisée dans cette étude. Pour ce faire, ce mémoire est composé de trois chapitres :

- **Le premier chapitre** introduit le contexte énergétique mondial et algérien, en présentant une discussion détaillée des enjeux du mémoire.
- **Le deuxième chapitre** offre une généralisation sur les systèmes photovoltaïques. Nous y introduisons le principe de l'effet photovoltaïque, ainsi que les cellules photovoltaïques et leurs paramètres, en plus d'aborder les différents types de systèmes existants. Nous approfondissons également l'étude des composants électriques d'un système photovoltaïque connecté au réseau, tout en explorant les détails de fonctionnement de l'onduleur solaire.
- **Le troisième chapitre** se concentre sur le processus de dimensionnement, détaillant les étapes nécessaires. Pour mettre ces concepts en pratique, une analyse de projet a été réalisée sur une école primaire située à Makouda, Tizi-Ouzou. Au cours de cette analyse, les principaux appareils de mesure utilisés à des fins d'inspection ont été examinés minutieusement. Enfin, nous avons comparé nos résultats aux données fournies par le logiciel de simulation PVsyst.

Importance du Thème du Mémoire

En somme, ce mémoire apporte une contribution significative à la compréhension et à l'amélioration des systèmes photovoltaïques, offrant des perspectives prometteuses pour l'avenir de l'énergie solaire et la transition vers une économie plus verte et durable.

Chapitre 01 :

Contexte et problématique

1.1. Introduction :

La reconnaissance croissante du caractère limité des combustibles fossiles et de leur impact environnemental, comme le soulignent les données sur les émissions de gaz comme le CO₂ et le NO_x, a en effet poussé les sociétés à reconsidérer leurs sources d'énergie. Cette évolution vers la durabilité n'est pas seulement un choix mais une nécessité pour assurer le bien-être de notre planète et des générations futures. En réponse à ce besoin urgent, la communauté mondiale explore et investit activement dans les sources d'énergie renouvelables.

L'énergie renouvelable provient de processus naturels qui se renouvellent continuellement, notamment la lumière du soleil, le vent, l'eau, la chaleur géothermique et la biomasse. Ces sources ont le potentiel de répondre à nos demandes énergétiques sans épuiser les ressources ni causer de graves dommages environnementaux.

1.2. Consommation mondiale d'énergie primaire :

En 2020, la consommation mondiale d'énergie primaire a atteint 162 400 TWh, soit près du double de celle de 1980 (83 600 TWh). L'Asie représente les trois quarts de cette croissance. Les énergies fossiles continuent de dominer le mix énergétique mondial en 2020 (80%), bien que leur part ait légèrement diminué par rapport à 1980 (- 5 points), principalement dans les années 1980, suivie d'une relative stabilité depuis lors. Les produits pétroliers (29% en 2020) restent la première source d'énergie consommée, suivis du charbon et du gaz naturel (27 % et 24% respectivement). Au cours des 40 dernières années, la part des produits pétroliers a diminué de 14 points, tandis que celles du gaz naturel et du charbon ont augmenté respectivement de 7 points et 2 points. La part de la biomasse et des déchets dans le mix énergétique reste relativement stable, aux alentours de 10%. De même, la part de l'hydroélectricité reste inchangée, représentant 2,7% de la consommation d'énergie primaire mondiale en 2020. La part de l'énergie nucléaire a presque doublé en 40 ans, atteignant 5,0% en 2020. Enfin, la part des autres énergies renouvelables (solaire, éolien, géothermie) est passée de 0,2% à 2,6% au cours de la même période. [1]

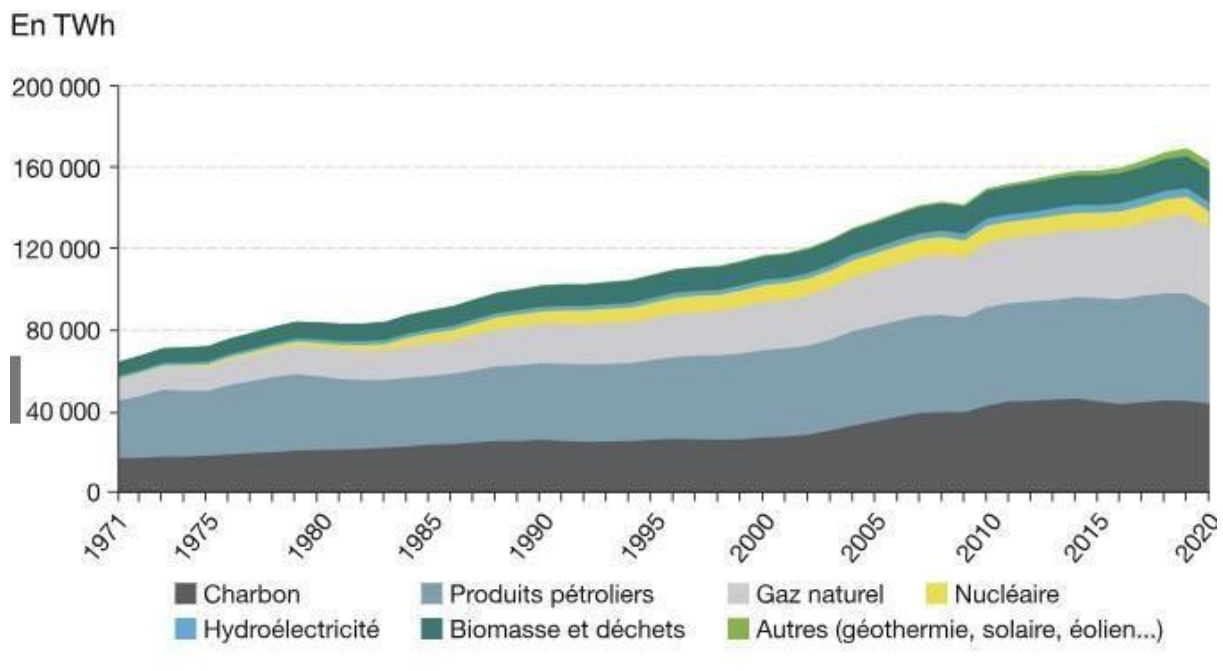


Figure 1.1: La consommation mondiale d'énergie primaire [1].

Entre 1980 et 2020, la consommation finale mondiale a presque doublé, passant de 84 à 162 milliers de TWh. Cette croissance est largement influencée par la répartition géographique de la consommation, avec l'Asie représentant une part croissante, passant de 21% à 49% du total entre 1980 et 2020. Les énergies fossiles continuent de dominer le mix énergétique mondial en 2020, représentant environ les deux tiers de la consommation finale sur tous les continents, à l'exception de l'Afrique où la biomasse est prédominante (54%). Le pétrole reste la principale source d'énergie fossile dans tous les continents. Alors que l'Asie utilise largement le charbon (18%), l'Amérique et l'Europe ont une préférence pour le gaz naturel (21% et 27% respectivement). La part de l'électricité dans la consommation finale en 2020 est relativement similaire sur tous les continents, avoisinant les 20%, sauf en Afrique où elle représente un pourcentage non spécifié.

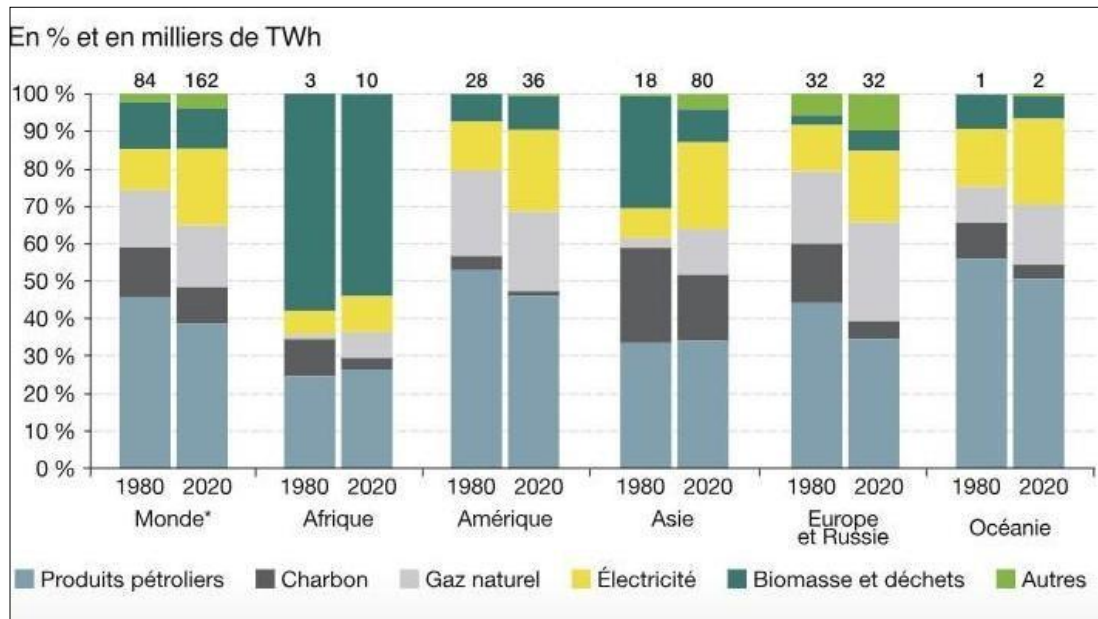


Figure 1.2 : La consommation finale mondiale d'énergie par continents [1].

1.3. Production d'électricité primaire en Algérie :

En 2021, la production d'électricité renouvelable primaire a atteint 662 GWh, enregistrant une baisse de 4,1% par rapport à l'année précédente. Cette diminution est principalement due à une réduction de la production des centrales. En effet, les centrales hydrauliques ont chuté de 81%, passant de 49,6 GWh en 2020 à 9 GWh en 2021 en raison d'une faible pluviométrie. De leur côté, les centrales photovoltaïques ont connu une baisse de 3,5%, passant de 665 GWh en 2020 à 642 GWh en 2021 en raison de problèmes techniques. En ce qui concerne la structure de la production d'énergie primaire commerciale, elle reste dominée par le gaz naturel à 60%, suivi par le pétrole à 29%. [2]

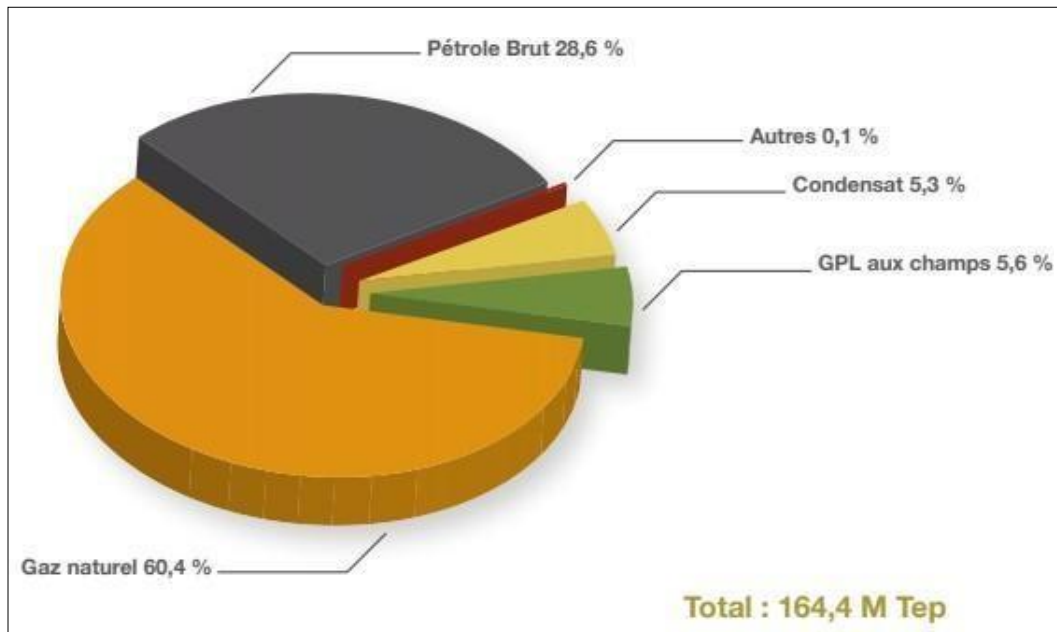


Figure 1.3 : Structure de la production commerciale d'énergie primaire [2].

1.4. Énergies renouvelables dans le monde :

Il est essentiel d'agir de manière plus ambitieuse et plus rapide pour relever les défis climatiques et énergétiques. Les politiques et les technologies disponibles permettent d'aligner la sécurité énergétique sur les objectifs de durabilité, d'accélérer le changement dès cette décennie et de maintenir l'espoir de limiter le réchauffement à 1,5°C. Les projections actuelles indiquent un pic des émissions de CO₂ d'ici le milieu des années 2020, mais ces niveaux restent trop élevés, entraînant à une augmentation des températures mondiales d'environ 2,4°C d'ici 2100. Les mesures clés pour réduire les émissions d'ici 2030 sont bien connues et rentables, notamment l'expansion des énergies renouvelables, l'amélioration de l'efficacité énergétique, l'électrification accrue et la réduction des émissions de méthane. Un financement innovant à grande échelle est nécessaire pour soutenir les investissements dans les énergies propres, ainsi que des mesures pour une transition ordonnée loin des combustibles fossiles. La collaboration internationale est essentielle pour le succès de la COP28 à Dubaï en décembre et pour relever les défis énergétiques et climatiques mondiaux. Il est crucial d'adopter un système commercial international basé sur des règles, de stimuler l'innovation et le transfert de technologie pour limiter le réchauffement à 1,5°C. La sécurité énergétique dépend également de marchés interconnectés et fonctionnels pour faire face aux chocs potentiels. Malgré les défis persistants, les progrès dans les énergies propres offrent de l'espoir, avec une croissance significative des énergies renouvelables et des investissements dans le solaire et les véhicules électriques. [3]

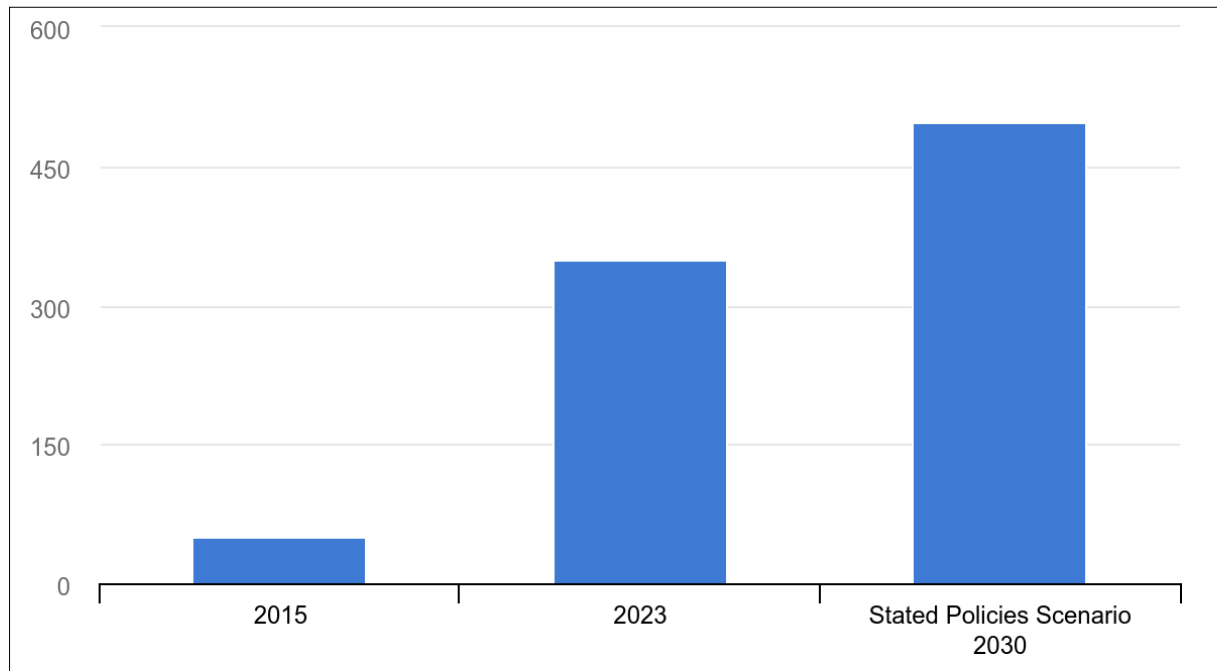


Figure 1.4 : La croissance de l'énergie solaire photovoltaïque dans les politiques déclarées de 2015 à 2030.

