



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة البليدة 1

UNIVERSITE DE BLIDA 1

كلية التكنولوجيا - دائرة الطاقات المتجددة

FACULTE DE

TECHNOLOGIE DEPARTEMENT
D'ENERGIES RENOUVELABLES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU

DIPLOME DE MASTER 2EN

ENERGIES RENOUVELABLES

Option : HABITAT BIOCLIMATIQUE

Thème :

**Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque
autonome application dans une école primaire**

Soutenue devant le jury composé de :

Pr.DJAFER SEMMAR

Président

Dr.GUEBLI WASSILA

Examineur

Présenté par :

MEKKAOUI MEROUANE

BENKHEDIDJA HAMZA

Sous la direction de :

Encadreur : **Dr. ABDELHADI M.**

Co- Encadreur : **Mme OUAAD CH.**

2022-2023

ملخص

أصبحت الطاقة الآن أكثر من أي وقت مضى قضية ذات أولوية في المجتمع. تحاول النماذج التي تم تحديدها في الماضي في إنتاج الطاقة أن تتطور نحو الإنتاج الأخضر، وإبعاد الوقود الأحفوري إلى الماضي. وفي هذا السياق قمنا بهذا العمل على إنتاج الطاقة الكهربائية بشكل مستقل لتزويد مدرسة ابتدائية في بلدية مشرية بولاية النعامة من الطاقة الشمسية باستخدام نظام ضوئي مستقل.

الكلمات المفتاحية: الطاقة، الكهروضوئية، النظام الكهروضوئي، مستقل، التحجيم.

Résumé

L'énergie est aujourd'hui plus que jamais un enjeu prioritaire au sein de la société. Les paradigmes définis dans le passé dans la production énergétique tentent d'évoluer vers une production verte, reléguant les énergies fossiles au passé. Dans ce cadre, que nous avons réalisé ce travail sur la production de l'énergie électrique de manière autonome pour alimentation d'une école primaire à la commune de mecheria, willaya de Naâma, à partir de l'énergie solaire en utilisant un système photovoltaïque autonome.

Mots clés : Energie, photovoltaïque, système PV, autonome, dimensionnement.

Summary

Energy is now more than ever a priority issue in society. The paradigms defined in the past in energy production are trying to evolve towards green production, relegating fossil fuels to the past. In this context, that we have carried out this work on the production of electrical energy in an autonomous way for the supply of a primary school in the municipality of mecheria, wilaya of Naâma, from solar energy using a photovoltaic system autonomous.

Keywords : Energy, photovoltaic, PV system, autonomous, sizing.

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier ALLAH, le tout puissant, de nous avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadrant Mr ABDELHADI d'avoir posé un sujet très intéressant et pour ses conseils et remarques. Ainsi que notre Co-encadrante Chanez Ouaad

Nos respectueux remerciements au président de jury et les membres de jury qui nous font l'honneur de juger ce travail.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous aidés dans ce travail de près ou de loin.

Notre sincère gratitude à tous les enseignants ainsi que le corps administratif du département des énergies renouvelables.

MERCI A TOUS

Dédicace

A mes parents, j'ai toujours pensé faire où offrir quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'occasion est venue.

A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.

A mes frères, et mes sœurs, je vous réserve toujours une place dans mon cœur et mes pensées.

A tous mes amis sans exception.

Par : Mekkaoui merouane

Je dédie ce travail à mes très chers parents :

Jamais je ne saurais m'exprimer quant aux sacrifices et aux dévouements que vous avez consacrés à mon éducation et mes études. Les mots expressifs soient-ils restés faibles pour énoncer ma gratitude hautement profonde.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être.

À mes sœurs, à mes collègues qui ont contribué énormément dans ce travail, à toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Par : Benkhedidja Hamza

Sommaire

RESUME

DEDICACE

REMERCIEMENT

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE..... 1

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire.

I.1 Définition d'une énergie renouvelable : 3

I.1.1 L'énergie hydraulique : 4

I.1.2 L'énergie éolienne : 4

I.1.3 La biomasse : 5

I.1.4 La géothermie : 6

I.1.5 L'énergie solaire : 6

I.1.5.1 Le soleil : 7

I.2 La constante solaire et le nombre masse d'air AM : 7

I.2 L'éclairement et l'irradiation : 8

I.2.1 L'irradiation ou rayonnement : 8

I.2.2 L'éclairement ou irradiance : 8

I.3 Le rayonnement solaire : 9

I.3.1 Les différents composants du rayonnement solaire : 9

I.3.1.1 Le rayonnement direct : 9

I.3.1.2 Le rayonnement diffus : 9

L'albédo : 9

| | |
|--|----|
| I.3.1.3 Le rayonnement solaire global : | 9 |
| I.3.2 Mesure du rayonnement solaire : | 10 |
| I.3.2.1 Le Radiomètre : | 10 |
| I.3.2.2 Le Pyranomètre : | 11 |
| I.3.2.3 Le Pyrhéliomètre : | 11 |
| I.4 Les types d'exploitation de l'énergie solaire : | 11 |
| I.4.1 L'énergie solaire sous forme d'énergie thermique :..... | 11 |
| I.4.2 Les différents types de capteur solaire : | 12 |
| I.4.2.1 Capteur non vitré : | 12 |
| I.4.2.2 Capteurs plan vitrés : | 13 |
| I.4.2.3 Capteur sous vide : | 14 |
| I.4.3 L'énergie photovoltaïque : | 14 |
| I.4.4 Les Avantages et les inconvénients de l'énergie solaire PV : | 15 |
| I.4.4.1 Les avantages de l'énergie solaire photovoltaïque :..... | 15 |
| I.4.4.2 les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque : | 16 |
| I.5 Conclusion | 17 |

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

| | |
|---|----|
| II.1. Définition de dimensionnement | 17 |
| II.2. Critère de dimensionnement | 18 |
| II.3. Méthodes de dimensionnement..... | 18 |
| II.3.1. Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation | 18 |
| II.3.2. Méthode du mois le plus défavorable..... | 18 |
| II.4. Les étapes du dimensionnement..... | 21 |
| II.5. Etude technique | 21 |
| II.5.1. Définition des besoins électrique..... | 21 |
| II.5.2. Evaluation du gisement solaire local :..... | 22 |

| | |
|--|----|
| II.5.3. Orientation des modules PV | 22 |
| II.5.4. Angle d'inclinaison des modules PV | 23 |
| II.5.5. Dimensionnement du champ PV par la méthode du mois le plus défavorable | 25 |
| II.5.5.1. Calcul de la puissance crête des panneaux PV | 25 |
| II.5.5.2. Choix de la tension de fonctionnement du champ PV | 26 |
| II.5.5.3. Détermination du nombre des modules à installer..... | 26 |
| a. Le nombre de modules connectés en série est égale à..... | 26 |
| b. Le nombre des modules connectés en parallèle est égale à..... | 26 |
| II.5.5.4. Dimensionnement des batteries de stockage | 26 |
| II.5.5.5. Dimensionnement du régulateur | 28 |
| II.5.5.6. Dimensionnement de l'onduleur | 28 |
| II.5.5.7. Dimensionnement des câbles | 29 |
| a. Résistance du câble..... | 30 |
| b. Chute de tension | 30 |
| c. Section de câble | 30 |
| II.6. Etude économique | 31 |
| II.6.1. Calcul de l'investissement total | 31 |
| II.6.2. Calcul de l'amortissement total | 32 |
| II.6.3. Calcul de l'entretien et de la maintenance annuel total | 34 |
| II.6.4. Calcul des coûts sur la durée de vie | 34 |
| Conclusion..... | 35 |
| | |
| Chapitre III : Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma | |
| Introduction : | 39 |
| III.1 Etude technique | 40 |
| III.1.1 Evaluation des besoins (Etape 1) :..... | 40 |
| 1 ^{er} Cas sans climatiseur | 41 |

| | |
|--|----|
| III.1.2 Evaluation du gisement solaire locale (Etape 2) : | 41 |
| III.1.3. Orientation des modules PV | 42 |
| III.1.4 Angle d'inclinaison des modules PV | 43 |
| III.1.5. Dimensionnement du champ PV par la méthode du mois le plus défavorable | 43 |
| III.1.5.1 Calcul de la puissance totale : | 43 |
| III.1.5.2. Choix de la tension de fonctionnement du champ PV | 43 |
| III 1.5.3. Dimensionnement de l'onduleur | 43 |
| III 1.5.4. Choix de la batterie | 43 |
| III 1.5.5. Dimensionnement des batteries de stockage | 44 |
| III 1.5.6. Dimensionnement de panneau | 44 |
| III 1.5.7. Calcul de la puissance crête des panneaux PV | 44 |
| III 1.5.8. Détermination du nombre des modules à installer | 44 |
| III 1.5.9. La surface disponible pour les panneaux | 45 |
| III 1.5.10. Calcul l'ombrage : | 46 |
| III 1.5.11. Position des modules sur la toiture et leur branchement : | 46 |
| III 1.5.12. Dimensionnement du régulateur | 47 |
| III 1.5.13 La surface nécessaire pour installer les panneaux est donnée par la relation suivante | 48 |
| III 1.5.14 Dimensionnement des câbles : | 48 |
| III 1.5.15 La conception résume le résultat du système PV par AutoCAD : | 51 |
| III.2. Etude économique | 52 |
| III.2.1. Calcul de l'investissement initial total : | 52 |
| III.2.2. Calcul de l'amortissement total : | 52 |
| III.2.3. Calcul de l'entretien et de la maintenance annuel total : | 53 |
| III.2.4. Calcul des coûts sur la durée de vie : | 53 |
| 2-ème cas avec climatiseur | 54 |
| III.3.1 Calcul de la puissance totale : | 54 |

| | |
|--|----|
| III.3.2 Choix de l'onduleur | 54 |
| III.3.3 Choix de batterie..... | 55 |
| III.3.4 Dimensionnement des batteries de stockage | 55 |
| III.3.5 Choix de panneaux | 55 |
| III.3.6 Détermination du nombre des modules à installer | 55 |
| III 3.7. Position des modules sur la toiture et leur branchement : | 56 |
| III 3.8 Dimensionnement du régulateur..... | 57 |
| III.3.9 Dimensionnement des câbles : | 57 |
| III.4. Etude économique | 60 |
| III.4.1. Calcul de l'investissement total :..... | 60 |
| III.4.2. Calcul de l'entretien et de la maintenance annuel total : | 61 |
| III.4.3. Calcul des coûts sur la durée de vie :..... | 61 |
| III.5. Présentation de logiciel de simulation PVSYST..... | 62 |
| III.5.1. Conception et dimensionnement d'un système PV | 63 |
| III.6. Principaux résultats | 63 |
| III.6.1. Données météorologiques du site | 63 |
| III.7. Résultats de simulation..... | 64 |
| III.7.1 Le cas de sans climatiseur | 64 |
| III.7.2 Le cas d'avec climatiseur | 69 |
| III.4.4. Discussion les résultats :..... | 73 |
| Conclusion..... | 75 |
| Références bibliographies | |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure I.1 : L'énergie renouvelable | 4 |
| Figure I.2: L'énergie hydraulique | 4 |
| Figure I.3 : L'énergie éolienne | 5 |
| Figure I.4 : L'énergie biomasse | 6 |
| Figure I.5 : L'énergie géothermie | 6 |
| Figure I.6 : la constante solaire | 8 |
| Figure I.7 : représentation graphique des spectres AM0 et AM1.5 | 9 |
| Figure I.8 : Les différents composants du rayonnement solaire | 10 |
| Figure I.9 : Le Radiomètre | 10 |
| Figure I. 10 : Le Pyranomètre | 11 |
| Figure I. 11 : Le Pyrhéliomètre | 11 |
| Figure I.12 : L'énergie solaire thermique | 12 |
| Figure I.13 : Capteur solaire thermique | 12 |
| Figure I.14 : Chauffage de piscine | 13 |
| Figure I.15 : Capteur plan vitré | 13 |
| Figure I.16 : Coupe d'un capteur vitré | 14 |

| | |
|--|----|
| Figure I.17 : Capteurs solaires thermiques sous vide | 14 |
| Figure II.1 : Définition de l'orientation d'un panneau photovoltaïque | 25 |
| Figure II. 2 : Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques | 25 |
| Figure III.1 : Localisation l'école primaire les frères Boumediene Naâma. | 40 |
| Figure III.2 : Position des modules sur la toiture (le cas de sans climatiseur). | 46 |
| Figure III.3 : le branchement des modules sur la toiture | 47 |
| Figure III .4 : La conception résume le résultat du système PV par AutoCAD. | 51 |
| Figure III .5 : Position des modules sur la toiture (le cas de sans climatiseur). | 56 |
| Figure III.6 : Plan architecteur de l'école | 59 |
| Figure III.7 : La chambre technique et la Terrasse d'installation des panneaux | 60 |
| Figure III.8 : Interface de logiciel PVSYST. | 62 |
| Figure III. 9 : Etapes de simulation avec PVSYST. | 63 |
| Figure III.10 : Caractéristiques climatiques du site de Naâma (mecheria). | 64 |
| Figure III .11 : Paramètres de simulation pour le système autonome avec stockage. | 66 |
| Figure III. 12 : Analyse énergétique pour le système autonome avec stockage. | 67 |
| Figure III.13 : Diagramme de perte dans le système autonome avec stockage. | 68 |
| Figure III .14 : Paramètres de simulation pour le système autonome avec stockage (avec climatiseur). | 70 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau I.1: Caractéristiques principales du soleil. | 7 |
| Tableau II.1 : la tension de fonctionnement du champ PV | 22 |
| Tableau II.2 : Choix de l'inclinaison | 26 |
| Tableau (III.1) : Les besoins énergétiques de l'école | 41 |
| Tableau (III.2) : L'irradiation moyenne reçue par mois dans la ville de Naâma par le logiciel PvGis . | 42 |
| Tableau (III.3) : Situation géographique du site [38]. | 42 |
| Tableau (III.4) : Les caractéristiques du module photovoltaïque. | 44 |
| Tableau (III .5) : les caractéristiques du câblage. | 50 |
| Tableau (III.6) : L'investissement initial total. | 52 |
| Tableau (III.7) : La durée de vie des équipements. | 53 |
| Tableau (III.8) : L'amortissement global de l'installation PV. | 53 |
| Tableau (III.9) : Les besoins énergétiques. | 54 |
| Tableau (III.10) : Les caractéristiques du module photovoltaïque | 55 |
| Tableau (III.11) : L'investissement total. | 60 |
| Tableau (III.12) : L'amortissement global de l'installation PV. | 61 |
| Tableau (III.13) : comparaison entre les deux cas | 73 |

Nomenclature

UV : ultraviolet

IR : infrarouge

AM : Masse d'air (W/m²)

H : Irradiation (Wh / m²)

G : L'éclairement (W/m²)

SI : système international

Rs : Résistance en série. (Ω)

Rsh : Résistance en parallèle. (Ω)

Pmax : La puissance maximale. (W)

η : Le rendement. (%)

GPV : Générateur photovoltaïque.

MPPT : Maximum Power Point Tracking.

Ec : Energie consommée. (Wh)

Ir : Irradiation moyenne mensuelle reçue par le capteur photovoltaïque correspondant au moins le plus défavorable (KWh/m² *j).

φ = latitude de lieu.

Pch : Puissance crête de l'installation. (W)

Pm : Puissance crête d'un module. (W)

Nm : Nombre de modules à installer.

Nms : Nombre des modules connectés en série.

Nmp : Nombre des modules connectés en parallèle.

Vpv : Tension du générateur PV. (V).

Vu : Tension nominale unitaire (V).

Cn : La capacité nominale de l'installation en (Ah).

Cbn : Capacité nominale d'une seule batterie en (Ah).

Ec : Energie consommée en (Wh).

N : Nombre de jours d'autonomie. (J)

D : Profondeur de décharge en maximale. (m)

Nbs : Nombre des batteries en série.

Nbp : Nombre des batteries en parallèle.

Vco : La tension de circuit ouvert. (V).

Icc : Courant de court-circuit. (A).

R : La résistance du câble. (Ω)

ρ : Résistivité propre du matériau. (Ω)

L : Longueur du câble. (m)

S : Section du câble. (m^2)

I_{max} : Courant maximal. (A).

ΔV : Chute de tension. (V).

S_p : la surface de panneau. (m^2)

S_n : La surface nécessaire. (m^2)

L : La longueur. (m)

l : La largeur. (m)

C_{Tot}: Le coût d'investissement initial total de l'installation. (DA)

A_{Tot}: Le coût de l'amortissement annuel total de l'installation. (DA)

E_{Tot}: Le coût de l'entretien annuel total de l'installation. (DA)

C : le prix en dinar de maintenance (DA)

C_{GA}: Le coût global annuel. (DA)

A decorative border with black floral and leaf motifs surrounds a central white rectangular area. The border features stylized flowers, leaves, and swirling lines.

Introduction Générale

Introduction générale

Introduction générale :

Vu la place qu'occupe la solution photovoltaïque dans les énergies renouvelables et vu l'intérêt particulier que nous portons pour ce domaine, nous avons choisi ce thème pour notre projet de fin d'étude.

Fait intéressant, l'énergie photovoltaïque est une alternative tout à fait adaptée pour des besoins limités. Notre but est « étude et dimensionnement d'un système photovoltaïque application dans une école primaire ».

Pour répondre à cette question nous avons organisé notre manuscrit comme suit :

Dans le premier chapitre nous avons fait un tour d'horizon de l'énergie solaire thermique et photovoltaïque. Ensuite, dans le deuxième chapitre nous avons fait une étude et dimensionnement d'un système photovoltaïque.

Quant au troisième et le plus important des chapitres, il comprendra le côté pratique de notre recherche, qui se divise en deux parties :

- La première partie contient deux expériences, une concerne l'étude d'efficacité des panneaux solaires connectés en parallèle et en série, et l'autre porte sur l'efficacité de ses panneaux en fonction de la température toujours en parallèle et en série.
- Dans la deuxième partie on s'intéresse à une étude technico-économique pour la maintenance d'une installation photovoltaïque pour produire l'énergie électrique nécessaire à l'alimentation d'une école primaire.

Enfin, notre étude se termine par une conclusion générale.

A decorative border with black floral and leaf motifs surrounds a central white rectangular area. The border features stylized flowers, leaves, and swirling lines.

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

Introduction :

Le terme « photovoltaïque » est un terme plus courant pour une cellule photovoltaïque est pile solaire malgré que celle-ci fonctionne à partir de n'importe quelle source de lumière et non uniquement celle du soleil. Une pile solaire est un convertisseur qui transforme l'énergie de la lumière en énergie électrique. Comme elle ne peut pas emmagasiner d'énergie, lorsque la source de lumière (typiquement le soleil) est enlevée, la pile ne produit plus de courant électrique. Si l'électricité est requise durant la nuit, un moyen quelconque d'emmagasiner de l'énergie électrique (typiquement une batterie) doit faire partie du circuit.

Dans ce chapitre, après une brève présentation des énergies renouvelables, nous présenterons les notions de base concernant l'énergie solaire photovoltaïque en commençant par le rayonnement solaire. Nous aborderons, entre autres, les technologies photovoltaïques, les propriétés électriques des générateurs photovoltaïque, la modélisation mathématique et la simulation des caractéristiques courant-tension afin d'étudier leur comportement en fonction de la température et de l'éclairement et nous terminerons par un aperçu sur les défauts pouvant survenir dans les panneaux solaires.

I.1 Définition d'une énergie renouvelable :

L'énergie solaire est l'énergie qui, à plus de (150) millions de kilomètre de la terre, reste notre plus grande source d'énergie. Le soleil envoie des radiations à la surface de la terre, soit près de 15000 fois la consommation d'énergie de l'humanité chaque année. Cela correspond à une puissance reçue instantanée de 1kilowatt par mètre de crête (KWc/m²) répartie sur tout le spectre, de L'UV à l'IR. Les déserts de notre planète reçoivent plus d'énergie du soleil en 6 heures que l'humanité n'en consomme en un année.

Depuis très longtemps, l'homme a cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, l'étoile la plus proche de la terre. Cette énergie permet la fabriquer de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centre solaires thermiques. G Les panneaux solaires permettent de récupérer l'énergie du soleil et de produire de l'électricité, sans pièces tournantes et sans bruit et elle n'émet aucun gaz à effet de serre. L'électricité produite peut être soit stockée dans des batteries pour les installations autonomes, soit injecté dans le réseau [1].

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire



Figure I.1 : L'énergie renouvelable [2]

I.1.1 L'énergie hydraulique :

L'hydroélectricité est l'électricité produite par l'énergie hydraulique d'un cours d'eau ou d'un réservoir.

L'exploitation de l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau des rivières, des lacs et des fleuves, fait appel à la création de l'énergie électrique. En fonctionnement, la force de l'eau qui est dû, soit à la hauteur de chute, soit au débit, entraîne une turbine qui entraîne elle-même un alternateur produisant de l'électricité [3].



