

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Salhi Ahmed – NAAMA

Institut des Sciences et de Technologie

Département de Technologie



MEMOIRE

En vue de l'obtention du **diplôme de Master** en : **Électrotechnique**

Option : **Énergies Renouvelables**

Présenté Par : DAHHANE mohammed

BENDEBICHE abderrahman

MANSOUR ibrahim

Intitulé

Étude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque (au lycée des frères barrani (mecheria wilaya de naâma

Soutenu, devant le jury composé de :

Président	Nom et Prénom	Grade	Affiliation
Encadreur	LAHCENE Mohamed Rida	Grade	Affiliation
Co-encadreur	Nom et Prénom	Grade	Affiliation
Examineur	Nom et Prénom	Grade	Affiliation
Examineur	Nom et Prénom	Grade	Affiliation

Session : (JUN 2021)
Promotion : 2020 / 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



REMERCIEMENTS

*.Nous tenons tout d'abord à remercier DIEU le Tout
Puissant et Miséricordieux, qui nous A Donné la force et la
patience d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous remercions tout particulièrement notre promoteur
Mr LAHCENE REDA , qui a proposé et dirigé ce travail pour
ses précieux conseils, orientations, patience qui ont constitué
un apport considérable sans lesquels ce travail n'aurait pas
pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un
hommage vivant à ses hautes qualités humaines.*

*Nous remercions également les membres du jury qui ont fait l'honneur
de bien vouloir examiner ce travail*

*Nos vifs remerciements vont également du fond du cœur à
tous nos enseignants durant notre formation universitaire,
à tous nos amis*

Dédicace

Je dédie ce mémoire

- *A mes chers parents, pour leurs sacrifices, leurs patiences, leurs amours, leurs soutiens et leurs encouragements.*
 - *A ma femme qui m'a soutenu jusqu'à Finir.*
 - *A mon frère et a ma sœur, je leur souhaite tout le succès et de la réussite dans votre vie.*
 - *A toute ma famille, pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours raccordé.*
 - *À mon fils et ma fille que. j'aime beaucoup.*
 - *A tous mes amies, je vous souhaite le courage et le succès dans votre vie.*
 - *Ainsi qu'à toutes les personnes que je connais de près ou de loin et que j'ai omis de citer.*
- ainsi à mes professeurs qui ont cru en moi et m'ont aidé à avancer dans ma vie.*

Dahhane mohammed

Dédicace

*D'abord, on remercie infiniment le dieu
le tout puissant qui nous a donné la force et le courage pour
terminer ce modeste travail.*

*En effet, je le dédie à ceux qui sont le nerf
de ma vie et qui ont sacrifié complètement pour que je
parvienne à ce niveau ... à mes très chers parents que dieu
les garde et leur accorde un très tôt pèlerinage et une longue
vie pleine de santé..*

*À mes chères sœurs –Hanane- et mes chers
« frère-belaid-Mohammed-Samir »
Ainsi qu'à toute la famille. Surtout tonton boutkhal
Et a mon meurs amies tosbih et ibrahim
Et à tous les étudiants de la cinquième année
Electrotechnique promotion
2020/2021.*

*Sans oublier mes mon frère nordine
En fin, je dédie ce mémoire à tous les gens que j'aime et qui
ont fait part dans mon coeur.*

Bendebiche abderrahman

Dédicace

Je dédie ce travail de recherche:

*À ma chère maman à qui je pense très
particulièrement et à laquelle je dois tellement
pour son affection.*

*À mon cher père que je chéris beaucoup, qui a été
toujours mon premier enseignant et le premier à me
soutenir en cas de besoin.*

*Je vous dis mon père que sans vous, je ne serais
jamais arrivé à ce niveau intellectuel.*

*À mes chers frères , chères soeurs auxquels je suis
redevable pour leurs encouragements.*

*À mon épouse. Tous les mots ne peuvent lui
exprimer ma gratitude et ma reconnaissance.*

À mon fils et ma fille que j'adore tellement.

Mansour ibrahim

SOMMAIRE

Remerciement.

Dédicaces.

Liste des figures.

Liste des Tableaux.

Liste des symboles

Résumé.

Introduction générale	1-2
❖ CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES	
I.1. Introduction	3
I.2. Production de l'énergie électrique	3
I.2.1. Les centrales hydroélectriques	4
I.2.2. Les centrales solaires ou photovoltaïques	5
I.2.3. Les centrales éoliennes	6
I.2.4. Les centrales thermiques ...	7
I.2.5. Les centrales nucléaires ...	8
I.3. L'énergie renouvelable	9
I.4. Conclusion	10
❖ CHAPITRE II: RAYONNEMENT SOLAIRE ET ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE	
II.1. Introduction	11
II.2. Soleil	11
II.2.1. Présentation Du Soleil	11
II.2.2. Mouvement Terre-Soleil	12
II.2.3. Coordonnées Terrestres	13
II.2.4. Position Du Soleil	13
II.2.5. Système De Coordonnées Equatorial	13
II.2.1. Système De Coordonnées Horizontal	14
II.2.2. Temps Solaires	14
II.2.3. Durée Du Jour	15
II.3. Orientation Du Capteur	15
II.3.1. Hauteur Du Capteur D_z	16
II.3.2. Azimut Du Capteur A	16
II.3.3. Angle D'inclinaison B	16
II.4. Rayonnement Solaire	17

SOMMAIRE

II.4.1. Répartition Spectrale Du Rayonnement Solaire	17
II.4.2. Constante Solaire	17
II.4.3. Masse D'air	17
II.4.4. Duree D'insolation	19
II.4.5. Composition Du Rayonnement Solaire	19
II.4.5.1. Rayonnement Direct	19
II.4.5.2. Rayonnement Diffuse	19
II.4.5.3. Rayonnement Reflechi (L'albedo)	20
II.4.5.4. Rayonnement Global	20
II.4.6. Les Instruments De Mesure Du Rayonnement Solaire	20
II.4.6.1. Rayonnement	20
II.4.6.2. Pyranometre	20
II.4.6.3. Pyrheliometre	20
II.4.6.4. Pyrradiometre Differentiel Ou Bilanmetre	21
II.4.7. Potentiel Solaire En Algerie	21
II.5. Conversion Photovoltaïque	22
II.5.1. Historique Des Cellules Solaires ...	22
II.5.2. Utilisation De La Jonction Pn Comme Capteur ...	22
II.5.3. Cellule Photovoltaïque	24
II.5.4. Le Silicium Et Ses Proprietes	24
II.5.5. La Technologie De Cellules Photovoltaïques	25
II.5.5.1. Silicium Polycristallin ...	26
II.5.5.2. Silicium Monocristallin ...	26
II.5.5.3. Silicium Amorphe En Couche Mince	26
II.5.6. Module Photovoltaïque	27
II.5.7. Caracteristiques Du Module Photovoltaïque	28
II.5.7.1. Puissance De Crete, P_c ...	28
II.5.7.2. Caracteristique $I=F(V)$...	28
II.5.7.3. Tension A Vide, V_{co}	28
II.5.7.4. Courant De Court-Circuit I_{cc}	28
II.5.7.5. Point De Fonctionnement Optimum	28
II.5.7.6. Rendement ...	28
II.5.7.7. Facteur De Forme ...	28
II.5.8. Panneau (Champ) Solaire	29

SOMMAIRE

II.5.9. Avantages Et Inconvénients De L'énergie Photovoltaïque	29
II.5.9.1. Avantages	29
II.5.9.2. Inconvénients ...	30
II.6. Conclusion	30
❖ CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE ...	
III.1. Introduction	31
III.1.1. Objectif général	31
III.1.2. Présentation du site étudié	31
III.2. Etapes pour dimensionner l'installation	32
III.3. Calcul de la consommation énergétique	33
III.3.1. Les besoins de l'application en énergie	33
III.3.1.1. Besoins de l'utilisation des différents appareils (Tableau II.2)	34
III.4. Détermination d'irradiation du site pour le dimensionnement	36
III.4.1. Période de l'ensoleillement	36
III.4.2. Le coefficient de perte	37
III.4.3. Irradiation moyenne dans l'année 2021	37
III.5. Détermination et importance de l'orientation et d'inclinaison des panneaux	38
III.5.1. Energie solaire récupérable	38
III.5.2. Orientation et inclinaison	38
III.5.3. Détermination de la puissance crête des panneaux	39
III.5.3.1. Calcul pratique de la puissance photovoltaïque	39
III.5.3.1.1 Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation	39
III.5.3.2. Calcul du nombre de panneaux	40
III.5.4. Dimensionnement et calcul du nombre de batterie	40
III.5.5. Profondeur de décharge	41
III.5.6. Calcul de la capacité de batterie	42
III.5.6.1. Nombre de batterie	42
III.5.7. Dimensionnement du régulateur et de l'onduleur	43

SOMMAIRE

III.6. Branchement des panneaux et batteries sur le régulateur	45
III.7. Calcul de la section des câbles	46
III.7.1. Étude de faisabilité	48
III.8. Conclusion	48
❖ CHAPITRE IV: SIMULATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	
IV.1. Introduction	49
IV.2. Tableaux de l'étude technico-économique des systèmes PV	49
IV.3. Installation et maintenance	50
IV.4. Installation mécanique et électrique	50
IV.4.1. Installation du générateur PV	50
IV.4.2. Installation des batteries de stockage	52
IV.5. Maintenance	53
IV.6. Mise à la terre du système	54
IV.7. Conclusion	59
Conclusion générale	60

LISTE DES FIGURES

❖ Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables	
Figure I.1 : Centrale hydro-électrique	4
Figure I.2 : Photo d'une centrale solaire	5
Figure I.3 : Photo d'une centrale éolienne	6
Figure I.4 : Les centrales thermiques à flamme	7
Figure I.5 : Centrale nucléaire	8
Figure I.6 : La part de l'énergie renouvelable dans la production mondiale	10
❖ Chapitre II : RAYONNEMENT SOLAIRE ET ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE	
Figure II.1 : Trajectoire de la Terre autour du soleil.	12
Figure II.2 : Repérage d'un site sur la surface terrestre..	13
Figure II.3 : Trajectoire de la Terre autour du soleil..	14
Figure II.4 : Temps Solaire.	15
Figure II.5 : Orientation et inclinaison d'un capteur solaire.	16
Figure II.6 : La constante solaire.	17
Figure II.7 : Nombre d'air masse AM	18
Figure II.8 : Spectre solaire en fonction de différentes valeurs, Air Mass	18
Figure II.9 : Héliographe de Campbell-Stokes.	19
Figure II.10 : Composantes du rayonnement solaire global	20
Figure II.11 : Différents instruments de mesure du rayonnement solaire.	21
Figure II.12 : Carte de l'irradiation en Algérie (mois de juillet)	22
Figure II.13 : Production d'électricité par la séparation électron-trou	23
Figure II.14 : Caractéristiques d'une jonction PN	23
Figure II.15 : Caractéristiques de la convention diode générateur.	24
Figure II.16 : Propriétés optiques du silicium photoélectrique.	25
Figure II.17 : Propriétés électriques du silicium photoélectrique..	25
Figure II.18 : Différentes techniques de cellules photovoltaïques	25
Figure II.19 : Module photovoltaïque.	27
Figure II.20 : Caractéristique courant tension de N_s cellule en série..	27
Figure II.21 : Caractéristique courant tension de N_p cellule en parallèle.	28
Figure II.22 : Panneau solaire.	29