L'année 2022 a été tumultueuse pour les marchés mondiaux de l'énergie, avec une explosion des prix de l'énergie - en particulier pour le gaz naturel - en Europe et dans de nombreuses autres régions du monde. Les interventions gouvernementales ont largement atténué les impacts du choc des prix sur les consommateurs. La demande mondiale d'énergie a augmenté de 1,3%, en ligne avec la moyenne récente. Malgré les tensions géopolitiques, la volatilité des prix des matières premières et l'incertitude entourant les coûts, certains changements transformateurs commencent à se dessiner dans certaines parties du système énergétique mondial. Les véhicules électriques représentent actuellement environ 15 % des ventes de voitures et devraient atteindre une part de 40% d'ici 2030 dans le scénario des politiques déclarées (STEPS). En 2022, un record de 220 gigawatts (GW) de capacité solaire a été ajouté, et les niveaux de déploiement devraient plus que doubler, tandis que les pompes à chaleur devraient également plus que doubler leur part des ventes d'équipements de chauffage d'ici 2030 dans le scénario STEPS. L'augmentation prévue de la capacité de fabrication de ces technologies d'énergie propre semble capable de répondre à bon nombre des jalons de déploiement dans le scénario des engagements annoncés (APS) et, dans le cas du solaire et des batteries, de fournir ce qui est nécessaire dans le scénario de zéro émission nette d'ici 2050 (NZE). L'accélération de la transition vers les énergies propres signifie qu'il reste très peu de marge de croissance pour les combustibles fossiles, avec une diminution de la demande de pétrole, de gaz naturel et de charbon avant 2030 dans les trois scénarios de la

Perspectives Énergétiques Mondiales 2023. La part des combustibles fossiles dans la demande d'énergie primaire diminue également dans chaque scénario. L'approvisionnement en électricité devient progressivement plus propre grâce à l'augmentation des sources à faibles émissions, notamment le solaire photovoltaïque et l'éolien, tandis que l'électrification de la mobilité et du chauffage progresse dans chaque scénario. L'efficacité énergétique joue un rôle crucial dans tous les secteurs pour déterminer la consommation finale totale, avec des tendances de consommation divergentes selon les différents scénarios. L'hydrogène et la capture, l'utilisation et le stockage du carbone (CCUS) progressent également de manière indispensable, avec un nombre important de projets en cours qui pourraient contribuer aux objectifs des différents scénarios, sous réserve des défis potentiels liés aux coûts et à la chaîne d'approvisionnement. [3]

1.5. Potentiel et Stratégies Énergétiques de l'Algérie :

L'Algérie se distingue par son immense potentiel en énergies renouvelables, notamment grâce à une abondante irradiation solaire et des conditions d'ensoleillement exceptionnelles. Cette richesse naturelle positionne le pays comme un acteur majeur dans le domaine de l'énergie solaire à l'échelle mondiale. Pour préserver ses réserves de gaz et de pétrole, le gouvernement algérien a mis en place un programme ambitieux visant à produire 27% de son électricité à partir d'énergies renouvelables d'ici 2030. Ce programme, couvrant la période 2015-2030, prévoit l'installation de 14 GW de capacité répartis entre diverses sources d'énergie renouvelable telles que le solaire photovoltaïque, l'éolien, l'énergie solaire thermodynamique, la biomasse, la cogénération et la géothermie.

Pour atteindre ces objectifs, des investissements considérables sont nécessaires, tant publics que privés, et provenant de sources nationales et étrangères. Le gouvernement a mis en place des incitations attractives, comme des tarifs d'achat garantis sur 20 ans pour les projets photovoltaïques et éoliens, et des financements allant de 50% à 90% pour les autres technologies. Le Fonds national des énergies renouvelables et de la cogénération (FNERC) joue un rôle crucial dans le financement de ces initiatives, grâce à un prélèvement de 1% sur la redevance pétrolière. Ce programme s'inscrit dans une vision à long terme visant à diversifier le mix énergétique de l'Algérie, réduire sa dépendance aux combustibles fossiles et promouvoir un développement durable. En exploitant pleinement son potentiel en énergies renouvelables, l'Algérie s'engage sur la voie d'une transition énergétique vers un avenir plus propre et plus durable.

Intégration des Micro-Réseaux pour une Transition Énergétique Efficace :

Les micro-réseaux représentent une solution innovante pour intégrer efficacement les énergies renouvelables dans le système énergétique. En regroupant diverses sources d'énergie indépendantes, ces systèmes créent un réseau énergétique intégré, flexible et dynamique. L'objectif principal des micro-réseaux est de réduire la dépendance aux centrales électriques traditionnelles en exploitant au maximum les ressources renouvelables disponibles. Cette approche offre une alternative à l'extension coûteuse des réseaux électriques conventionnels, favorisant ainsi une utilisation plus efficace des énergies renouvelables et générant des avantages environnementaux significatifs.

Pour garantir la stabilité et la fiabilité du système, il est essentiel d'intégrer des mécanismes de contrôle et de gestion pour gérer les fluctuations imprévues des sources d'énergie renouvelable. Cela assure un équilibre constant entre l'offre et la demande d'électricité, optimisant le flux d'énergie au sein du micro-réseau. La mise en place d'un système de gestion de l'énergie intelligent (SGE) est cruciale pour superviser et réguler efficacement la production et la consommation d'énergie. Le SGE joue un rôle clé dans le maintien de l'équilibre du système, garantissant la continuité de l'alimentation des charges tout en minimisant les coûts opérationnels. De plus, pour les micro-réseaux connectés au réseau national, le SGE doit optimiser l'interaction avec le réseau électrique national afin d'assurer une intégration harmonieuse et rentable des micro-réseaux dans le système énergétique global.

En conclusion, l'Algérie, avec ses vastes ressources en énergie solaire, et l'innovation des micro-réseaux offrent une voie prometteuse pour un futur énergétique durable et résilient. Ces efforts conjoints sont essentiels pour une transition énergétique réussie, apportant des bénéfices économiques, environnementaux et sociaux à long terme.

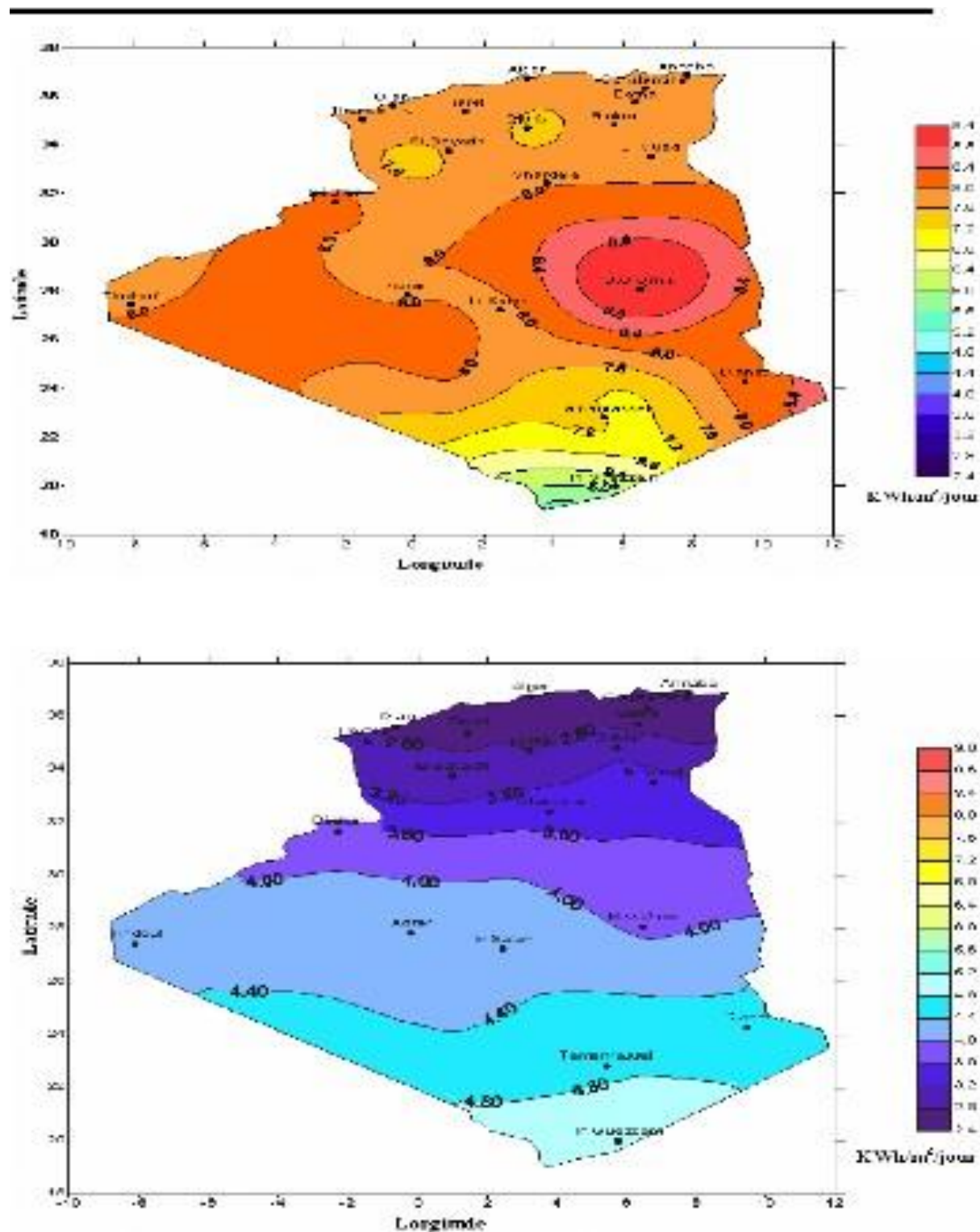


Figure 1.5 : a) irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal au mois de juillet.

b) irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal au mois de décembre.

La province d'Oum El-Bouaghi, sur les hauts plateaux, est très abondante en énergie solaire. En été, elle peut même monter jusqu'à 8,5 KWh/m²/jour tandis qu'en hiver, la quantité descend à 4 KWh/m²/jour, ce qui signifie qu'elle reçoit autant d'énergie par mètre carré de surface et par jour que pour éclairer un endroit éloigné.

La nécessité de points d'éclairage public dans de nombreux endroits sans connexion au réseau électrique et avec une forte consommation d'énergie a fait des lampadaires solaires un choix pour de telles applications en raison de leur faible consommation d'énergie.

La cellule solaire est généralement encapsulée : elle agit comme un générateur photovoltaïque avec le composant de la batterie de stockage qui conserve la charge qui s'accumule pendant la journée, celle-ci est utilisée pendant la nuit pour alimenter le point lumineux.

1.6. Conclusion :

Le chapitre fournit une analyse approfondie de la situation critique à laquelle est confrontée la consommation mondiale d'énergie primaire et souligne le besoin urgent d'une transition vers les sources d'énergie renouvelables, avec un accent particulier sur l'Algérie. Il souligne la demande mondiale croissante d'énergie primaire, entraînée par la croissance démographique et l'expansion économique, qui exerce une pression sur les sources d'énergie traditionnelles et nocives pour l'environnement. Ce scénario souligne la nécessité d'une transition vers des infrastructures énergétiques plus durables et renouvelables pour garantir la sécurité environnementale et énergétique à long terme.

Le paysage énergétique actuel de l'Algérie, principalement dépendant des combustibles fossiles, est examiné pour discuter de son potentiel important en matière d'adoption des énergies renouvelables, compte tenu de ses abondantes ressources solaires et éoliennes. L'évolution vers les énergies renouvelables s'inscrit dans le cadre des efforts mondiaux de lutte contre le changement climatique et représente une opportunité pour l'Algérie de diversifier son mix énergétique, de réduire ses émissions de carbone et d'améliorer sa sécurité énergétique.

Chapitre 02 :
**Production d'électricité par le solaire
photovoltaïque**

2.1. Introduction :

La consommation mondiale d'énergie est majoritairement assurée par des énergies non renouvelables car ce sont des ressources limitées. Des stratégies énergétiques doivent donc être mises en place rendre les systèmes électriques plus efficaces et moins coûteux, mais aussi s'appuyer sur énergies renouvelables (hydraulique, éolienne, solaire, géothermique, biomasse, géothermique ou marémotrice) puisque celles-ci sont inépuisables. Les énergies renouvelables sont des ressources qui peuvent être considérées comme inépuisables puisque leur renouvellement est assez rapide à l'échelle humaine. Les systèmes photovoltaïques permettent d'exploiter l'énergie solaire pour différentes applications. Ils sont très fiables et constituent une source d'électricité non polluante qui peut convenir à toute une gamme d'applications.

2.2. Énergie solaire :

Le soleil, un réservoir d'énergie presque illimité, émet en permanence une force radiante qui dépasse la consommation d'énergie de la Terre d'un facteur d'environ 8 400 chaque année. Cela équivaut à une consommation instantanée de 1 kilowatt crête par unité de temps.

La mesure au mètre carré de kWp/m² illustre un niveau d'efficacité impressionnant.

L'ensemble du spectre électromagnétique, allant de l'ultraviolet à l'infrarouge, est réparti uniformément.

Les déserts de notre planète sont dotés d'une incroyable abondance d'énergie solaire. En seulement six heures, ces vastes étendues reçoivent plus d'énergie du soleil que l'humanité n'en consomme en une année entière. Cette source d'énergie remarquable est exploitée et utilisée conformément à nos besoins. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés :

➤ Solaire thermique

Dans cette technologie, l'énergie solaire est transformée en chaleur. Les photons excitent les atomes contenus dans le matériau des capteurs solaires et, en récupérant une partie de leur énergie, ces atomes passent de leur état à la génération d'une agitation thermique. Plus tard, ils libèrent l'excès d'énergie sous forme de chaleur qui est véhiculée par un fluide caloporteur (généralement de l'eau ou du gaz) : le fluide

chauffé peut alors répartir sa chaleur progressivement (comme dans un plancher chauffant) ou être stockée (comme dans un ballon d'eau chaude). Pour une utilisation future.

➤ **Les systèmes photovoltaïques (PV)**

Sont des appareils électroniques qui exploitent la puissance de la lumière solaire et la convertissent en électricité grâce à l'effet photoélectrique. Cet effet se produit lorsque des matériaux spécifiques absorbent des photons et des électrons, entraînant la génération d'un courant électrique.[4]

2.3. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

- L'énergie photovoltaïque présente de nombreux avantages, car elle fournit une source d'électricité renouvelable propre et non toxique.
 - Les systèmes photovoltaïques présentent un niveau de fiabilité exceptionnel.
 - L'énergie photovoltaïque revêt un attrait particulier pour les zones urbaines, grâce à ses avantages uniques.
 - L'énergie photovoltaïque est accessible partout grâce à sa petite taille et son fonctionnement silencieux.
 - L'électricité photovoltaïque présente la polyvalence nécessaire pour être utilisée aussi bien dans les zones rurales isolées que dans les centres urbains animés. L'objectif est de produire cette source d'énergie renouvelable à proximité immédiate du lieu où elle sera utilisée.
 - Les matériaux utilisés dans la construction, notamment le verre et l'aluminium, sont conçus pour résister aux conditions météorologiques les plus rudes, notamment à la grêle. De plus, la distribution de ces matériels se fait de manière décentralisée, garantissant une livraison directe à l'utilisateur final.
 - Les panneaux photovoltaïques ont une durée de vie incroyablement longue, selon certains fabricants.
 - Les panneaux solaires bénéficient d'une garantie qui assure leurs performances pendant une durée de 25 ans.