Figure I.2 : L'énergie hydraulique [2]

I.1.2 L'énergie éolienne :

Depuis très longtemps, l'homme a compris comment exploité l'énergie éolienne à travers des moulins pour la navigation et de moudre le grain

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

Les rayons solaires provoquent une différence de chauffe de l'atmosphère, à son tour crée le mouvement de masses d'air et au moyen d'un rotor et de pales, y aura lieu de l'énergie cinétique qui est l'origine de l'énergie produite, l'électricité par exemple. L'installation des éoliennes peut se faire, soit sur terre, soit en mer dans des endroits où la vitesse du vent est élevée et constante [4]. Autrement dit, l'énergie éolienne se base sur le principe de la dynamo et d'une hélice- à-dire elle produit de l'électricité à partir de la force du vent [1]. L'énergie produit par ces éoliennes, dépend des conditions atmosphériques (le vent), donc pour assurer la continuité de service, on fait appel au système de stockage, soit par la transformation de l'énergie électrique en énergie électrochimique dans des batteries, et on la retransformée en électricité, ou bien sous forme d'air comprimé qui est utilisé comme combustible par la turbine à gaz [5].



Figure I.3 : L'énergie éolienne [2]

I.1.3 La biomasse :

Le terme de la biomasse recouvre la production de matière organique résultant de la Photosynthèse [6]. L'électricité produite par cette énergie est dû à l'utilisation, soit des végétaux cultivés, soit des déchets organiques provenant de la consommation domestique, de l'industrie ou de l'agriculture [3]. Il se peut que la quantité d'énergie consommée lors du transport sur une longue distance, dépasse celle transportée [4]. Des différents types sont à considérer



Figure I.4 : L'énergie biomasse [2]

I.1.4 La géothermie :

Cette énergie utilisant la chaleur du sous-sol, la géothermie permet de chauffer des locaux (avec une température moyenne ou faible), ou de produire de l'électricité par vapeur interposée (avec une température élevée) [7].

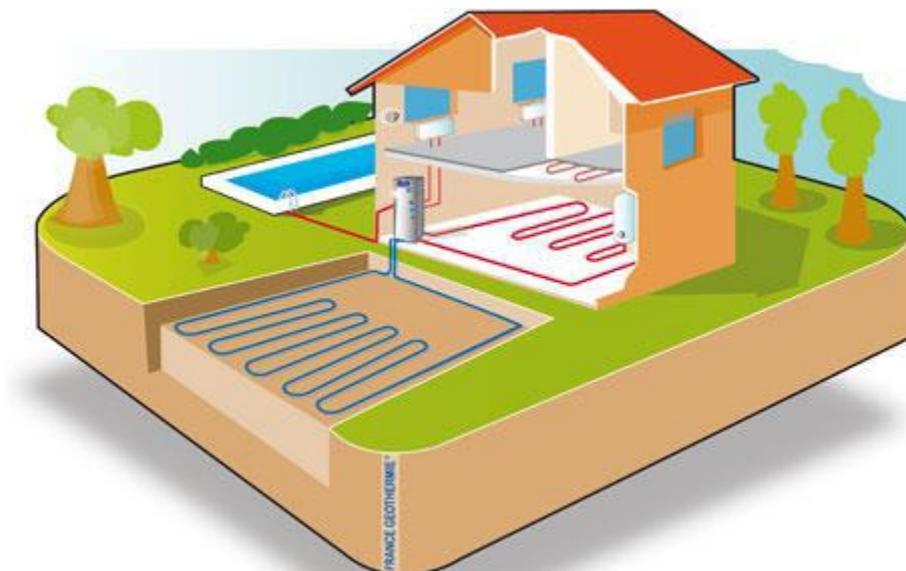


Figure I.5 : la géothermie. [2]

I.1.5 L'énergie solaire :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Plusieurs technologies transforment cette énergie en une forme électrique ou thermique que nous pouvons utiliser directement. Par exemple :

- les cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique,
- les collecteurs solaires permettent de chauffer l'eau des maisons par exemple,

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

- et les concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité grâce aux turbines à vapeurs.[7]

I.1.5.1 Le soleil :

L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de 14×10^5 Km de diamètre (environ 50 fois celui de la terre). Sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} Kg. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments. Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale est la puissance qu'il émet sous forme d'ondes électromagnétiques. On trouve que 30% de cette puissance est réfléchi vers l'espace, 47% est absorbés et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère. [9]

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

| | |
|--|-----------------------|
| Diamètre (km) | 14×10^5 |
| Masse (kg) | 2×10^{30} |
| Surface (km ²) | 6.09×10^{12} |
| Volume (km ³) | 1.41×10^{18} |
| Masse volumique moyenne (kg/m ³) | 1408 |
| Vitesse (km/s) | 217 |
| Distance du centre de la voie lactée (km) | 2.5×10^{17} |

Tableau I.1: Caractéristiques principales du soleil. [10]

I.2 La constante solaire et le nombre masse d'air AM :

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre, c'est ce que l'on appelle la constante solaire égale à 1367W/m^2 . [11]

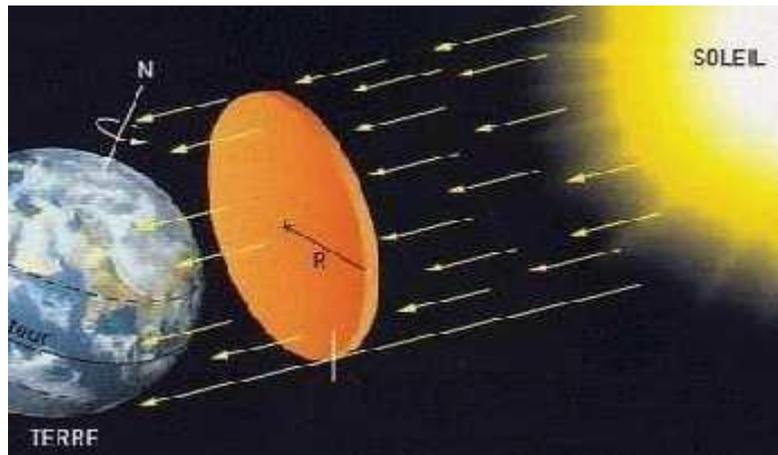


Figure I.6 : la constante solaire [11]

I.2 L'éclairement et l'irradiation :

I.2.1 L'irradiation ou rayonnement :

L'irradiation est l'énergie reçue par une surface ; elle s'exprime en $J.m^{-2}$. L'ISES, International Solar Energy Society, recommande le symbole H . D'autres unités plus courantes sont le Wh/m^2 bien que ce dernier ne doit pas être utilisé puisque n'appartenant pas au système international d'unités (SI). [11]

I.2.2 L'éclairement ou irradiance :

L'éclairement est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m^2 .

Le système international d'unités (S.I.) recommande d'utiliser le symbole G . [11]. On signale que, outre l'incidence de l'atmosphère, l'irradiation solaire dépend :

De l'orientation et l'inclinaison de la surface.

De la latitude du lieu et son degré de pollution.

De la période de l'année et de l'instant considéré dans la journée.

De la nature des couches nuageuses.

La terre reçoit chaque année une valeur moyenne de l'éclairement $1.36KW/m^2$, cette irradiance est pondérée par divers facteurs à la surface de la terre : absorption par les molécules des différentes couches de l'atmosphère, conditions climatiques, latitude du lieu d'observation et saison. Afin de comparer et d'unifier les performances des cellules photovoltaïques élaborées dans les différents laboratoires du monde, il a été institué la notion d'Air Mass (AM) [12].

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)}$$

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

Si le soleil est au zénith du lieu d'observation, $\theta=0^\circ$, $AM=1$: la notation est $AM1$. $AM0$ correspond à l'irradiance hors atmosphère [8]. L'intensité G reçue à la surface de la terre peut être calculée grâce à la formule empirique suivante : [13]

$$G = 1,353(0,7^{AM})^{0,678}$$

Avec G en kW/m^2 , pour une surface perpendiculaire aux rayons incidents. Les spectres $AM0$ et $AM1$ sont représentés sur la figure 1.11.

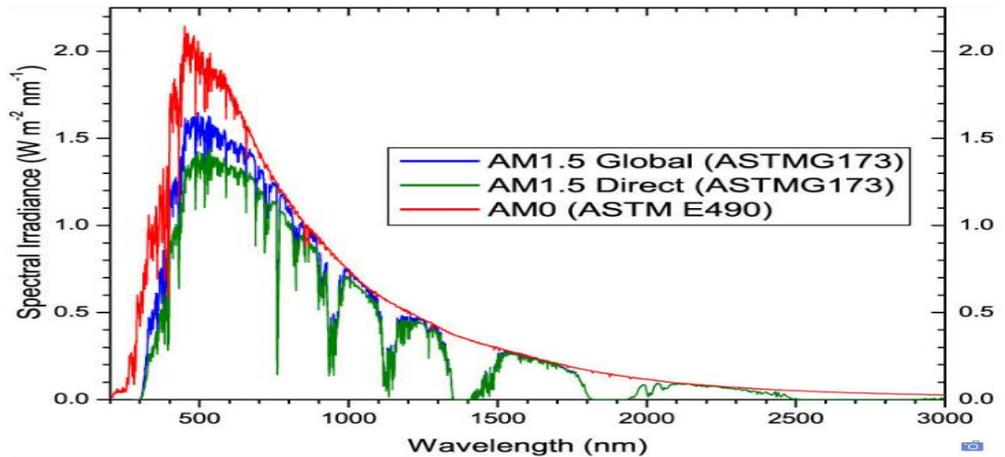


Figure I.7 : représentation graphique des spectres $AM0$ et $AM1.5$ [14]

I.3 Le rayonnement solaire :

L'énergie du soleil est produite par les réactions de fusion thermonucléaires (la fusion est la réunion de plusieurs noyaux atomiques légers en un seul (4 noyaux d'hydrogène) en un noyau d'hélium) [15]. Le rayonnement solaire peut être décomposé en trois éléments dont la proportion est variable suivant le lieu et le moment : rayonnement direct, diffus, l'albédo et global.

I.3.1 Les différents composants du rayonnement solaire :

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol on distingue plusieurs composantes : [16]

I.3.1.1 Le rayonnement direct :

C'est le rayonnement reçu directement du soleil, sans diffusion.

I.3.1.2 Le rayonnement diffus :

Il est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols).

L'albédo :

C'est la partie réfléchiée par le sol. Il est déterminé à l'aide d'un appareil albédo mètre et dépend de l'environnement du site.

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

I.3.1.3 Le rayonnement solaire global :

C'est la somme des différents rayonnements, on le mesure avec un pyranomètre.

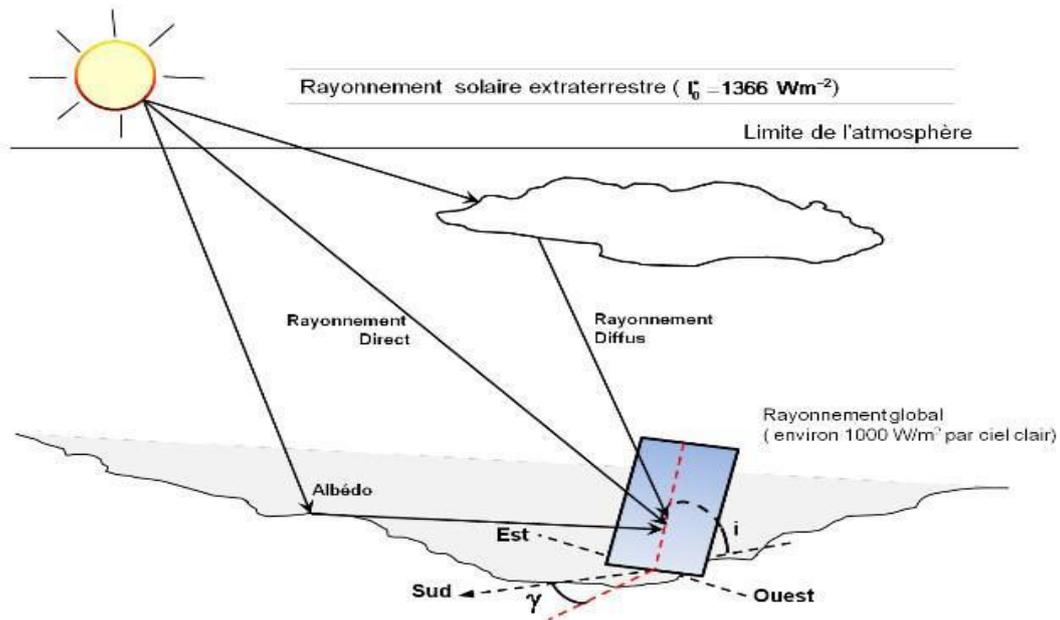


Figure I.8 : Les différents composants du rayonnement solaire [17]

I.3.2 Mesure du rayonnement solaire :

Pour mesurer le rayonnement solaire au niveau de sol, on peut utiliser les instruments suivants [10].

I.3.2.1 Le Radiomètre :

Le radiomètre est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Il en résulte une dissymétrie dans l'absorption du rayonnement incident, qui provoque la mise en rotation du moulin [15].



Figure I. 9 : Le Radiomètre [15].

I.3.2.2 Le Pyranomètre :

Le pyromètre est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan.

Le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au -dessus de l'instrument. [15].



Figure I. 10 : Le Pyranomètre [15].

I.3.2.3 Le Pyrhéliomètre :

Le pyrhéliomètre est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale. [15].



Figure I. 11 : Le Pyrhéliomètre [15].

I.4 Les types d'exploitation de l'énergie solaire :

I.4.1 L'énergie solaire sous forme d'énergie thermique :

Les capteurs solaire thermique exploite le rayonnement du Soleil afin de le transformer directement en chaleur. Cette énergie est différente de celle du photovoltaïque où l'électricité est générée par l'énergie des photons. Comme exemple le chauffage de l'eau sanitaire à l'aide des capteurs solaire, ou indirectement dans le cas de la production de l'électricité dans une centrale thermodynamique solaire.[18]

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire



Figure I.12 : L'énergie solaire thermique [2]

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire « l'absorbeur » qui constitue le capteur thermique, traitée spécialement pour absorber au maximum le rayonnement solaire. Cette dernière est parcourue par un fluide caloporteur, ce fluide chaud rejoint ensuite le ballon de stockage, figure (I.13), dans lequel il réchauffe l'eau chaude sanitaire utilisée dans les robinets, lavabos, douches etc. ... Dans le cas d'un système solaire combiné, le ballon de stockage peut être relié à deux circuits d'eau chaude, l'un pour l'eau chaude sanitaire et le second pour le chauffage alimentant des radiateurs à eau ou un plancher chauffant. Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction. [18]

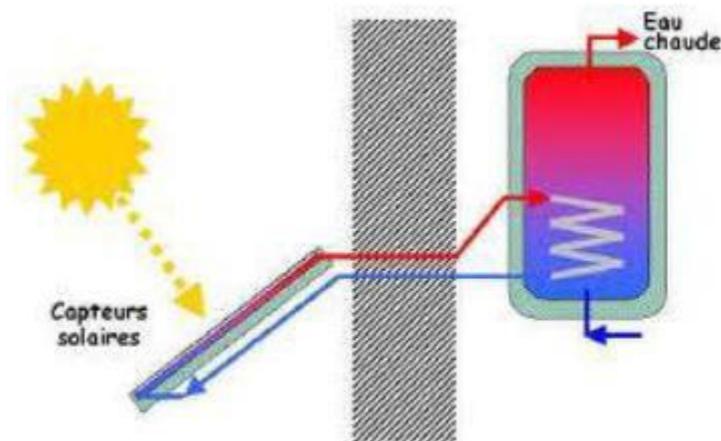


Figure I.13 : Capteur solaire thermique [19]

I.4.2 Les différents types de capteur solaire :

I.4.2.1 Capteur non vitré :

C'est le modèle le plus rustique et également le plus économique. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) dans laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur. Sans caisse ni vitrage, figure I.14, ce qui simplifie la fabrication et le coût de fabrication. Performant l'été lorsque la température

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

ambiante et le rayonnement solaire sont élevés, il présente une grande sensibilité au vent froid hiver par son absence de vitrage. Il faut prévoir en général, une fois et demi plus de surface de capteur pour égaler la production de capteur plans vitrés. On arrive finalement à un prix de l'installation équivalent avec le capteur vitré.[18]

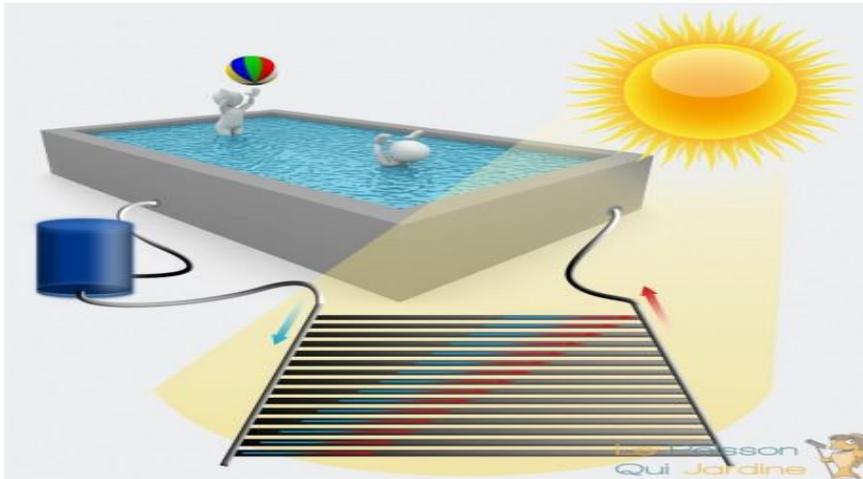


Figure I.14 : Chauffage de piscine [19]

I.4.2.2 Capteurs plan vitrés :

Les capteurs munis d'une couverture transparente, souvent appelés « capteur vitrés », sont les plus utilisés et très répandus. Ils existent sous formes de capteurs à eau et de capteurs à air. La température d'utilisation est en général inférieure à 70°C. Plus rarement, certains d'entre eux, munis d'un fonctionnement de l'ordre de 100 C°. [18]



Figure I.15: Capteur plan vitré [19]

Les principaux éléments constituant un capteur plan vitré :[18]

Le coffre (Boîtier)

L'isolation thermique

L'absorbeur

Vitrage (La couverture transparente)

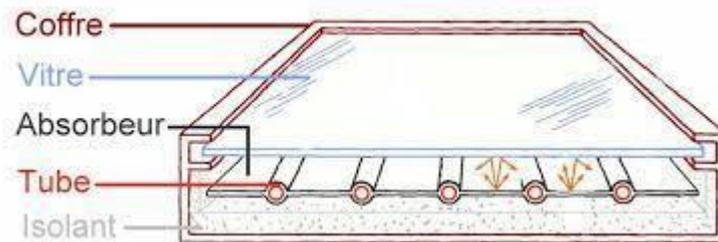


Figure I.16 : Coupe d'un capteur vitré [19]

I.4.2.3 Capteur sous vide :

Les capteurs solaires "sous vide" sont utilisés lorsque la température de fonctionnement du capteur est très élevée ($>100^{\circ}\text{C}$) ou lorsque la température ambiante est faible (région de montagne). [18] Ces capteurs se présentent sous la forme de tubes série en verre transparents de faible diamètre (jusqu'à une quinzaine de centimètres). Dans chaque tube il y a une plaque absorbante pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour favoriser le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de la plaque absorbante et la plaque absorbante reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement à se dissiper sous forme de grande longueur d'onde. Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique rapportée ou un coffre de protection.



Figure I.17 : Capteurs solaires thermiques sous vide [19]

I.4.3 L'énergie photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable qui est produite à partir de la conversion de la lumière du soleil en électricité. Cette technologie est basée sur l'utilisation de

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

cellules solaires, qui sont des dispositifs électroniques qui convertissent la lumière du soleil en courant électrique continu.

Les cellules solaires sont généralement fabriquées à partir de silicium, un matériau semi-conducteur largement disponible, mais d'autres matériaux tels que le tellure de cadmium peuvent également être utilisés. Les cellules solaires sont souvent regroupées en panneaux solaires, qui peuvent être installés sur des toits, des murs ou au sol pour produire de l'électricité à grande échelle.

L'énergie photovoltaïque présente plusieurs avantages par rapport aux sources d'énergie traditionnelles telles que les combustibles fossiles. Elle est renouvelable, inépuisable et ne produit pas de pollution atmosphérique ou de gaz à effet de serre. Elle est également de plus en plus compétitive en termes de coût, ce qui la rend plus accessible pour les particuliers et les entreprises.

Cependant, l'énergie photovoltaïque présente également certains défis. Elle dépend de la disponibilité de la lumière solaire, ce qui signifie que sa production peut être intermittente et variable en fonction des conditions météorologiques et saisonnières. Elle nécessite également des investissements importants pour la mise en place de systèmes de production d'électricité à grande échelle.

En dépit de ces défis, l'énergie photovoltaïque est une technologie prometteuse pour la production d'électricité à partir de sources renouvelables, qui pourrait jouer un rôle important dans la transition énergétique vers une économie plus durable et respectueuse de l'environnement. [20]

I.4.4 Les Avantages et les inconvénients de l'énergie solaire PV :

I.4.4.1 Les avantages de l'énergie solaire photovoltaïque :

_ L'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses propres avantages, à savoir : énergie maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.

L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme. Ce sont des systèmes simples et rapides à installer qui nécessitent très peu de maintenance (d'où des frais de maintenance relativement faibles).

_ Le solaire photovoltaïque ne comporte aucune pièce en mouvement, la production électrique est réalisée sans combustion ; il n'existe donc ni d'usure due aux mouvements, ni d'usure thermique comme pour les chaudières.

_ En devenant producteur d'électricité avec une installation photovoltaïque, chacun peut améliorer son écobilan, réduire les émissions de Dioxyde de Carbone et préserver les ressources naturelles.