LISTE DES FIGURES

❖ Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque	
Figure III.1: la plateforme d'accueil du Lycée les « frères Barrani »	32
Figure III.2: Photo par satellite de Lycée les « frères Barrani »	32
Figure III.3 : carte ensoleillement	36
Figure III.4: l'irradiation globale	36
Figure III.5 : Caractéristiques mécaniques De Panneau solaire	39
Figure III.6: Branchement des éléments entre eux	46
Figure III.7 : Raccordement entre les éléments du système	46

Liste des tableaux

❖ Chapitre II : RAYONNEMENT SOLAIRE ET ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE	
Tableau II.1: Taux de productivité	16
Tableau II.2: Potentiel solaire en Algérie	22
Tableau II.3 : Classification de différents types de cellules photovoltaïques au <i>silicium</i>	26
❖ Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque	
Tableau III.1 : Différents appareils de consommation	34
Tableau III.2: les besoins du système PV dans les temps	35
Tableau III.3: les différents types des pertes	37
Tableau III.4 : Irradiation moyenne dans l'année (logiciel PVsyst7)	37
Tableau III.5: les résultats des calculs	42
Tableau III.6 : caractéristique des batteries	42
❖ Chapitre IV: Simulation et discussion des résultats	
Tableau IV.1:Etude technico-économique du système PV	49
Tableau IV.2: Coût de l'énergie	54
Tableau IV.3: Estimation de consommation	54
Tableau IV.4: Configuration d'un système	55
Tableau IV.5: Paramètres de simulation d'une centrale PV	56
Tableau IV.6: Énergie utile produite par le PV (à la sortie de l'onduleur)	57
Tableau IV.7: Bilans et résultants principaux du site de MECHERIA	58
Tableau IV.8: Diagramme des pertes	59

LISTE DES SYMBOLE

PV	photovoltaïque
G_{PV}	générateur photovoltaïque
N_m	Nombre totale des modules PV
MPPT	Le maximum du point de puissance
E_i	L'énergie journalière consommé d'un equipment [Wh]
E_b	Source de tension de la batterie
E_L	Energie demandée par la charge
E_{Lj}	Energie demandée journalière
E_{PV}	Energie générée par les modules solaires
E_t	Énergie consommée ramenée au GVP [Wh/j]
ET	Equation du Temps
V_e	Tension de l'élément batterie [V]
V_m	Tension nominal d'un module [V]
VDC	La tension DC nominal du système. [V]
VOC	Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant [V]
VAC	La tension AC à la sortie de l'onduleur [V]
C(Wh)	La capacité du stockage [Wh]
C(Ah)	Capacité de stockage en Ampère heure [Ah]
C_e	Capacité d'un élément batterie [Ah]
C_{batmax}	Capacité de stockage maximale
C_{batmin}	Capacité de stockage minimale
C_{batn}	Capacite nominale de la batterie
$C_{bat}(t)$	Capacite de stockage admissible de la batterie à l'heure (t)
$C_{bat}(t-1)$	Capacite de stockage admissible de la batterie à l'heure (t-1)
AC	Courant alternatif
DC	Courant continu
I_{cc}	Courant débité par un module en court circuit [A]
I	Le courant de l'utilisation [A]
I_b	Courant de la batterie [A]
$I_{G'}$	Le courant qui produit par le GPV [A]
I_{br}	Le courant de branche de module parallèle [A]
I_d	Courant traversant la diode
I_o	Courant de saturation
I_p	Courant traversant les connexions parallèles
I_{pv}	Photo-courant
I_{mp}	Courant maximum
PDC	La puissance de charge DC [W]
PAC	La puissance de charge AC [W]
P_i	La puissance crête d'un equipment [W]
P_c	La puissance de crête [WC]
P_{on}	La puissance de l'onduleur [W]
P_g	La puissance crête de GPV au STC [W]
t_i	Le temps d'utilisation [h]
PR	Performance Ration [%]
Hgh	L'irradiation journalière mensuelle moyenne sur le place de GPV [Wh/m ² /j]
DOD	Profondeur de la décharge de la batterie en (%)
DOD_{max}	Le niveau de décharge à atteindre avant la déconnexion de l'utilisation
NOCT	Température Nominale de fonctionnement de la cellule
N_{ja}	Nombre de jours d'autonomie

LISTE DES SYMBOLE

NBP	Nombre de branches en parallèle des modules
N _{mS}	Nombre de modules disposés en série
N _e	Le nombre total d'éléments batterie
N _{bs}	Nombre d'éléments en série
N _{bp}	Nombre de branches en parallèle des éléments batteries
N	Nombre de cellules connectées en série
N _{PV}	Nombre de module photovoltaïque
N _{PV_OP}	Nombre optimal de module photovoltaïque
N _{BT_OP}	Nombre optimal de batterie
N _{cycl}	Nombre maximal de cycles de charge/décharge
CdTe	Tellure de Cadmium
CO ₂	Dioxyde de carbone
D	Durée du jour
AM	Air masse
GaAs	Arséniure de Gallium
Ge	Germanium
H	Angle horaire du soleil est l'angle
h	Hauteur du soleil est l'angle
H _c	Angle horaire au coucher du soleil
H _L	Angle horaire à son lever
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique
K	Constante de Boltzman
Li-ion	Lithium-ion
Li-Polymère	Lithium-ion polymère
LPSP	Probabilité de perte d'alimentation (Loss of Power Supply Probability)
m	Facteur d'idéalité de la diode
MLI	Modulation en Largeur d'Impulsions
Ni-Cd	Nickel-Cadmium
Ni-MH	Nickel-Métal Hydride
Pb	Plomb
PbO ₂	Dioxyde de plomb
PWM	Pulse With Modulation
B _j	Besoin journalière
E _f	Energie fournie
q	Charge de l'électron
R _b	Résistance interne de la batterie
R _p	Résistance shunt
R _s	Résistance série
Se	Sélénium
Si	Silicium
STC	Conditions environnementales standard (G=1KW/m ² et T=25°C)
T	Période d'analyse
T _a	Température absolue (en kelvin)
kW _c	Kilowatt-crête
kWh	Kilowattheure
a	Azimut du capteur (angle)
α ₀	Coefficient de Température de I _{sc}
β	Angle d'inclinaison
β ₀	Coefficient de Température de V _{oc}
λ	Longitude(angle)

LISTE DES SYMBOLE

φ	Latitude(angle)
h	Altitude (en mètres)
δ	Déclinaison solaire est l'angle
DZ	Hauteur du capteur
η	Rendement
η_{ond}	Rendement de l'onduleur
η_{bat}	Rendement de charge de la batterie
σ	Coefficient d'autodécharge de la batterie
\tilde{U}	Constante de temps

RESUME

Résumé :

Ce travail a pour but l'étude technico-économique d'une installation photovoltaïque qui alimente un établissement scolaire représenté par un lycée lycée les frères barani mecheria wilaya de naama.

En se basant sur les paramètres réels du site, nous proposons une méthode de conception de l'installation à l'aide du logiciel PVSYST. Nous avons déterminé le dimensionnement des différents composants du système PV.

Une comparaison économique est faite entre le système PV et la solution classique concernant l'extension du réseau électrique pour l'alimentation du site
Mots clé : Système photovoltaïque, Dimensionnement du système photovoltaïque, évaluation économique.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو الدراسة الفنية والاقتصادية للمنشآت الكهروضوئية التي تزود ثانوية الأخوة براني بالمشرية ولاية النعامة
بناء على إعدادات الموقع الفعلية ، نقدم طريقة لتصميم المنشأة باستخدام برنامج PVSYST. لقد حددنا حجم المكونات المختلفة لنظام الكهروضوئية.
يتم إجراء مقارنة اقتصادية بين النظام الكهروضوئي والحل التقليدي فيما يتعلق بتوسيع الشبكة الكهربائية لتزويد الموقع.
الكلمات المفتاحية : النظام الكهروضوئي ، تحجيم النظام الكهروضوئي ، التقييم الاقتصادي

Abstract:

The objective of this work is the technical and economic study of the photovoltaic installations that supply the High School Brothers Barani in mecheria, the Wilayat of Naama.

Based on the actual site settings, we present a method to design the facility using PVSYST software. We have sized the various components of a PV system.

An economic comparison is made between the photovoltaic system and the conventional solution regarding the extension of the electrical grid to supply the site.

Keywords: photovoltaic system, photovoltaic system scaling, economic evaluation

Introduction Générale

Introduction Générale:

Introduction Générale:

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas du tout nouvelle, depuis la préhistoire, l'être humain utilisait de nombreuses sources d'énergies pour couvrir ses besoins énergétiques, notamment de maîtrise du feu à celle de l'électricité. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie est devenu plus que nécessaire au développement de l'humanité. Avec la forte demande énergétique, l'homme a fait apparaître des moyens de production d'énergie pour satisfaire ses besoins en termes de confort personnel.

Actuellement, à l'échelle mondiale la seule énergie que l'homme utilise quotidiennement est l'énergie fossile, d'origine organique (le pétrole, le charbon et le gaz naturel) provient de l'énergie de fusion nucléaire dans le soleil [1]. Ce type de consommation n'est pas neutre sur l'impact environnemental, et leur utilisation provoque des problèmes majeurs. Tout d'abord avec la forte demande d'énergie, l'homme se retrouvera face à un grand manque d'énergie puisque ces dernières sont épuisables à l'échelle du temps humain. Puis l'être humain sera confronté au réchauffement planétaire qui est dû au rejet massif du gaz à effet de serre (les hydrocarbures et le charbon par exemple).

Donc, pour lutter contre tout ça, il est impératif de faire remplacer ces énergies fossiles par d'autres énergies appelées « énergies propres et renouvelables », soit pour l'homme c-à-dire une énergie durable, soit pour l'environnement c-à-dire non polluante. Elle est produite à l'aide des ressources renouvelables, ces ressources sont nombreuses, la plupart d'elles peuvent être tirées directement ou indirectement du soleil [2]. Parmi les sources d'énergies renouvelables, on compte le vent, la biomasse, la géothermie, les flux marins et océaniques, le solaire photovoltaïque (PV), etc. Ce dernier est une source très puissante.

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux en électricité, au moyen des modules photovoltaïques composés de cellules solaires ou photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie [1]. Les systèmes photovoltaïques ne contiennent aucune pièce mobile. Ils sont fiables, requièrent peu d'entretien, silencieux et ne produisent aucune émission de polluants. Avant chaque projet de réalisation photovoltaïque, le dimensionnement du système est nécessaire.

L'objectif de ce travail est de donner un aperçu sur la méthodologie de calcul et de dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'un site réel connecté aux réseaux électriques à travers logiciel PVsyst.

Introduction Générale:

Après une brève introduction, le présent travail s'articule autour de cinq chapitres :

La première partie de ce travail concerne une présentation générale de l'énergie renouvelable et de ses sources ; ainsi qu'une explication des différentes centrales de production de l'énergie renouvelable et leur conséquences.

Le chapitre II propose dans sa première partie, une introduction des notions de base sur le soleil, le rayonnement solaire et l'orientation des capteurs. Dans sa deuxième partie tend à montrer la place prépondérante du silicium dans la technologie de la conversion photovoltaïque sans oublier de signaler l'importance du gisement solaire algérien.

Le troisième chapitre consiste d'abord, à dimensionner une installation photovoltaïque adaptée pour un lycée à deux étages Il est situé dans la commune d' Mecheria dans la Wilayat de Naama. Ensuite, on fera Une étude technico-économique en comparant le cout de l'installation photovoltaïque avec une alimentation par réseau SDE comprenant l'extension du réseau et la consommation sur une durée de 25 ans qui correspond à la durée de l'investissement de notre solution proposée en système PV.