- Constitue un inconvénient important pour la production d'énergie.
 - La variabilité de l'ensoleillement, qui est la principale source d'énergie des systèmes photovoltaïques.
 - Le prix exorbitant.
 - Taux de conversion inefficaces.
 - Le coût d'installation augmente lorsque l'énergie doit être stockée à l'aide de batteries.
 - Le processus de fabrication contribue à la pollution.

Le marché photovoltaïque, malgré ses limites, continue de découvrir de nouvelles applications et de se développer. En outre, les progrès de la technologie photovoltaïque restent une force majeure.

Le processus de maturation de la cellule photovoltaïque peut conduire à une réduction des coûts de fabrication, atténuant ainsi les inconvénients qui y sont associés.[5]

2.4. Cellule photovoltaïque :

Les composants électroniques semi-conducteurs, généralement composés de diverses formes de silicium, sont appelés cellules photovoltaïques. Ces cellules ont la remarquable capacité de convertir l'énergie lumineuse directement en tension électrique, en utilisant la combinaison de photons (grains de lumière) et de volts (unités de tension).

Les cellules solaires sont des dispositifs qui génèrent de l'électricité en courant continu basse tension grâce à l'effet photovoltaïque, qui est la conversion de la lumière du soleil en énergie.

2.4.1. Effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est le principe sous-jacent d'une cellule photovoltaïque. Cet effet se produit lorsque la surface de la cellule est exposée à la lumière, entraînant la création d'une force électromotrice. La tension produite par la cellule peut varier de 0,3 V à 0,7 V, en fonction de divers facteurs.

Les performances d'une cellule photovoltaïque (PV) peuvent varier en fonction de facteurs tels que le type de matériau utilisé, la façon dont il est disposé, la température de la cellule et son processus de vieillissement [6]. Une représentation visuelle d'une cellule photovoltaïque standard peut être vue sur la figure (2.1), présentant ces éléments.

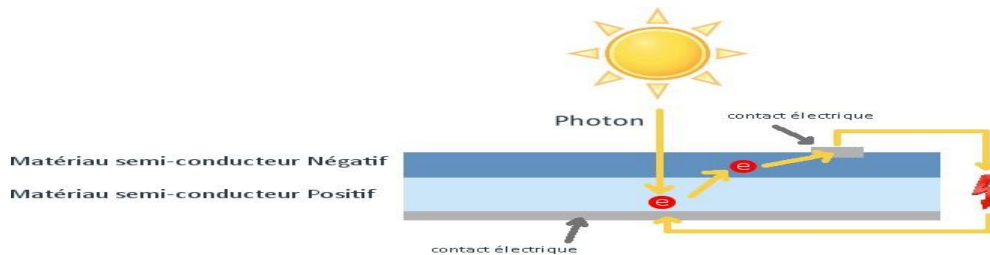


Figure (2.1) : Principe de Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

2.4.2. Différents types de cellules photovoltaïques :

La construction de cellules photovoltaïques repose sur l'utilisation de semi-conducteurs tels que le silicium (Si), le germanium (Ge), le sélénium (Se), le sulfure de cadmium (CdS), le tellure de cadmium (CdTe) ou l'arséniure de gallium (GaAs). Parmi ces matériaux, le silicium est le choix prédominant pour la fabrication de cellules photovoltaïques en raison de son utilisation répandue.

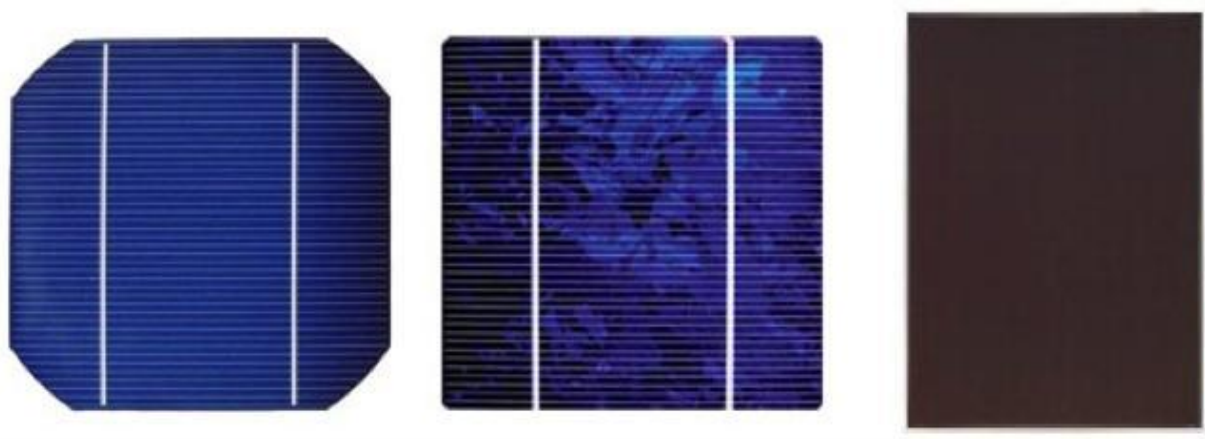
Il existe en abondance dans le monde naturel, sous forme de pierre.

La silice, qui est un composé minéral et chimique de formule dioxyde de silicium.

Le SiO₂, également connu sous le nom de dioxyde de silicium, est le principal composant présent dans les roches sédimentaires détritiques, en particulier les sables et les grès.[7]

La figure 2.2 illustre les différents types de cellules photovoltaïques actuellement existantes.

Il s'agit notamment de la cellule en silicium amorphe, qui affiche une plage d'efficacité de 6 à 10 %. La cellule en silicium monocristallin, quant à elle, présente une plage d'efficacité de 13 à 17 %. Entre les deux se trouve la cellule en silicium polycristallin, avec une plage de rendement de 11 à 15 %. De plus, il existe la cellule tandem et la cellule composée de matières organiques, qui ont un rendement de 3,6 %. Il est important de noter que la puissance de sortie d'une seule cellule est assez minime, ce qui nécessite des mesures supplémentaires.



(a) : cellule monocristalline

(b) : poly cristalline

(c) : couche mince

Figure 2.2 : Différents types de cellules photovoltaïques [7].

2.5. Générateur photovoltaïque :

Afin de réaliser des modules de puissance compatibles avec les équipements standards, il est nécessaire de connecter ces cellules aussi bien en série qu'en parallèle. Une fois les modules formés, ils peuvent être interconnectés.

Les chaînes sont finalement reliées entre elles en parallèle pour créer une série. La constitution d'un générateur photovoltaïque implique la création de chaînes de modules. Le nombre de modules dans chaque chaîne est un facteur important à prendre en compte. Le niveau de tension du générateur est déterminé en fonction des exigences spécifiques. Cela inclut le module photovoltaïque.

2.5.1. Module photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque de base sert de générateur de faible puissance pouvant répondre aux exigences de diverses applications domestiques ou industrielles. Cette cellule de petite taille, mesurant seulement quelques dizaines de centimètres carrés, est capable de produire de l'énergie.

Pour générer une puissance de sortie plus élevée, il est nécessaire d'augmenter le nombre de cellules, car chaque cellule individuelle ne produit que quelques watts à une tension inférieure à la tension de la jonction PN.

Chapitre 02 : Production d'électricité par le solaire photovoltaïque

En réalité, le module ou panneau photovoltaïque est construit en assemblant différents composants.

La conversion réelle de la lumière solaire en électricité est réalisée par un ensemble de cellules placées en série dans des modules photovoltaïques.

Les modules interconnectés dans des configurations en série et en parallèle créent un champ photovoltaïque qui atteint sa puissance maximale dans des conditions spécifiques d'éclairage, de température et de spectre solaire. La majorité des modules disponibles sur le marché sont composés de deux à quatre unités interconnectées.

Le panneau solaire est constitué d'une connexion en série de cellules en silicium cristallin [8].

2.5.2. Panneau photovoltaïque :

La puissance souhaitée est obtenue en connectant des modules en série et en parallèle au sein du panneau photovoltaïque (ou champ solaire). Chaque module individuel joue un rôle crucial dans cette configuration.

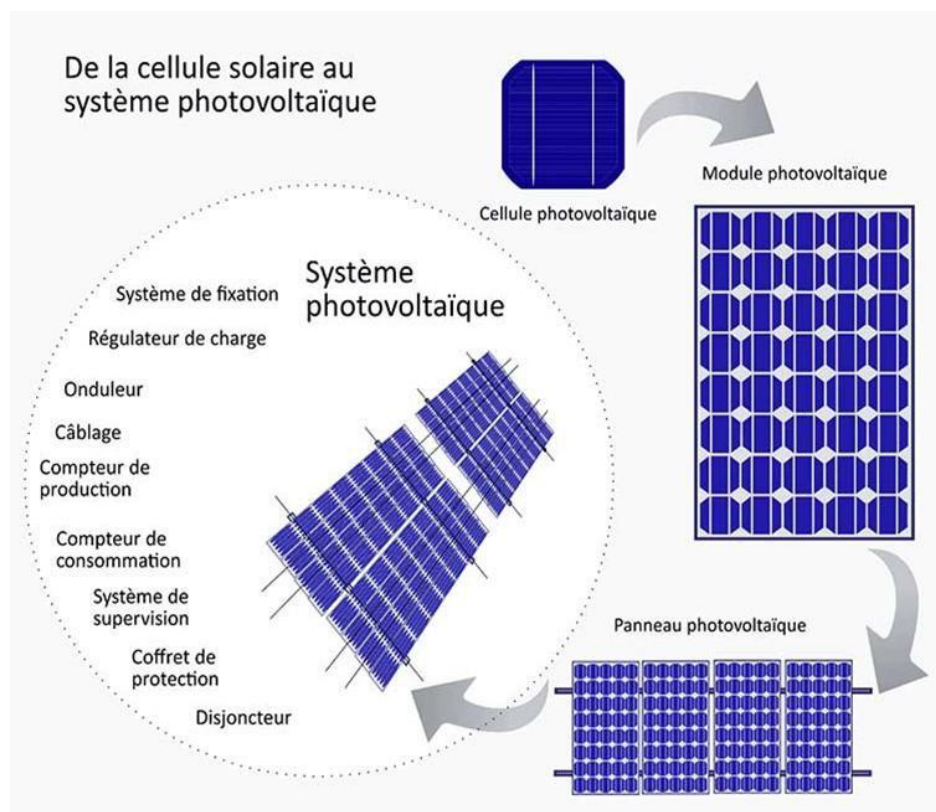


Figure 2.3 : Cellules forment un module photovoltaïque [9].

2.5.3. Paramètres d'un module PV :

Un module photovoltaïque est constitué de cellules et se caractérise par certains paramètres.

Les modules, qui sont typiquement des parallélépipèdes rectangles rigides de quelques centimètres d'épaisseur, possèdent plusieurs paramètres qui définissent leurs performances [10].

Ces paramètres incluent :

- La puissance crête p_c : qui représente la puissance électrique maximale que le module peut générer dans des conditions standards (25°C et 1000 W / m² d'éclairage).
- La caractéristique $I=f(V)$: qui représente la relation entre le courant délivré par le module et la tension.
- La tension en circuit ouvert V_{co} : fait référence à la tension aux bornes du module lorsqu'aucune charge externe n'y est connectée.
- Le courant de court-circuit I_{cc} : fait référence au courant maximum produit par le système en plein soleil.

En cas de court-circuit, la tension de la cellule est réduite à zéro ($V = 0$). Concrètement, le courant de court-circuit (I_{cc}) équivaut au photocourant (I_{ph}).

- La puissance maximale P_{max} : fait référence à la quantité d'énergie électrique la plus élevée que le module peut générer. Cette valeur est déterminée par la tension maximale V_{max} et le courant maximal I_{max} qui lui est associé.

$$P_{max}=I_{max} \times V_{max} \quad (2.1)$$

- Rendement η : qui est la puissance électrique maximale P_{max} divisée par la puissance du rayonnement incident P_{inc}

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} \quad (2.2)$$

La valeur de P_{inc} est déterminée en multipliant l'éclairement par la surface totale des photocellules.

La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique est mesurée par le paramètre qui indique sa qualité.

- Le facteur de forme, FF : représente le rapport entre la puissance maximale pouvant être délivrée.

Le produit de (I_{cc}, V_{co}) est payant.

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} \times V_{co}} \quad (2.3)$$

2.5.4. Influences de l'éclairement sur les caractéristiques I-V et P-V :

Les caractéristiques I-V et P-V d'un module PV, représentant la tension et la puissance en fonction de l'éclairage incident et de la température ambiante, sont présentées respectivement dans les figures 2.4 a) et b).

Il convient de noter qu'il existe des fluctuations dans le courant de court-circuit, qui est essentiellement le

La quantité de photo-courant générée dans le module PV est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement solaire qu'il reçoit.

Le courant délivré par le module PV est fortement influencé par la force de l'éclairage.

La puissance disponible dans chaque module PV est amplifiée avec l'augmentation de l'éclairement, ce qui entraîne une augmentation de l'influence. A chaque valeur de flux lumineux correspond une puissance électrique maximale pouvant être générée par un module PV.

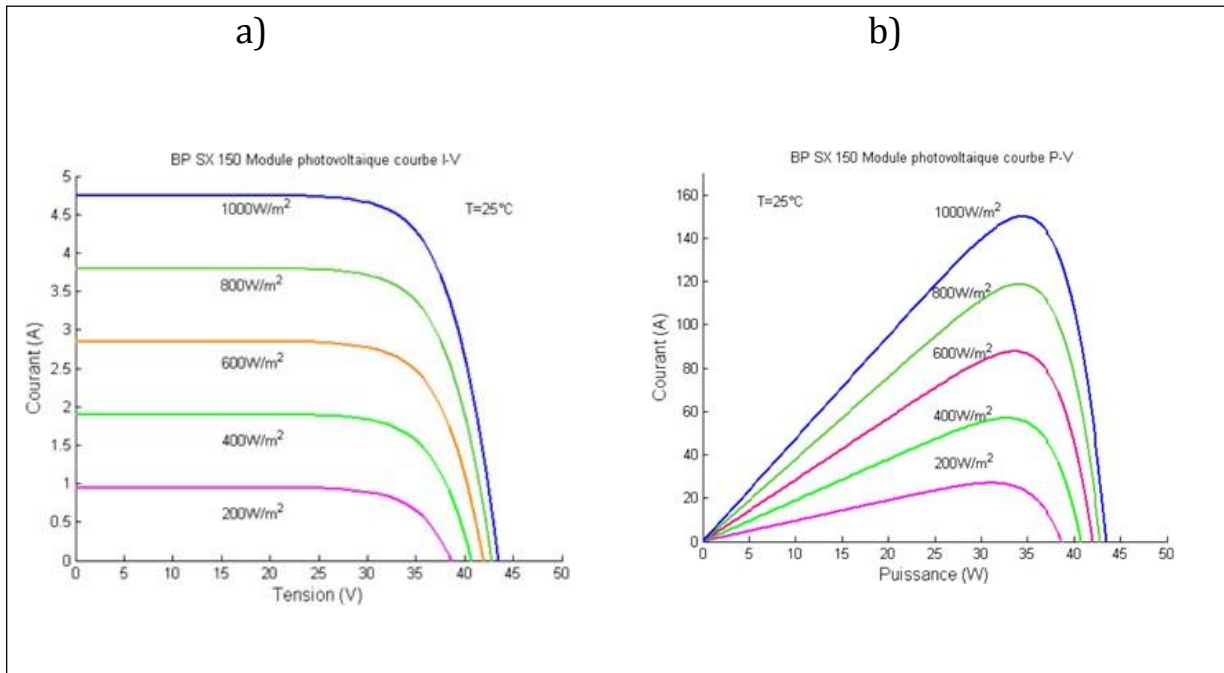


Figure 2.4 :

- a) Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de l'éclairement à température constante [11]
- b) Caractéristiques P-V pour différentes valeurs de l'éclairement à température constante [11]

La relation entre le courant I_{cc} et l'éclairement G peut s'exprimer comme suit :

$$I_{cc} = I_{cc}^* \left(\frac{G}{G^*} \right) + K_i(T - T^*) \quad (2.4)$$

I_{cc}^* est le courant de court-circuit dans des conditions CST ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2$, $T^* = 25^\circ\text{C}$)

Le coefficient de température du courant de court-circuit, représenté par K_i (A/), est généralement fourni par le fabricant.