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

_ Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple, des installations éoliennes [21].

I.4.4.2 les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque :

_ Les panneaux solaires coûtent excessivement cher, du fait de la haute technicité qu'ils requièrent.

_ Le rendement actuel des cellules photovoltaïques reste assez faible (environ 10 % pour le grand public) et donc ne délivre qu'une faible puissance. De ce fait, pour couvrir un besoin familial, une grande surface de panneaux photovoltaïques est nécessaire.

_ Le rendement maximum d'un panneau solaire s'obtient uniquement quand la surface du panneau est strictement perpendiculaire aux rayons solaires. Idéalement, il faudrait donc que la position du panneau varie suivant les saisons et au cours de la journée, ce qui n'est quasiment pas réalisable.

_ Le stockage de l'électricité est également très difficile avec les technologies actuelles.

_ Le recyclage des cellules photovoltaïques en fin de vie pose des problèmes environnementaux. Les batteries utilisées par les panneaux photovoltaïques sont composées de plomb, de zinc, de cadmium, . . . et donc ont un impact sur l'environnement [21].

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

I.5 Conclusion :

Après avoir exploré les différentes sources d'énergie renouvelable dans ce chapitre, nous avons constaté que l'énergie solaire est l'une des sources les plus prometteuses pour l'avenir. Nous avons examiné en détail les différents types de rayonnement solaire et les paramètres clés utilisés pour mesurer le rayonnement solaire. Nous avons également étudié les différentes façons d'exploiter l'énergie solaire, notamment sous forme d'énergie thermique et photovoltaïque, en décrivant les différents types de capteurs solaires disponibles.

Dans le chapitre suivant, nous allons nous concentrer sur une étude plus détaillée du système solaire photovoltaïque et du principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques. Nous allons explorer les différentes technologies utilisées pour produire de l'énergie photovoltaïque et discuter des avantages et des inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque par rapport aux autres sources d'énergie renouvelable.

En fin de compte, il est clair que l'énergie solaire est une source d'énergie prometteuse pour l'avenir, offrant de nombreux avantages en termes de durabilité et d'indépendance énergétique. Cependant, sa mise en place peut être coûteuse et nécessite des investissements importants en matière de technologie et d'infrastructure. Néanmoins, en adoptant des politiques énergétiques favorables à l'utilisation des énergies renouvelables, nous pouvons espérer voir une augmentation significative de l'utilisation de l'énergie solaire dans les années à venir.

A decorative border with black floral and leaf motifs surrounds the central text. The border consists of stylized leaves, small flowers, and swirling lines that frame the text area.

Chapitre II : Dimensionnement d'un système photovoltaïque

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

Introduction

Avant toute installation d'un système photovoltaïque il est nécessaire de faire des calculs pour le dimensionnement des principaux éléments constituant ce système. Le dimensionnement est indispensable pour assurer la fiabilité de l'installation.

L'efficacité de toute installation électrique dépend fondamentalement de la rigueur de son dimensionnement et de son utilisation car il influe directement sur le coût et les performances d'une installation [22].

II.1. Définition de dimensionnement

Dans une installation hybride, le concepteur du système doit associer les sources d'énergie et les moyens de stockage de manière à satisfaire deux objectifs :

Assurer une production suffisante pour couvrir l'ensemble de la consommation électrique des utilisateurs.

Garantir le coût minimum de l'énergie consommée par les utilisateurs.

Cette phase de conception s'appelle le dimensionnement. Il s'agit notamment de déterminer quelle sera la puissance et la capacité des différents éléments. Cependant, à cause de la nature intermittente des sources renouvelables, le dimensionnement de l'installation s'avère difficile et doit, en toute rigueur, dépendre à la fois des caractéristiques météorologiques du lieu d'installation tout en intégrant le profil de consommation [23].

Le dimensionnement a pour but de déterminer la puissance du générateur photovoltaïque et la capacité de la batterie, à partir des données d'ensoleillement du site d'une part et des besoins électriques de l'utilisateur d'autre part [24].

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

II.2. Critère de dimensionnement

Les deux critères importants du dimensionnement optimal sont :

- La satisfaction d'une condition sur le comportement énergétique du système en termes d'autonomie ou de déficit autorisé, en effet l'utilisateur a la possibilité de définir au départ l'autonomie du système ou la satisfaction d'un certain taux de couverture pour la période la plus défavorable.
- L'équilibre du couple générateur/stockage.
- Ces deux critères cités précédemment ont le principal avantage de traduire ce que les utilisateurs pensent des systèmes photovoltaïques.

II.3. Méthodes de dimensionnement

- Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque :

II.3.1. Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation

- Cette méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système dans des conditions complexes (fluctuation saisonnières de l'irradiation, ciel couvert (nuageux)..etc.) grâce à un logiciel adapter. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations pour un nombre d'années très grand (10 ans minimum) [25].

II.3.2. Méthode du mois le plus défavorable

- Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays la période d'hivers est rude.

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

II.3.2.1. Dimensionnement du champ PV par la méthode du mois le plus défavorable

a. Calcul de la puissance crête totale du champ PV

La puissance crête totale du champ photovoltaïque, dépend de l'irradiation quotidienne du lieu d'utilisation, elle est donnée par :

$$P_{ch} = \frac{E_c}{K \times I_r} \quad (II.1)$$

P_{ch} : Puissance crête du champ photovoltaïque.

E_c : Energie consommée.

I_r : Irradiation moyenne mensuelle reçue par le capteur photovoltaïque correspondant au moins le plus défavorable (KWh/m² *j).

K : Coefficient correcteur.

Le coefficient k tient compte des facteurs suivants :

- ❖ L'incertitude météorologique.
- ❖ L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison.
- ❖ Le vieillissement poussière des modules.
- ❖ Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (80 à 90%).
- ❖ Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%).
- ❖ Les pertes dans les câbles et connexions.

En générale sa valeur théorique est comprise entre (0.55 et 0.75) mais en pratique la valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est k=0.65.

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

a. Choix de la tension de fonctionnement du champ PV

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ PV en watt. De façon générale [26] :

Tableau (II.1) : la tension de fonctionnement du champ PV [26].

| | | | | |
|--|----------|-------------|---------------|-----------|
| Puissance du champ photovoltaïque | 0-500 Wc | 500-2000 Wc | 2000-10000 Wc | >10000 Wc |
| Tension recommandée | 12 V | 24 V | 48 V | 96 V |

a. Détermination du nombre des modules à installer

Le nombre des modules photovoltaïques est calculé en fonction des caractéristiques du module choisi et de la puissance crête du générateur par l'équation suivante [25] :

$$N_M = \frac{P_{ch}}{P_M} \quad (II.2)$$

N_M : Nombre de modules à installer.

P_{ch} : Puissance crête de l'installation.

P_M : Puissance crête d'un module.

b. Le nombre de modules connectés en série est égale à

$$N_{MS} = \frac{V_{PV}}{V_U} \quad (II.3)$$

V_{PV} : Tension du générateur.

V_U : Tension nominale unitaire.

c. Le nombre des modules connectés en parallèle est égale à

$$N_{MP} = \frac{N_M}{N_{MS}} \quad (II.4)$$

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

N_{MP} : Nombre des modules connectés en parallèle

N_M : Nombre de module.

N_{MS} : Nombre des modules connectés en série.

II.4. Les étapes du dimensionnement

Les étapes suivantes permettent de dimensionner un système photovoltaïque [23,30]:

- Estimation des besoins journaliers en électricité E_j (en Wh/j).
- Estimation de l'irradiation journalière.
- Choix d'une inclinaison optimale en fonction du gisement local.
- Estimation de la capacité de stockage requise en fonction de l'autonomie désirée.
- Choix d'un régulateur (Dimensionnement du régulateur de charge/décharge).
- Dimensionnement de l'onduleur.
- Plan de câblage.
- Estimation de coût du système.

II.5. Etude technique

II.5.1. Définition des besoins électrique

- La définition du besoin électrique est un travail préalable important impactant le dimensionnement du champ photovoltaïque et du parc de batteries. Une sous-estimation du besoin électrique provoquera des défauts de fonctionnement (coupure électrique, vieillissement prématuré des batteries), alors que sa surévaluation aura pour effet d'augmenter considérablement le cout de l'installation. Cette partie dresse un inventaire des appareils consommateurs d'électricité, et fournit une méthode de calcul des besoins électriques [30].

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

- Cette méthode consiste à calculer l'énergie électrique journalière [E] consommée par les usagers. Ainsi, les besoins électriques s'exprimeront en Wh/jour (ou kWh/jour). L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier. Elle est donnée par la loi suivante [31] :

$$E = \sum_i E_i \quad (\text{II.5})$$

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit :

$$E_i = P_i \times T_i \quad (\text{II.6})$$

II.5.2. Evaluation du gisement solaire local :

Comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire pour l'étude des systèmes photovoltaïque. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) [32].

II.5.3. Orientation des modules PV

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité (voir la figure II.1).

On appelle orientation le point cardinal vers le quel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest, ...). Les panneaux sont toujours orientés vers l'équateur :

- Orientation vers le sud dans l'hémisphère Nord.
- Orientation vers le nord dans l'hémisphère Sud.

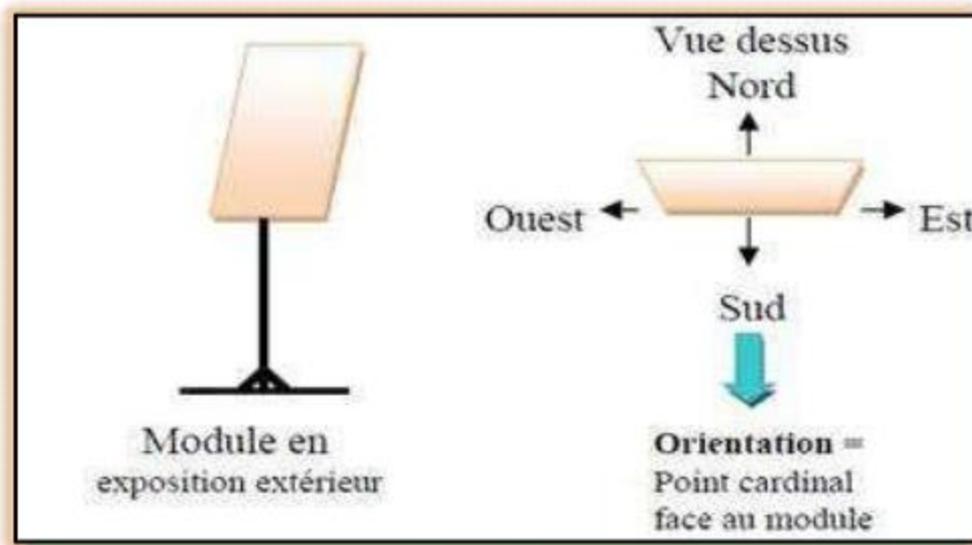


Figure II.1: Définition de l'orientation d'un panneau photovoltaïque [32].

II.5.4. Angle d'inclinaison des modules PV

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale (voir la figure II.2).

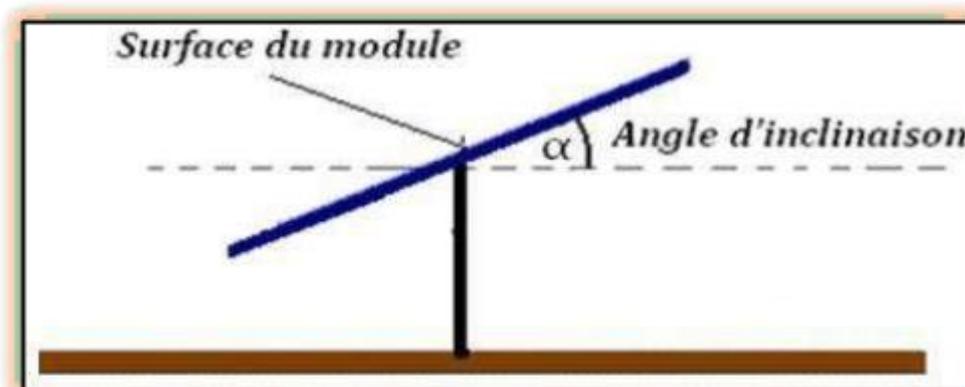


Figure II. 2 : Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques [32].

Elle se comporte en degrés pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que les surfaces soient perpendiculaires aux rayons solaires, or le soleil d'une saison à l'autre n'a pas la même inclinaison, selon les saisons, à midi, il est plus au moins plus

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

haut dans le ciel. On doit donc incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil. L'inclinaison(i) des panneaux est donnée par la relation suivante [32]:

$$i = \varphi - \sin^{-1}[0.4 \times \sin (360 \times N/365)] \quad (\text{II.7})$$

Avec :

φ =latitude de lieu.

N =Le nombre de jours entre l'équinoxe de printemps (21 mars de chaque année) et le jour considéré, (de signe négatif vers la saison froide).

La première méthode consiste à orienter ce dernier perpendiculairement aux rayons solaire à l'aide d'un système de poursuite automatique du soleil.

Une idée serait de changer manuellement l'orientation des panneaux à chaque saison, vers une direction où l'intensité du rayonnement sera maximale. Cette façon d'utiliser des panneaux solaires nécessite l'intervention du personnel à des moments précis de l'année.

La manière la plus élégante de se servir des panneaux solaire avec une orientation une fois pour toute, vers une direction pour laquelle l'énergie totale collecté dans l'année est maximale(en tenant compte de l'écart entre le maximum et le minimum d'énergie reçu par les modules).

Un autre type de choix de l'inclinaison est d'utiliser le tableau (II.2) ci- dessous, qui indique la relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux solaire [33].

Tableau (II.2) : Choix de l'inclinaison [22].

| Latitude (φ) | Inclinaison (α) |
|---------------------------------|-------------------------------|
| $\varphi < 10^\circ$ | $\alpha = 10^\circ$ |
| $10^\circ < \varphi < 30^\circ$ | $\alpha = \varphi$ |
| $30^\circ < \varphi < 40^\circ$ | $\alpha = \varphi + 10^\circ$ |
| $\varphi > 40^\circ$ | $\alpha = \varphi + 15^\circ$ |

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

II.5.5. Dimensionnement du champ PV par la méthode du mois le plus défavorable

II.5.5.1. Calcul de la puissance crête des panneaux PV

La puissance crête totale du champ photovoltaïque, dépend de l'irradiation quotidienne du lieu d'utilisation, elle est donnée par [26] :

$$P_{ch} = \frac{E_c}{k \times I_r} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

P_{ch} : La puissance crête de champ PV.

E_c : Energie consommée (Wh)

I_r : Irradiation moyenne mensuelle reçue par le capteur photovoltaïque correspondant au moins le plus défavorable (KWh/m² *j).

k : Le Coefficient correcteur.

Le coefficient k tient compte des facteurs suivants :

- o L'incertitude météorologique.
- o L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison.
- o Le vieillissement poussière des modules.
- o Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (80 à 90%).
- o Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%).
- o Les pertes dans les câbles et connexions.

En générale sa valeur théorique est comprise entre (0.55 et 0.75) Mais en pratique la

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est $k=0.65$.

II.5.5.2. Choix de la tension de fonctionnement du champ PV

Voir le tableau (II.1).

II.5.5.3. Détermination du nombre des modules à installer

Le nombre des modules photovoltaïques est calculé en fonction des caractéristiques du module choisi et de la puissance crête du générateur par l'équation suivante [25]:

$$N_M = \frac{P_{ch}}{P_m} \quad (\text{II.9})$$

N_M : Nombre de modules à installer.

P_{ch} : Puissance crête de l'installation.

P_M : Puissance crête d'un module.

a. Le nombre de modules connectés en série est égale à

$$N_{MS} = \frac{V_{PV}}{V_U} \quad (\text{II.10})$$

V_{PV} : Tension de générateur PV .

V_U : Tension nominale unitaire

b. Le nombre des modules connectés en parallèle est égale à

$$N_{MP} = \frac{N_M}{N_{MS}} \quad (\text{II.11})$$

N_{MP} : Nombre des modules connectés en parallèle.

N_M : Nombre de module.

N_{MS} : Nombre des modules connectés en série.

II.5.5.4. Dimensionnement des batteries de stockage

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

Le modèle le plus utilisé pour dimensionner le parc de batteries est celui de Bogdan et Salameh 1996 qui permet de calculer la capacité de batterie en fonction de la puissance produite par le Gpv et la puissance requise par la charge [30].

a. Calcul la capacité nominale de système

$$C_N = \frac{E_C \times N}{D \times V_f} \quad (\text{II.12})$$

C_n : La capacité nominale de l'installation en (Ah).

E_c : Energie consommée en (Wh).

N : Nombre de jours d'autonomie.

D : Profondeur de décharge en maximale.

VPV: Tension du générateur PV.

b. Nombre des batteries

Nombre des batteries en série :

$$N_{BS} = \frac{V_f}{V_{BN}} \quad (\text{II.13})$$

N_{BS} : Nombre des batteries en série.

VPV: Tension du générateur PV.

V_{Bn} : Tension nominale d'une seule batterie en (V).

Nombre des batteries en parallèle :

$$N_{BP} = \frac{C_N}{C_{BN}} \quad (\text{II.14})$$

N_{Bp} : Nombre des batteries en parallèle.

C_n : Capacité nominale de l'installation en (Ah).

C_{Bn}: Capacité nominale d'une seule batterie en (Ah).

Nombre des batteries totales :

$$N_{B_{Totale}} = N_{BS} \times N_{BP} \quad (\text{II.15})$$

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

II.5.5.5. Dimensionnement du régulateur

Le régulateur de charge est choisi en fonction des paramètres suivant :

- Tension maximale.
- Courant maximale.
- Puissance nominale.
- Tension d'entrée**

La tension maximale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$V_{Rég} = 1.25 \times V_{co} \times Nms \quad \text{(II.16)}$$

Avec :

V_{co} : La tension de circuit ouvert.

Nms: Nombre des modules connectés en série.

Et 1.25 c'est le coefficient de sécurité.

- Courant maximale**

Courant maximale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$I_{Rég} = 1.25 \times Icc \times Nmp \quad \text{(II.17)}$$

Avec :

Icc: Courant de court-circuit.

Nmp: Nombre des modules connectés en parallèle.

Et 1.25 c'est le coefficient de sécurité.

- Puissance nominale**

La puissance nominale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$P_{Rég} = Nm \times Pm \quad \text{(II.18)}$$

Avec :

Nm : Nombre de modules à installer.

Pm : Puissance crête d'un module.

II.5.5.6. Dimensionnement de l'onduleur

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

Le choix de l'onduleur est basé essentiellement sur la somme des puissances maximales de chaque équipement fonctionnant en alternatif (AC) et se fait selon les critères suivant :

- Tension maximale.
- Courant maximale.
- La puissance nominale.

a. Tension d'entrée

La tension maximale de l'onduleur est déterminée par la relation suivant :

$$V_{ond} = 1.25 \times V_{CO} \times N_{Ms} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

VCO: La tension de circuit ouvert.

NMs: Nombre des modules connectés en série.

Et 1.25 c'est le coefficient de sécurité.

b. Courant maximale

Courant maximale de l'onduleur est déterminée par la relation suivant :

$$I_{ond} = 1.25 \times I_{cc} \times N_{mp} \quad (\text{II.20})$$

Avec :

Icc: Courant de court-circuit.

Nmp: Nombre des modules connectés en parallèle.

Et 1.25 c'est le coefficient de sécurité.

c. Puissance nominale

La puissance nominale de l'onduleur est déterminée par la relation suivant :

$$P_{ond} = N_m \times P_m \quad (\text{II.21})$$

Avec :

Nm : Nombre de modules à installer.

Pm : Puissance crête d'un module.

II.5.5.7. Dimensionnement des câbles

Une fois le système est dimensionné, on doit envisager l'installation pratique du système, on doit se préoccuper du câblage, afin d'assurer la cohérence de l'ensemble.

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

Généralement les chutes de tension dans les câbles sont pénalisantes, il est important de vérifier que les diamètres des câbles choisis sont compatibles avec les bords des composants retenus (module et régulateur). Avant de calculer toutes les sections des câbles, on fait un plan électrique global de l'installation où l'emplacement des composants a été choisi aussi précisément que possible pour déduire les distances entre les différents composants de l'installation.

Les principaux critères du choix des câbles sont :

- La résistance aux intempéries et aux forts rayons solaires (UV).
- Evitement des chutes de tension importantes en choisissant la section adéquate.
- Choix du diamètre sachant que les câbles d'un système à courant continu est plus important qu'un à courant alternatif.

a. Résistance du câble

La résistance d'un câble électrique ne dépend ni de la tension ni de l'intensité du courant qui le traverse, mais de la résistivité (ρ) du matériau utilisé (cuivre, argent, fer, ...), de la longueur du câble et de sa section.

L'équation permettant de déterminer la résistance est la suivante :

$$R = \frac{\rho \times L}{S} \quad (\text{II.22})$$

Avec :

R : La résistance du câble.

ρ : Résistivité propre du matériau.

L : Longueur du câble.

S : Section du câble.

b. Chute de tension

La chute de tension dans le câble doit être réduite au maximum afin de limiter les pertes, sa valeur ne doit pas dépasser les 5% [35].

c. Section de câble

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

Le calcul de la section des câbles électriques se fait en connaissant la conductivité du matériau, la chute de tension et le courant maximaux tolérés ainsi que la longueur du fil utilisé. Cette section est calculée avec la formule suivante [36] :

$$S = \frac{2 \times L \times \rho \times I_{\max}}{\Delta V} \quad (\text{II.23})$$

Avec :

S : Section de câble.