Dans le quatrième chapitre nous consacrons notre étude à la simulation numérique : nous présentons le logiciel que nous avons utilisé comme PV SYSYT qui nous permet de déterminer le nombre de panneaux et nombres des Batteries ;

Ensuite, nous représentons les résultats obtenus de l'installation PV

Nous avons terminé notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LES
ENERGIES RENOUVELABLES

I.1. INTRODUCTION :

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20 à 30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Naturellement décentralisées, il est intéressant de les mettre en œuvre sur les lieux de consommation en les transformant directement, soit en chaleur, soit en électricité, selon les besoins. La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant, le caractère aléatoire des sources impose des règles particulières de dimensionnement et d'exploitation des systèmes de récupération d'énergie. Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre, de la biomasse humide ou sèche à une échelle de temps compatible avec l'histoire de l'humanité. Ce n'est pas le cas des combustibles fossiles et nucléaires.

I.2. production de l'énergie électrique

Une centrale (de production d'énergie) électrique est un site industriel destiné à la production d'électricité. Les centrales électriques transforment différentes sources d'énergie naturelles en énergie électrique afin d'alimenter en électricité les consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointains. Le réseau électrique permet de transporter puis de distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs.

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- ❖ Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques,
- ❖ Les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de thermiques,
- ❖ Les centrales hydroélectriques,
- ❖ Les centrales solaires ou photovoltaïques,
- ❖ Les centrales éoliennes
- ❖ Les éléments indispensables à la production de courant électrique sont :
 - ❖ Une turbine en mouvement.
 - ❖ Un alternateur c'est-à-dire un aimant entraîné par la turbine et entouré d'une bobine qui produit le courant électrique.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES

I.2.1. Les centrales hydroélectriques :

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique figure (I.1).

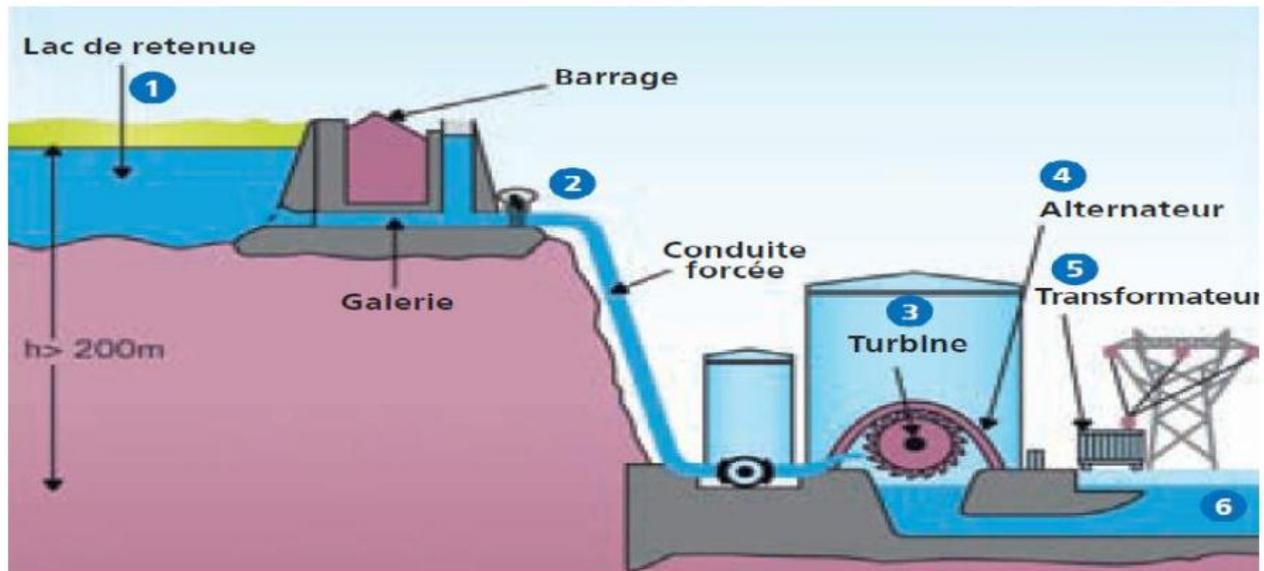


Figure I.1 : Centrale hydroélectrique.

On distingue différents types de centrales hydroélectriques suivant la hauteur de chute:

- ❖ Les centrales de haute chute, ils utilisent des turbines de type Peloton.
- ❖ Les centrales de moyenne chute, ils utilisent des turbines de type Francis.
- ❖ Les centrales de basse chute, ils utilisent des turbines de type Kaplan.

Avantages :

- ❖ Faible coût du KWh pour le gros hydraulique
- ❖ Souplesse d'utilisation
- ❖ Possibilité de « stocker » de l'électricité pour le turbinage
- ❖ L'hydraulique est une énergie renouvelable mise en valeur mais pourtant rarement comptabilisée, elle fournit 13% de la production et contribue également à l'écrêtement des crues.

Inconvénients :

- ❖ Contrainte géographique
- ❖ Aléas climatiques (sécheresse)

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES

- ❖ Nécessité de concilier les différents usages de l'eau
- ❖ Impacts sur l'environnement à la construction
- ❖ L'inondation de certains reliefs lors de la construction de barrages.

I.2.2. Les centrales solaires ou photovoltaïques :

Ces centrales produisent de l'électricité avec l'énergie solaire en utilisant les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux.



Figure I.2 : Photo d'une centrale solaire

Avantages :

- ❖ Acceptation du public
- ❖ Adapté aux pays chauds et aux sites isolés
- ❖ 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.
- ❖ Frais de maintenance relativement faibles.

Inconvénients :

- ❖ Coût encore élevé
- ❖ Puissance assez faible
- ❖ Disponibilité

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES

I.2.3. Les centrales éoliennes :

L'énergie éolienne est produite sous forme d'électricité par une éolienne. Des éoliennes formées d'un mat surmonté d'un générateur électrique entraîné par une hélice, sont positionnées idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées.

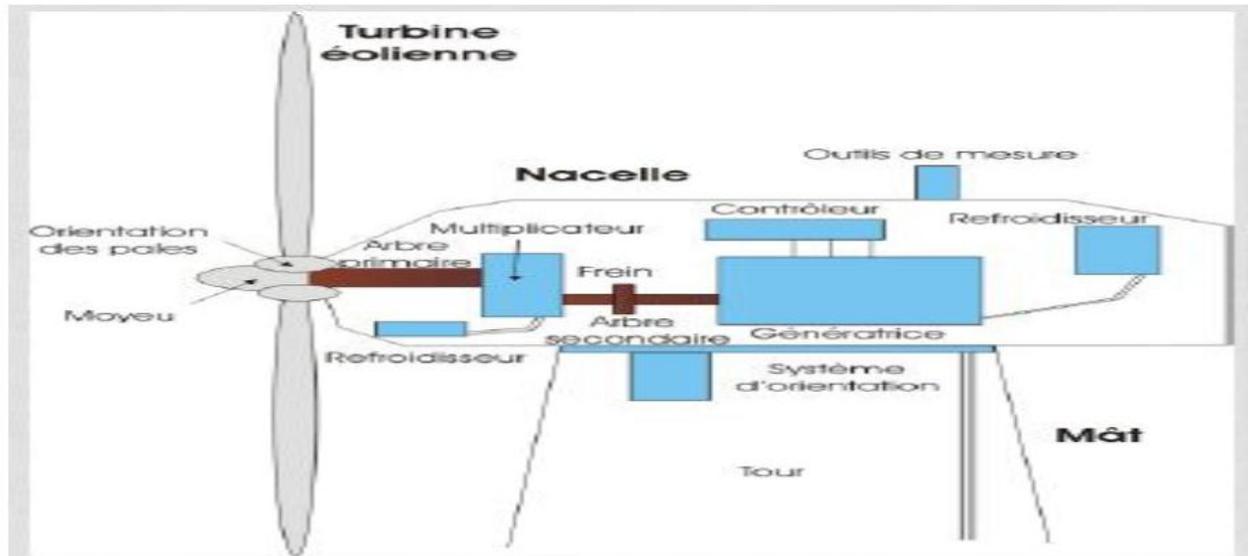


Figure I.3 : Photo d'une centrale éolienne.

Avantages :

- ❖ L'énergie éolienne est propre et peut être associée à des panneaux de photovoltaïques et à une batterie d'accumulateur afin d'optimiser une fourniture d'électricité.

Inconvénients :

- ❖ L'exploitation de l'énergie éolienne est non polluante par elle-même mais les aérogénérateurs engendrent une pollution acoustique due à la rotation des pales qui engendrent une dégradation du paysage.
- ❖ Faible disponibilité (20 à 30%)
- ❖ Difficultés de raccordement au réseau
- ❖ Surface au sol
- ❖ Acceptation du public.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES

I.2.4. Les centrales thermiques :

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou générateur de vapeur).

On dispose alors de vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur sous pression fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière figure (I.4).

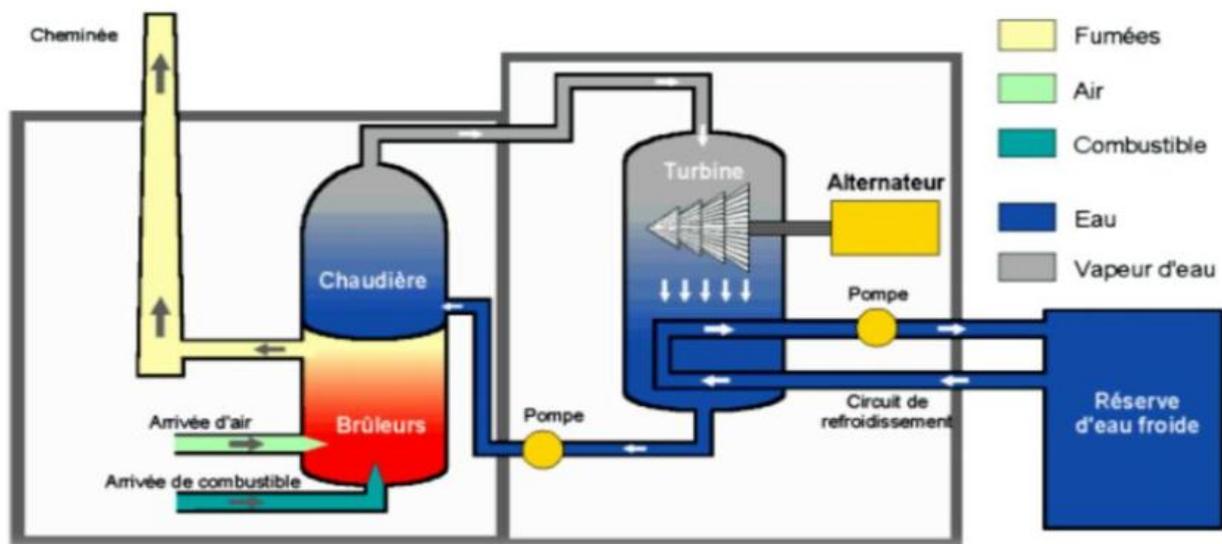


Figure I.4 : Les centrales thermiques à flamme.