2.5.5. Influences de la température sur les caractéristiques I-V et P-V :

Le comportement d'un module PV est fortement influencé par la température, ce qui en fait un paramètre crucial à prendre en compte. Ceci peut être observé dans la caractéristique IV représentée sur la (figure 2.5 a).

Le courant de court-circuit, I_{cc} , reste relativement stable quelle que soit la température, fournissant un éclairage constant et une plage de valeurs de température. On constate cependant une augmentation notable de la température.

Le comportement des modules PV est influencé par la température, car elle entraîne une diminution à la fois de la tension en circuit ouvert et de la puissance maximale disponible (figure 2.5 b).

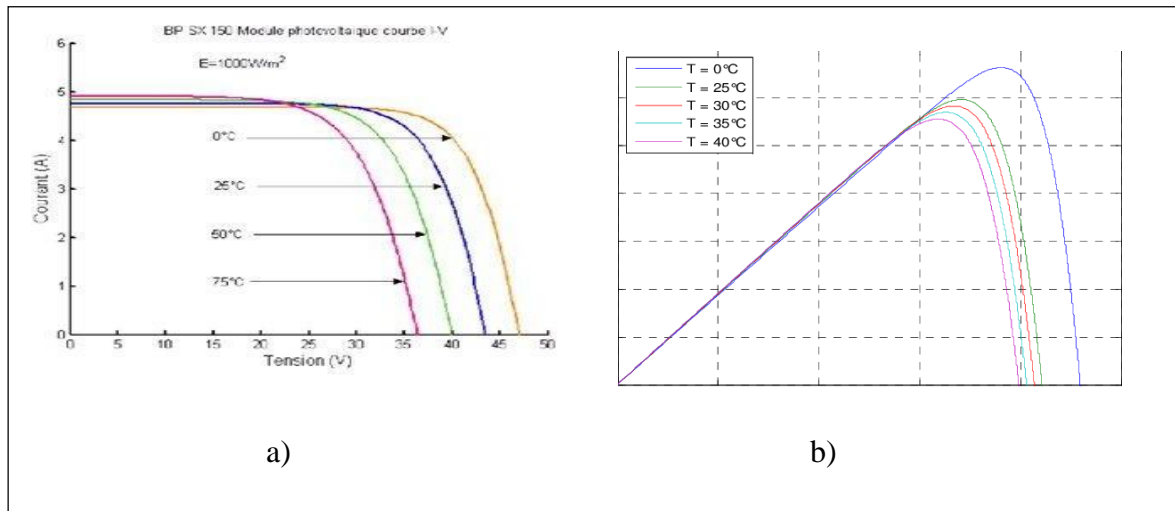


Figure 2.5 : a) Caractéristique IV en fonction de l'éclairement

b) Caractéristique PV en fonction de l'éclairement [11]

La relation entre la tension à vide d'un module PV et la température et l'éclairage peut être décrite par l'équation suivante.

$$V_{co} = V_{co}^* + K_v(T - T^*) - (I_{cc} - I_{cc}^*) R_s \quad (2.5)$$

V_{co}^* : La tension en circuit ouvert dans des conditions CST.

K_v ($V/^\circ C$) fait référence au coefficient de température de la tension en circuit ouvert, généralement utilisé.

2.6. Modèle de cellule photovoltaïque :

2.6.1. Cas d'une cellule idéale :

Lorsqu'une jonction PN est exposée à un éclairage photovoltaïque et connectée à une charge, le scénario idéal consiste à la représenter sous forme de schéma avec un générateur de courant parallèle, I_{ph} .

Une cellule solaire idéale peut être représentée par la **figure 2.6**, qui représente le circuit équivalent et le courant délivré par une diode.

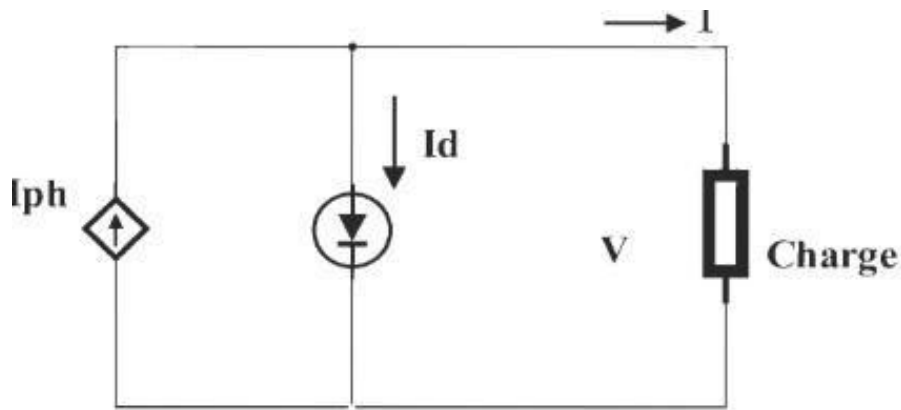


Figure 2.6 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale [12].

Suivant la loi des nœuds, le courant est déterminé :

$$I = I_{ph} - I_d \tag{2.6}$$

Dans l'équation, le courant délivré par la cellule PV est représenté par I , tandis que I_{ph} représente le photo-courant et I_d représente le courant de la diode. Il est important de noter que la diode, étant un composant non linéaire, présente une relation courant-tension caractéristique.

La relation fournit les informations données.

$$I_d = I_0 \cdot \exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1 \tag{2.7}$$

Le courant de saturation inverse de la diode I_0 , la tension aux bornes de la diode V_d , la tension thermique $V_t = kT/q$, la température de jonction en Kelvin (T) et la charge de l'électron ($q = 1.6 \times 10^{-19}C$).

Chapitre 02 : Production d'électricité par le solaire photovoltaïque

La constante k , connue sous le nom de constante de Boltzmann, vaut ($1,38 \times 10^{-23} \text{J/k}$) et le facteur de qualité de la diode, A , se situe généralement entre 1 et 2. Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode:

$$V = V_d \quad (2.8)$$

La relation (2.1) peut s'exprimer comme suit :

$$I = I_{ph} - I_0 \exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \quad (2.9)$$

Lorsque le circuit est ouvert, la charge tend vers l'infini et V tend vers V_{co} , qui représente la tension du circuit ouvrir.

$$I = I_{ph} - I_0 \exp\left(\frac{qV_{co}}{AkT}\right) - 1 = 0, \text{ soit } \frac{qV_{co}}{AkT} = \log\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (2.10)$$

Le courant I_{ph} est assimilé au courant I_{cc} avec $V = 0$, courant de court-circuit obtenu en court circuitant la charge.

2.6.2. Cas d'une cellule photovoltaïque réelle :

Dans le cas d'une cellule photovoltaïque réelle, le courant I_{ph} est considéré comme équivalent au courant I_{cc} lorsque la tension V est mise à zéro. Cela correspond au courant de court-circuit obtenu lorsque la charge est court-circuitée.

Le modèle photovoltaïque précédent ne prenait pas en compte tous les phénomènes qui se produisent lors de la conversion de l'énergie lumineuse. En fait, certains aspects du processus ont été ignorés.

En réalité, on constate une diminution de la tension produite et la présence de courants de fuite.

Pour représenter la diminution de tension, le modèle intègre une résistance série R_s et prend en compte les courants de fuite à travers une résistance parallèle R_p [13]. Le diagramme équivalent de la cellule est représenté en conséquence.

Chapitre 02 : Production d'électricité par le solaire photovoltaïque

La figure 2.7 illustre l'impact de la fabrication sur l'efficacité photovoltaïque, en tenant compte des effets résistifs parasites. L'expression mathématique du courant de sortie d'une cellule photovoltaïque est fournie suivant:

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (2.11)$$

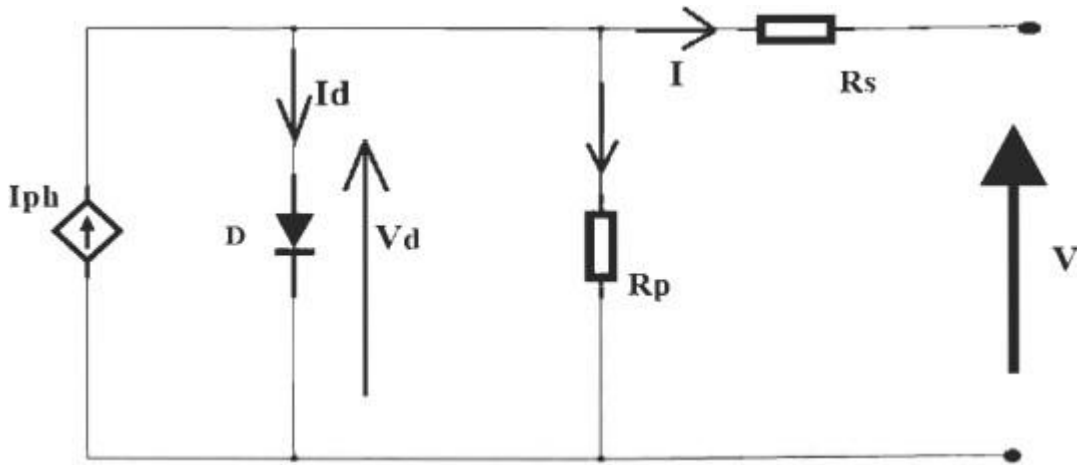


Figure 2.7 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale [13]

Et :

$$I_p = \frac{(V + R_s I)}{R_p} \quad (2.12)$$

$$I_d = I_0 \cdot \exp\left(\frac{V + R_s I}{V_t}\right) - 1 \quad (2.13)$$

Où $I_{ph} = I_{cc} \left(\frac{G}{G_{ref}}\right)$ est le photo-courant dépendant de l'éclairement G et G_{ref} est l'éclairement de référence (1000 W/m^2)

En substituant les équations (6) et (7) dans l'équation (5) le courant I devient donc:

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{AkT}\right) - 1 - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (2.14)$$

Les cellules PV, généralement considérées comme ayant les mêmes caractéristiques sont disposées en série et en parallèle pour former les modules PV. Le circuit équivalent du module PV peut être décrit comme illustré sur la figure 2.8.

Donc l'expression du courant fourni par le module décrit:

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp \left(\frac{q}{AkT} \left(\frac{V}{N_s} + \frac{R_s I}{N_p} \right) \right) - 1 \right] - \frac{N_p}{R_p} \left(\frac{V}{N_s} + \frac{R_s I}{N_p} \right) \quad (2.15)$$

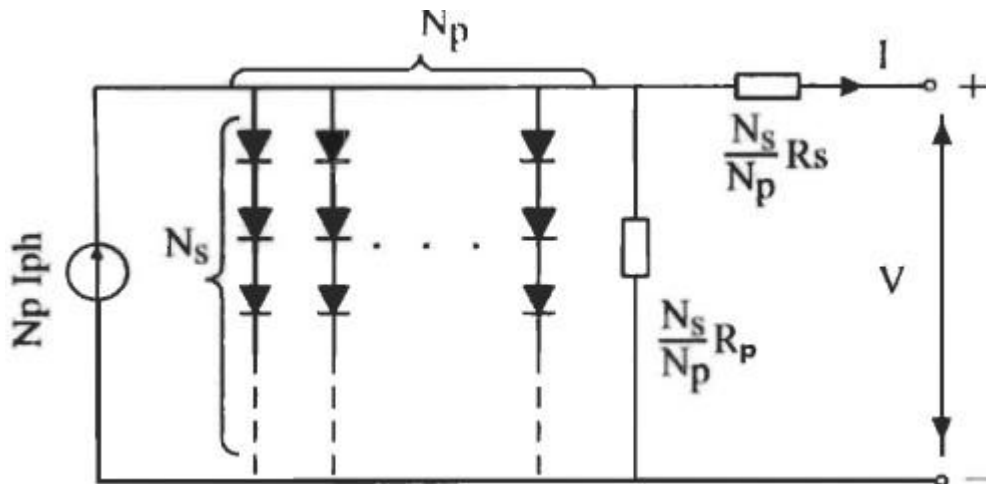


Figure 2.8 : Le circuit équivalent du module PV [14].

Où, N_s et N_p sont respectivement les nombres des cellules connectées en séries et en parallèles.

2.7. Type des installations photovoltaïques :

2.7.1. Installation autonome :

La base de ce type d'installation est de produire l'électricité supplémentaire et de la stocker afin de pouvoir la restituer.



Figure 2.9 : Installation photovoltaïque autonome [15].

Les principaux composants d'un système solaire autonome sont :

Le panneau photovoltaïque : il génère de l'énergie électrique directe.

Le gestionnaire : il maximise la charge et la décharge de la batterie en fonction de sa capacité et assure sa sécurité.

L'onduleur : convertit le courant continu en courant alternatif qui alimente les récepteurs AC.

Les batteries : sont chargées pendant la journée pour pouvoir fonctionner la nuit ou par mauvais temps

2.7.2. Installation photovoltaïque hybride :

Aujourd'hui, les systèmes énergétiques hybrides combinent deux ou plusieurs technologies complémentaires : un ou plusieurs générateurs d'énergie diesel, plus au moins une source d'énergie alternative. Les sources alternatives comme le photovoltaïque et les éoliennes ne fournissent pas une alimentation électrique constante. Leur association avec des sources d'énergie conventionnelles permet la production continue d'électricité.

Chapitre 02 : Production d'électricité par le solaire photovoltaïque

L'enjeu de ce type de système est d'équilibrer les différentes sources d'énergie afin de les maximiser toutes, étant entendu que les sources thermiques (diesel, gaz) et le réseau électrique public sont toujours la principale source d'énergie. Étant donné que l'énergie solaire est irrégulière et que la capacité des générateurs est limitée à une plage spécifique, il est souvent possible d'ajouter une batterie au système pour maximiser la quantité d'énergie solaire générée par le système hybride.



Figure 2.10 : Installation PV hybride [16].

2.7.3. Installation photovoltaïque connectée au réseau :

Cette méthode facilite la production d'électricité à proximité du site et le transport de l'énergie supplémentaire vers le réseau. En cas de carence ou en période défavorable, le réseau alimente le site, ce qui élimine le besoin de batteries, ce qui représente un engagement financier important et une durée de vie limitée.

Ces composants sont :

- Panneaux photovoltaïques.
- Un onduleur installé sur le réseau.
- Un compteur d'énergie.