L : Longueur du câble.

ρ : Résistivité propre du matériau.

I_{\max} : Courant maximal.

ΔV : Chute de tension.

II.6. Etude économique

L'analyse économique des solutions photovoltaïques prend de plus en plus d'importance actuellement, vu que cette technologie s'est suffisamment améliorée pour aborder la compétition avec les autres solutions classiques et prouvées dans ce domaine en zones rurales et isolées. Cette analyse économique est aussi capitale pour la prise des décisions d'investissement en toute connaissance de cause, dans le but de quantifier la rentabilité de l'électricité photovoltaïque pour la collectivité, de collationner les prévisions et la réalité des projets et programmes, de motiver les décideurs et les utilisateurs potentiels.

II.6.1. Calcul de l'investissement total

Pour le calcul du prix de revient de l'installation, on fait la somme des prix de chaque équipement ou accessoire utilisé, et cela quand on terminera le dimensionnement du système pour savoir le nombre de modules et celui des batteries ainsi que les divers appareillages intervenant lors de la mise en place de l'installation.

L'investissement initial total de l'installation C_{Tot} est donné par la formule :

$$C_{tot} = C_{mod} + C_{ond} + C_{bat} + C_{rég} + C_{cab} + C_{acc} + C_{mai} \quad (\text{II.24})$$

Avec :

C_{tot} : Le coût d'investissement initial total de l'installation.

C_{mod} : Le coût d'investissement des modules.

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

C_{ond} : Le coût d'investissement des onduleurs.

C_{bat} : Le coût d'investissement des batteries.

$C_{rég}$: Le coût d'investissement des régulateurs.

C_{cab} : Le coût d'investissement des câbles.

C_{acc} : Le coût d'investissement des accessoires + support.

C_{mai} : Le coût d'investissement des mains d'œuvres.

Le coût d'investissement des modules

Le coût total des modules est donné par :

$$C_{mod} = NM \times \text{coût de module} \quad (\text{II.25})$$

Avec :

NM : Nombre des modules.

□ Le coût d'investissement des onduleurs

Le coût total des onduleurs est donné par :

$$C_{ond} = N_{ond} \times \text{cout de onduleur} \quad (\text{II.26})$$

N_{ond} : Nombre des onduleurs.

□ Le coût d'investissement des batteries

Le coût total des batteries est donné par :

$$C_{bat} = N_{bat} \times \text{cout de batterie} \quad (\text{II.37})$$

□ Le coût d'investissement des régulateurs

Le coût total des régulateurs est donné par :

$$C_{rég} = N_{rég} \times \text{cout de régulateur} \quad (\text{II.38})$$

II.6.2. Calcul de l'amortissement total

Afin de comparer les coûts sur une base commune avec d'autres options et de trouver le choix le plus économique, le calcul du coût d'un système photovoltaïque doit inclure tous les coûts qui permettront d'assurer sa viabilité sur une certaine période ramenée à une valeur actualisée. Le principe de base de cette analyse économique consiste à établir les coûts suivants précités,

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

en valeur actualisée sur la durée de vie du système. L'opération d'actualisation des coûts permet donc de ramener ces frais sur une base commune en leur donnant une valeur actualisée [37].

Pour calculer le coût de l'énergie en tenant compte de l'amortissement sur le temps, on prend en compte dans nos calculs, la durée vie des composants ainsi que les profits réalisés sur toute la durée active du système.

L'amortissement annuel total du système A_{Tot} est donné par la formule :

$$A_{Tot} = A_{Mod} + A_{Ond} + A_{Bat} + A_{Rég} + A_{Cab} + A_{Acc} \quad (\text{II.29})$$

Avec :

A_{Tot} : Le coût de l'amortissement annuel total de l'installation.

A_{Mod} : Le coût de l'amortissement des modules.

A_{Ond} : Le coût de l'amortissement des onduleurs.

A_{Bat} : Le coût de l'amortissement des batteries.

$A_{Rég}$: Le coût de l'amortissement des régulateurs.

A_{Cab} : Le coût de l'amortissement des câbles.

A_{Acc} : Le coût de l'amortissement des accessoires + support.

□ **Le coût de l'amortissement des modules**

$$A_{mod} = \frac{C_{MOD}}{N_1} \quad (\text{II.30})$$

□ **Le coût de l'amortissement des onduleurs**

$$A_{ond} = \frac{C_{ond}}{N_2} \quad (\text{II.31})$$

□ **Le coût de l'amortissement des batteries**

$$A_{bat} = \frac{C_{bat}}{N_3} \quad (\text{II.32})$$

□ **Le coût de l'amortissement des régulateurs**

$$A_{rég} = \frac{C_{rég}}{N_4} \quad (\text{II.33})$$

□ **Le coût de l'amortissement des câbles**

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

$$A_{cab} = \frac{C_{cab}}{N_5} \quad (\text{II.34})$$

□ **Le coût de l'amortissement des accessoires**

$$A_{acc} = \frac{C_{acc}}{N_6} \quad (\text{II.35})$$

Nous remarquons que l'amortissement de chaque composant set la forme :

$$A = C/N \quad (\text{II.36})$$

Avec :

C : Le coût de l'investissement initial de chaque composant.

N : Durée de vie active du chaque composant.

II.6.3. Calcul de l'entretien et de la maintenance annuel total :

Le coût de l'entretien est très difficile à évaluer dans le temps. Pour calculer un coût moyen annuel, l'approche la plus raisonnable est basée sur une expérience vécue sur le terrain qui, aussi théorique qu'elle soit, donnerait un ordre de grandeur réaliste.

Le calcul du Le coût d'entretien total annuel du système est donné par l'expression :

$$E_{Tot} = N_m \times C$$

Avec :

C : le prix en dinar de maintenance

II.6.4. Calcul des coûts sur la durée de vie

Nous utilisons la méthode dite le calcul des coûts sur la durée de vie (life cycle cost). Le coût global annuel de la valeur actualisée est calculé par l'expression suivante :

$$CGA = ATot + ETot \quad (\text{II.37})$$

Avec :

CGA: Le coût global annuel.

ATot: Le coût de l'amortissement annuel total de l'installation.

ETot: Le coût de l'entretien annuel total de l'installation.

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons cité les différentes méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. Ainsi le dimensionnement de chaque élément d'une installation photovoltaïque. Puis nous avons présenté la méthodologie de l'étude technique et économique de chaque élément de l'installation photovoltaïque, et le calcul des couts de maintenance et l'investissement de toute l'installation.

Dans le chapitre suivant on va faire l'étude et le dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation de l'école primaire de mecheria de Naama.

A decorative border with black floral and leaf motifs surrounds the central text. The border is symmetrical and features various flower shapes and scrolling vines.

Chapitre III
Application : de
l'école primaire
Naâma

Introduction :

Dimensionner c'est fixer la taille et déterminer les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît sa configuration. Ce chapitre comportera plusieurs calculs sans lesquels, il est facile de faire soit un surdimensionnement qui entraîne des dépenses supplémentaires ; soit un sous dimensionnement qui entrainera une insuffisance d'énergie. La méthode de dimensionnement est celui du mois la plus défavorable. Elle comporte 08 étapes décrivant de façon détaillée la démarche à suivre pour concevoir un système photovoltaïque autonome.

a. Etude technique :

- Etape 01** : Détermination des besoins de l'utilisateur : tension, puissance des appareils et durées d'utilisation.
- Etape 02** : Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique.
- Etape 03** : Définition des modules photovoltaïque, tension de fonctionnement, technologie, puissance totale à installer.
- Etape 04** : Définition de la capacité de la batterie et choix de la technologie.
- Etape 05** : Choix du régulateur.
- Etape 06** : Choix de l'onduleur.
- Etape 07** : Dimensionnement des câbles.

b. Etude économique :

- Etape 08** : Cout d'installation.

Dans le cadre de l'orientation vers les énergies renouvelables, le Ministère de l'Energie et des Mines a approuvé l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans ses directions. Pour cela, nous allons faire un dimensionnement d'une école primaire.

III.1 Etude technique

III.1.1 Evaluation des besoins (Etape 1) :

a. Cahier des charges :

Le bilan de puissance se fera pour l'école primaire les frères Boumediene Naâma.



Figure III.1 : Localisation l'école primaire les frères Boumediene Naâma. [38]

L'évaluation précise des besoins en électricité consommé est primordiale pour un bon dimensionnement. Il faut alors renseigner sur la consommation de chaque appareil utilisé choisir les appareils dont la consommation est la plus faible afin de réduire ses dépenses en électricité tout en gardant un bon niveau de confort.

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

Pour calculer l'énergie de consommation par jour (wh/jour), on multiplie la puissance en watt de chaque équipement (lampes, PC, ect) par le nombre d'heures de fonctionnement respectivement (h/jour) puis on somme les valeurs trouvées. On fait appel aux tableaux ci-dessous pour présenter le cahier de charge .et optimiser la consommation journalière de l'établissement.

1^{er} Cas sans climatiseur

Tableau (III.1) : Les besoins énergétiques de l'école :

| Appareils | Nombre | Puissance (W) | Nombre*puissance (W) | Nombre d'heure | Énergie consommée (Wh/j) | Coefficient de sécurité | Énergie consommée avec coef (Wh/j) |
|---------------|--------|---------------|----------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Néon simple | 88 | 18 | 1584 | 8 | 12672 | 1,25 | 15840 |
| Néon double | 16 | 36 | 576 | 8 | 4608 | 1,25 | 5760 |
| Imprimante | 1 | 278 | 278 | 2 | 556 | 1,25 | 695 |
| PC | 2 | 75 | 150 | 7 | 1050 | 1,25 | 1312,5 |
| Photocopieuse | 1 | 259 | 259 | 3 | 777 | 1,25 | 971,25 |
| Divers | / | 200 | 200 | 1 | 200 | 1,25 | 250 |
| Total | 108 | 866 | 3047 | 29 | 19863 | 1,25 | 24828,75 |

III.1.2 Evaluation du gisement solaire locale (Etape 2) :

Comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire pour l'étude des systèmes photovoltaïque. Il existe plusieurs méthodes pour estimer le flux global d'irradiation solaire qui tiennent compte essentiellement des données d'insolation.

On va utiliser le logiciel *PvGIS* qui est un logiciel développé et actualisé par la Commission Européenne. Il recense les degrés d'ensoleillement et de radiation partout dans le monde chaque année [39].

Les résultats pour la ville de Naâma sont données dans le tableau suivant puis représenté sur le tableau (III.2).

Tableau (III.2) : L'irradiation moyenne reçue par mois dans la ville de Naâma par le logiciel PvGis.

| Mois | Irradiation sur plan horizontal en wh/m ² /j | Irradiation sur plan incliné 33° en wh/m ² /j | Irradiation sur plan incliné de 90° en wh/m ² /j |
|-----------|---|--|---|
| Janvier | 3485 | 5931 | 5341 |
| Février | 4170 | 5954 | 4802 |
| Mars | 5620 | 6669 | 4503 |
| Avril | 6801 | 6742 | 3520 |
| Mai | 7435 | 6430 | 2608 |
| Juin | 7974 | 6437 | 2218 |
| Juillet | 7549 | 6354 | 2342 |
| Aout | 7019 | 6599 | 3134 |
| Septembre | 5739 | 6313 | 3914 |
| Octobre | 4635 | 6120 | 4637 |
| Novembre | 3558 | 5602 | 4867 |
| Décembre | 3041 | 5291 | 4885 |

III.1.3. Orientation des modules PV

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité.

On appelle orientation le point cardinal vers le quel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest,...).

Les panneaux sont toujours orientés vers l'équateur :

- Orientation vers le sud dans l'hémisphère Nord.
- Orientation vers le nord dans l'hémisphère Sud.

Dans notre site les modules sont orientés vers le sud.

❖ Caractéristiques géographiques du site :

Tableau (III.3) : Situation géographique du site [38].

| Caractéristique du site | Latitude en degré | Longitude en degré |
|-------------------------|-------------------|--------------------|
| Naâma (mechria) | 33.57 | -0.27 |

III.1.4 Angle d'inclinaison des modules PV

Elle indique l'angle que fait le panneau avec l'horizontale, elle est prise en degrés. Pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que les surfaces soient perpendiculaires aux rayons solaires, or le soleil d'une saison à l'autre n'a pas la même inclinaison ; selon les saisons, à midi, il est plus au moins plus haut dans le ciel. On doit donc ; incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil.

Le choix de l'inclinaison repose sur méthode de choisir à partir des tableaux qui résume la relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux solaires.

Voir Tableau (II.2).

Alors, L'inclinaison des modules est de $\alpha=33^\circ$.

III.1.5. Dimensionnement du champ PV par la méthode du mois le plus défavorable

III.1.5.1 Calcul de la puissance totale :

$$p \times coef = 3047 \times 1.25 = 3808.75 > 2000 W$$

III.1.5.2. Choix de la tension de fonctionnement du champ PV

Voir le tableau (II.1).

D'après le tableau (II.1) la tension du système choisi est 48 V.

III 1.5.3. Dimensionnement de l'onduleur

$$P_{ond} = \frac{3808.75}{0.9} = 4231.94 w$$

0.9 : le rendement minimal d'onduleur.

On peut choisir un onduleur de :

Puissance = 5000 W.

Tension = 48 V/220V.

III 1.5.4. Choix de la batterie

Parce que l'utilisation des batteries est quotidienne on a besoin de batterie de longue durée de vie, et l'utilisation de l'énergie est plus on doit utiliser une batterie de tension de stockage

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

élevée et au même temps on prend on considération de prix de batterie alors la batterie sélectionnée est [[BATT0011]] BATTERIE LEOCH ÉTANCHE 150Ah/12V "GEL", destinée au stockage de l'énergie solaire.

III 1.5.5. Dimensionnement des batteries de stockage

$$C_n = \frac{E_c \times N}{V \times D} = \frac{19863}{0.8 \times 48} = 517.26 Ah$$

On prendre $C_n = 600 Ah$

Alors le Nombre des batteries totales : 4 batteries qui sont connectées en série

III 1.5.6. Dimensionnement de panneau

Le module choisi pour notre étude est le module solaire de type solarworld-polycristallin avec une puissance de 325 watt à cause de l'espace disponible sur le site et pour éviter les masques et aussi à cause de sa performance, se caractéristique sont données dans le tableau suivant [40] :

Tableau (III.4) : Les caractéristiques du module photovoltaïque.

| | | |
|--|-----------|-------|
| Puissance maximale en Watt | P_{max} | 325 |
| Tension à vide en volt | V_{co} | 45.9 |
| Courant de court-circuit en ampère | I_{cc} | 9.25 |
| Tension au point de la puissance max en volt | V_{max} | 37.2 |
| Courant au point de la puissance max en A | I_{max} | 8.76 |
| Rendement en (%) | η | 16.77 |
| Prix en dinar | Prix | 20000 |

III 1.5.7. Calcul de la puissance crête des panneaux PV

$$P_c = \frac{C_n \times V}{5.291} = \frac{600 \times 48}{5.291} = \frac{28800}{5.291} = 5443.2 W$$

III 1.5.8. Détermination du nombre des modules à installer

Le nombre des modules photovoltaïques est calculé en fonction des caractéristiques du module choisi et de la puissance crête du générateur par l'équation suivante :

$$N_m = \frac{P_{ch}}{P_U} \quad (III.1)$$

$$N_m = \frac{5443.2}{325} = 16.75$$

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

Alors on a 18 panneaux

❖ Nombre minimale des panneaux en série

$$N_{min} = \frac{V_{min}(mppt)}{V_{max}(panneau)} = \frac{70}{37.2} = 1.88$$

Alors $N_{min} = 2$

❖ Nombre maximale des panneaux en série

$$N_{max} = \frac{V_{max}(mppt)}{V_{co}(panneau)} = \frac{150}{45.9} = 3.29$$

Alors $N_{max} = 3$

$$2 \leq N_{série} \leq 3$$

❖ Nombre parallèle

$$N_{parallèle} = \frac{I_{max}(mppt)}{I_{cc}(panneau)} = \frac{100}{9.25} = 10.81$$

$N_{parallèle_{max}} = 10$

| | |
|--------------|--------------|
| 2 séries | 3 séries |
| 9 parallèles | 6 parallèles |

On prend 3 séries et 6 parallèles

III 1.5.9. La surface disponible pour les panneaux

Les modules photovoltaïques seront installés sur le toit de la direction donc il est impératif de savoir la surface disponible pour mieux choisir le module.

Comme le module photovoltaïque a une forme rectangulaire, sa surface est déterminée par la relation suivante :

$$S_p = L \times I \quad \text{(III.2)}$$

Avec :

S_p : la surface de panneau.

L : La longueur.

I : La largeur.

$$S_p = 991 \times 1956 = 1938396 \text{mm}^2 = 1.94 \text{m}^2$$

$$S_p = 1.94 \text{m}^2$$

III 1.5.10. Calcul l'ombrage :

$$L = H \times \tan(\varphi + 23^\circ) \quad (\text{III.3})$$

φ = latitude de lieu

H = hauteur de l'obstacle

L = distance de l'ombre portée

H = 1.07 m

$$L = 1.07 \times \tan(33 + 23)$$

L = 1.6 m

Donc la distance de l'ombre portée est 1.6 m

III 1.5.11. Position des modules sur la toiture et leur branchement :

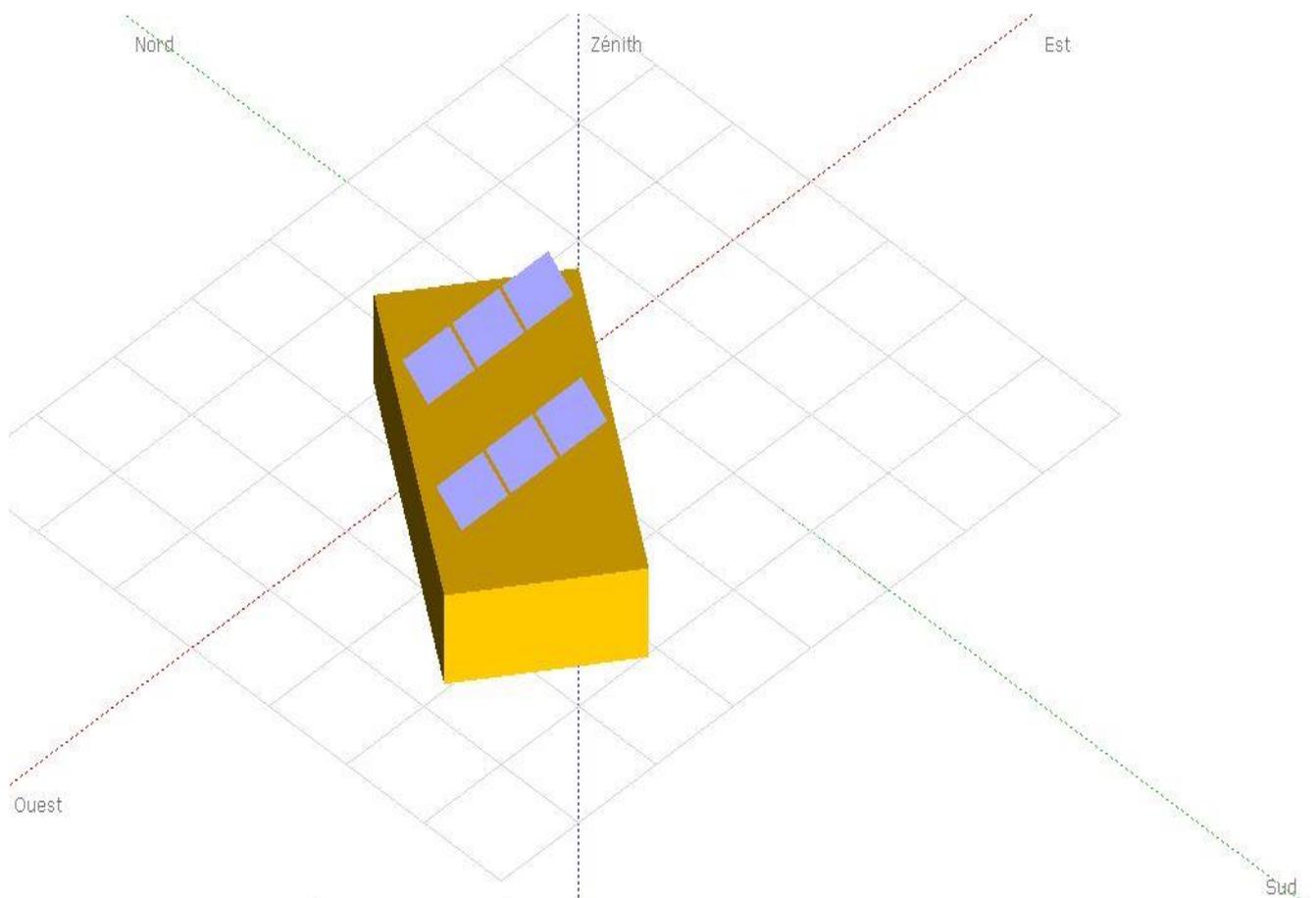


Figure III.2 : Position des modules sur la toiture (le cas de sans climatiseur).