Avantages :

- ❖ Cette énergie est rentable à la production.
- ❖ Elle a un prix modeste sur le marché mondial.
- ❖ Souplesse d'utilisation et disponibilité élevée
- ❖ Facilité d'exploitation
- ❖ Facilité de transport (pétrole)
- ❖ Possibilité de développer la cogénération
- ❖ Compétitivité

Inconvénients :

- ❖ Prix fluctuants
- ❖ Géostratégie des ressources
- ❖ Impacts sur l'environnement (Gaz à effet de serre, marée noire, etc.)
- ❖ Il faut un plan d'eau à proximité.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES

- ❖ Les usines possédant un circuit de refroidissement à circuit ouvert, peuvent avoir des problèmes écologiques dus au réchauffement des rivières.

I.2.5. Les centrales nucléaires :

Ces centrales utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur "chaudière" est un réacteur nucléaire. L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission de l'uranium et du plutonium est la source de chaleur utilisée. Elles produisent environ 15% de l'électricité mondiale. Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident. Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission figure (I.5).

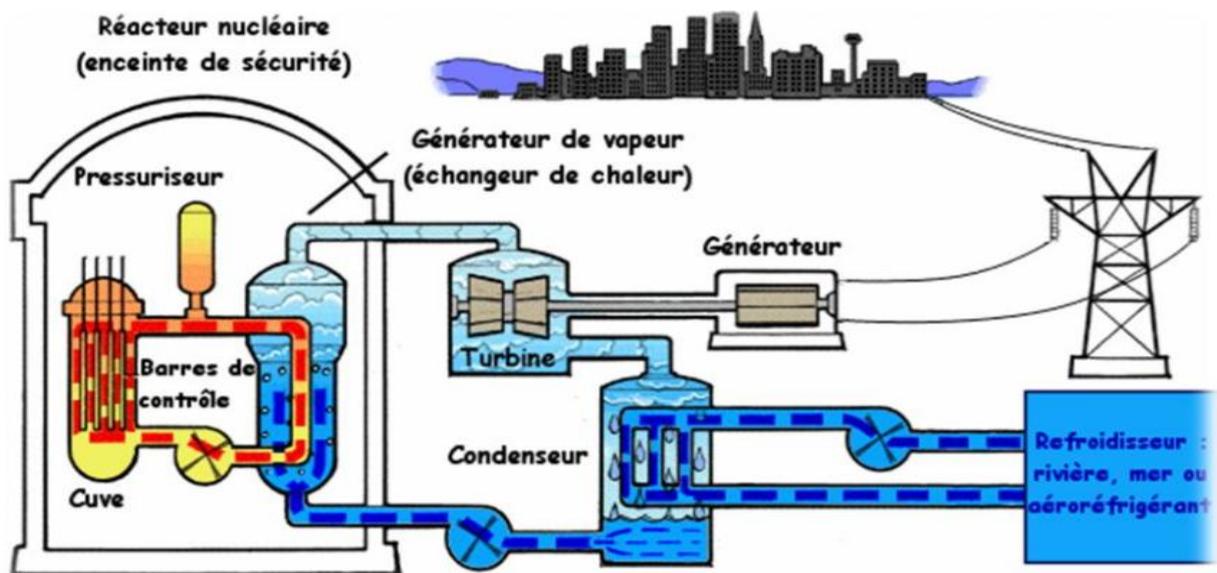


Figure I.5 : Centrale nucléaire.

Avantages :

- ❖ Adapté à la production de masse
- ❖ Disponibilité élevée
- ❖ Stabilité des coûts
- ❖ Réserves d'uranium importantes
- ❖ Faibles émissions de CO₂ en exploitation
- ❖ L'énergie nucléaire peut être utilisée dans le domaine spatial.
- ❖ Elle ne nécessite pas d'oxygène, ce qui est un atout pour l'homme

Inconvénients :

- ❖ Lourds investissements
- ❖ Risque industriel
- ❖ Nécessite un niveau de technologie élevé
- ❖ Acceptation du public
- ❖ Chaque année les tranches nucléaires produisent des tonnes de déchets.
- ❖ Le stockage des déchets qui augmente le niveau de pollution.
- ❖ Le risque d'accident (26 avril 1986 à l'usine de Tchernobyl).

I.2. L'énergie renouvelable :

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes.

Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables représentent par ailleurs une chance pour plus de 2 milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. Ces atouts, alliés à des technologies de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables mais de manière encore très inégale selon le type de ressources considérées. La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter, il semble néanmoins peu probable que les énergies renouvelables remplacent les autres ressources énergétiques dans un avenir proche. Aussi est-il important que chacun de nous surveille au plus près sa propre consommation d'énergie.

Globalement, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité reste encore faible. Selon le dernier " Inventaire sur la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde ", 20% du courant produit sur la planète est d'origine renouvelable. L'essentiel étant toujours issu des combustibles fossiles, tels que le pétrole ou le charbon (62,7%) et par l'énergie nucléaire (17,1%) figure(I.6).

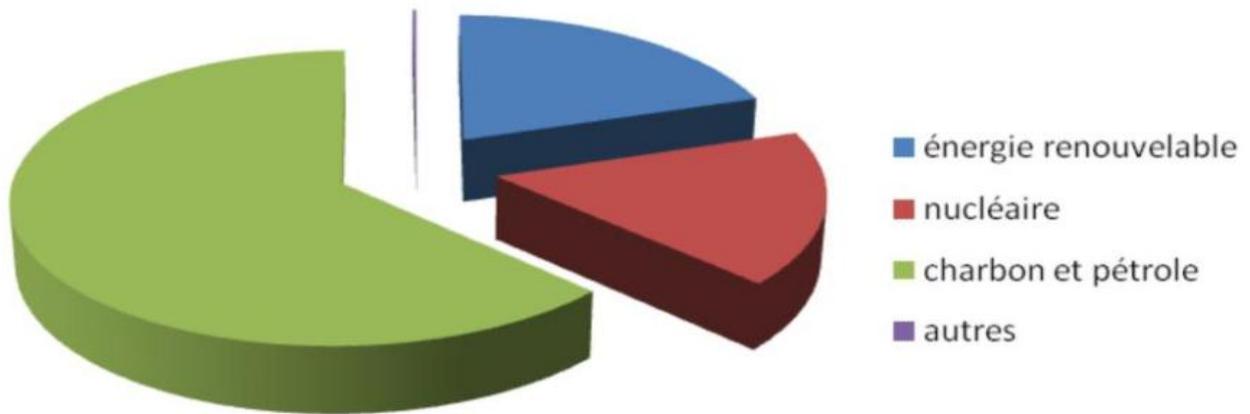


Figure I.6 : La part de l'énergie renouvelable dans la production mondiale.

Qu'un électron sur cinq soit " propre ", cela n'est déjà pas si mal. Mais ce chiffre encourageant

masque une grande disparité entre les sources d'énergies renouvelables. À elle seule, l'hydroélectricité génère 92,5% de l'électricité issue des énergies électriques. Les utilisations de la biomasse produisent 5,5% du courant mondial " vert ", la géothermie 1,5%, l'éolien 0,5% et les techniques solaires y contribuent seulement pour 0,05%. Toutefois, ces grandes masses sont extrêmement variables d'un pays à l'autre.

I.3. Conclusion :

Ce chapitre s'est consacré à la présentation des énergies renouvelables avec une explication brève de leur notion de production d'électricité dans les différentes centrales.

CHAPITRE II :
RAYONNEMENT SOLAIRE ET A
L'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE

II.1. Introduction

L'exploitation du rayonnement solaire est compétitive à plusieurs niveaux par rapport aux autres sources d'énergies renouvelables. Il s'agit de la source d'énergie la plus répandue et la plus accessible sur terre. "Chaque jour, le soleil envoie vers la Terre 10000 fois la quantité totale d'énergie consommée à l'échelle de la planète ". Aussi, la quantité d'énergie libérée par le soleil pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an [23].

Dans ce premier chapitre, nous allons aborder ainsi en premier temps quelques notions indispensables sur le gisement solaire et le rayonnement solaire tout en rappelant que l'Algérie dispose d'un potentiel solaire important. Nous

décrivons en deuxième temps la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique qui s'effectue par le biais d'une cellule solaire basée sur le phénomène photovoltaïque.

II.2. Soleil

II.2.1. Présentation Du Soleil

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'Hydrogène, 19% d'Hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments. Il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire Hydrogène–Hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'Hydrogène en 560 millions tonnes d'Hélium ; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [11].

Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présentée un maximum pour une longueur d'onde d'environ 0.5 μm , la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780 °k [12] :

- ❖ Diamètre de soleil = 1.39 10⁹ m
- ❖ Diamètre de la Terre = 1.27 10⁷ m
- ❖ Distance moyenne Soleil Terre = 1.5 10¹¹ m

II.2.2. Mouvement Terre-Soleil

La Terre tourne autour de son axe de rotation (pôle nord, pôle sud) dans le sens trigonométrique et effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures. Cette rotation s'effectue de la droite vers la gauche, c'est-à-dire dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (c'est la raison pour laquelle le soleil se lève à l'Est) [13]. La Terre est en rotation sur elle-même puis elle tourne au tour du soleil en un an, qui permet de comprendre le phénomène des saisons.

Pendant cette révolution annuelle, l'axe de rotation de la Terre reste parallèle à lui-même, mais il est incliné de 23.5° par rapport à la normale au plan de l'écliptique. La Terre tourne autour du Soleil selon une trajectoire elliptique, comme il est montré sur la figure (II.1).

Le rayonnement solaire parvient à la limite de l'atmosphère terrestre après un trajet dans l'espace d'environ 150 millions de Kilomètres, effectué en 8 minutes et 20 secondes.

La distance de la terre au soleil n'est pas constante tout au long de l'année, elle atteint son maximum au solstice d'été soit 152 millions de Kilomètres et son minimum au solstice d'hiver soit 147 millions de Kilomètres [25].

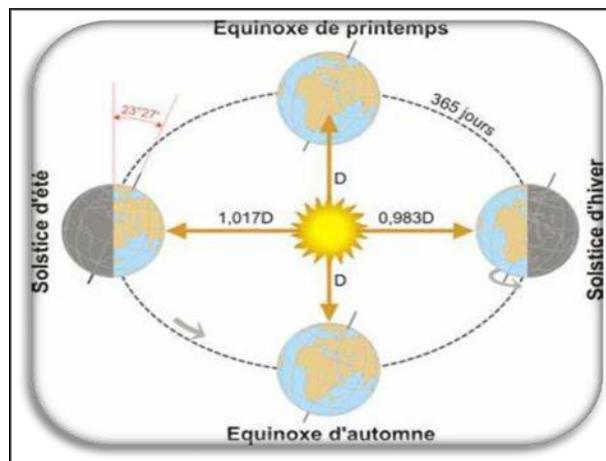


Figure II.1 : Trajectoire de la Terre autour du soleil.

Les moments particuliers sont :

- ❖ Les équinoxes : l'équinoxe de printemps (21 Mars) et l'équinoxe d'automne (21 Septembre), ce sont les moments de l'année où la durée du jour est égale à celle de la nuit ;
- ❖ Le solstice d'hiver (21 Décembre) : c'est le moment de l'année où la durée de la nuit est maximum ;
- ❖ Le solstice d'été (21 Juin) : c'est le moment de l'année où la durée du jour est maximum.

II.2.3. Coordonnees Terrestres

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques:

La longitude, la latitude, ainsi que par son altitude (voir figure (II.2)).