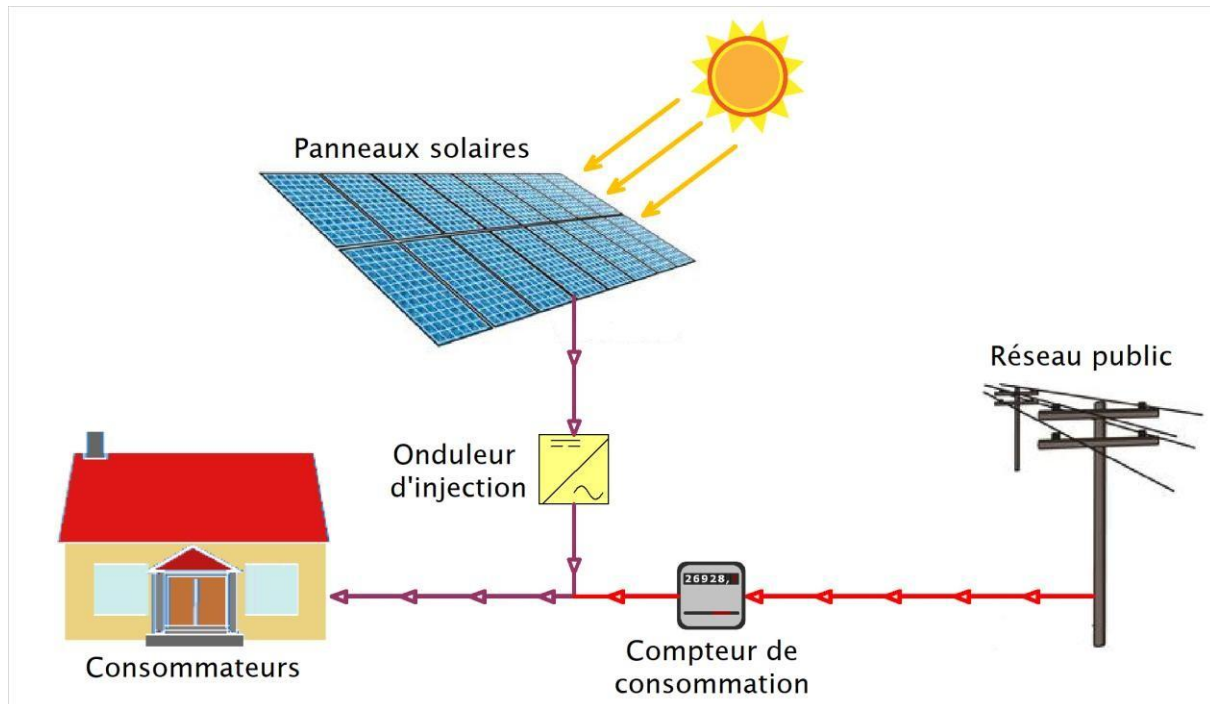


Figure 2.11 : Installation PV connectée au réseau [17].

2.8. Onduleur réseau :

Dans le cadre d'une installation photovoltaïque autonome, la fonction d'un réseau d'onduleurs est de convertir une tension continue en une tension alternative adaptée à la fréquence et à la valeur du réseau. Il y a cependant quelques distinctions clés à noter. Premièrement, la forme d'onde sera toujours sinusoïdale et deuxièmement, cette transformation est nécessaire.

Pour que la tension alternative « charge » efficacement le réseau, elle doit se synchroniser avec le réseau et respecter un ensemble de normes de sécurité et de fonctionnement strictes. [18]

L'onduleur réseau sert de point de connexion entre le système photovoltaïque (PV) et le réseau électrique. Son fonctionnement est limité aux heures diurnes et nécessite la présence de tension réseau.

Par rapport aux onduleurs photovoltaïques indépendants, ils présentent des caractéristiques différentes :

- L'onduleur convertit le courant continu généré par le générateur photovoltaïque en courant alternatif pouvant être utilisé par le système électrique.
- Le courant généré est injecté dans le réseau via le soleil.

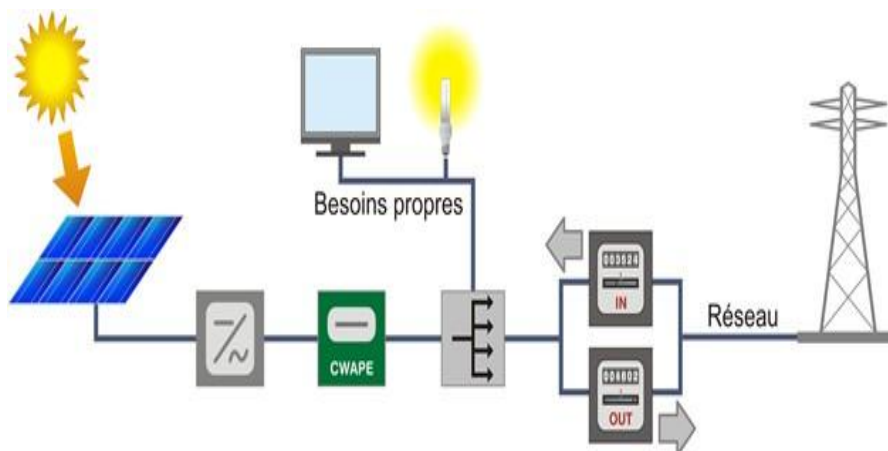


Figure 2.12 : Caractéristique d'un onduleur réseau

L'onduleur est logé dans un boîtier métallique équipé soit d'un ventilateur, soit d'un radiateur. Il peut être positionné soit sur un support vertical ressemblant à un mur, soit à l'intérieur d'un meuble. Pour minimiser les pertes d'électricité pendant le transport, il est recommandé d'installer les systèmes photovoltaïques dans des zones bien ventilées ou à l'extérieur, de préférence à proximité immédiate des modules. De plus, ces systèmes produisent un minimum de bruit.

Il y a un léger bourdonnement ou un sifflement, accompagné d'un champ électromagnétique remarquablement faible, encore plus faible que celui d'une plaque à induction.



Figure 2.13 : Un onduleur réseau

2.8.1. Le principe de fonctionnement :

Le courant continu produit par les modules photovoltaïques est transformé en courant alternatif adapté à l'électricité du réseau par des onduleurs connectés au réseau. Tout au long de cette conversion, l'onduleur recherche en permanence le point de fonction maximum (MPP) en analysant les caractéristiques I/U du champ photovoltaïque, qui sont influencées par les conditions météorologiques dominantes telles que la température et l'éclairement.

L'onduleur réseau combine trois fonctions principales :

- surveiller la P_{\max} du champ photovoltaïque,
- convertir le courant continu en courant alternatif
- coupler/découpler du réseau électrique [18].

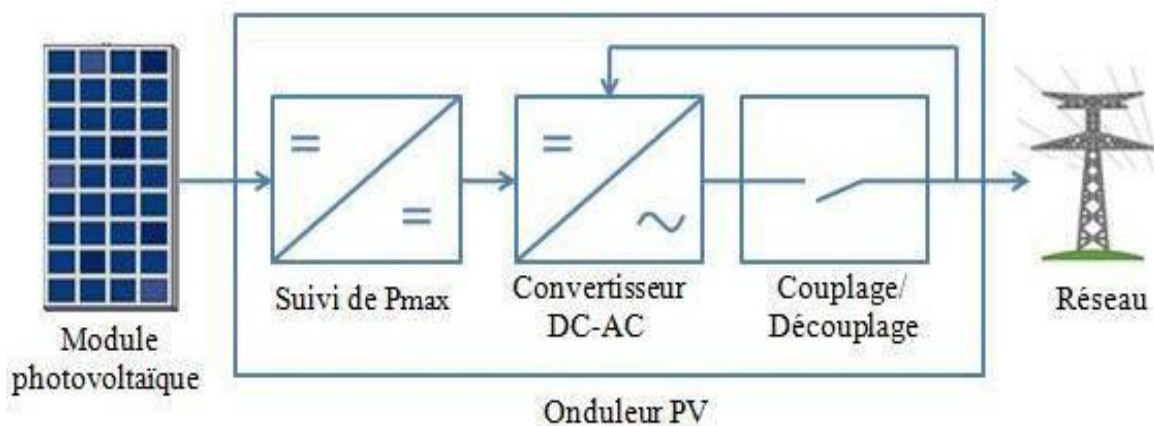


Figure 2.14 : Principe de fonctionnement d'un onduleur réseau.

2.8.2. La recherche du point de puissance maximal :

Dans le domaine photovoltaïque, la maximisation des points de puissance (MPP) est considérée comme primordiale en raison de son impact significatif sur le succès du système. Ainsi, plusieurs méthodes de suivi du point de puissance maximale (MPPT) ont été développées avec des conceptions spécifiques destinées à résoudre les problèmes spécifiques qui empêchent ce processus. La diversité des approches peut conduire à un dilemme quant au choix de la méthode la plus efficace pour établir un système photovoltaïque.

Plusieurs facteurs affectent la sélection de l'algorithme MPPT. Parmi ceux-ci figurent la complexité et le nombre de capteurs nécessaires, qui déterminent si l'approche est numérique ou analogique, ainsi que la vitesse de convergence, les capacités de surveillance et le coût. Cependant, au-delà des détails évoqués ci-dessus, c'est l'objet d'une demande qui a le plus d'impact sur cette décision. [19]

De nombreux algorithmes et méthodes sont disponibles pour localiser le point de puissance maximale. Alimenté par des panneaux solaires, la forme d'énergie la plus courante aujourd'hui est :

- Méthode de perturbation et d'observation (P&O)
- Méthode de conductance incrémentielle (IC)
- Optimisation par essaims de particules (PSO)
- Méthode de la tension constante (CV)
- Méthode de la température (T)
- Méthode de tension ouverte (OV)
- Méthode de tension (courant) de rétroaction
- Contrôle de logique floue (Fuzzy Logic Control)

2.8.3. La conversion DC/AC :

Les principaux composants des onduleurs sont des structures en pont composées principalement de commutateurs électroniques, généralement des IGBT (transistors de puissance). Grâce à l'utilisation d'un ensemble de commutation contrôlé, souvent réalisé via PWM, l'énergie électrique continue fournie est modulée pour générer un signal alternatif à la fréquence du réseau. [20]

2.8.4. Choix et placement d'un onduleur :

Un onduleur est un composant crucial du système auquel il convient de donner la priorité. Les spécifications de l'appareil dépendront directement du domaine de capteurs qu'il supporte.

Chaque onduleur a une tension de fonctionnement et une plage de courant spécifiques qui lui sont propres. Ces plages doivent correspondre au courant continu produit par les modules et connectés du côté entrée de l'onduleur.

Les considérations pour le choix et le dimensionnement de l'onduleur sont :

- De la puissance maximale possible générée par les modules (on utilise généralement la puissance crête (conditions STC) minorée de 5 à 15 %).
- Généralement, la tension générée dans un circuit ouvert à -10°C est considérée comme la tension maximale, tandis que la tension à 70°C est considérée comme la tension minimale.
- L'intensité maximum du courant

Si l'installation est de grande taille, il peut être nécessaire d'ajouter davantage d'onduleurs. En règle générale, un deuxième onduleur peut être installé pour les systèmes de 5 kWc ou plus. Cette limitation est également dictée par les lignes directrices établies par Synergides.

Opter pour plusieurs onduleurs peut être nécessaire en raison de l'hétérogénéité de l'installation, notamment des variations d'orientation, d'inclinaison, d'ombrage et de l'utilisation de différents types de modules. De plus, la grande tolérance de fabrication de l'installation sur la puissance des modules prend en charge le besoin de plusieurs onduleurs. Il est important de noter que le niveau d'hétérogénéité est directement lié au nombre d'onduleurs requis.

En termes de performances, il est avantageux d'augmenter la quantité d'onduleurs, qu'il s'agisse d'onduleurs modulaires ou d'onduleurs string. En revanche, si l'objectif est d'obtenir une installation totalement uniforme, il devient plus intéressant de minimiser le nombre d'onduleurs et d'opter plutôt pour un onduleur central. La clé est de trouver le juste équilibre en fonction des circonstances spécifiques. De plus, l'utilisation d'onduleurs multistring peut éviter la nécessité d'une multiplication excessive en cas d'hétérogénéité de l'installation.

Le choix entre deux onduleurs correspondant à la configuration de l'installation peut être guidé par :

- Une comparaison des rendements européens.
- La maintenance nécessaire.
- La garantie de l'équipement

L'emplacement de l'onduleur est également un facteur à considérer lors de la conception d'un projet photovoltaïque.

Tout comme les cellules photovoltaïques, les composants électroniques à l'intérieur de l'onduleur sont très sensibles aux températures élevées. En plus de la baisse de la production, Il existe un risque de détérioration des performances de l'onduleur lors d'un fonctionnement continu à des températures élevées.

Certains onduleurs sont même équipés de refroidisseurs actifs (ventilateurs). Nous allons donc ici examiner les avantages de placer l'onduleur dans une pièce aérée où la température est habituellement contrôlée (attention aux combles sous le toit !).

Les onduleurs produisent également une certaine quantité de bruit (généralisé par le transformateur et/ou le ventilateur interne) qui peut parfois être gênant. Son poids (environ 10 kg/kW) peut également être un facteur déterminant dans le choix de son emplacement.

2.9. Système de protection électrique :

2.9.1. Protection courant continu :

La protection contre le courant continu est nécessaire dans chaque cas d'installation photovoltaïque avec un boîtier de type IP65 comme celui-ci :

Protection des branches : Des fusibles sont installés sur chaque branche du champ photovoltaïque pour la protection. Ces fusibles seront positionnés à l'extrémité de chaque branche parallèle et seront choisis en fonction des considérations suivantes :

- 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 : $1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$
- Le calibre des fusibles doit être compris entre 1,5 et 2 fois le courant I_{cc} (STC) de chaque chaîne. $(1,5 \times I_{cc} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc})$. [21]

Protection par coffre DC : De ce fait, il se positionne entre les composants photovoltaïques et l'onduleur. Il comprend un dispositif général de découpage et de division du courant continu sur la liaison principale, ainsi qu'un parafoudre. [21]

- **Interrupteur de coupure/ sectionneur DC**

Sera installé directement en sortie du générateur pour assurer la maintenance en toute sécurité du champ PV en l'isolant électriquement. Le dimensionnement de cet interrupteur doit respecter les directives suivantes :

- Tension assignée du fusible $\geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$
- Intensité nominale $\geq 1,5 \times I_{cc} \times NBP$ [21]

- **Le parafoudre**

Le parafoudre permet de protéger contre les risques de surtensions éventuelles dans l'installation. Pour prévenir les surtensions dues à la foudre. [21]

2.9.2. Protection courant alternatif :

Une protection du courant alternatif est nécessaire après l'onduleur. De ce fait, il se positionne entre l'onduleur et le réseau de distribution.

Le boîtier CA se compose d'un mécanisme d'arrêt CA commun et d'une installation de sectionnement sur la connexion principale, d'un parafoudre (chaque onduleur nécessite l'installation d'un disjoncteur différentiel). Le placement de la protection CA en aval de l'onduleur signifie qu'elle s'interpose entre l'onduleur et le système de distribution.

- **Le disjoncteur/ interrupteur différentiel**

Le disjoncteur et l'interrupteur sont les deux éléments cruciaux d'une installation électrique qui protègent efficacement contre les chocs électriques. Le disjoncteur est chargé de fournir une protection différentielle.

Le disjoncteur, également connu sous le nom d'interrupteur, est couramment utilisé pour contrôler des circuits individuels, tels que ceux trouvés dans un panneau divisionnaire. Par contre, l'interrupteur différentiel est positionné entre le disjoncteur principal et les disjoncteurs divisionnaires. Sa fonction principale est d'identifier toute fuite de courant et de couper rapidement l'alimentation électrique en cas de défaut à la terre.