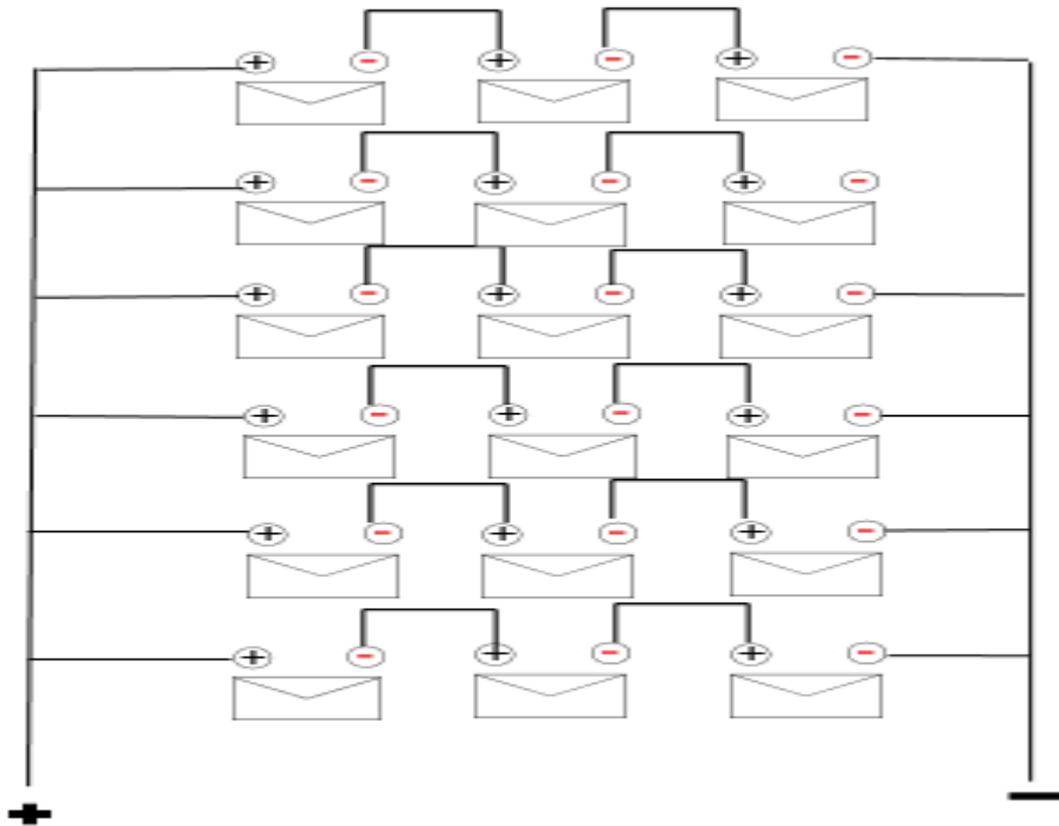


Figure III.3 : le branchement des modules sur la toiture

III 1.5.12. Dimensionnement du régulateur

Le régulateur de charge est choisi en fonction des paramètres suivant :

- o Tension d'entrée.
- o Tension de sortie.
- o Courant maximale.

❖ Tension d'entrée

Le régulateur adéquat pour un générateur photovoltaïque doit avoir une tension nominale identique à celle fournie par le panneau PV (pour notre cas la tension nominal est égale à 48 V).

❖ Tension de sortie

La tension maximale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$V_{R_s} = 1.25 \times V_{Co} \times N_{Ms} \quad \text{(III.4)}$$

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

$$V_{R_s} = 1.25 \times 45.9 \times 3$$

$$V_{R_s} = 172.125 \text{ V}$$

❖ Courant maximale

Courant maximale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$I_{R_{max}} = 1.25 \times I_{cc} \times N_{Mp} \quad (\text{III.5})$$

$$I_{R_{max}} = 1.25 \times 9.25 \times 6$$

$$I_{R_{max}} = 69.375 \text{ A}$$

On peut choisir un régulateur de :

* Régulateur MPPT -victron-smartsolar-250-70- TR -250v-vecan

* Tension = 48V/ 220V.

* Courant = 70A.

* $V_{co_{max}} = 250 \text{ V}$

III 1.5.13 La surface nécessaire pour installer les panneaux est donnée par la relation suivante :

$$S_n = N_M \times S_p \quad (\text{III.6})$$

S_n : La surface nécessaire.

N_M : Nombre de modules à installer.

S_p : la surface de panneau.

$$S_n = 18 \times 1.94 = 34.92 \text{ m}^2$$

La surface disponible est de 56.7 m^2

La surface qui a été sélectionnée du toit est suffisante par apport à la surface nécessaire.

III 1.5.14 Dimensionnement des câbles :

$$S = \frac{2 \times L \times \rho \times I}{\varepsilon \times V} \quad (\text{III.7})$$

❖ **Détermination de la section des conducteurs entre le panneau et la chambre technique ($L_1 = 7.4\text{m}$) :**

Le courant de sortie d'un panneau à sa puissance nominale est égal :

$$I_{max} = 8.76 \text{ A}$$

$$V = 48\text{v}$$

ρ : la resistivité du cable.

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

ε : les pertes.

$$\varepsilon = 2\%$$

S_1 : section entre le champ PV et le champ technique.

L_1 : la longueur entre le champ PV et le champ technique.

$$L_1 = 3.4 + 4 = 7.4 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{2 \times L_1 \times \rho \times I_{cc} \times 6}{\varepsilon \times V_{co} \times 3} = \frac{2 \times 7.4 \times 0.0185 \times 9.25 \times 6}{0.02 \times 48 \times 3} = 5.28 \text{ mm}^2$$

❖ **Détermination de la section des conducteurs entre les batteries et le régulateur ($L_2 = 4\text{m}$) :**

S_2 : section entre la regulateur et la batterie.

L_2 : la longueur entre la regulateur et la batterie.

I : le courant de charge batterie

$$I = 50 \text{ A}$$

$$S_2 = \frac{2 \times L_2 \times \rho \times I}{\varepsilon \times V} = 7.7 \text{ mm}^2$$

❖ **Détermination de la section des conducteurs entre le régulateur et l'onduleur ($L_3 = 3\text{m}$) :**

S_3 : section entre la regulateur et la batterie.

L_3 : la longueur entre la regulateur et la batterie.

$$I = \frac{5000}{48} = 104.17 \text{ A}$$

$$S_3 = \frac{2 \times L_3 \times \rho \times I}{\varepsilon \times V} = \frac{2 \times 3 \times 0.0185 \times 104.17}{0.02 \times 48} = 12.04 \text{ mm}^2$$

❖ **Détermination de la section des conducteurs entre l'onduleur et système ($L_3 = 4 \text{ m}$) :**

S_3 : section entre l'onduleur et le système.

L_3 : la longueur entre l'onduleur et le système.

$$S_4 = \frac{2 \times L_4 \times \rho \times I}{\varepsilon \times V} = \frac{2 \times 4 \times 0.0185 \times 8.76}{0.02 \times 48} = 2.51 \text{ mm}^2$$

Tableau (III .5) : les caractéristiques du câblage.

| Câblage | Distance (m) | Courant I _{max} (A) | Chute de tension ΔU_{\max} | Section minimale (mm ²) | Section normalisée (mm ²) |
|--|--------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Entre le panneau et la chambre technique | 7.4 | 55.5 | 2.88 | 5.28 | 6 |
| Entre les batteries et le régulateur | 4 | 50 | 0.96 | 7.7 | 8 |
| entre le régulateur et l'onduleur | 3 | 104.17 | 0.96 | 12.04 | 13 |
| Conducteurs entre l'onduleur et système | 4 | 8.76 | 0.96 | 2.51 | 3 |

III 1.5.15 La conception résume le résultat du système PV par AutoCAD :

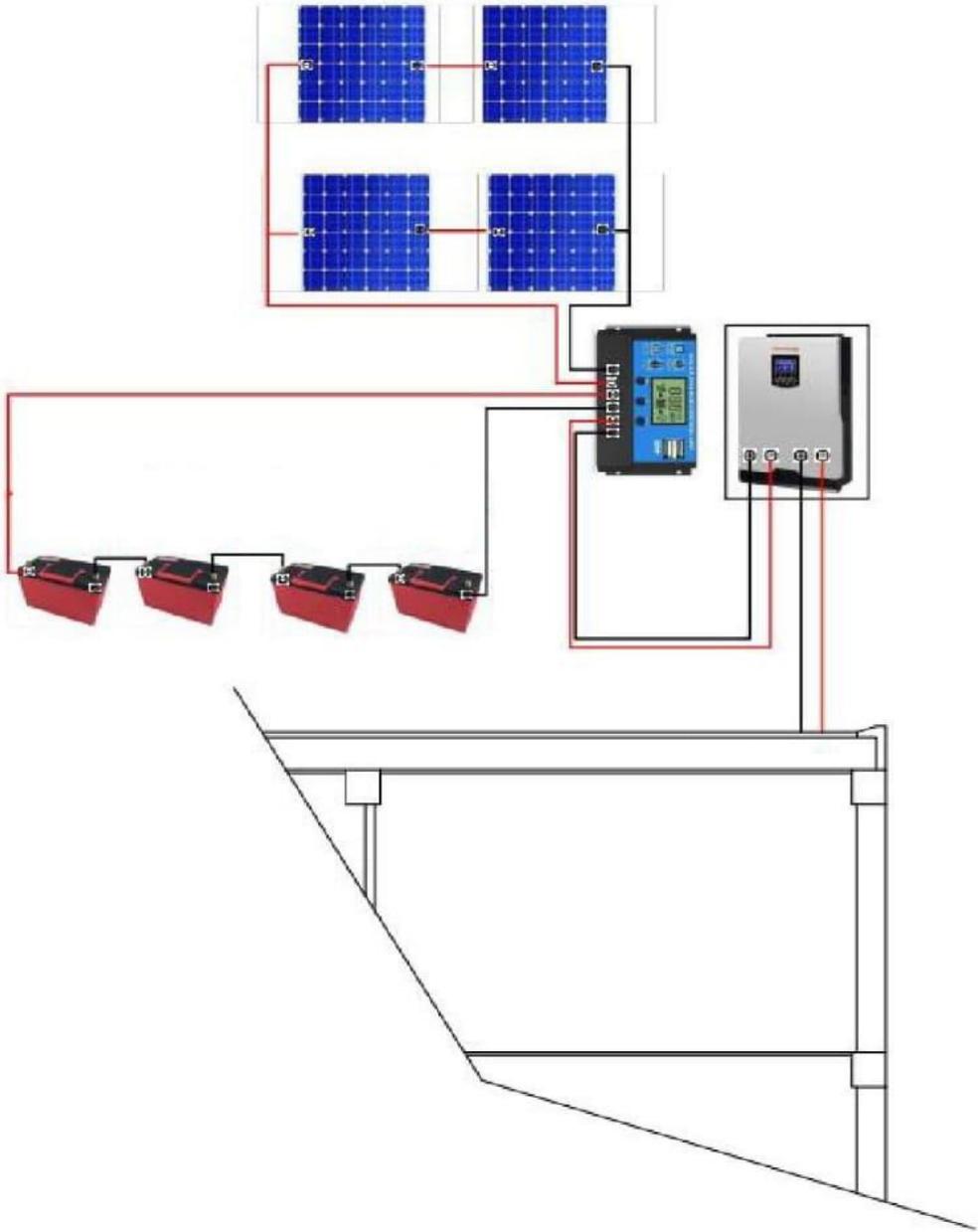


Figure III.4 : La conception résume le résultat du système PV par AutoCAD.

III.2. Etude économique

III.2.1. Calcul de l'investissement initial total :

L'investissement initial total de l'installation C_{Tot} est donné par la formule :

$$C_{Tot} = C_{Mod} + C_{Ond} + C_{Bat} + C_{Rég} + C_{cab} + C_{acc} + C_{Mai} \quad (III.8)$$

Tableau (III.6) : L'investissement initial total.

| Appareils | Nombre | Prix en dinar algérien | Investissement en (DA) |
|-----------------------|--------|--------------------------------|------------------------|
| Panneaux | 18 | 33000 | 594000 |
| Batteries type | 4 | 43050 | 172200 |
| Régulateur solaire | 1 | 61200 | 61200 |
| Onduleur solaire | 1 | 185850 | 185850 |
| Câbles | | | 4000 |
| Accessoires + support | | | 130000 |
| L'armoire électrique | | | 40000 |
| Mains d'œuvre | | | 115125 |
| Total | | | 1266375 |
| | | TVA (19) % | 240611.25 |
| | | Coût total d'installation (DA) | 1506986.25 |

III.2.2. Calcul de l'amortissement total :

L'amortissement annuel total du système A_{Tot} est donné par la formule :

$$A_{tot} = A_{mod} + A_{ond} + A_{bat} + A_{rég} + A_{cab} + A_{acc} \quad (III.9)$$

L'amortissement de chaque composant set la forme :

$$A = C/N \quad (III.10)$$

On note que les hypothèses retenues, relatives à la durée vie pour chacun des éléments du système, sont données ci-après.

Tableau (III.7) : La durée de vie des équipements.

| Equipements | Générateurs | Régulateur | Batteries | Onduleur | Câblage | Accessoires |
|-------------------|-------------|------------|-----------|----------|---------|-------------|
| Durée de vie (an) | 30 | 8 | 10 | 20 | 35 | 20 |

Dans le tableau (III.8) nous avons calculé l'amortissement global de notre installation.

Tableau (III.8) : L'amortissement global de l'installation PV.

| Appareils | Investissement en (DA) | Durée de vie | Amortissement en dinar |
|--------------------------------------|------------------------|--------------|------------------------|
| Panneaux | 594000 | 30 | 19800 |
| Batteries type (GEL solaire VICTRON) | 172200 | 10 | 17220 |
| Régulateur solaire | 61200 | 8 | 7650 |
| Onduleur 5KW solaire | 185850 | 20 | 9292.5 |
| Câbles | 4000 | 35 | 115 |
| Accessoires + support | 130000 | 20 | 6500 |
| Total | | | 60577.5 |

III.2.3. Calcul de l'entretien et de la maintenance annuel total :

Le coût d'entretien total annuel du système est donné par l'expression:

$$E_{Tot} = N_m \times C \quad (III.11)$$

C : le prix en dinar de maintenance : 8000DA

$$E_{Tot} = 18 \times 8000 = 144000 \text{ DA}$$

III.2.4. Calcul des coûts sur la durée de vie :

Le coût global annuel de la valeur actualisée est calculé par l'expression suivante :

$$CGA = A_{Tot} + E_{Tot} \quad (III.12)$$

$$CGA = 60577.5 + 144000 = 204577.5 \text{ DA/an.}$$

2-ème cas avec climatiseur

Tableau (III.9) : Les besoins énergétiques.

| Appareils | Nombre | Puissance (W) | Nombre*puissance (W) | Nombre d'heure | Énergie consommée (Wh/j) | Coefficient de sécurité | Énergie consommée avec coef (Wh/j) |
|---------------|--------|---------------|----------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Néon simple | 88 | 18 | 1584 | 8 | 12672 | 1,25 | 15840 |
| Néon double | 16 | 36 | 576 | 8 | 4608 | 1,25 | 5760 |
| Imprimante | 1 | 278 | 278 | 2 | 556 | 1,25 | 695 |
| PC | 2 | 75 | 150 | 7 | 1050 | 1,25 | 1312,5 |
| Photocopieuse | 1 | 259 | 259 | 3 | 777 | 1,25 | 971,25 |
| Climatiseur | 2 | 1000 | 2000 | 4 | 8000 | 1,25 | 10000 |
| Divers | / | 200 | 200 | 1 | 200 | 1,25 | 250 |
| Total | 110 | 1866 | 5047 | 33 | 27863 | 1,25 | 34828,75 |

III.3.1 Calcul de la puissance totale :

$$p \times \text{coef} = 5047 \times 1.25 = 6308.75 > 2000 \text{ W}$$

Alors

$$V_{\text{sys}} = 48 \text{ V}$$

III.3.2 Choix de l'onduleur

$$P_{\text{onduleur}} = \frac{6308.75}{0.9} = 7009.72 \text{ W}$$

On peut choisir un onduleur de :

Puissance = 8000 W.

Tension = 48 V/220V.

III.3.3 Choix de batterie

Parce que l'utilisation des batteries est quotidienne on est besoin a l'une des batteries a une longue durée de vie, et l'utilisation de l'énergie est plus on doit utiliser une batterie de tension de stockage élevée et au même temps on prend on considération de prix de batterie alors la batterie sélectionnée est [[BATT0012]] BATTERIE LEOCH ÉTANCHE 200Ah/12V "GEL", destinée au stockage de l'énergie solaire.

III.3.4 Dimensionnement des batteries de stockage

On prendre $C_n = 800 \text{ Ah}$

$$C_n = \frac{E_c \times N}{V \times D} = \frac{27863}{0.8 \times 48} = 725.6 \text{ Ah}$$

Alors le Nombre des batteries totales : 4 batteries qui sont connectées en série

III.3.5 Choix de panneaux

Tableau (III.10) : Les caractéristiques du module photovoltaïque

| | | |
|--|-----------|-------|
| Puissance maximale en Watt | P_{max} | 325 |
| Tension à vide en volt | V_{co} | 45.9 |
| Courant de court-circuit en ampère | I_{cc} | 9.25 |
| Tension au point de la puissance max en volt | V_{max} | 37.2 |
| Courant au point de la puissance max en A | I_{max} | 8.76 |
| Rendement en (%) | η | 16.77 |
| Prix en dinar | Prix | 20000 |

$$P_c = \frac{C_n \times V}{5.291} = \frac{800 \times 48}{5.291} = \frac{38400}{5.291} = 7257.6 \text{ W}$$

III.3.6 Détermination du nombre des modules à installer

$$N_m = \frac{7257.6}{325} = 22.33$$

Alors on a 24 panneaux

❖ Nombre minimale des panneaux en série

$$N_{min} = \frac{V_{min} (mppt)}{V_{max} (panneau)} = \frac{70}{37.2} = 1.88$$

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

Alors $N_{min} = 1$

❖ Nombre maximale des panneaux en série

$$N_{max} = \frac{V_{max}(mppt)}{V_{co}(panneau)} = \frac{250}{45.9} = 5.45$$

Alors $N_{max} = 5$

❖ Nombre parallèle

$$N_{parallèle} = \frac{I_{max}(mppt)}{I_{cc}(panneau)} = \frac{100}{9.25} = 10.81$$

$N_{parallèle_{max}} = 10$

| | |
|---------------|--------------|
| 2 séries | 4 séries |
| 12 parallèles | 6 parallèles |

On prend 4 séries et 6 parallèles

III 3.7. Position des modules sur la toiture et leur branchement :

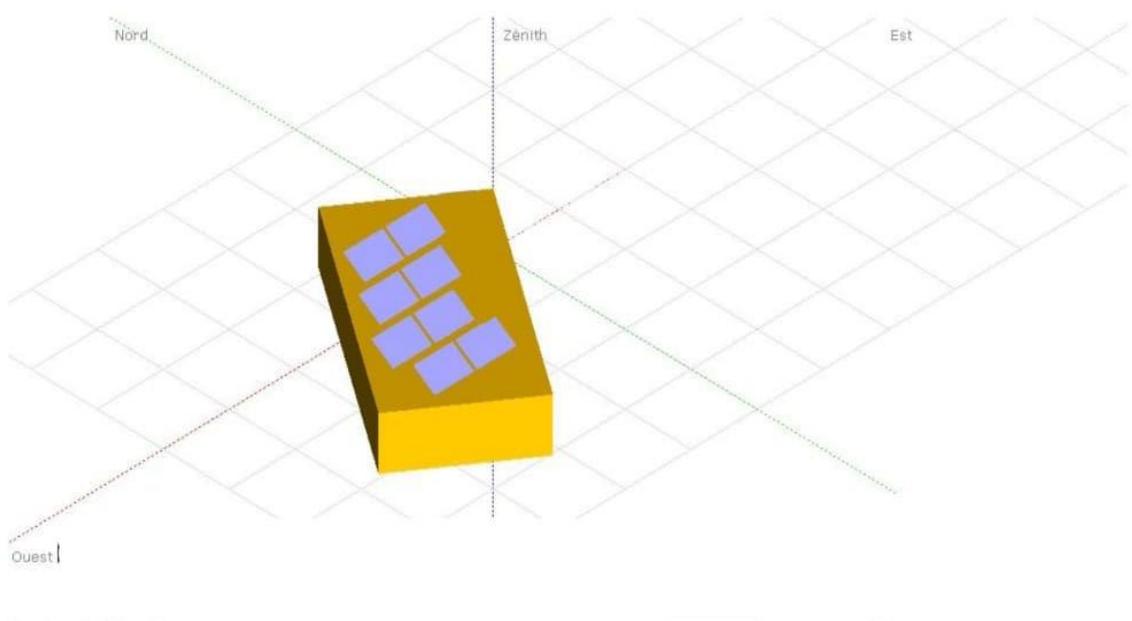


Figure III.5: Position des modules sur la toiture (le cas de avec climatiseur).

III 3.8 Dimensionnement du régulateur

Le régulateur de charge est choisi en fonction des paramètres suivant :

- o Tension d'entrée.
- o Tension de sortie.
- o Courant maximale.

❖ Tension d'entrée

Le régulateur adéquat pour un générateur photovoltaïque doit avoir une tension nominale identique à celle fournie par le panneau PV (pour notre cas la tension nominale est égale à 48 V).