La longitude λ est une valeur angulaire, exprimant le positionnement Est- Ouest d'un point sur terre (ou sur une autre planète). Elle est comptée positivement vers l'Est et négativement vers l'Ouest, à partir du méridien Greenwich.

La latitude φ donne la localisation d'un point par rapport à l'équateur, elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère Nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère Sud.

L'altitude h est une grandeur qui exprime un écart entre un point donné et un niveau de référence ; par convention, sur terre ce niveau est le plus souvent le niveau de la mer, elle est exprimée en mètre

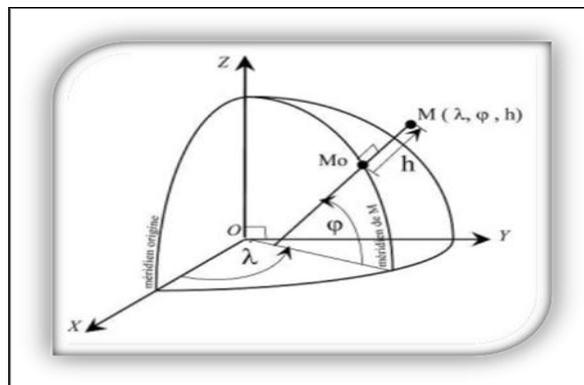


Figure II.2 : Repérage d'un site sur la surface terrestre.

II.2.4. Position Du Soleil

La position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents : les systèmes de coordonnées équatoriales et horizontales permettent de déterminer la position du soleil tel qu'on le voit depuis la terre.

II.2.5. Systeme De Coordonnees Equatorial

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (δ , H).

La déclinaison solaire δ est l'angle entre la direction du soleil et le plan équatorial de la terre. Cet angle varie quotidiennement entre -23.45° (le 21 décembre) et $+23.45^\circ$ (le 21 juin). Par convention, la déclinaison est positive pour l'hémisphère nord et négative pour l'hémisphère sud.

L'angle horaire du soleil H est l'angle que font les projections de la direction du soleil avec la direction du méridien du lieu, l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée, nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après- midi et augmente de 15° par heure (un tour de 360° en 24 heures).

II.2.6. Systeme De Coordonnees Horizontal

Concernant le système de coordonnées horizontales, la position du soleil est exprimée par deux angles l'azimut a et la hauteur h (voir figure (II.3)).

L'azimut du soleil a est l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal avec la direction sud. Il est compté de 0 à 360° positivement vers l'ouest.

La hauteur du soleil h est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. Cet angle s'annule au lever et au coucher du soleil et prend sa valeur maximale au midi solaire [13,14,15,16].

La hauteur du soleil varie entre +90° et -90° mesurée comme positive si face au Zénith, et négative si dirigée vers le nadir (la position du soleil à minuit).

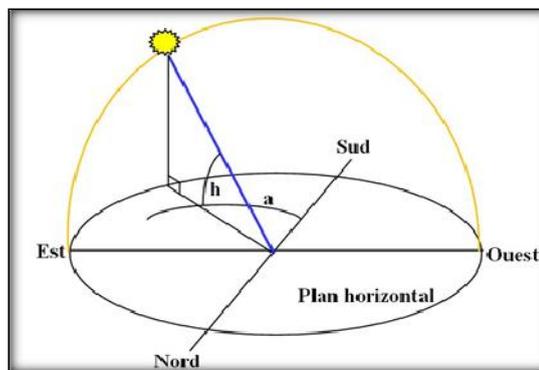


Figure II.3 : Trajectoire de la Terre autour du soleil.

II.2.7. Temps Solaires

Le Temps Solaire Vrai TSV, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil en ce lieu (voir figure (II.4)), à cet instant. Il est donné sous la forme suivante [13,17] :

$$TSV = 12 + \frac{H}{15} \quad \text{Equation (II.1)}$$

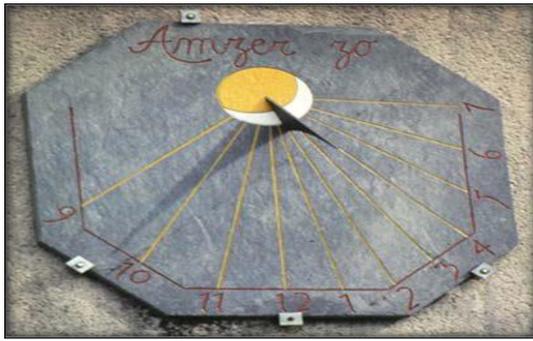
A midi, l'angle horaire $H=0$, $TSV = 12h$.

La rotation de la terre autour de l'axe des pôles introduit la notation de Temps Solaire Moyen TSM (voir figure (II.4)). La journée solaire moyenne est le temps qui sépare, en moyenne, deux passages successifs du soleil au méridien d'un lieu. Par définition, la journée solaire moyenne a une durée de 1 jour = 24 heures, quel que soit le jour de l'année.

La vitesse de la Terre sur son orbite n'est pas constante au cours de l'année, ces variations de la vitesse de déplacement de la Terre sont responsables de faibles écarts entre le Temps Solaire Vrai et le Temps Solaire Moyen. L'Equation du Temps ET est une correction que l'on utilise pour obtenir le Temps Solaire Moyen à partir du Temps Solaire Vrai, par définition [18]

$$ET = TSV - TSM \quad \text{Équation (II.2)}$$

L'Equation du Temps peut atteindre 16 minutes (fin octobre, début novembre).



Temps solaire vrai



Temps solaire moyen

Figure II.4 : Temps Solaire.

II.2.8. Duree Du Jour

La durée du jour est déterminée par l'intervalle de temps qui sépare le lever et le coucher du soleil. Deux instants particuliers de la journée qui donne une hauteur h nulle du soleil sont appelés : le lever et le coucher du soleil [18].

L'angle horaire H_c au coucher du soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever H_L , le coucher correspond à la valeur positive et le lever à la valeur négative [13].

$$H_c = - H_L \quad \text{Équation (II.3)}$$

La durée du jour est :

$$D = H_c + (- H_L) = \frac{2H_c}{15} \quad \text{Équation (II.4)}$$

II.3. Orientation Du Capteur

L'orientation des panneaux solaire est importante pour obtenir le meilleur rayonnement solaire possible et produire un maximum d'énergie, ces capteurs doivent suivre la position du soleil. Pour un rendement optimal, un panneau solaire devrait être positionné perpendiculairement au rayonnement solaire.

Dans la pratique, le capteur doit être parfaitement orienté vers le sud pour les sites dans l'hémisphère nord et orienté vers le nord pour les sites situés dans l'hémisphère sud [19].

Nous n'avons cependant pas toujours la possibilité de placer les panneaux solaires de manière optimale, pour des raisons architecturales ou de positionnement de votre emplacement.

L'orientation d'un capteur est définie par la hauteur $D\check{Z}$ et l'Azimut a du capteur, en plus de son angle d'inclinaison β .

II.3.1. Hauteur Du Capteur y

La hauteur du capteur $D\check{Z}$ est que fait la normale du capteur et sa projection sur le plan horizontal, il varie [20, 21] entre -90° et $+90^\circ$ (voir figure (II.5)).

CHAPITRE II : RAYONNEMENT SOLAIRE ET A L'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE

II.3.2 Azimut Du Capteur α

L'angle que fait la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction du sud, il varie entre -90° et $+90^\circ$ [13,22].

II.3.3 Angle D'inclinaison β

L'inclinaison c'est l'angle que fait le capteur avec le plan horizontal établi sur un axe nord/sud (figure (II.5)). L'angle d'inclinaison d'un capteur par rapport au plan horizontal est donné par [22] :

- ❖ $\beta > 90$ pour un plan tourné vers le bas,
- ❖ $\beta < 90$ pour un plan tourné vers le haut,
- ❖ $\beta = 0$ pour un plan horizontal tourné vers le bas,
- ❖ $\beta = +90$ pour un plan vertical

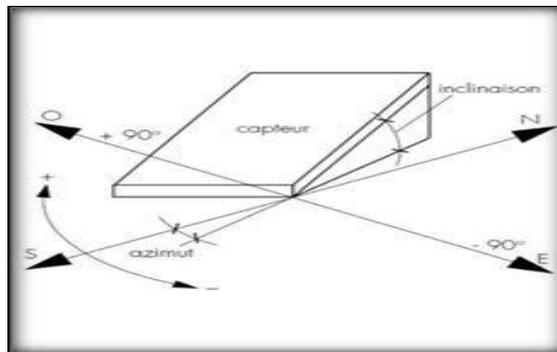


Figure II.5: Orientation et inclinaison d'un capteur solaire.

Le tableau (I-1) ci-dessous nous servira comme guide pour retrouver l'inclinaison des panneaux dès lors que cela est possible. Il nous indique le taux de productivité optimum selon l'inclinaison qui dépend de votre orientation.

INCLINAISON ORIENTATION	0^0	30^0	60^0	90^0
EST	93%	90%	78%	55%
SUD-EST	93%	96%	88%	66%
SUD	93%	100%	91%	68%
SUD-OUEST	93%	96%	88%	66%
OUEST	93%	90%	78%	55%

Tableau II.1 : Taux de productivité.

II.4. Rayonnement Solaire

II.4.1. Repartition Spectrale Du Rayonnement Solaire

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($0,2 \mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain ($2,5 \mu\text{m}$).

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

- ❖ 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- ❖ 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$),
- ❖ 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

II.4.2. Constante Solaire

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Solaire égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La valeur de cette constante a été estimée à 1367 W/m^2 par Claus Fröhlich et Christoph Wehrli du Centre radiométrique mondial de Davos (Suisse) (voir figure (II.6))[06].

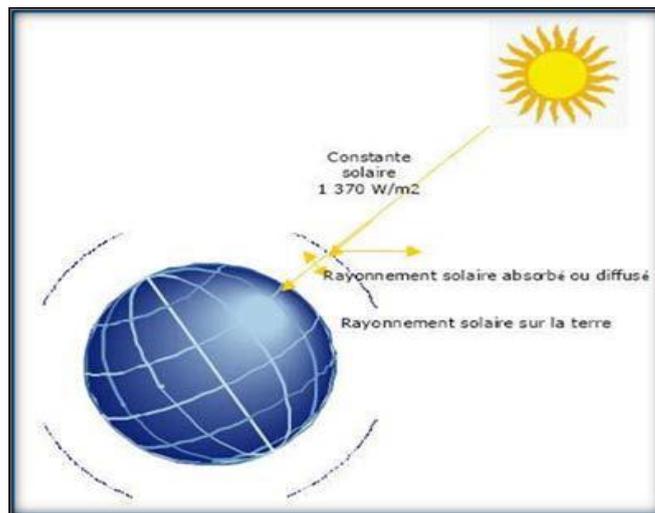


Figure II.6: La constante solaire [23].

II.4.3. Masse D'air

On appelle masse d'air ou "Air Mass", le rapport entre l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu.

On exprime dans la figure (II.7) par :

- ❖ AM1 lorsque le soleil est au zénith,
- ❖ AM2 lorsqu'on a une inclinaison de 30° ,
- ❖ AM0 en hors atmosphère à et haute altitude.