Pour assurer la protection du courant alternatif dans un système photovoltaïque, le disjoncteur différentiel joue un rôle crucial en déclenchant et en identifiant les cas de courts-circuits électriques et de surcharges. [21]

- **Le parafoudre AC**

Pour protéger vos appareils contre les risques de surtensions causées par les tempêtes et la foudre, il est crucial d'installer un parafoudre CA monophasé dans le boîtier CA. La protection contre les surtensions induites dans les circuits à tension alternative et à tension continue de l'installation est tout aussi importante. [21]

2.10. Compteur électrique (smart meter) :

Un particulier dont la maison possède des panneaux solaires photovoltaïques a la possibilité de revendre tout ou partie de sa production électrique à une entreprise de distribution.

Le compteur va calculer la quantité d'électricité produite et le prix fixé par le distributeur.

Le compteur est directement branché au réseau et permet de réinjecter toute la production d'énergie dans le réseau.

Afin de déterminer la production d'électricité, il est nécessaire d'installer deux ou trois compteurs différents (compteur d'achat et compteur de vente). [22]



Figure 2.15 : Smart meter

2.11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une introduction complète aux concepts fondamentaux essentiels pour comprendre un système solaire photovoltaïque, en mettant en évidence les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire. Nous avons exploré en profondeur le principe de conversion de l'énergie solaire en électricité, détaillant les différents types de cellules photovoltaïques et les technologies employées dans ce domaine.

Il ressort clairement de notre analyse que la quantité d'énergie produite par un module solaire est fortement influencée par le niveau de rayonnement solaire et la température ambiante. Un module solaire peut atteindre sa puissance maximale uniquement lorsqu'il fonctionne à une tension et un courant spécifiques. Ces paramètres sont cruciaux pour optimiser l'efficacité et la performance des systèmes photovoltaïques, soulignant l'importance d'un dimensionnement précis et d'une gestion rigoureuse des conditions de fonctionnement pour maximiser la production d'énergie solaire.

Chapitre 3 :

Analyse de l'installation photovoltaïque de l'école AKLI BABOU

3.1. Introduction :

Déterminer la taille d'un système photovoltaïque consiste à déterminer combien de modules solaires doivent être utilisés pour garantir que tous les besoins énergétiques sont satisfaits tout au long de la journée. Cela inclut d'autres besoins électriques qui peuvent être déterminés en fonction de la quantité de données irradiation disponibles sur place. Dans ce chapitre, nous discuterons d'une approche et des détails nécessaires lors du dimensionnement d'un système photovoltaïque.

Exemple d'une école primaire de 12 salles située à Tizi-Ouzou Makouda Attouche, qui permettra d'appliquer les lois et faire les calculs nécessaires à l'installation. Ensuite on a défini les étapes de préparation. Et enfin, nous avons comparés les résultats avec le PVsyst.

3.2. Etapes de dimensionnement :

❖ Site d'installation :

La quantité d'énergie produite chaque année repose sur plusieurs éléments clés :

- L'ensoleillement annuel que reçoit le lieu, un facteur qui peut être raisonnablement précisément déterminé.
- L'orientation, sachant que dans l'hémisphère nord, le soleil atteint son point culminant au sud, ce serait la direction optimale pour le placement des panneaux.
- Dont l'inclinaison est choisie en fonction de la hauteur du soleil pendant ses mois d'ensoleillement afin d'assurer une absorption optimale de l'énergie. [23]

L'Algérie est l'un des pays possédant les ressources en énergie solaire les plus riches au monde.

Figure 31. Taux journalier représentatif : moyenne annuelle du rayonnement horizontal global en Algérie.

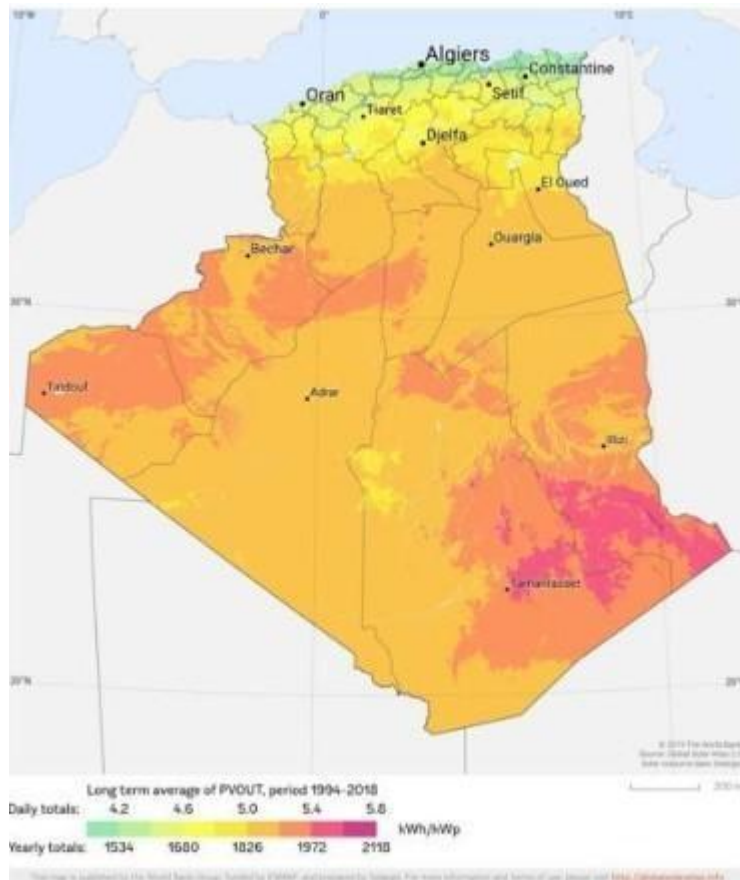


Figure 3.1 : Irradiation globale horizontale Algérie [24].

On prend la wilaya de Tizi-Ouzou comme un exemple : et donc les coordonnées géographiques 36.4731° de latitude, 004.0345° de longitude et 500m d'altitude Makouda, Tizi-Ouzou, Algérie, on a deux paramètres à prendre en compte : la consommation moyenne journalière et l'irradiation incidente moyenne journalière reçue sur le panneau. Nous avons introduit sur l'application en ligne the Global Solar Atlas les coordonnées de notre site et elle nous a généré un rapport contenant un profil horaire moyen de l'irradiation.

❖ **Positionnement des modules :**

Lorsque vous décidez où placer votre capteur solaire très simple si. Dirigez-vous vers l'équateur si possible [25] :

Une règle de l'hémisphère nord

Orientation plein sud.

Avec notre situation en Algérie, un clin d'œil au Nord ne fonctionnera pas : nous faisons partie de la majorité mondiale qui se tourne vers le Sud pour l'énergie solaire.

3.3. Les calculs du système :

3.3.1. Problématique

Notre objectif est de fournir des panneaux solaires photovoltaïques pour une école primaire de 12 salles situées à Makouda Tizi-Ouzou avec l'intention de répondre à tous les besoins énergétiques uniquement grâce à l'énergie solaire ; il est constitué des appareils mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3.1 : Consommation des appareils

Charges	Nombre de charge	Durée de vie	Durée de fonction (par jour)	Puissance Unitaire (w)
Lampes	95	2 ans	5h	18W
Ordinateur	2	5 ans	5h	120W
Imprimante	1	4-6 ans	3h	350W
Eclairage	1	2 ans	9h	100W
Spots	2	4-6 ans	5h	8W
Chambre froide (6,5 m ³)	1	8 ans	5h	1240W
Pompe	1	3 ans	1h	600 w

3.3.2. Calcul des besoins énergétique :

Puissance (W) = Nombre d'appareil × Puissance unitaire

Exemple : Puissance LED salles (W) = 95 × 18 = 1710 W

Energie (Wh/j) = Puissance × Durée de fonctionnement

Exemple : Energie des LED salles (Wh/j) = 1710 × 5 = 8550 Wh/j

$$P_{TOT}(w) = \sum \text{Puissance}$$

$$E_c = \sum \text{Energie}$$

Notre proposition consiste à estimer la consommation électrique quotidienne des différentes charges de cette école, en tenant compte de leurs durées de fonctionnement, de leurs besoins électriques et de leur consommation d'énergie le tableau 3.2

Tableau 3.2 : Puissance et énergie consommé par l'école.

Charges	Nombre de charge	Durée de vie	Durée de fonction (par jour)	Puissance Unitaire (w)	Puissance (W)	Energie (Wh/j)
Lampes	95	2 ans	5h	18 W	1710	8550
Ordinateur	2	5 ans	5h	120 W	240	1200
Imprimante	1	4-6 ans	3h	350 W	700	2100
Eclairage	1	2 ans	9h	100 W	100	900
Spots	2	4-6 ans	5h	8 W	16	80
Chambre froide (6,5 m ³)	1	8 ans	5h	1240	1240	6200
Pompe	1	3 ans	1h	600 w	600	600
					P_{TOT}	E_c
					4606 W	19630 Wh/j

Selon les résultats obtenus de calculs, on note les caractéristiques de notre système photovoltaïque comme suit :

- La puissance max de la charge : $P_{TOT} = 4606$ W.
- Energie totale consommée : $E_C = 19630$ (Wh/jour).
- Autonomie du système : 4 jours

3.4. Dimensionnements des modules photovoltaïques :

Cette étape consiste à calculer le nombre de modules PV dont nous disposons pour répondre à ces besoins électriques. Pour ce faire, les modules solaires doivent être dimensionnés selon les étapes suivantes :

- Estimation de la puissance crête des fermes photovoltaïques.
- Déterminez le nombre de module

3.4.1. Calcul d'énergie à produire :

Pour garantir la demande de l'école, il s'assure que l'énergie consommée E_C est égale à l'énergie produite E_P par un coefficient donné :

$$E_P = E_C / FCG$$

A.N :

$$E_P = 19630 / 0.8 = 24537.5 \text{ Wh/j}$$

Avec

- E_P : L'énergie produite par jour (Wh/j).
- E_C : L'énergie consommée par jour (Wh/j).
- FCG : Facteur de correction global, contenant les divers rendements ainsi qu'un coefficient de sécurité (%).

La sélection de la puissance maximale des panneaux repose sur l'irradiation de l'emplacement. Pour garantir que tous les besoins soient satisfaits tout au long de l'année, nous optons pour le mois le moins favorable à Tizi-Ouzou. Ce choix maximise non seulement le

Chapitre 03 : Analyse de l'installation photovoltaïque de l'école AKLI BABOU

rayonnement solaire mais assure également une productivité annuelle favorable. Pour cette configuration, nous orientons le module selon un angle de 36.4731° pour capter une lumière solaire optimale tout au long de l'année.

Décembre est connu comme le mois le plus défavorable à Tizi-Ouzou : avec une irradiation globale de $I_r = 2.9 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$, c'est la valeur pour une journée du mois de décembre.

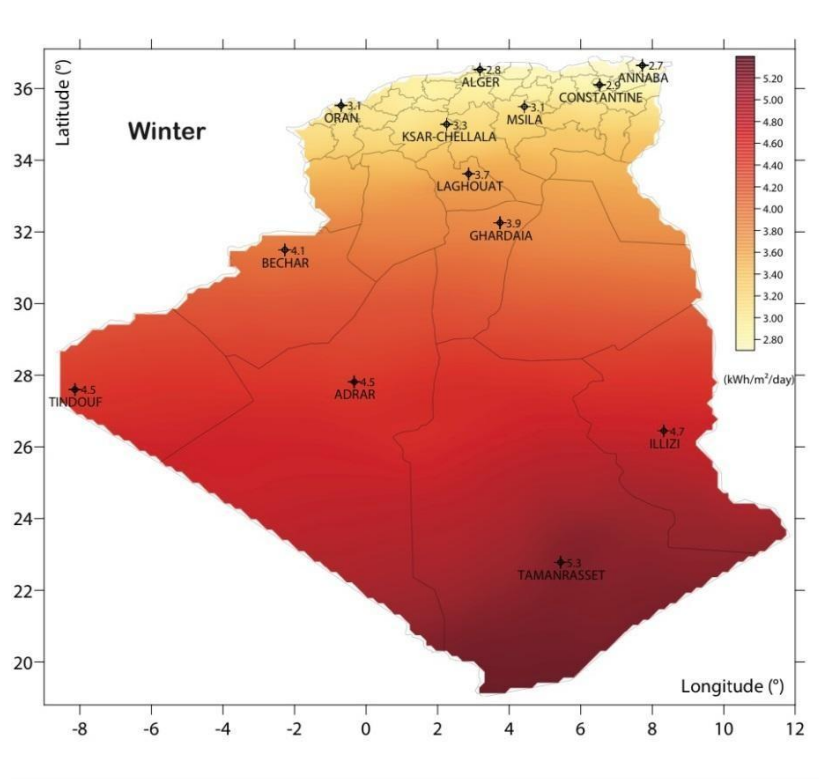


Figure 3.2 : Irradiation solaire de l'Algérie [26]

Nous calculons la puissance crête en appliquant la forme suivante :

$$P_c = \frac{E_p}{I_r}$$

A.N:

$$P_c = \frac{24537.5}{2.9} = 8461.20 \text{ Wc}$$

Avec:

- P_c : puissance crête en watt crête (Wc)
- E_p : énergie produite par jour (Wh/j)
- I_r : irradiation solaire du mois le plus défavorable ($\text{kWh/m}^2/\text{j}$)

3.4.2. Détermination le nombre des modules photovoltaïques :

- **Caractéristique de module choisi :**

Il existe de nombreuses variétés de puissance de modules qui se situent entre polycristallin et monocristallin et qui dépendent de différents facteurs tels que la puissance maximale (Wc), le courant de court-circuit I_{cc} (A), les dimensions (L*H*I) (mm) et également le prix considération. Parmi ces options, dans cette école, le panneau solaire de model IF-P335-72 est sélectionné ; sa fiche technique est présentée ci-dessous :

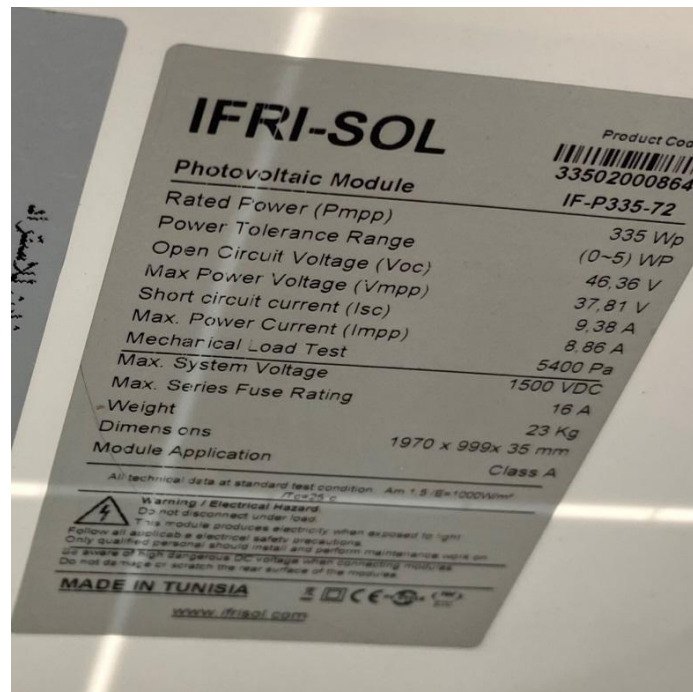


Figure 3.3 : La fiche technique des modules photovoltaïque la marque IFRI-SOL.

Les panneaux solaires IF-P335-72 ont une puissance nominale de 335Wc et un rendement impressionnant de 17,2 %, ce qui en fait un excellent choix pour les propriétaires qui cherchent à exploiter la puissance du soleil et à réduire leurs coûts énergétiques.