❖ Tension de sortie

La tension maximale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$V_{R_s} = 1.25 \times V_{Co} \times N_{Ms} \quad (\text{III.12})$$

$$V_{R_s} = 1.25 \times 45.9 \times 4$$

$$V_{R_s} = 229.5 \text{ V}$$

❖ Courant maximale

Courant maximale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$I_{R_{max}} = 1.25 \times I_{cc} \times N_{Mp} \quad (\text{III.13})$$

$$I_{R_{max}} = 1.25 \times 9.25 \times 6$$

$$I_{R_{max}} = 69.375 \text{ A}$$

On peut choisir un régulateur de :

- * Régulateur MPPT -victron-smartsolar-250-70- TR -250v-vecan
- * Tension = 48V/ 220V.
- * Courant = 70A.
- * $V_{Co_{max}} = 250 \text{ V}$

III.3.9 Dimensionnement des câbles :

$$S = \frac{2 \times L \times \rho \times I}{\varepsilon \times V}$$

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

❖ Détermination de la section des conducteurs entre le panneau et la chambre technique ($L_1 = 7.4m$):

Le courant de sortie d'un panneau à sa puissance nominale est égal :

$$I_{max} = 8.76 \text{ A}$$

$$V = 48\text{v}$$

ρ : la resistivité du cable.

ε : les pertes.

$$\varepsilon = 2 \%$$

S_1 : section entre le champ PV et le champ technique.

L_1 : la longeure entre le champ PV et le champ technique.

$$L_1 = 3.4 + 4 = 7.4 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{2 \times L_1 \times \rho \times I_{cc} \times 6}{\varepsilon \times V_{co} \times 3} = \frac{2 \times 7.4 \times 0.0185 \times 9.25 \times 6}{0.02 \times 45.9 \times 3} = 5.52\text{mm}^2$$

❖ Détermination de la section des conducteurs entre les batteries et le régulateur ($L_2 = 4m$) :

S_2 : section entre la regulateur et la batterie.

L_2 : la longeure entre la regulateur et la batterie.

I : le courant de charge batterie

$$I = 50 \text{ A}$$

$$S_2 = \frac{2 \times L_2 \times \rho \times I}{\varepsilon \times V} = \frac{2 \times 4 \times 0.0185 \times 50}{0.02 \times 48} = 7.7\text{mm}^2$$

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

- ❖ Détermination de la section des conducteurs entre le régulateur et l'onduleur ($L_3 = 3\text{m}$) :

S_3 : section entre la regulateur et la batterie.

L_3 : la longeure entre la regulateur et la batterie.

$$I = \frac{8000}{48} = 166.67 \text{ A}$$

$$S_3 = \frac{2 \times L_3 \times \rho \times I}{\varepsilon \times V} = \frac{2 \times 3 \times 0.0185 \times 166.67}{0.02 \times 48} = 19.27 \text{ mm}^2$$

- ❖ Détermination de la section des conducteurs entre l'onduleur et système ($L_3 = 4 \text{ m}$) :

S_3 : section entre l'onduleur et le système.

L_3 : la longeure entre l'onduleur et le système.

$$S_4 = \frac{2 \times L_4 \times \rho \times I}{\varepsilon \times V} = \frac{2 \times 4 \times 0.0185 \times 8.76}{0.02 \times 48} = 2.51 \text{ mm}^2$$

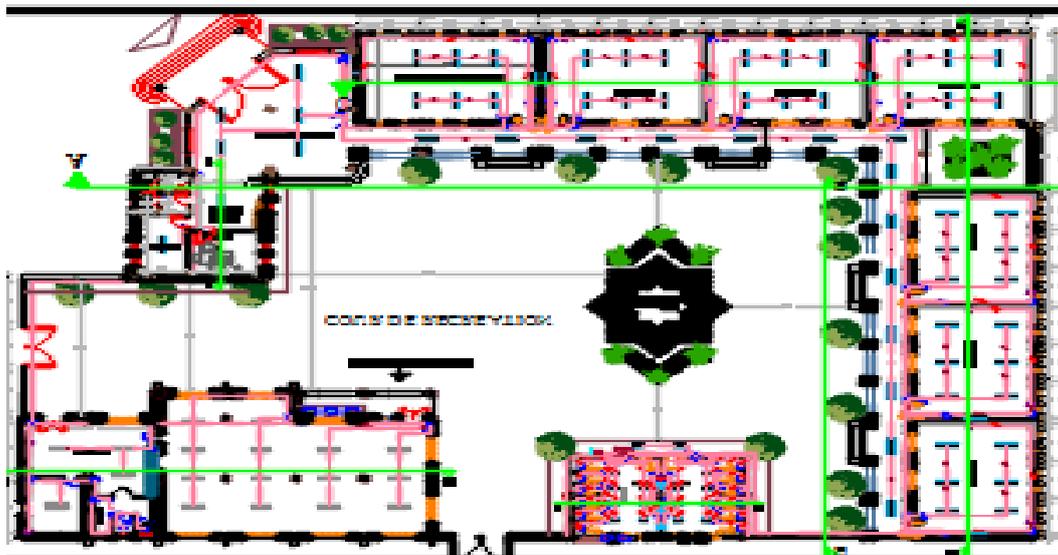


Figure III .6. Plan architecteur de l'école

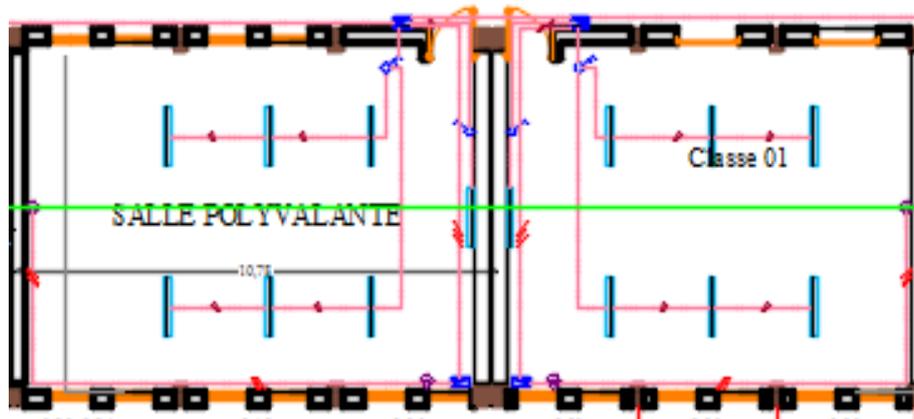


Figure III .7. La chambre technique et la Terrasse d'installation des panneaux

III.4. Etude économique

III.4.1. Calcul de l'investissement total :

L'investissement total de l'installation C_{Tot} est donné par la formule :

$$C_{Tot} = C_{Mod} + C_{Ond} + C_{Bat} + C_{Rég} + C_{cab} + C_{acc} + C_{Mai} \quad (III.19)$$

Tableau (III.11) : L'investissement total.

| Appareils | Nombre | Prix en dinar algérien | Investissement en (DA) |
|-----------------------|--------|---------------------------------------|------------------------|
| Panneaux | 24 | 33000 | 792000 |
| Batteries type | 4 | 55650 | 222240 |
| Régulateur solaire | 1 | 61200 | 61200 |
| Onduleur solaire | 1 | 351320 | 351320 |
| Câbles | | | 4000 |
| Accessoires + support | | | 172000 |
| L'armoire électrique | | | 40000 |
| Mains d'œuvre | | | 164276 |
| Total | | | 1807036 |
| | | TVA (19) % | 343336.84 |
| | | Coût total d'installation (DA) | 2150372.84 |

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

Tableau (III.12) : L'amortissement global de l'installation PV.

| Appareils | Investissement en (DA) | Durée de vie | Amortissement en dinar |
|--------------------------------------|------------------------|--------------|------------------------|
| Panneaux | 792000 | 30 | 26400 |
| Batteries type (GEL solaire VICTRON) | 222240 | 10 | 22224 |
| Régulateur solaire | 61200 | 8 | 7650 |
| Onduleur 5KW solaire | 351320 | 20 | 17566 |
| Câbles | 4000 | 35 | 115 |
| Accessoires + support | 172000 | 20 | 8600 |
| Total | | | 82555 |

III.4.2. Calcul de l'entretien et de la maintenance annuel total :

Le coût d'entretien total annuel du système est donné par l'expression :

$$E_{\text{Tot}} = N_m \times C$$

C : le prix en dinar de maintenance : 8000DA

$$E_{\text{Tot}} = 24 \times 8000 = 192000 \text{ DA}$$

III.4.3. Calcul des coûts sur la durée de vie :

Le coût global annuel de la valeur actualisée est calculé par l'expression suivante :

$$C_{\text{GA}} = A_{\text{Tot}} + E_{\text{Tot}} \quad (\text{II.24})$$

$$C_{\text{GA}} = 82555 + 192000 = 274555 \text{ DA/an.}$$

III.5. Présentation de logiciel de simulation PVSYST

Le programme PVSYST est un logiciel de simulation de systèmes photovoltaïques, développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève [41]. Ce logiciel est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet.

PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles [42].

On lance le logiciel PVSYST, l'interface suivante s'affiche :



Figure III.8 : Interface du logiciel PVSYST.

La simulation à base du logiciel PVSYST suit l'organigramme suivant :

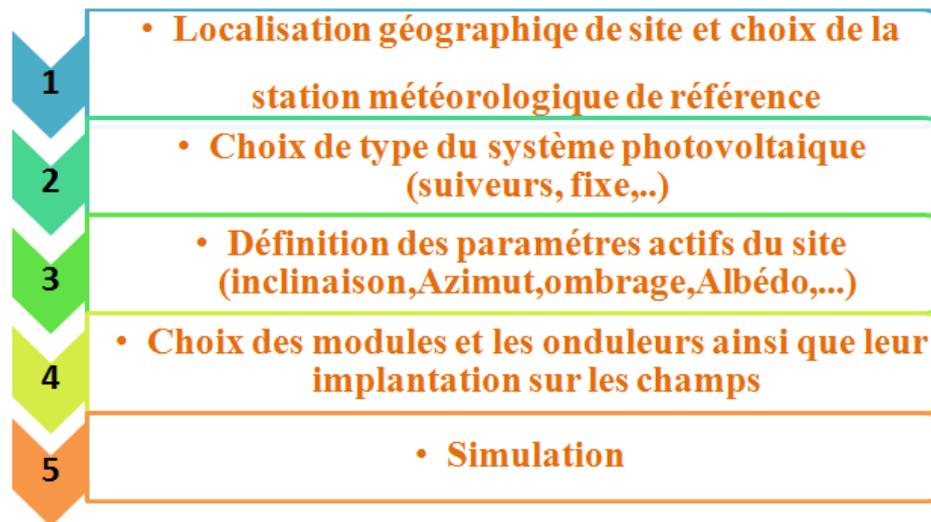


Figure III.9: Etapes de simulation avec PVSYST.

III.5.1. Conception et dimensionnement d'un système PV

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple :

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible,
- Choisir les modules PV dans la base de données interne,
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne.

III.6. Principaux résultats

III.6.1. Données météorologiques du site

Après avoir localisé le site, on clique sur le bouton « importer » pour importer les données météorologiques du site dans PVSYST, ces données mensuelles représentent l'irradiation, la température moyenne et la vitesse du vent :

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

| | Rayonnement | | Température | | Précipitations | | | |
|-----------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------|----------|-----------|--|
| | Durée d'insolation | | Rayonnement global journalier | | | | | |
| | Température journalière | | Tableau de données | | | | | |
| | Gh kWh/m ² | Gk kWh/m ² | Dh kWh/m ² | Bn kWh/m ² | Ta °C | Td °C | FF m/s | |
| Janvier | 105 | 0 | 26 | 182 | 6,6 | -0,5 | 2,6 | |
| Février | 123 | 0 | 36 | 169 | 8,1 | -0,8 | 3,1 | |
| Mars | 172 | 0 | 43 | 219 | 11,9 | 0,6 | 3,4 | |
| Avril | 206 | 0 | 50 | 240 | 15,9 | 2,7 | 3,6 | |
| Mai | 225 | 0 | 71 | 216 | 20,7 | 5 | 3,4 | |
| Juin | 231 | 0 | 73 | 219 | 26,5 | 7,2 | 3,2 | |
| Juillet | 230 | 0 | 80 | 205 | 30,8 | 7,5 | 3 | |
| Août | 211 | 0 | 75 | 193 | 29,2 | 9 | 2,8 | |
| Septembre | 176 | 0 | 52 | 199 | 24 | 8,9 | 2,8 | |
| Octobre | 151 | 0 | 37 | 204 | 18,6 | 6,7 | 2,5 | |
| Novembre | 116 | 0 | 24 | 197 | 11,1 | 3,2 | 2,6 | |
| Décembre | 98 | 0 | 24 | 174 | 7,4 | 1,3 | 2,4 | |
| Année | 2038 | 0 | 589 | 2410 | 17,6 | 4,2 | 3 | |

Figure III.10: Caractéristiques climatiques du site de Naâma (mecheria).

III.7. Résultats de simulation

III.7.1 Le cas de sans climatiseur

Après la simulation par le PVSYST on obtient un rapport voire les figures suivantes :

Pour la simulation de système autonome avec stockage :

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| PVSYST V6.81 | | 20/06/23 | Page 1/5 | | | | | | |
| Système isolé: Paramètres de simulation | | | | | | | | | |
| Projet : Nouveau Projet | | | | | | | | | |
| Site géographique | Meohria | Pays | Algeria | | | | | | |
| Situation | Latitude | 33.56° N | Longitude 0.27° E | | | | | | |
| Temps défini comme | Temps légal | Fus. horaire TU | Altitude 1180 m | | | | | | |
| | Albédo | 0.20 | | | | | | | |
| Données météo: | Meohria | NASA-GSE satellite data 1983-2005 - Synthétique | | | | | | | |
| Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation | | | | | | | | | |
| | Date de la simulation | 20/06/23 à 16h58 | | | | | | | |
| Paramètres de simulation | Type de système | Système isolé avec batteries | | | | | | | |
| Orientation plan capteurs | Inclinaison | 33° | Azimut 0° | | | | | | |
| Modèles utilisés | Transposition | Perez | Diffus Perez, Meteorom | | | | | | |
| Besoins de l'utilisateur : | Consomm. domestique moyenne | Constants sur l'année 19.9 kWh/Jour | | | | | | | |
| Caractéristiques du champ de capteurs | | | | | | | | | |
| Module PV | Si-poly | Modèle | C93U-326P-AG | | | | | | |
| Base de données PVsyst originale | | Fabricant | Canadian Solar Inc. | | | | | | |
| Nombre de modules PV | | En série | 3 modules | | | | | | |
| | | En parallèle | 6 chaînes | | | | | | |
| Nombre total de modules PV | | 18 | Puissance unitaire 325 Wc | | | | | | |
| Puissance globale du champ | Nominale (STC) | 6.86 kWc | Aux cond. de fonct. 5.29 kWc (50°C) | | | | | | |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | U mpp | 102 V | I mpp 52 A | | | | | | |
| Surface totale | Surface modules | 36.7 m² | Surface cellule 31.8 m² | | | | | | |
| Paramètres du système | | | | | | | | | |
| | Type de système | Système isolé | | | | | | | |
| Batterie | | Modèle | MPG 12V 160 F | | | | | | |
| | | Fabricant | Narada | | | | | | |
| Caractéristiques du banc de batteries | Nombre d'unités | 4 en série | | | | | | | |
| | Tension | 48 V | Capacité nominale 150 Ah | | | | | | |
| | Décharge: min. SOC | 10.0 % | Energie stockée 6.7 kWh | | | | | | |
| | Température | Fixée (25°C) | | | | | | | |
| Régulateur | | Modèle | Universal controller with MPPT converter | | | | | | |
| | | Technologie | MPPT converter | | | | | | |
| | | Coeff. de temp. | -5.0 mV/°C/elem. | | | | | | |
| Convertisseur | Efficacité maxi et EURO | 97.0 / 95.0 % | | | | | | | |
| Seuils de régulation batterie | Seuils de commande selon Charge | SOC calculation | | | | | | | |
| | | SOC = 0.95 / 0.80 | I.e. approx. 62.3 / 50.9 V | | | | | | |
| | Décharge | SOC = 0.10 / 0.35 | I.e. approx. 44.6 / 48.6 V | | | | | | |
| Facteurs de perte du champ PV | | | | | | | | | |
| Fact. de pertes thermiques | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | |
| Perte ohmique de câblage | Rés. globale champ | 33 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | |
| Perte diode série | Chute de tension | 0.7 V | Frac. pertes 0.6 % aux STC | | | | | | |
| Perte de qualité module | | | Frac. pertes -0.4 % | | | | | | |
| Perte de "mismatch" modules | | | Frac. pertes 1.0 % au MPP | | | | | | |
| Perte de "mismatch" strings | | | Frac. pertes 0.10 % | | | | | | |
| Effet d'incidence (IAM): Profil personnalisé | | | | | | | | | |
| | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° |
| | 0.998 | 0.998 | 0.995 | 0.992 | 0.986 | 0.970 | 0.917 | 0.763 | 0.000 |

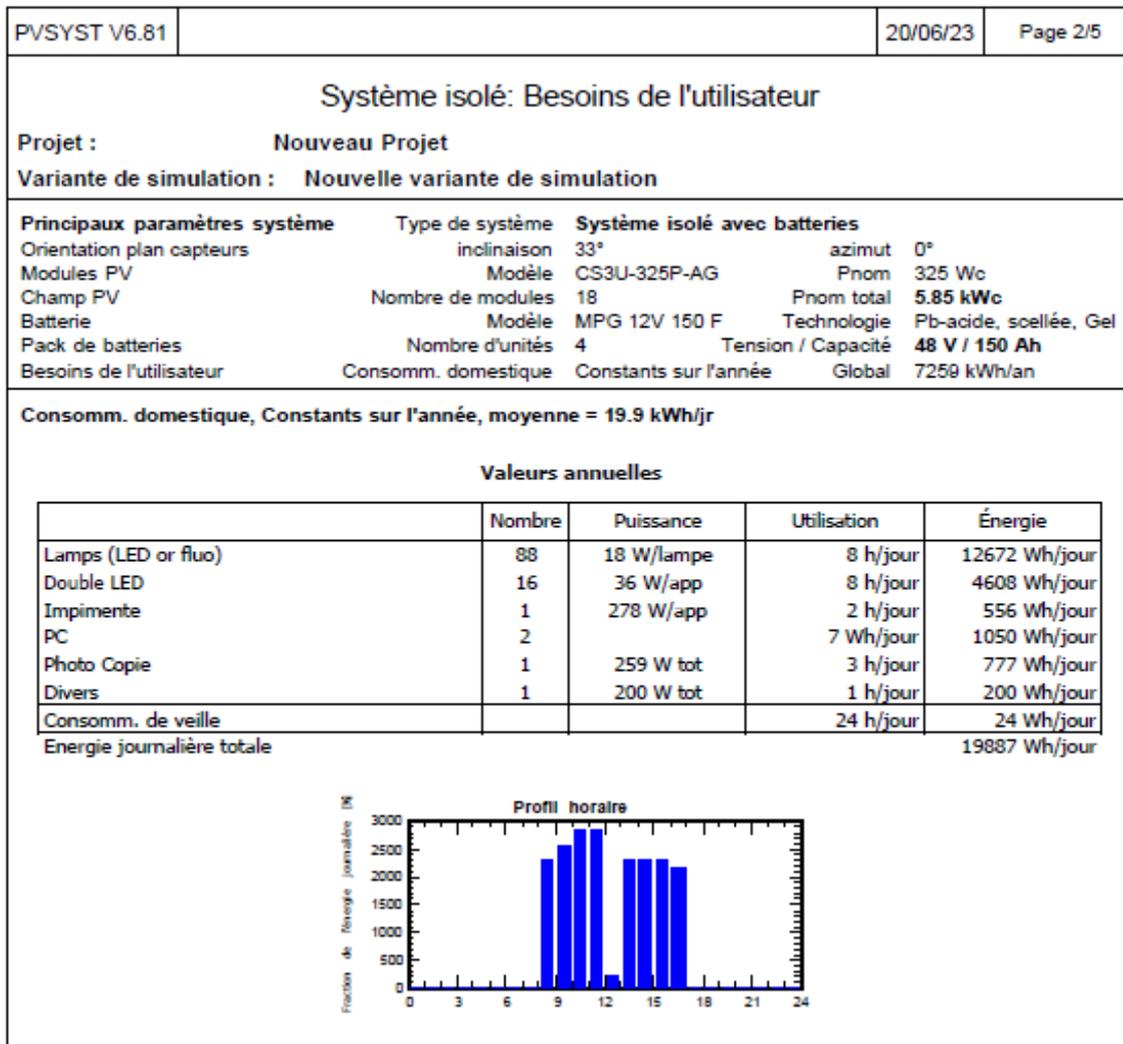


Figure III. 11 : Paramètres de simulation pour le système autonome avec stockage.