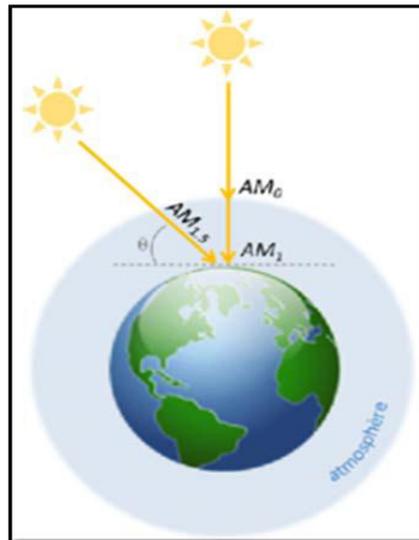


Figure II.7: Nombre d'air masse AM.

Les courbes de la figure (II.8) représentent le spectre solaire pour différentes valeurs d'Air Mass.

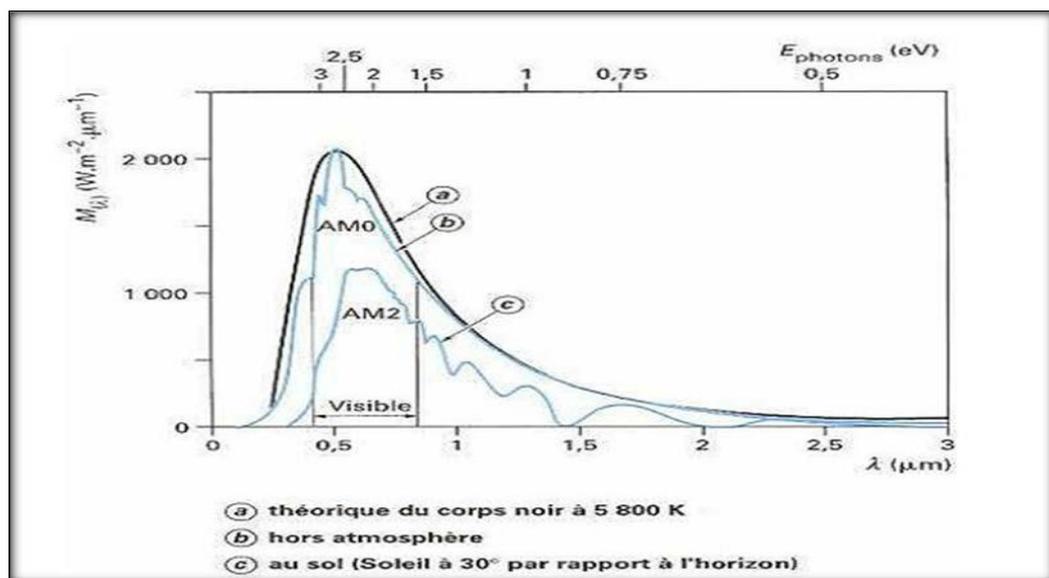


Figure II.8: Spectre solaire en fonction de différentes valeurs, Air Mass [25].

Il est important de comprendre les deux aspects recouverts par le concept de nombre d'air masse. D'une part, il caractérise la puissance transportée par le rayonnement solaire (1367 /m2 pour AM0, 833 W/m2 pour AM1.5) et d'autre part, il sert à définir un spectre de référence pour calibrer les cellules étalons destinées à qualifier les performances des dispositifs photovoltaïques. Ainsi les conditions standards de qualifications des cellules sont un spectre AM1.5, une puissance incidente 1000W/m2 et une température de 25°C.

Sauf indication contraire, c'est pour de telles conditions que doivent être fournies les performances et spécifications d'un dispositif photovoltaïque donné.

II.4.4. Duree D'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell-Stokes (voir figure (II.9)) dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages.

Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qu'elle-même dépend de la période de l'année considérée [18].

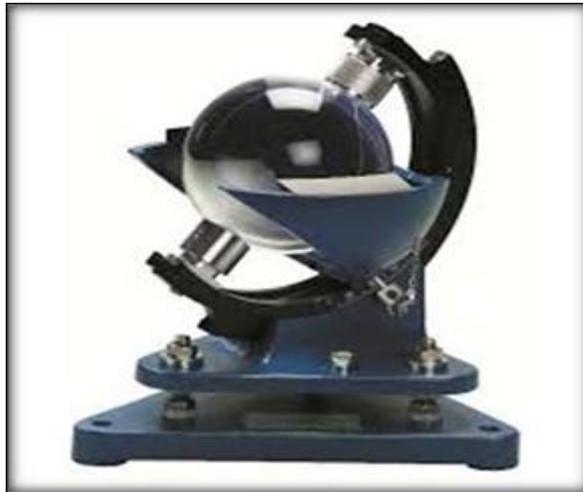


Figure II.9: Héliographe de Campbell-Stokes.

II.4.5. Composition Du Rayonnement Solaire

Suite à l'atténuation du rayonnement solaire par les différents phénomènes atmosphériques, le rayonnement solaire sur une surface au sol est composé comme suit :

II.4.5.1. Rayonnement Direct

C'est la fraction du rayonnement solaire qui arrive directement au sol, dont le trajet est linéaire et unique à un instant donné [24,26].

II.4.5.2. Rayonnement Diffuse

Le rayonnement diffus est le rayonnement provenant de toute la voûte rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Ainsi, par ciel serein, il constitue 20% de l'énergie globale. Par ciel couvert, il correspond à la totalité de l'énergie reçue au sol [23].

II.4.5.3. Rayonnement Réfléchi (L'albedo)

Le rayonnement solaire réfléchi est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement dépend de l'albédo du sol et il peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

II.4.5.4. Rayonnement Global

➤ Surface horizontale

C'est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre. Il comprend donc la composante verticale du rayonnement solaire direct et rayonnement solaire diffus (voir figure (II.10)) [24,26].

➤ Surface inclinée

Le rayonnement global sur une surface inclinée est la somme des rayonnements : Direct, Diffus et Réfléchi (voir figure (II.10)).

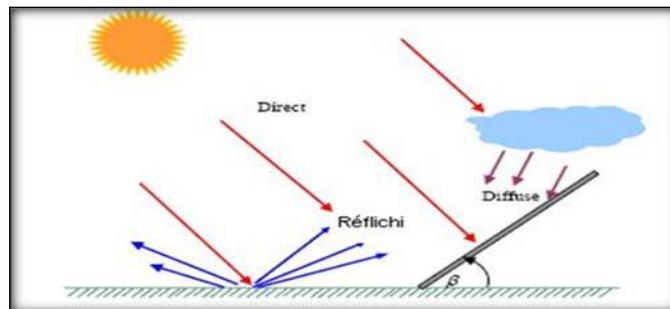


Figure II.10: Composantes du rayonnement solaire global [23].

II.4.6. Les Instruments De Mesure Du Rayonnement Solaire

II.4.6.1. Radiomètre

Le radiomètre de Crookes est un instrument de mesure du rayonnement, 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 (voir figure (II.11)).

II.4.6.2. Pyranomètre

Un Pyranomètre 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 (voir figure (II.11)).

II.4.6.3. Pyrhéliomètre

Un Pyrhéliomètre est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale (voir figure (II.11)).

II.4.6.4. Pyrradiomètre Différentiel Ou Bilanmètre

Le Pyrradiomètre différentiel mesure le bilan du rayonnement total, différence entre le rayonnement total descendant et le rayonnement total ascendant (rayonnement solaire et atmosphérique renvoyés vers l'espace (voir figure (II.11))



Figure II.11: Différents instruments de mesure du rayonnement solaire.

II.4.7. Potentiel Solaire En Algérie

Avec 2 381 741 km² de surface, l'Algérie est le pays le plus vaste du méditerranéen. Le potentiel national en énergies renouvelables est fortement dominé par le solaire. De par sa situation géographique privilégiée, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3 500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. L'énergie reçue annuellement est de 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle [28].

D'après une étude de l'agence aérospatiale allemande, l'Algérie offre de plus grandes possibilités intéressantes ; à long terme ; pour investir dans les centrales thermiques solaires.

Selon les données d'ensoleillement [07], l'Algérie est comptée parmi les meilleurs pays ensoleillés dans le monde, puisque pour 1 km² de surface dans le sud Algérien peut générer 50 MW d'électricité ou une production de 200 GWh/an et permet d'éviter l'émission de 200 000 TCO₂.

Le potentiel des ressources solaires de notre pays est optimal et favorable pour l'exécution des projets des concentrateurs solaires (voir la figure (II. 12)) [08].

Le tableau II-2 nous renseigne sur la moyenne annuelle de la durée d'ensoleillement et de l'énergie reçue dans les trois régions.

Région	Côtière	Hauts plateaux	Saharienne
Durée moyenne d'ensoleillement(heures /an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau II-2 : Potentiel solaire en Algérie [28].

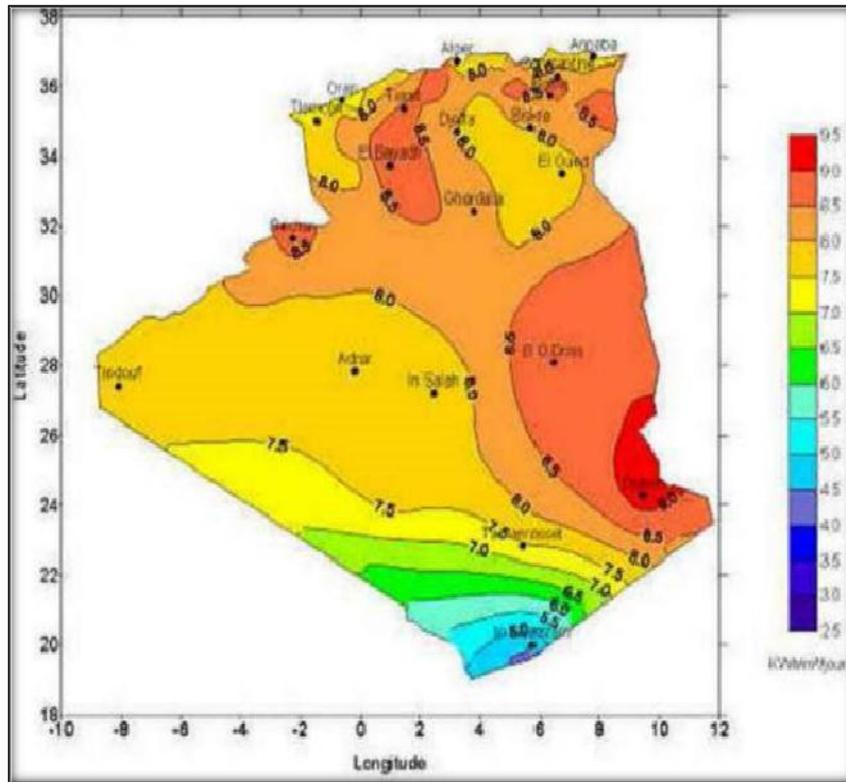


Figure II.12. Carte de l'irradiation en Algérie (mois de juillet) [29].

II.5. Conversion Photovoltaïque

II.4.1. Historique Des Cellules Solaires

C'est en 1839 que le physicien français Edmond Becquerel découvre que certains matériaux délivraient une petite quantité d'électricité quand ils étaient exposés à la lumière. Albert Einstein expliqua le phénomène photoélectrique en 1912 mais ce n'est qu'en 1954 que la première cellule photovoltaïque a été mise au point par des chercheurs des laboratoire Bell aux USA. Cette première cellule photovoltaïque était en silicium [30,31].