Même dans des conditions météorologiques difficiles, ces panneaux solaires sont conçus pour fonctionner au mieux, grâce à leur tension maximale du système à leur coefficient de température. [27]



Figure 3.4 : Le champ photovoltaïque de l'école AKLI BABOU.

Sur la base de la puissance crête des panneaux poly-cristallins IF-P335-72 nous déterminant le nombre de panneaux solaires requis pour l'installation.

Nous appliquons la formule suivante :

$$N_P = p_C / p_u$$

$$N_P = 8461.20 / 335 = 25.25 \approx 26 \text{ modules Avec}$$

:

➤ N_P : nombre des modules PV

- P_c : puissance crête en watt crête (Wc)
- p_u : puissance crête unitaire de module IF -P335-72 (Wc)
- Le montage sera

Selon la tension à l'entrée de MPPT on va faire une vérification si on passe la plage de tension à l'entrée de l'onduleur $V_{\text{champ}} = N_{ps} \times V_{oc}$

$$V_{\text{champ}} = 13 \times 46,36 = 602,6V < \text{Tension DC maximum (Max input voltage) donc :}$$

a) Nombre de modules en série :

13 modules

b) nombre de panneaux parallèles :

$$N_{pp} = \frac{N_{p\text{total}}}{N_{ps}}$$

A.N :
$$N_{pp} = \frac{26}{13} = 2 \text{ Modules}$$

Notre installation est composée 26 modules d'une puissance crête d'un module 335 Wc.

La puissance crête totale :

$$P_T = N_p \times P_C$$

A.N :

$$P_T = 26 \times 335 = 8710 \text{ Wc}$$

Les données importantes de la fiche technique des modules photovoltaïque sont la suivante dans le tableau 3.1 :

Tableau 3.3 : Paramètres du panneau solaire PV IF-P335-72.

Performances des panneaux solaires	
Puissance nominale 335Wp	335 Wp
Efficacité	17,2 %
Tension à la puissance maximale VMPP	37.81 V
Courant à la puissance maximale IMPP	8.86 A
Tension en circuit ouvert COV	46.36 V
Courant de court-circuit ISC	9,38 A
Poids	23 kg
Type de cellule	Poly-cristallin
Nombre de cellules	72

3.5. Dimensionnement de l'onduleur :

Dans les cas où l'application inclut des appareils fonctionnant sur courant alternatif (AC), il est nécessaire de convertir l'électricité directe générée par les capteurs photovoltaïques en électricité alternative utilisable pour ces appareils. L'onduleur est dimensionné en fonction de la puissance maximale totale de chaque élément d'équipement individuel.

Le raccordement au courant alternatif implique de respecter des critères précis [28]. Ces critères incluent la tension d'entrée, qui nécessite que l'onduleur soit capable de gérer une tension supérieure à la tension de champ. De plus, la tension de sortie en Algérie est réglée à 220/380 VAC, 50 Hz.

- Puissance nominale : La puissance nominale de l'onduleur (KW) est déterminée en fonction d'exigences spécifiques. Cela prend en compte le nombre d'appareils et leur consommation électrique.

Il est crucial de prendre en compte la tension des strings liés à l'onduleur.

➤ **Choix de l'onduleur :**

Le Growatt 5000TL3-S est l'onduleur intelligent triphasé sélectionné pour notre analyse, avec une puissance de sortie de 5 KW dans des conditions nominales qui convertit l'électricité CC produite par les panneaux solaires en énergie CA. La marque sélectionnée pour l'onduleur de l'école est Growatt 5000TL3-S, s'applique à des systèmes résidentiels de petite taille.

Les caractéristiques d'entrée DC de l'onduleur Growatt 5000TL3-S [Annexe A]

- Tension DC maximum : 1000 V
- Tension DC minimum : 250 V
- Courant DC maximum : 76 A
- Plage de Tension MPP(T) : 140V~1000 V
- Nombre de Branche MPPT : 2
- Sortie DC 8
- Connecteurs MC4

3.6. Dimensionnement Du système de stockage :

Posséder une batterie implique de choisir une capacité de stockage qui permet de lutter contre les changements climatiques transitoires, aussi bien sur une base horaire ou quotidienne (fonctionnement de nuit) que quelques jours de conditions météorologiques défavorables (manque de rayonnement solaire). De plus, l'approche varie selon les pays chauds et les régions tempérées [29]. En règle générale, la batterie est considérée comme le maillon le plus faible d'un système photovoltaïque ; sa durée de vie moyenne est d'environ 6 ans. Cela signifie qu'il doit être remplacé avant les panneaux si l'on veut obtenir une fiabilité élevée et une longue durée de vie du système. Souvent, avant les panneaux la sélection de la tension de fonctionnement dans un système DC est primordiale car elle influence fortement le choix.

La tension, en fonction de la charge, affecte directement le choix des systèmes de conversion et de régulation ainsi que le câblage et les appareils utilisés au niveau national. La sélection de tension nominale d'un système dépend de la disponibilité des équipements (modules et récepteurs) ainsi que des niveaux de puissance et d'énergie nécessaires en fonction du type d'application. Le tableau 3.4 fournit la tension adaptée aux différentes puissances du champ PV [30] :

Tableau 3.4 : Les tensions de systèmes correspondantes à chaque intervalle de puissance crête.

Puissance crête	0-0.5KWc	0.5-2KWc	2- 10KWc	>10KWc
Tension du système U_{sys} (DC)	12V	24V	48V	>48V

Dans notre cas d'étude :

$$P_{tot} = 4606 \text{ W}_c$$

Alors la tension du système choisi est : $U_{in\ ond} = 48V$

➤ **Calcul la capacité de stockage de la batterie :**

$$C_{sys} = \frac{E_c \times N}{DOD \times U_{sys}}$$

Avec :

- C_{sys} : Capacité de stockage dans les batteries en (Ah).
- E_c : L'énergie consommée par jour en (Wh/j).
- DOD : Décharge maximale des batteries (0.8 pour les batteries au plomb) on peut l'appeler aussi PDD (profondeur de décharge).
- U_{sys} : La tension du système.
- N : Le nombre des jours d'autonomie.

A.N :

$$C_{sys} = \frac{19630 \times 4}{0.8 \times 48} = 2044.79Ah$$

On va choisie une batterie de 300Ah /12V

Donc :

7 branches de batteries en parallèles

$$\frac{2044.79}{300} = 7 \text{ batteries parallèles}$$

Avec 4 batteries en série :

$7 \times 4 = 28$ batteries

Donc le nombre total des batteries est de $7 \times 4 = 28$ batteries de 300Ah/12V

$7 \times 300 = 2100Ah > 2044.79Ah$

3.7. Dimensionnement d'un système autonome sur PVsyst :

Nous continuerons à dimensionner les systèmes connectés au réseau. Nous présenterons d'abord le logiciel PVsyst puis nous continuerons avec les étapes de dimensionnement d'un système d'isolation sur ce logiciel.

3.7.1. Présentation du logiciel PVsyst :

Le logiciel fonctionne selon deux modes principaux. Le premier mode est une application de pré dimensionnement conviviale, idéale pour les débutants en raison de sa simplicité. En revanche, le deuxième mode propose une analyse plus complète en considérant un plus large éventail de paramètres et en s'appuyant sur des matériaux spécifiques pour les calculs. Bien que ces modes diffèrent par leur nature, ils partagent le même principe sous-jacent. Le processus commence par la saisie de l'emplacement géographique de l'installation, suivi des données pertinentes associées à cette installation particulière. Dans la section des résultats, les utilisateurs ont la possibilité de sélectionner les données spécifiques qui les intéressent [31]. Le logiciel PVsyst offre les fonctionnalités suivantes :

- Pré-dimensionnement
- Estimation rapide de la production pour une première étude de vos installations.
- Conception du projet
- Étude détaillée, dimensionnement et simulation horaire, résultats dans un rapport complet imprimable.

- Données météo (importation de diverses sources, génération synthétique, ...).
- Base de données de composante (module PV, onduleur, batteries, pompes, etc.)
- Outils didactiques, (géométrie solaire, optimisation de l'orientation, comportement électrique de champs PV avec ombrage).
- Analyse de données réelles mesurées (avance).

3.7.2. Conception du projet :

La conception et le dimensionnement final du projet dans cette option PVsyst comprendront :

- Une étude et analyse détaillée d'un projet
- Calcul de la production basé sur des simulations détaillées de valeurs horaires. [Annexe B]
- Différentes variantes peuvent être simulées et comparées [Annexe B]
- Analyse détaillée des pertes du système [Annexe C]

Conception et dimensionnement final du projet dans cette option, le PVsyst sera utilisé pour l'étude et l'analyse détaillées d'un projet, y compris le calcul de la production basé sur des simulations détaillées de valeurs horaires. Diverses alternatives peuvent être simulées pour atteindre et comparer différentes variantes et une analyse détaillée des pertes du système.

3.7.3. Les résultats de notre analyse :

Dans notre étude, nous avons dimensionné le système solaire photovoltaïque (PV) autonome de l'école AKLI BABOU en utilisant deux méthodes différentes. La première méthode impliquait un modèle théorique, qui déterminait que le système photovoltaïque devait être composé de 26 modules (13 modules connectés en série et 2 panneaux connectés en parallèle), 12 batteries d'une capacité de 300 Ah chacune et un onduleur de 1 000 V/5 000 W. La deuxième méthode utilisait le logiciel PVsyst, qui permettait une analyse dimensionnelle plus précise. Selon le logiciel, le système photovoltaïque autonome optimal devrait comprendre 17 modules (4 modules en série avec 7 chaînes) et une capacité totale de batterie de 1380 Ah [Annexe D], ainsi qu'un contrôleur MPPT. Cela a conduit à une différence de 16 modules et leurs configurations par rapport au modèle théorique basé sur le logiciel PVsyst et dans la théorie on a calculé le nombre de modules par apport a le mois le

plus défavorable mais si on prend la valeur d'irradiation $I_T = 4.5 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$ [annexe E] qui est été choisie par le système PVsyst et nous calculons la puissance crête :

$$P_c = \frac{24537,5}{4.5} = 5452,77 \text{ Wc}$$

$$N_p = 5452,77/335 = 16.27 \approx 17 \text{ modules}$$

Mais dans ce cas on va tomber dans le défi cistes, la simulation a abouti à une faible tension et à un courant insuffisant, ce qui a eu un impact sur la sélection des câbles et a provoqué un échauffement dû à l'effet Joule. L'écart entre le modèle théorique et la simulation par le logiciel peut être attribué aux critères et conditions spécifiques dans lesquels le logiciel PVsyst fonctionne.

3.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons introduit une approche globale du dimensionnement d'un système photovoltaïque, décrivant chaque étape nécessaire pour réussir. Après avoir établi les exigences et les spécifications d'une école de 12 salles, nous avons pu effectuer des calculs précis à l'aide des données techniques des panneaux solaires et des onduleurs, donnant ainsi des résultats définitifs. Pour valider davantage nos résultats, nous avons effectué une simulation à l'aide de PVsyst, ce qui nous a permis de réaliser une analyse comparative des dimensions entre notre exemple choisi (l'école) et les résultats fournis par PVsyst. À la suite de cette analyse, nous affirmons avec confiance que le système est effectivement réaliste.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le début de cette thèse a consisté en une étude approfondie de la problématique énergétique dans les régions non connectées au réseau conventionnel. Cette analyse a permis de mettre en lumière les défis et les opportunités liés à l'optimisation énergétique par l'utilisation de systèmes photovoltaïques.

Dans la deuxième partie, nous avons détaillé la procédure de fonctionnement et de dimensionnement des composants électriques des systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique. Cette section s'est concentrée sur les principes fondamentaux des systèmes photovoltaïques, incluant le principe de l'effet photovoltaïque et le fonctionnement des cellules photovoltaïques. Nous avons également exploré les différentes configurations des systèmes photovoltaïques et décrit en détail le rôle des onduleurs de réseau, l'installation du système, ainsi que les composants de protection nécessaires.

L'importance de la méthodologie utilisée pour le dimensionnement des installations photovoltaïques ne peut être surestimée. Une méthodologie rigoureuse est essentielle pour garantir l'efficacité, la fiabilité et la durabilité des systèmes. Dans cette étude, nous avons présenté les étapes et modalités de dimensionnement d'une installation photovoltaïque connectée au réseau, en prenant l'exemple concret d'une école de 12 salles. Chaque étape du processus de dimensionnement a été examinée de manière minutieuse, afin d'optimiser les performances et de maximiser les avantages économiques et énergétiques.

Enfin, nous avons utilisé PVsyst pour comparer nos résultats théoriques avec des simulations pratiques, permettant ainsi de valider notre méthodologie et d'affiner nos conclusions. Les résultats obtenus montrent que, grâce à un dimensionnement précis et bien planifié, les systèmes photovoltaïques peuvent offrir des solutions viables et avantageuses pour répondre aux besoins énergétiques, en particulier dans les régions non connectées au réseau conventionnel.

Cette étude souligne l'importance d'une méthodologie de dimensionnement rigoureuse pour exploiter pleinement le potentiel des systèmes photovoltaïques, contribuant ainsi à une transition énergétique plus durable et à une réduction significative de l'empreinte écologique.

Perspectives :

À la lumière des résultats obtenus et de l'importance croissante des énergies renouvelables, plusieurs perspectives peuvent être envisagées pour approfondir et élargir cette étude sur l'optimisation énergétique des toitures photovoltaïques :

1. Amélioration Technologique :

- **Innovation des Matériaux** : Explorer de nouveaux matériaux pour les panneaux photovoltaïques et les batteries afin d'améliorer l'efficacité énergétique et la durée de vie du système.
- **Développement des Onduleurs** : Concevoir des onduleurs plus performants, capables de maximiser la conversion d'énergie et de réduire les pertes.

2. Optimisation des Algorithmes de Dimensionnement :

- **Algorithmes d'Intelligence Artificielle** : Intégrer des algorithmes d'intelligence artificielle et d'apprentissage automatique pour optimiser le dimensionnement et la gestion des systèmes photovoltaïques en temps réel.
- **Modélisation Avancée** : Utiliser des techniques de modélisation avancée pour simuler différentes configurations et scénarios de fonctionnement, permettant d'identifier les configurations optimales.

3. Évaluation Environnementale et Économique :

- **Analyse du Cycle de Vie (ACV)** : Réaliser une analyse du cycle de vie complète pour évaluer les impacts environnementaux des systèmes photovoltaïques, de la production des composants à leur fin de vie.
- **Études de Coût-Bénéfice** : Mener des études de coût-bénéfice à long terme pour évaluer les avantages économiques des installations photovoltaïques par rapport aux systèmes conventionnels.

4. Expansion Géographique et Climatique :

- **Études Régionales** : Étendre les études à d'autres régions et climats pour évaluer la performance des systèmes PV sous différentes conditions météorologiques et géographiques.
- **Adaptabilité Climatique** : Développer des solutions adaptées à des environnements spécifiques, comme les zones à faible ensoleillement ou les régions sujettes à des conditions météorologiques extrêmes.

5. Intégration et Gestion Intelligente :

- **Smart Grids** : Intégrer les systèmes photovoltaïques dans des réseaux électriques intelligents pour améliorer la gestion et la distribution de l'énergie.
- **Stockage d'Énergie** : Optimiser l'utilisation des technologies de stockage d'énergie pour améliorer la fiabilité et la disponibilité de l'énergie produite par les systèmes PV.

6. Aspects Socio-Économiques :

- **Impact Social** : Évaluer les impacts sociaux de l'adoption des systèmes photovoltaïques, tels que la création d'emplois locaux, l'amélioration de la qualité de vie et la sécurité énergétique.
- **Modèles de Financement Innovants** : Explorer des modèles de financement innovants, comme le financement participatif ou les partenariats public-privé, pour faciliter l'adoption à grande échelle des systèmes photovoltaïques.