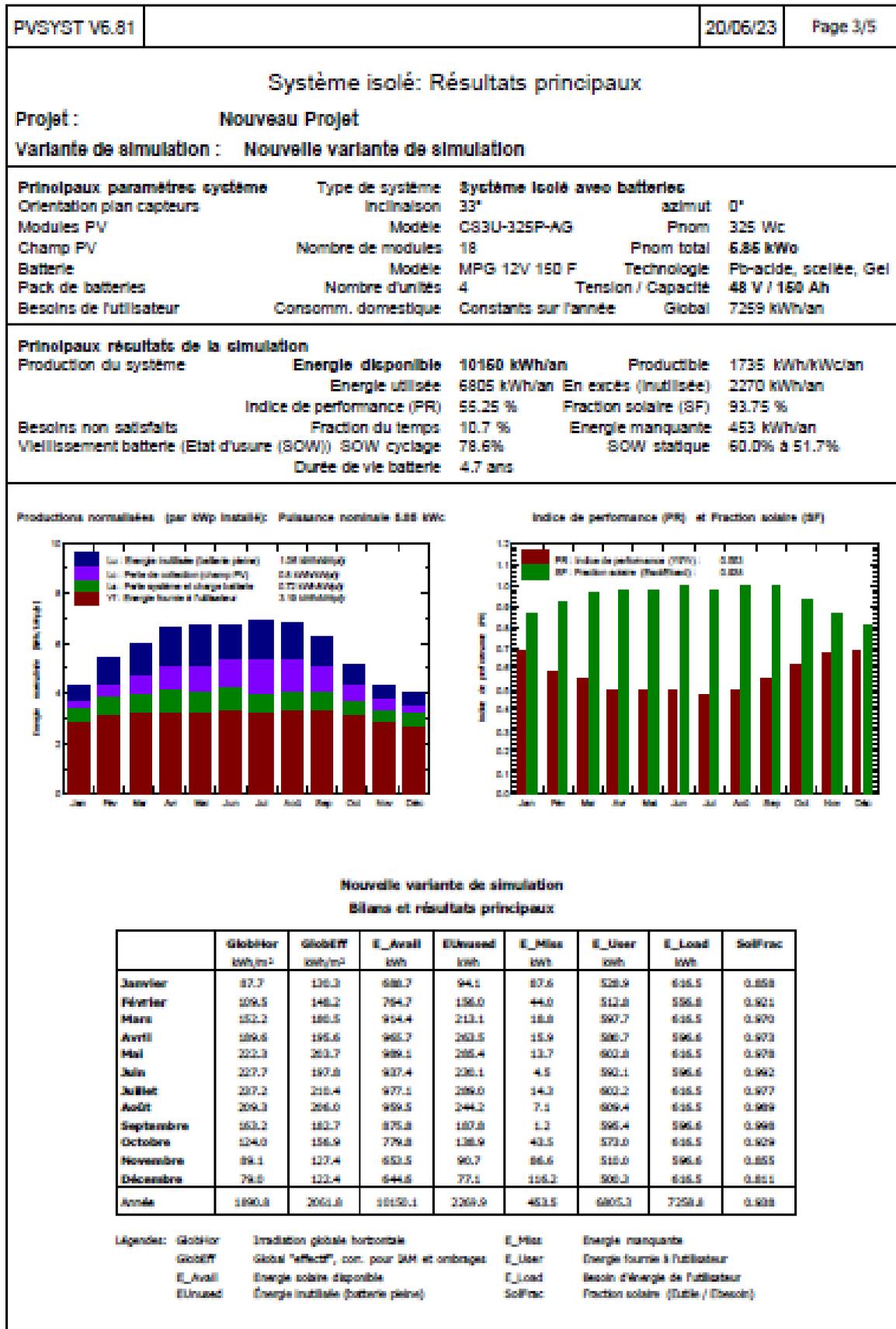


Figure III.12 : Analyse énergétique pour le système autonome avec stockage.

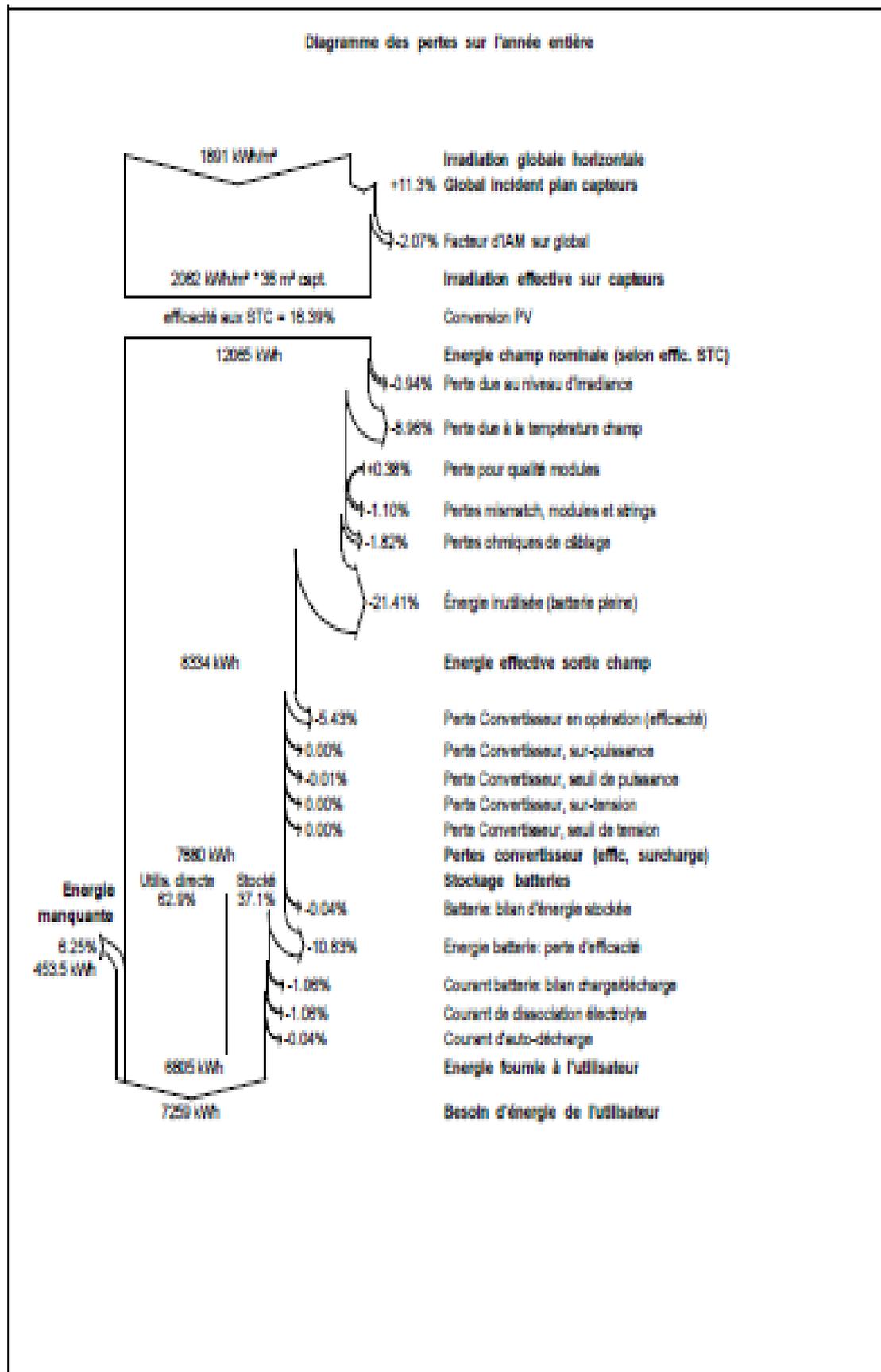


Figure III .13 : Diagramme de perte dans le système autonome avec stockage.

Chapitre III Application sur l'école primaire les frères Boumediene Naâma

III.7.2 Le cas d'avec climatiseur

Après la simulation par le PVSYST on obtient un rapport voire les figures suivantes :

Pour la simulation de système autonome avec stockage :

| PVSYST V6.81 | | 20/06/23 | | Page 1/5 | | | | | |
|---|------------------------------------|--|---|----------------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Système isolé: Paramètres de simulation | | | | | | | | | |
| Projet : | | Nouveau Projet | | | | | | | |
| Site géographique | Meohria | Pays | Algeria | | | | | | |
| Situation | Latitude | 33.56° N | Longitude | 0.27° E | | | | | |
| Temps défini comme | Temps légal | Fus. horaire TU | Altitude | 1180 m | | | | | |
| | Albédo | 0.20 | | | | | | | |
| Données météo: | Meohria | NASA-GSE satellite data 1983-2005 - Synthétique | | | | | | | |
| Variante de simulation : | | Nouvelle variante de simulation | | | | | | | |
| | Date de la simulation | 20/06/23 à 01h10 | | | | | | | |
| Paramètres de simulation | Type de système | Système isolé avec batteries | | | | | | | |
| Orientation plan capteurs | Inclinaison | 33° | Azimut | 0° | | | | | |
| Modèles utilisés | Transposition | Perez | Diffus | Perez, Meteonorm | | | | | |
| Besoins de l'utilisateur : | Consomm. domestique moyenne | Constants sur l'année 27.9 kWh/Jour | | | | | | | |
| Caractéristiques du champ de capteurs | | | | | | | | | |
| Module PV | Si-poly | Modèle | CS3U-326P-AG 1600V | | | | | | |
| Base de données PVSyst originale | | Fabricant | Canadian Solar Inc. | | | | | | |
| Nombre de modules PV | | En série | 4 modules | En parallèle | 6 chaînes | | | | |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 24 | Puissance unitaire | 325 Wc | | | | |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 7.80 kWc | Aux cond. de fonct. | 7.06 kWc (50°C) | | | | |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 136 V | I mpp | 52 A | | | | |
| Surface totale | | Surface modules | 47.8 m² | Surface cellule | 42.4 m² | | | | |
| Paramètres du système | Type de système | Système isolé | | | | | | | |
| Batterie | | Modèle | MP6 12V 200 | | | | | | |
| | | Fabricant | Narada | | | | | | |
| Caractéristiques du banc de batteries | | Nombre d'unités | 4 en série x 3 en parallèle | | | | | | |
| | | Tension | 48 V | Capacité nominale | 600 Ah | | | | |
| | Décharge: min. SOC | 10.0 % | Energie stockée | 26.7 kWh | | | | | |
| | Température | Fixée (25°C) | | | | | | | |
| Régulateur | | Modèle | Universal controller with MPPT converter | | | | | | |
| | | Technologie | MPPT converter | Coeff. de temp. | -5.0 mV/°C/elem. | | | | |
| Convertisseur | Efficacité max et EURO | 97.0 / 95.0 % | | | | | | | |
| Seuils de régulation batterie | Seuils de commande selon | SOC calculation | | | | | | | |
| | Charge | SOC = 0.96 / 0.80 | I.e. approx. | 61.6 / 50.9 V | | | | | |
| | Décharge | SOC = 0.10 / 0.35 | I.e. approx. | 44.9 / 48.6 V | | | | | |
| Facteurs de perte du champ PV | | | | | | | | | |
| Fact. de pertes thermiques | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (vent) | 0.0 W/m²K / m/s | | | | | |
| Perte ohmique de câblage | Rés. globale champ | 44 mOhm | Frac. pertes | 1.5 % aux STC | | | | | |
| Perte diode série | Chute de tension | 0.7 V | Frac. pertes | 0.5 % aux STC | | | | | |
| Perte de qualité module | | | Frac. pertes | -0.4 % | | | | | |
| Perte de "mismatch" modules | | | Frac. pertes | 1.0 % au MPP | | | | | |
| Perte de "mismatch" strings | | | Frac. pertes | 0.10 % | | | | | |
| Effet d'incidence (IAM): Profil personnalisé | | | | | | | | | |
| | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° |
| | 0.998 | 0.998 | 0.995 | 0.992 | 0.986 | 0.976 | 0.917 | 0.763 | 0.000 |

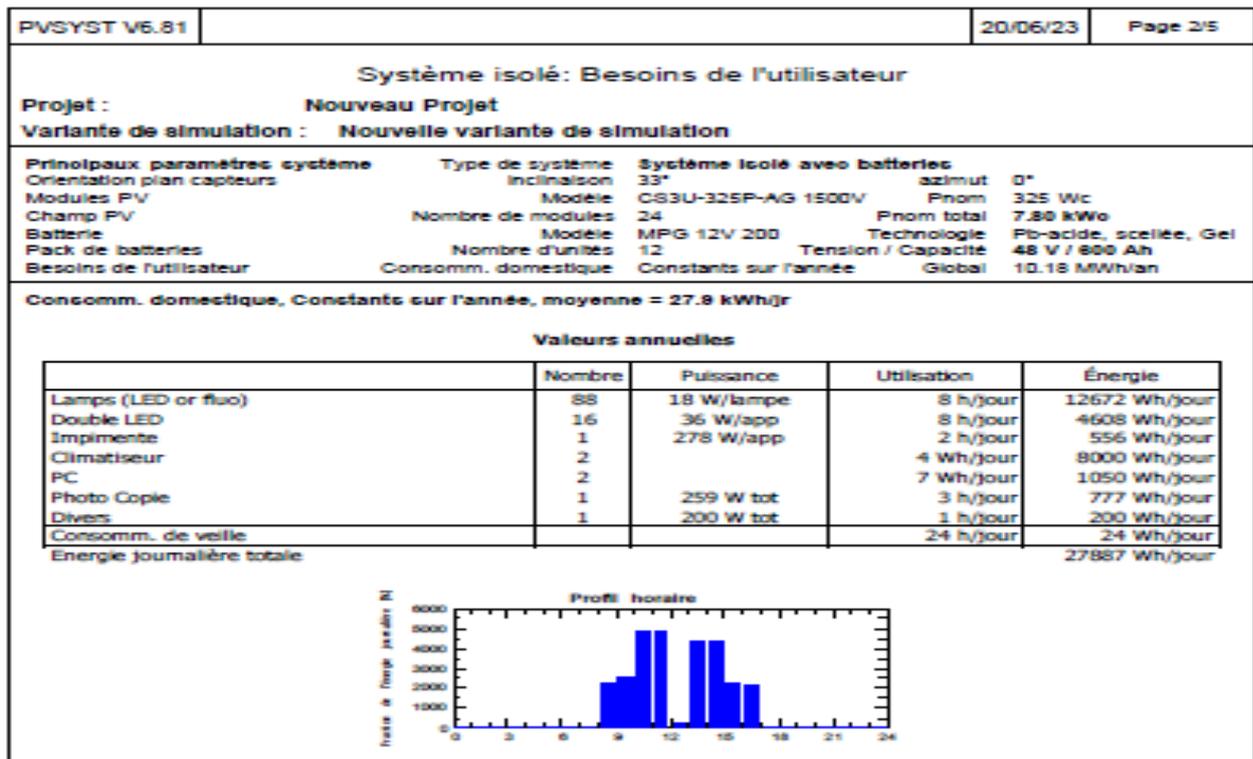


Figure III. 14 : Paramètres de simulation pour le système autonome avec stockage (avec climatiseur).

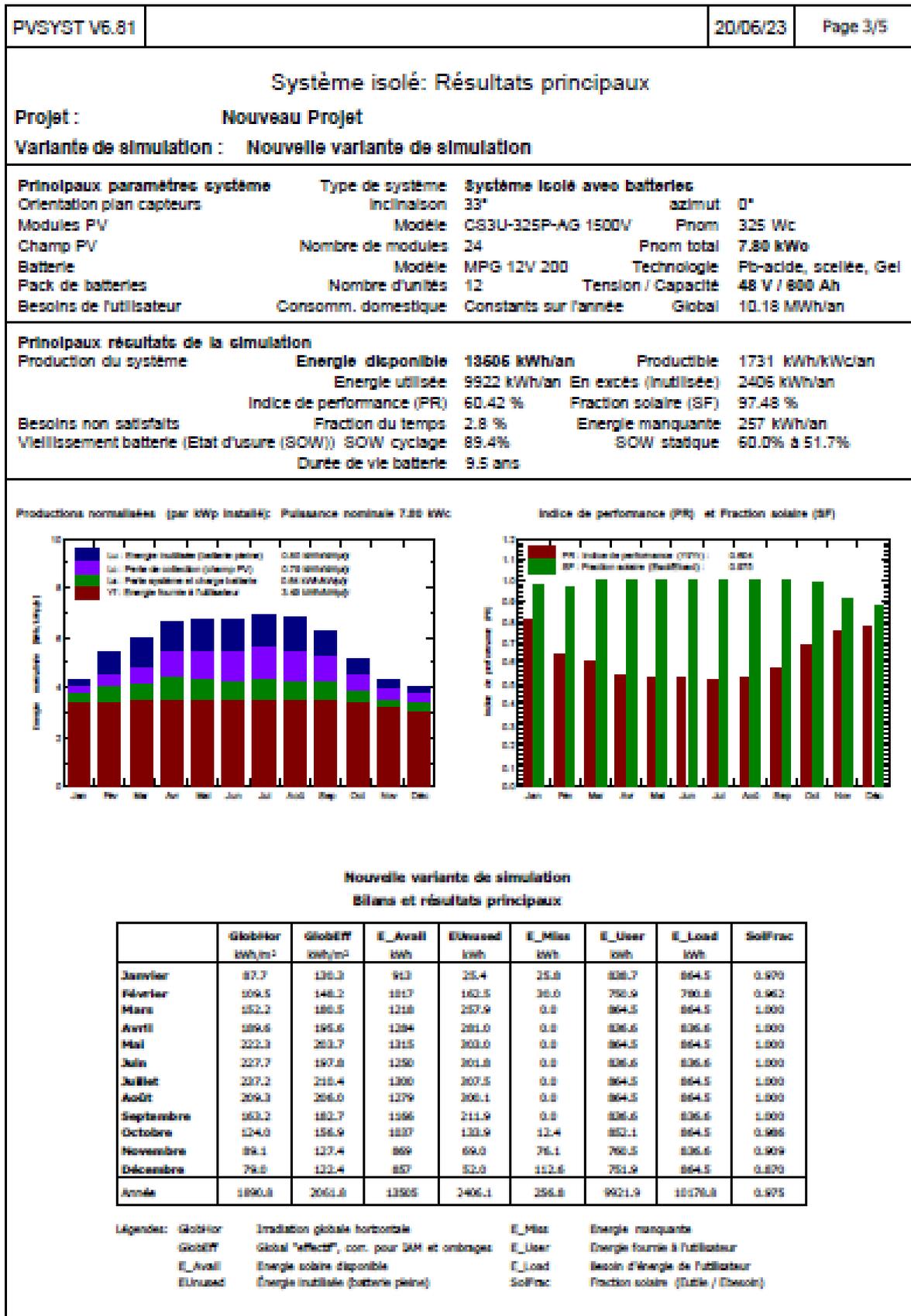


Figure III.15 : Analyse énergétique pour le système autonome avec stockage (avec climatiseur).

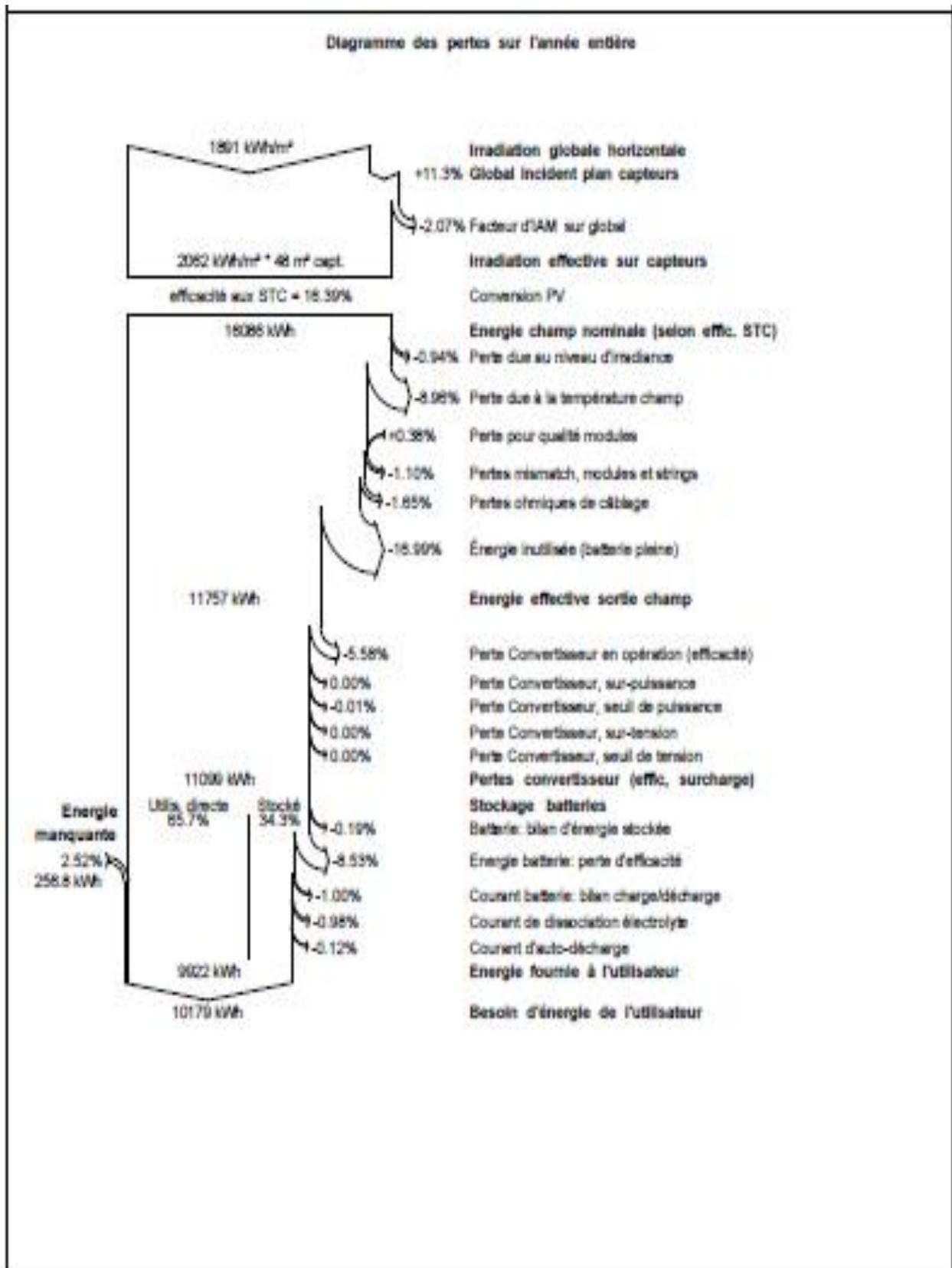


Figure III .16 : Diagramme de perte dans le système autonome avec stockage (avec climatiseur).

Tableau (III.13) : comparaison entre les deux cas

| Elément | Sans climatiseur | Avec climatiseur |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| Nombre des panneaux | 18 | 24 |
| Choix de l'onduleur (W) | 5000 | 8000 |
| Capaciter de stockage (Ah) | 517.26 | 725.6 |
| Énergie consommée (Wh/j) | 19863 | 27863 |
| L'investissement total (DA) | 1506986.25 | 2150372.84 |

1- Calcul du taux de consommation de la climatisation

On a l'énergie consommée dans le 1^{er} cas sans climatiseur est 19863 Wh/j et dans le 2-ème cas avec climatiseur est 27863 Wh/j alors la différence entre les deux est 8000 Wh/j

$$\tau = \frac{8000 \times 100}{19863} = 40.28 \%$$

2- Différence des coûts

$$2150372.84 - 1506986.25 = 643386.59 \text{ DA}$$

III.4.4. Discussion les résultats :

Une comparaison des résultats des dimensionnements a été faite avec deux cas : sans et avec climatisation. On remarque que l'énergie consommée a augmenté de 40 % donc automatiquement investissement et augmente alors on peut prendre plusieurs solutions pour la climatisation comme isolation ou ventilation ou on applique le puits Canadien pour diminuer l'énergie consommée de l'école.

III.4.4. La solution de Puits Canadien :

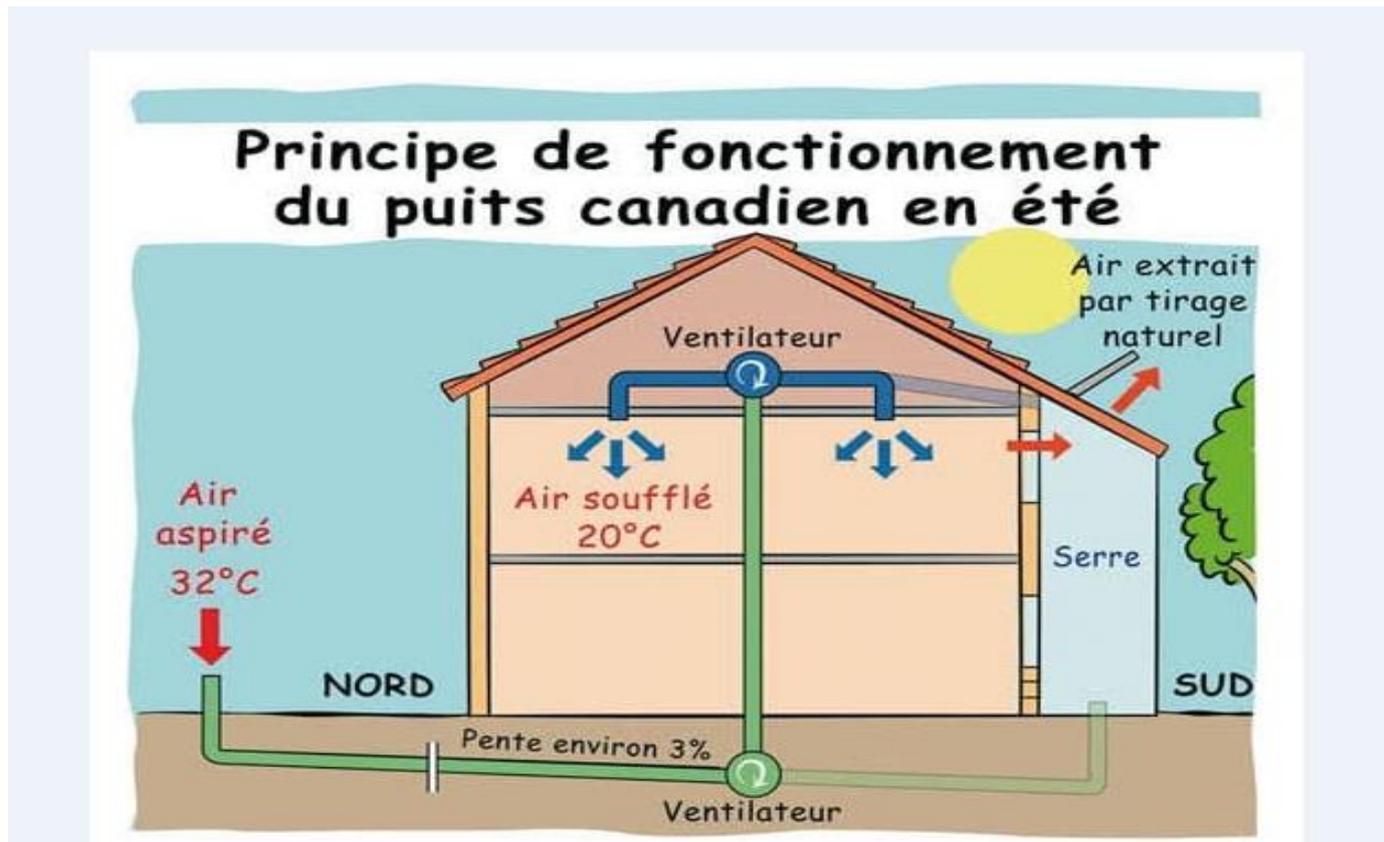


Figure III .17 : Principe de fonctionnement du Puit Canadien en été [43].

III.4.4.1 Définition

L'échangeur air-sol communément appelé "puits canadien", "puits climatique" ou encore "puits provençal", est un système semi-passif qui exploite la géothermie du sol, sachant qu'à 2,5 m de profondeur celui-ci a une température quasi-constante. Cet échangeur (dont le concept est très ancien, 3000 ans avant J.-C) est aujourd'hui largement utilisé dans les secteurs résidentiel et agricole afin de contrôler la température des bâtiments. [44].

III.4.4.2 Principe de fonctionnement :

Le puits canadien est un système permettant de tempérer les arrivées d'air utilisées pour la ventilation des constructions. Ce système peut être utilisé pour tout type d'édifice, que ce soit du résidentiel, tertiaire ou agricole. Il s'agit de faire passer l'air neuf extérieur dans une gaine souterraine dans le but de rapprocher sa température à celle du sous-sol, qui est pratiquement constante à partir d'une profondeur d'environ 3m. [44].

Conclusion

Ce chapitre s'est essentiellement porté sur le dimensionnement pour l'installation de l'école primaire les frères Boumediene Naâma (mecheria). Les valeurs de l'irradiation solaire se sont basées sur logiciel pvgis. Une comparaison des résultats du dimensionnement a été faite avec le logiciel pvsyst.

Les climatiseurs consomment environ la moitié de l'énergie totale de l'école primaire, ce qui augmente les dépenses presque le double. Par conséquent, nous avons décidé d'éliminer les climatiseurs et les remplacer par un système de puits canadien. Car le puits canadien ne refroidit pas seulement l'administration, il refroidit toute l'école et peut également être utilisé comme chauffage en hiver.

A decorative border with black floral and leaf motifs surrounds a central white rectangular area. The border features stylized flowers, leaves, and swirling lines.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

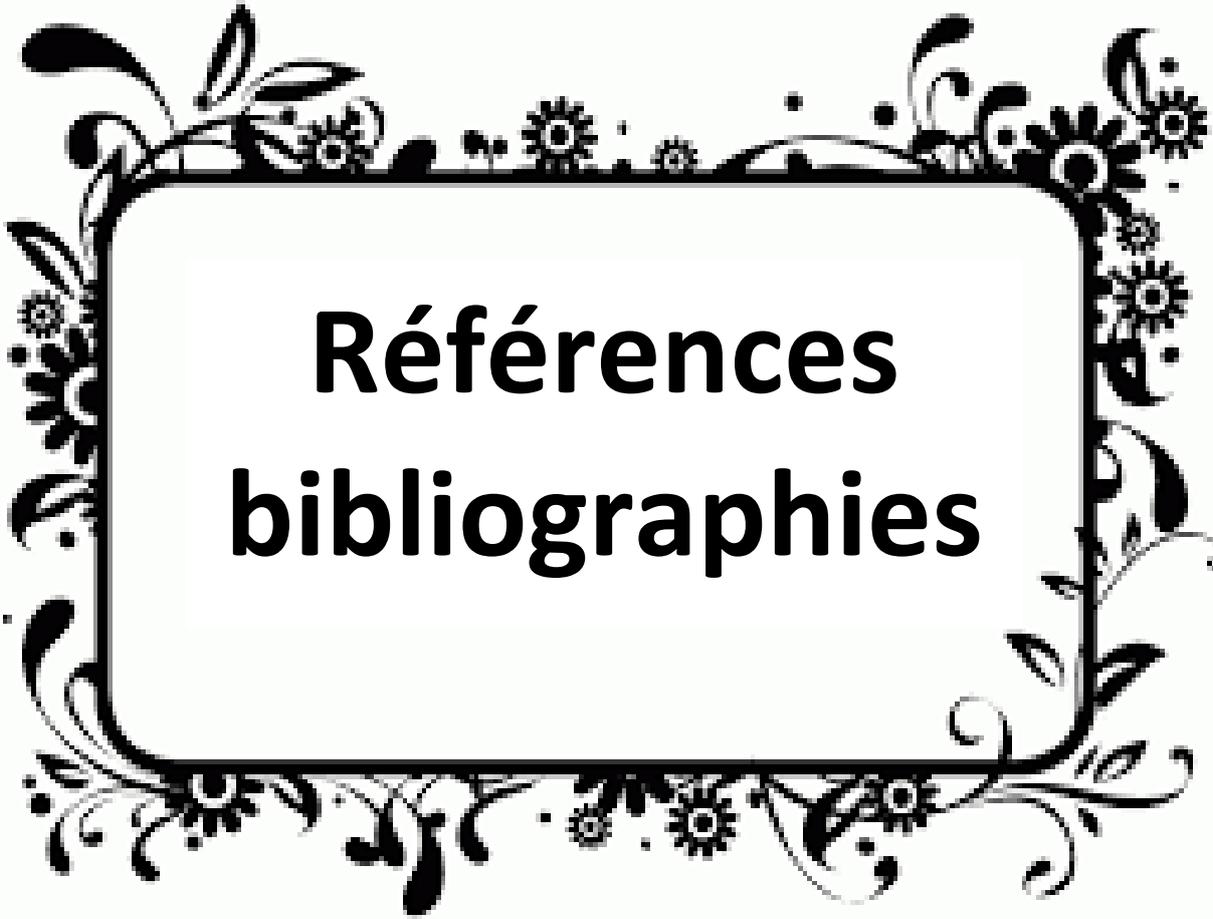
Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles de l'énergie renouvelable, celle de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie solaire photovoltaïque présente donc un intérêt particulier pour les pays en voie de développement : elle est susceptible d'améliorer très rapidement et moyennant un coût optimal les conditions de vie et de productivité des habitations géographiquement dispersées. En premier lieu nous avons présenté les systèmes photovoltaïques et leurs caractéristiques principales, leurs différents composants principaux. Ensuite nous avons présenté les différents paramètres et équations permettant de réaliser le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour un site précis. Enfin nous avons réalisé une estimation du générateur PV, basé sur le profil de consommation et l'apport énergétique du lieu. La mise en oeuvre de cette méthode a été effectuée à l'aide du logiciel PVSYST. Ce logiciel répond correctement aux choix des composants constituant notre installation.

Les résultats de dimensionnement sont conditionnés par les paramètres de base (Irradiation solaire, température ambiante et profil de consommation), afin d'aboutir à une meilleure optimisation des installations PV qui demeure l'objectif principal de tout installateur du système PV. L'étude technique a été complétée par une évaluation économique et écologique de l'installation photovoltaïque.

En conclusion on peut dire que l'étude technique et économique du système photovoltaïque a montré que la filière photovoltaïque se présente comme un investissement intéressant qui peut jouer un rôle très important non seulement d'économiser de l'énergie mais aussi de la revendre et réaliser ainsi un bon bénéfice pour couvrir les besoins de base en électricité, puisque près d'un tiers de la population mondiale vit sans accès à l'électricité principalement dans les pays en voie de développement.

D'après l'évaluation économique et écologique effectuée, on peut en conclure que le photovoltaïque représente une solution réelle de remplacement des énergies fossiles par une énergie verte, performante et lucrative.

A decorative border with black floral and leaf motifs surrounds a central white rectangular area. The border features stylized flowers, leaves, and swirling lines.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] ANNE. LAURE HANFF, Olivier bertrand et Benoit, guide pratique 2006 à l'usage des entreprises en lorraine . Mireille Wagner, Directeur Général de la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Moselle, **mars 2006**.
- [2]https://www.google.com/search?q=1%27%C3%A9nergie+renouvelable&sxsrf=AOaemvK3Ewd3GbPvKIoP4xKeAasLxDjBeA:1630759490348&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj7iovBrOXyAhX7CmMBHRp9CCgQ_AUoAXoECAEQAw&biw=962&bih=488&dpr=1.25
- [3] : J.-L. L'APOTRE, P. PLOUVIEZ, " Les énergies renouvelables : le photovoltaïque et l'éolien ", CAP,Bac Pro eleec, Bac ST12D, Edition Casteilla, **2012**.
- [4] : MATALLAH SORYA, " Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla ", mémoire de master en énergie renouvelable, UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU, **juin 2015**.
- [5] : SERGE BAILLARGEON, " Energie hydraulique : Les avantages & inconvénients ", septembre **2015**.
- [6] : BERNARD WIESENFELD, " Promesses et réalités des énergies renouvelables ", edp Sciences, **2013**.
- [7] : MEGHELLET HANINE – HOCINE LYNDIA Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque
- [8] HALOUANE ASSIA Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque / Mémoire de master / UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES.
- [9] S. SAADI, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, Mémoire de Magister en physique ; UMC, **2010**.
- [10] Production d'énergie électrique :Energie solaire photovoltaïque ». **B. Flèche - D. DELAGNES / juin 07** Approche générale.
- [11] - ANNE LABOURET, MICHEL VILLOZ : « Energie solaire photovoltaïque », Dunod 3ème édition **2006**
- [12] développement de cellules photovoltaïques à hétérojonctions silicium contact et en face arrière ». thèse doctorat **THIBAUT DESRUSE 2009** l'institut national des sciences appliquées de Lyon.
- [13]https://www.google.com/search?q=repr%C3%A9sentation+graphique+des+spectres+AM0+et+AM1.5++&tbm=isch&ved=2ahUKEwjY7q3FrOXyAhUC-BoKHbpdDm0Q2-cCegQIABAA&oq=repr%C3%A9sentation+graphique+des+spectres+AM0+et+AM1.5++&gs_lcp=CgNpbWcQA1D90idY_dInYNzdJ2gAcAB4AIABAIgBAJIBAJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=S2ozYZidEoLwa7q7uegG&bih=488&biw=962
- [14] - ANNE LABOURET, MICHEL VILLOZ : « Energie solaire photovoltaïque », Dunod 3èmeédition **2006**
- [15] AMAMRA NASREDDIN / Etude de l'énergie solaire photovoltaïque contrôle par ordinateur / mémoire de master / CENTRE UNIVERSITAIRE BELHADJ BOUCHAIB D'AIN-TEMOUCHENT

Références Bibliographiques

[16] **HALOUANE ASSIA** Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque / Mémoire de master / UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES.

[17] Directeur de Recherche/ **DR ABDERRAHMANE HAMIDAT** /Bulletin de recherche n°22 **2012**

[18] **ANDRE JOFFRE**/Ingénieur Arts et Métiers Président Directeur Général de Tec sol SA/ Énergie solaire thermique dans le bâtiment. Chauffe-eaux solaires

[19]https://www.google.com/search?q=repr%C3%A9sentation+graphique+des+spectres+AM0+et+AM1.5++&tbm=isch&ved=2ahUKEwjY7q3FrOXyAhUC-BoKHbpdDm0Q2-cCegQIABAA&oq=repr%C3%A9sentation+graphique+des+spectres+AM0+et+AM1.5++&gs_lcp=CgNpbWcQA1D90idY_dInYNzdJ2gAcAB4AIABAIgBAJIBAJgBAKABAAoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=S2ozYZidEoLwa7q7uegG&bih=488&biw=962

[20] Ministère de l'énergie et des mines : « site internet », Conception et réalisation SATINFO, et Société du Groupe Sonelgaz, programme des énergies et de l'efficacité, **Mars 2011 (2011)**.

[21](<http://tpe-energie-solaire.e-monsite.com/pages/science-et-technique/energiephotovoltaique/avantages-et-inconvenients-du-photovoltaique.html>)

[22] : **Mlle ZERROUKI ZOLIKHA & Mlle BEREKSI REGUIG RYM** Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, mémoire master, UNIVERSITÉ ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN, **2017**.

[23] : **ZIDANE NOURDDINE** ; Étude et Dimensionnement des Systèmes de Production d'Énergies Renouvelables, mémoire Magister en Electrotechnique, UNIVERSITE FERHAT ABBAS — SETIF1 (ALGERIE), **02/12 / 2014**.

[24] : **SMAIL SEMAOUI**, Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque Soutenu, Mémoire MAGISTER, le: **23 / 06 /2014**.

[25] : **ZIDANE AMMAR**, «Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque au niveau d'un puits de gaz» Mémoire de Master, UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAÏA (**Promotion Juin 2012**).

[26] : **IAMARENE SAMIR** «Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour un site (BTS, BSC) du réseau télécom wania», Mémoire de Master, UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAÏA (**19/09/2012**).

[27] : **BENCHERIF MOHAMMED**, « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension », Thèse de doctorat, UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAÏDE DE TLEMCEN.

[28] : **B. Chikh-Bled, I.Sari-Ali Et B. Benyoucef**, Revue Internationale technique, « Méthode de dimensionnement optimal d'une installation photovoltaïque », N° 41 (**2010**)25-30 ,UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAÏD, FACULTE DES SCIENCES.

[29] : **J. JEAN**, "*Réseaux d'éclairage public*", mémoire Master: formation à distance migies, **2010**.

[30] :<http://www.photovoltaique.guidenr.fr/coursphotovoltaiqueautonome/coursphotovoltaique-autonome.php>.

Références Bibliographiques

[31] : **FOGELMAN & Régis MONTLOIN**, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé » livre édité par: EDISUD, **1983**.

[32] : **PIERRE VANGELUWE** «Solaire photovoltaïque » Power green- solaire développement durable, Génie électrique, **2005**.

[33] : **BENMAHREZ, B., F. OUDIHAT**. Etude et dimensionnement d'une alimentation solaire pour les locaux administratifs de la société IFRI. Mémoire d'ingénieur, UNIVERSITE DE BEJAIA, (**2010**).

[34] : **ZINAI NOUZHA**. Conception et réalisation d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes. Mémoire de master, Energie solaire photovoltaïque. Sidi Bel Abbés : UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES, **2012**.

[35]: **BOUZID ALLAL ELMOUBAREK, AZIZI MOHAMMED**. Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme, Étude de l'onduleur triphasé lie a cetteapplication. Mémoire d'ingénieur d'état, Electrotechnique. Oran : Université des Sciences et de la Technologie d'Oran «Mohammed Boudiaf » **2008**.

[36]: **B. BOUZIDI, A. MALEK ET M. HADDADI**. Rentabilité économique des systèmes de pompage photovoltaïques. Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N°3 (**2006**).

[37] : **LOUAZENE, MOHAMED LAKHDAR**. Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla. Mémoire de Magister. Maitrise d'Energie, Batna : UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR-BATNA, **2008**.

[38] : Google Earth, information géographique sur le lieu
<https://maps.app.goo.gl/jN5uU3p9kEfSKhU7>

[39] : <https://photovoltaïque-energie.fr/pvgis-logiciel-en-ligne-de-simulation.html>

[40] : www.solarwold.fr

[41] : **MOSTAHSINE SMAIL**, «Etude comparatif de panneaux solaires photovoltaïques à Ifrane», Rapport de licence, UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH

16 Jin 2015.

[42] : **BOUKHLIF HAMZA**, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw », Mémoire de Master, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDES , promotion **juin 2017**.

[43] : <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.terrevivante.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F05%2Fle-puits-canadien-2.jpg&tbid=WE4gZfGVOuWyWM&vet=1&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.terrevivante.org%2Fcontent%2Fle-puits-canadien-fonctionne-ete-comme-hiver%2F&docid=geggfwmecpLbmM&w=549&h=487&hl=en&source=sh%2F%2Fim%2F2>

[44] : Elaboré par **Pr. A. HAMID**. Cours de Géothermie M2