7. En développant ces perspectives, l'étude pourrait non seulement contribuer à une meilleure compréhension et optimisation des toitures photovoltaïques, mais aussi soutenir une transition plus rapide et efficace vers des infrastructures énergétiques durables et résilientes.

En somme, ce mémoire apporte une contribution significative à la compréhension et à l'amélioration des systèmes photovoltaïques, offrant des perspectives prometteuses pour l'avenir de l'énergie solaire et la transition vers une économie plus verte et durable.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

- [A1] dspace.univ-batna2.dz/handle/123456789/1751
- [A2] journals.openedition.org/cybergeo/23388
- [A3] dspace.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/11574
- [1] calculs SDES, d'après les données de l'AIE www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr
- [2] bilan_energetique_2021_63df78f2b775e.pdf
- [3] origin.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023
- [4] Belakehal Soltane, "Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Énergies Renouvelables," Thèse de Doctorat, université de Constantine.
- [5] Helali K, "Modélisation d'une cellule photovoltaïque: étude comparative, " Master in Electrotechnique, Université Mouloud Mammri de Tizi-Ouzou, 2012.
- [6] A. labouret et M. viloz, "Energie solaire photovoltaïque," livre 4 édition, 2008.
- [7] Antonio Luque and Steven Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering," John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [8] Mechalikh M N et Hamada C E, "Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau, " Université Kasdi Merbah de Ouargla, 2013.
- [9] aezeo.com/wp-content/uploads/2022/06/th.jpg
- [10] Chebana A, "Contrôle d'un système photovoltaïque connecté au réseau," Université Mohamed Khider, Biskra, 2014.
- [11] www.researchgate.net/figure/6-Influence-de-leclairment-sur-les-caracteristiques-I-V-et-P-V-module-1Soltech_fig4_367500124
- [12] Zerhouni F Z, Zegrar M, Brahim S K, et Stambouli A B, "Optimisation d'un système à énergie verte avec validation pratique," Revue des énergies renouvelables, 2008.

Bibliographie

- [13] Benseddik O et Djalous F, "Étude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque," Université Kasdi Merbah de Ouargla, 2012.
- [14] Benkhelil E, Gherbi A, "Modeling and simulation of grid-connected photovoltaic generation system," Revue des Énergies Renouvelables SIENR, 2012, 12: 295-306.
- [15] www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Ffr.solarpedia.net%2Fwiki%2Findex.php%3Ftitle%3DInstallation_photovolta%25C3%25AFque_autonome
- [16] www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.dsnsolar.com%2Finfo%2Fintroduction-to-hybrid-solar-system-36644389.html&psig=AOvVaw0rzK-IFj3-16XpT1IHkvJJ&ust=1719135700057000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCLi12eD17oYDFQAAAAAdAAAAABAE
- [17] www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.solaire-offgrid.com%2Fle-solaire-et-ses-applications%2Farchitectures-solaire-photovoltaique%2F&psig=AOvVaw37knVNMsdXk1Twelu965ZP&ust=1719135583825000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCLCX-Kv17oYDFQAAAAAdAAAAABAE
- [18] Onduleur réseau. Trans énergie. L'énergie du développement durable.
- [19] Cédric CABAL, « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électrique dédié à la conversion photovoltaïque », Thèse doctorat, Université Toulouse 3. 15 décembre 2008.
- [20] Cédric CABAL, « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électrique dédié à la conversion photovoltaïque », Thèse doctorat, Université Toulouse 3. 15 décembre 2008.
- [21] Dr. MM. Bouzaki cours énergies renouvelables photovoltaïque. USDB
- [22] Dr. MM. Bouzaki cours énergies renouvelables photovoltaïque. USDB
- [23] stinfo-ch.fr/wp-content/uploads/2021/01/installation_photovoltaique.pdf
- [24] solargis.com/file?url=download/Algeria/Algeria_PVOUT_mid-size-map_156x200mm-300dpi_v20191015.preview.jpg&bucket=globalsolaratlas.info

Bibliographie

[25] : [Hamidi Aissa.] Etude expérimentale d'un capteur photovoltaïque : Influence d'angle d'inclinaison. Mémoire de Licence énergétique. Université Mohamed Boudiaf de M'sila]

[26] livre de centre de développement des énergies renouvelables (CDER), mars 2019, Page 12.

[27] www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/38358#:~:text=Open%20Circuit%20Voltage,8.83%20A

[28] F. Trahi, « Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche LAMPA », Mémoire de magister, UMMTO, 2011.

[29] S. IAMARENE, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour un site (BTS, BSC) du réseau télécom wania », Mémoire de master en électrotechnique, Université de Abderahmane MIRA BEJAIA, 2012.

[30] S. BRIGAND « Installations Solaires Photovoltaïque (dimensionnement de l'installation et mise en œuvre maintenance) », février 2011.

[31] E. A. ALI et M. DAOUDI, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque (application entreprise ENAVA) », Université Dr. Tahar Moulay de Saïda, Faculté des Sciences et de la Technologie Département d'Electrotechnique, 2015.

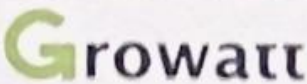



Annexes

Annexe A

L'onduleur choisi dans notre étude :

Growatt 5000TL3-S est une solution de système solaire idéale pour les maisons privées, les entreprises et les petits sites commerciaux. Les modules peuvent être installés sur différents côtés du toit et installés pour un système triphasé.



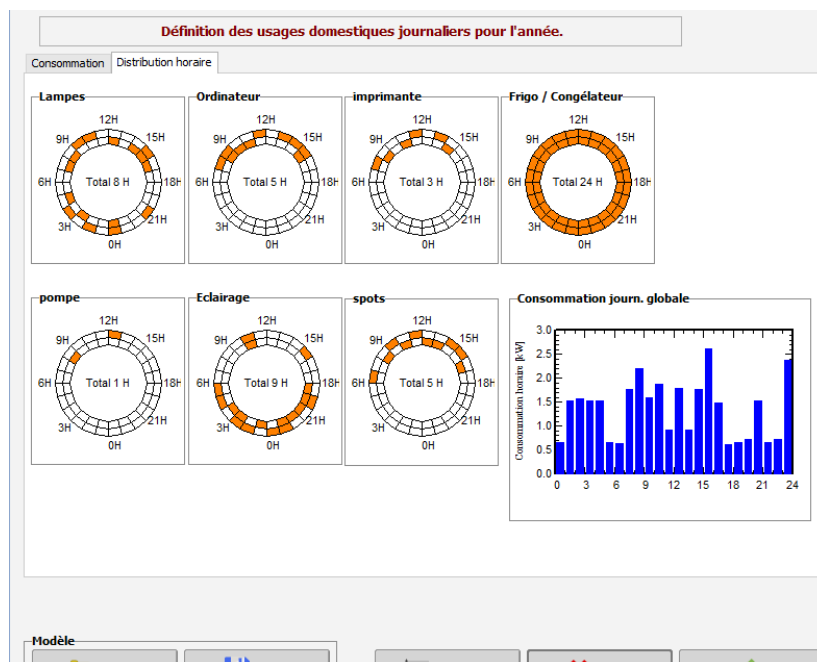
 PV Grid Inverter	
Model name	Growatt 5000TL3-S
Max.PV voltage	1000 d.c.V
PV voltage range	140-1000 d.c.V
PV Isc	16 d.c.A*2
Max. Input current	11 d.c.A*2
Max. output power	5000 W
Max. apparent power	5000 VA
Nominal output voltage	3W/N/PE 230 a.c.V
Max output current	7.6 a.c.A
Nominal output Frequency	50 Hz
Power factor range	0.8leading~0.8lagging
Safety level	Class I
Ingress Protection	IP65
Operation Ambient Temperature	-25°C - +60°C
VDE0126-1-1 	
Made in China	
P/N: PV02.0064700  S/N: JLE3A11028 D0 F 	

La fiche technique de l'onduleur Growatt 5000TL3-S .

Annexe B

Définition des besoins de l'utilisateur :

L'estimation de la consommation électrique journalière pour les différentes charges de cette école par rapport leurs durées de fonctionnement, puissances et énergies consommées.



Définition des usages domestiques journaliers pour l'année.

Consommation | Distribution horaire

Consommations journalières

Nombre	Appareil	Puissance	Util. journ.	Distrib. horaire	Daily energy
95	Lampes	18 W/lampe	8,0 h/jour	OK	13680 Wh
2	Ordinateur	120 W/app	5,0 h/jour	OK	1200 Wh
1	imprimante	350 W/app	3,0 h/jour	OK	1050 Wh
1	Frigo / Congélateur	14.80 kWh/jour	24,0	OK	14801 Wh
1	pompe	600.0 W moy.	1,0 h/jour	OK	600 Wh
1	Eclairage	100 W/app	9,0 h/jour	OK	900 Wh
2	spots	8 W/app	5,0 h/jour	OK	80 Wh
	Consomm. de veille	1 W tot	24 h/jour		24 Wh
				Energie journalière totale	32335 Wh/jour
				Energie mensuelle	970.0 kWh/mois

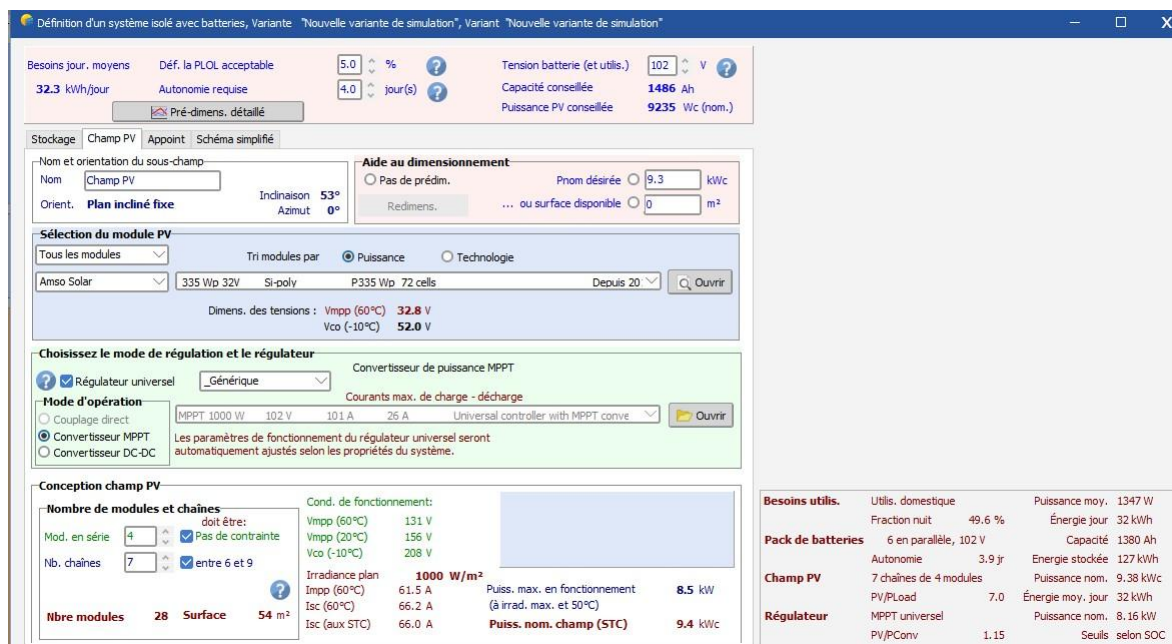
Définition consommation par
 Années
 Saisons
 Mois

Utilis. Week-end ou semaine
 Utilisation seulement pendant
 7 jours dans la semaine

Annexe C

Définition des éléments de system PV :

Dans cette étape, le logiciel nous aide à choisir le type de panneau et de batterie le plus favorable, notant que la quantité des panneaux et des batteries dépend de leurs types.



Choix des Caractéristiques du module PV

On a choisi le type de panneau qui convient à une puissance de 335Wc Poly-cristallin puis un convertisseur MPPT de 102v, ont obtenu comme résultat 28 panneaux pour une surface de 54 m², deux 3 modules mise en série avec 7 strings.

Annexe E

Données météorologiques :

Ces données synthétisent les caractéristiques climatiques (irradiation et température) du site de Tizi-Ouzou et il est recommandé de bien définir la source des données :

PVGIS : (Système d'information géographique photovoltaïque) fournit un accès Internet aux données et outils sur le rayonnement solaire et la température.

Évaluation des performances photovoltaïques pour n'importe quel site en Europe et en Afrique.

Coordonnées Géographiques
Météo mensuelle
Carte interactive

Site **Tizi Ouzou (Algérie)**

Source des données

	Irradiation globale horizontale	Irradiation diffuse horizontale	Température	Vitesse du vent	Turbidité Linke	Humidité relative
	kWh/m ² /jour	kWh/m ² /jour	°C	m/s	[-]	%
Janvier	2.28	0.91	10.1	2.59	2.881	79.7
Février	2.97	1.45	10.6	2.59	3.128	76.6
Mars	4.07	2.04	13.4	2.60	3.948	75.0
Avril	5.33	2.55	15.5	2.50	4.484	75.8
Mai	6.04	2.91	18.7	2.50	5.088	74.1
Juin	7.20	2.97	22.7	2.51	5.213	70.8
Juillet	7.17	2.75	26.3	2.71	6.218	68.3
Août	6.47	2.56	26.7	2.50	5.327	68.6
Septembre	4.95	1.99	23.0	2.39	4.754	74.6
Octobre	3.74	1.73	20.0	2.19	4.015	73.6
Novembre	2.48	1.10	14.4	2.50	3.398	77.3
Décembre	2.11	0.95	11.4	2.49	2.983	78.9
Année	4.58	2.00	17.7	2.5	4.286	74.5

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 4.7%

Données requises

Irradiation globale horizontale

Température ext. Moyenne

Données supplémentaires

Irradiation diffuse horizontale

Vitesse du vent

Turbidité Linke

Humidité relative

Unités d'irradiation

kWh/m²/jour

kWh/m²/mois

MJ/m²/jour

MJ/m²/mois

W/m²

Indice de clarté Kt

Importer
 Exporter la ligne
 Exporter le tableau

Nouveau site
 Imprimer
 Annuler
 OK

Paramètres climatique de Tizi-Ouzou.

Annexe D

Bilan et résultats principaux :

Après l'effectuation de ces étapes correctement, on peut générer un rapport qui donne le détaille sur :

- a) Caractéristiques de champ photovoltaïque
- b) L'orientation des panneaux
- c) Les facteurs des pertes de champ
- d) Le system PV dimensionné se compose de :
 - 28 modules avec 3 en séries et 7 en parallèles pour une puissance globale 8.46 KWc et la surface nécessaire pour les déposer égale à 54 m².
 - Batteries : 48 batteries avec 8 en séries et 6en parallèles.
 - Régulateur : de type MPPT, rendement max : 97.0/95.0%

Standalone system		Standalone system with batteries	
General parameters			
PV Field Orientation			
Orientation		Sheds configuration	Models used
Fixed plane		No 3D scene defined	Transposition Perez
Tilt/Azimuth	53.1 / 0 °		Diffuse Perez, Meteorom separate
			Circumsolar
User's needs			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	32.3 kWh/Day		
PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	P135 Wp 72 cells	Model	RA-12230
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit Nom. Power	335 Wp	Nb. of units	8 in parallel x 8 in series
Number of PV modules	28 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	9.38 kWp	Stored energy	127.2 kWh
Modules	7 string x 4 in series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	102 V
Pmpp	8.46 kWp	Nominal Capacity	1380 Ah (C10)
U mpp	137 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	82 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.98 / 0.80
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Temp. coeff.	-5.0 mW/°C/Elem.		
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	9 kWp		
Total	28 modules		
Module area	54.3 m ²		
Cell area	49.5 m ²		

Paramètres de simulation.