II.4.2. Utilisation De La Jonction Pn Comme Capteur

Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron, créant au passage un " trou". Normalement, l'électron trouve rapidement un trou pour se replacer, et l'énergie apportée par le photon est ainsi dissipée. Le principe d'une cellule photovoltaïque est de forcer les électrons et les trous à se diriger chacun vers une face opposée du

CHAPITRE II : RAYONNEMENT SOLAIRE ET A L'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE

matériau au lieu de se recombiner simplement en son sein : ainsi, il apparaîtra une différence de potentiel et donc une tension entre les deux faces, comme dans une pile [32].

Une jonction PN est formée quand les semi-conducteurs de type (N) et de type (P) sont placés en contact. Dans un tel dispositif, certains des électrons de conduction excessifs dans le matériau émigrent rapidement au matériau de type (P) pour combler les trous de valence. Ceci provoque un champ électrique fort et permanent à proximité de la jonction [31], comme il est montré sur la figure (II.13) :

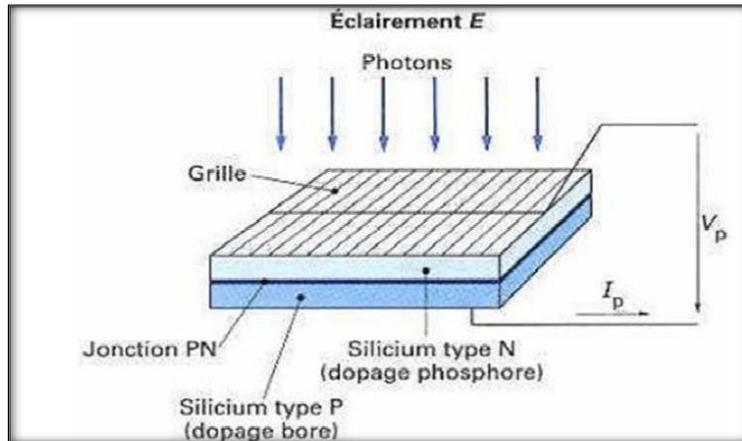


Figure II.13. Production d'électricité par la séparation électron-trou [25].

Les caractéristiques électriques en convention récepteur de la jonction PN pour différents éclairements sont données sur la figure (II.14)

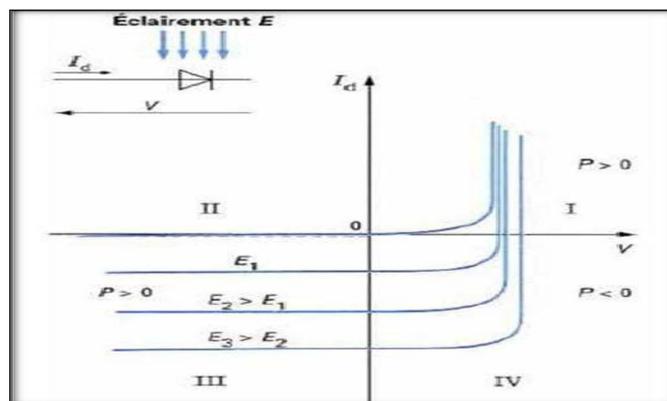


Figure II.14. Caractéristiques d'une jonction PN [34,35].

CHAPITRE II : RAYONNEMENT SOLAIRE ET A L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

En convention récepteur, le quadrant IV correspond à un fonctionnement réel en générateur. Par convention, on utilise pour une cellule photovoltaïque plutôt une convention d'un générateur (on inverse la convention sur le signe du courant de la figure (II.14)), on obtient alors la caractéristique de la figure (II.15).

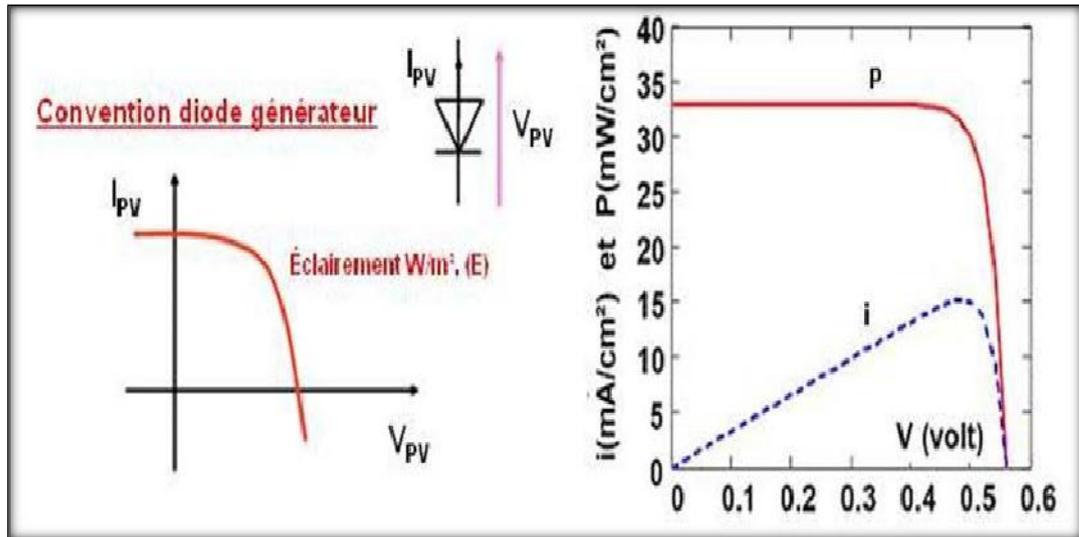


Figure II.15. Caractéristiques de la convention diode générateur.

II.4.3. Cellule Photovoltaïque

L'élément fondamental dans un système photovoltaïque est la cellule photovoltaïque qui convertit l'énergie reçue par rayonnement solaire en énergie électrique.

II.4.4. Le Silicium Et Ses Propriétés

Il existe différentes techniques permettant la conversion directe de la lumière solaire en électricité. La plus connue est la conversion photovoltaïque effectuée à l'aide de matériaux semi-conducteurs tel que le Silicium (Si), le Germanium (Ge), le Sélénium (Se) ou les composés semi-conducteurs tel que l'Arséniure de Gallium (GaAs), ou le Tellurure de Cadmium (CdTe). Les cellules solaires de type GaAs sont très coûteuses dans leur fabrication et leur utilisation est aujourd'hui limitée aux applications spatiales [02].

La majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir du Silicium cristallin, car il possède la caractéristique d'être non toxique contrairement au cadmium ou au sélénium. En plus, il permet d'atteindre des efficacités de conversion remarquables. Le silicium constitue environ 28% de l'écorce terrestre sous forme de composés (silicates, silice), ce qui en fait une source quasi inépuisable [03].

Il présente des propriétés optiques : l'absorption, la réflexion, la transmission (figure (II.16)), et propriétés électriques spécifiques pour assurer la conversion photovoltaïque (figure (II.17)).

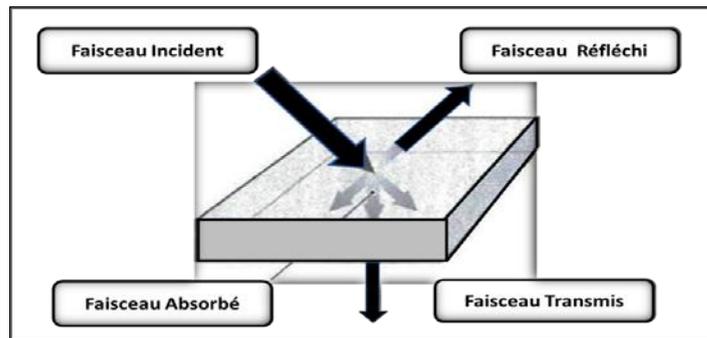


Figure II.16. Propriétés optiques du silicium photoélectrique.

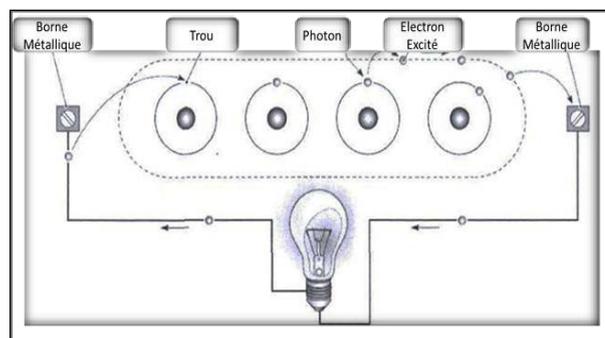


Figure II.17. Propriétés électriques du silicium photoélectrique.

II.4.5. La Technologie De Cellules Photovoltaïques

Il existe différentes technologies constituant les cellules photovoltaïques illustrées par la figure (II.18)

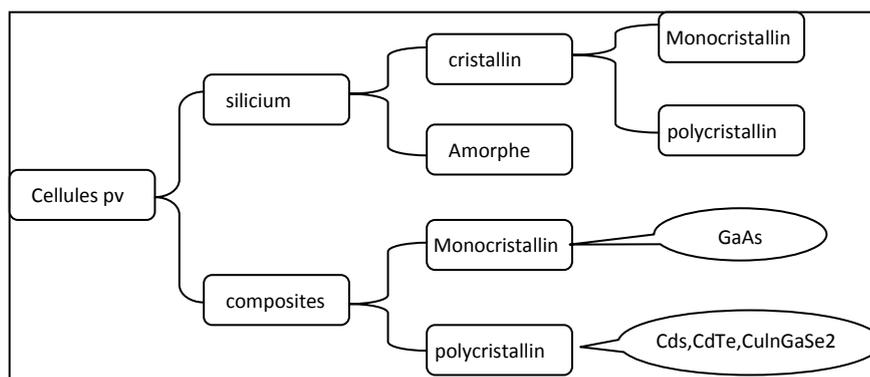


Figure II.18. Différentes techniques de cellules photovoltaïques [02].

Industriellement les matériaux les plus utilisés sont à base de silicium à cause de sa disponibilité et son faible coût de production. Les cellules Photovoltaïques au silicium cristallin (mono ou poly) représentent la majorité de la production mondiale (respectivement 29 % et 51 % de la production mondiale).

CHAPITRE II : RAYONNEMENT SOLAIRE ET A L'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE

On distingue les trois catégories principales qui se disputent le marché. Ils ont des caractéristiques, des durées de vie, et des sensibilités différentes (Tableau (I-3)).

Type	Silicium Monocristallin	Silicium Polycristallin	Silicium Amorphe
Rendement	De 15% à 19%	De 12% à 16%	De 7% à 10%
Durée de vie	35 ans	35 ans	< 10 ans
Avantages	Bon rendement en soleil direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe)	Souplesse Prix moins élevé que les cristallins, Bon rendement en diffus
Inconvénients	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...) Prix élevé.	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...) Prix élevé.	Mauvais rendement en plein soleil.

Tableau I-3 : Classification de différents types de cellules photovoltaïques au silicium.

II.4.5.1 Silicium Polycristallin

Il est constitué de plusieurs monocristaux juxtaposés dans différentes orientations donnant à la cellule un aspect mosaïque.

Le silicium polycristallin est la technologie la plus répandue sur le marché mondial en raison de son bon rendement (environ 15 %) pour des coûts de fabrication maîtrisés. Il offre actuellement un bon rapport qualité/prix.

II.4.5.2 Silicium Monocristallin

Il est constitué d'un seul cristal offrant à la cellule un arrangement parfait des atomes. Il présente un rendement légèrement supérieur au silicium polycristallin (environ 19 %). Néanmoins, il reste assez onéreux en raison de son exigence de grande pureté et de l'importante quantité d'énergie nécessaire à sa fabrication.

II.4.5.3 Silicium Amorphe En Couche Mince

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi-conduction.

Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre son rendement de conversion est faible (de 7 à 10 %) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière.

CHAPITRE II : RAYONNEMENT SOLAIRE ET A L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi-conduction.

Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre son rendement de conversion est faible (de 7 à 10 %) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière.

II.4.6. Module Photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module (voir figure (1.19)). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant (figure (1.20)), tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension (figure 1.21). Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (Ethylène-Vynil- Acétate) et protégées sur la surface avant d'un verre trempé (à haute transmission et de bonne résistance mécanique) et sur la surface arrière en polyéthylène [04].

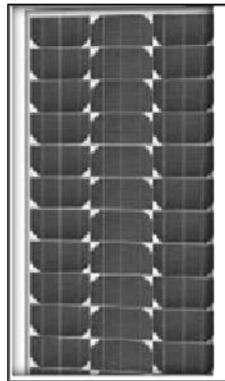


Figure II.19. Module photovoltaïque.

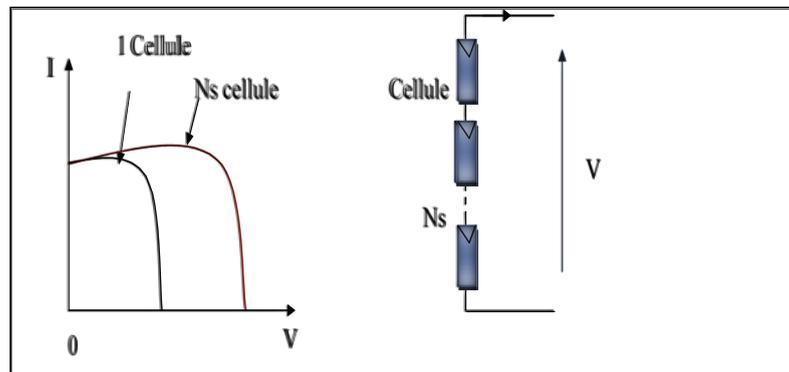


Figure II.20. Caractéristique courant tension de Ns cellule en série

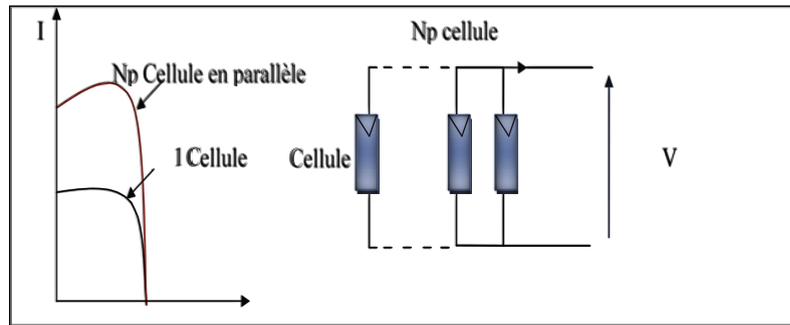


Figure II.21. Caractéristique courant tension de N_p cellule en parallèle.

Les modules en silicium monocristallin, polycristallin et amorphe représentent 64%, 28% et 13% du marché respectivement, délivrent des tensions normalisées (12, 24 et 48) Volts et des puissances entre 10 et 100 Wc (watt-crête : puissance obtenue pour un ensoleillement maximal) [04].

II.4.7. Caractéristiques Du Module Photovoltaïque

II.4.7.1 Puissance De Crête, P_c

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m^2).

II.4.7.2 Caractéristique $I=F(V)$

Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

II.4.7.3 Tension A Vide, V_{co}

Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".

II.4.7.4 Courant De Court-Circuit I_{cc}

Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

II.4.7.5 Point De Fonctionnement Optimum

Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m * I_m$.

(Tension Max U_m , Courant max I_m)

II.4.7.6 Rendement

Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

II.4.7.7 Facteur De Forme

Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule de la valeur du produit ($V_{co} * I_{cc}$).

II.4.8. PANNEAU (CHAMP) SOLAIRE

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise (figure (II.22)).



Figure 1.22. Panneau solaire.

II.4.9. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE [05]

L'énergie photovoltaïque a ses avantages et ses inconvénients comme tout système de production d'énergie :

II.4.9.1 AVANTAGES

- ❖ Une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- ❖ Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au mégawatt.
- ❖ Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- ❖ La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant (électricité propre), silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.
- ❖ Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.
- ❖ Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre à vos besoins en matière d'électricité.

- ❖ Temps de réalisation d'une centrale photovoltaïque minimum.
- ❖ Ils ont une longue durée de vie.
- ❖ On élimine les frais et les risques de transport associés des énergies fossiles.

II.4.9.2 INCONVENIENTS

- ❖ La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- ❖ Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%.
- ❖ Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- ❖ Tributaire des conditions météorologiques.
- ❖ Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent en alternatif. Or, l'énergie issue du générateur PV est en continu et de faible voltage ($< 30V$), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur.
- ❖ Les accumulateurs entraînent un surcoût au fonctionnement du système.

II.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté le rayonnement solaire qui est l'énergie émise par le processus de fusion de l'Hydrogène contenu dans le soleil tout en rappelant que l'Algérie dispose des gisements les plus importants dans le monde entier

La connaissance du rayonnement solaire est essentielle au calcul de diverses performances des systèmes liés au solaire.

Aussi, nous avons expliqué le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque constituée par les matériaux à base de silicium puis défini l'énergie solaire qui désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité

CHAPITRE III :

Dimensionnement du système photovoltaïque

III.1. Introduction

Le dimensionnement d'un générateur PV a pour but de déterminer l'optimum technico- économique entre la puissance crête du champ des panneaux solaires et la capacité de batterie associée à partir des besoins électriques de l'utilisateur d'une part, et d'autre part des données d'ensoleillement du site et du prix et de la qualité des composants dont on peut disposer sur le marché.

Dans ce chapitre, le travail que nous avons effectué est penché vers le dimensionnement des composants de notre système PV :

- ❖ Le champ PV
- ❖ L'onduleur
- ❖ Régulateur
- ❖ Les câbles

Ceux-ci seront dimensionnés après l'évaluation des besoins, la détermination de la puissance à installer et le nombre total de panneaux.

III.1.1. Objectif général

Il s'agit de produire de l'énergie électrique de manière autonome du lycée les frères barania mecheria pour satisfaire les besoins des différents appareils électriques.

III.1.2. Présentation du site étudié

a) **La ville de Mécheria** : est une commune de la wilaya de Naâma, située à l'ouest de l'Algérie, à la frontière avec le Maroc. Elle est voisine au nord avec les wilayas de Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès, à l'est celle d'El-Bayad et au sud celle de Béchar. Elle couvre une superficie de 736,25 km².

b) **Lycée les « frères Barrani »:**

Nous nous sommes dirigés vers le Lycée les « frères Barrani » le 30 juin 2021 situé à l'adresse : Mécheria le Lycée les « frères Barrani » a couté de route nationale numéro 06, afin de faire notre étude sur la consommation énergétique. Qui est présidé par monsieur le directeur Bendaho nourdinne, Il s'étend sur une superficie de 12 320,25 m², contient : une salle de réunion, un magasin, 11 bureaux, un amphi, 02 salle des professeurs, 27 classes, 05 laboratoire, 02 dortoirs, un salon, une bibliothèque, 2 sanitaires, 06 couloirs, Restaurent et Logement.



Figure III.1:: la plateforme d'accueil du Lycée les « frères Barrani »

c) Localisation

Lycée les « frères Barrani » Mécheria, Algérie $33^{\circ}33'22.6''N$ $0^{\circ}15'51.3''W$



Figure III.2:: Photo par satellite de Lycée les « frères Barrani »

III.2. Etapes pour dimensionner l'installation

Calculer la puissance de consommation du Décanat

- ❖ Déterminer les besoins énergétiques journaliers dans le cas le plus défavorable (la période où les besoins sont les plus importants).
- ❖ Calculer le champ des panneaux photovoltaïques nécessaire pour produire les besoins journaliers en considérant l'énergie solaire disponible (le mois) le plus défavorable, selon la situation géographique du site
- ❖ Définir des modules photovoltaïques (technologie, tension de fonctionnement...).
- ❖ Calculer le parc de batteries pour une autonomie donnée (une semaine).
- ❖ Déterminer le ou les convertisseurs (onduleur, chargeur) pour fournir la puissance

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

nécessaire à l'installation

- ❖ Déterminer la puissance du groupe électrogène dans le cas où il y a un besoin d'appoint de secours.
- ❖ Déterminer le coût du système. [9]

III.3. Calcul de la consommation énergétique

Les besoins seront déterminés à partir des équipements électriques bureautiques existants ou envisagés. Un travail de recensement des équipements et d'identification des puissances ou des consommations normalisées est alors réalisé. Puis les consommations donc les besoins sont déterminés, soit par calcul à partir de la puissance des appareils et de leur temps d'utilisation (éclairage, ordinaire...), soit par relevé des consommations normalisées forfaitaires journalières données par les constructeurs. Ce travail doit aboutir à la consommation journalière optimisée mois par mois.

III.3.1. Les besoins de l'application en énergie

Il est indispensable de connaître précisément le besoin en énergie d'une installation avant de passer au dimensionnement afin de concevoir un système photovoltaïque adapté. Au vu du coût encore élevé du watt solaire, Il est souhaitable d'éviter de surdimensionner le système photovoltaïque en privilégiant l'économie d'énergie au niveau des récepteurs. La puissance photovoltaïque du générateur à installer est déduite du calcul de la consommation de l'application. Le calcul de dimensionnement prend en compte la puissance, la tension des appareils ainsi que la durée d'utilisation. Tous les consommations disponibles (lampes, climatiseur, imprimant, ordinateur, etc.) sont listées en précisant leur tension, leur puissance et leur durée d'utilisation par jour. Les appareils à faible consommation d'énergie et à haute rendement sont préférés même si leur coût d'investissement est plus élevé.

Pour un meilleur rendement énergétique et d'économie financière, il est préférable d'utiliser des récepteurs fonctionnant en courant continu (12 ou 24 VDC) puisque ce dernier, produit par les panneaux photovoltaïques et/ou stocké dans les batteries, est directement utilisé par les récepteurs CC sans transformation préalable du courant. En revanche, en présence de récepteurs en 230 VAC, il faut rajouter un onduleur CC/CA, devenant lui-même un consommateur d'énergie non négligeable (marche/mode veille) à prendre en compte dans le bilan global de la consommation. Sur le marché, il existe un grand choix de récepteurs CA lampes, réfrigérateurs, ventilateurs, pompes à eau, postes de radio, téléviseurs etc. Cependant, certains appareils n'existent pas en courant continu ou n'offrent pas la tension souhaitée : dans ce cas, l'onduleur est nécessaire afin de faire fonctionner les récepteurs VAC.

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Pour chaque appareil consommateur, la consommation journalière (en Wh/j), est définie à partir de sa puissance (en W) et de sa durée d'utilisation (en h/j), afin d'en déduire la consommation totale journalière. Cette dernière est ensuite réajustée en fonction du taux d'occupation de Travailleurs, élèves et enseignants tout la saison scolaire. au cours d'une année (week-end, vacances, etc.). A partir de cette valeur, il est possible de calculer la puissance photovoltaïque (pour en déduire le nombre de panneaux à installer) et de dimensionner le stockage (calcul de la capacité de la batterie et de la profondeur de décharge), le régulateur et de câblage. [10]

III.3.1.1 Besoins de l'utilisation des différents appareils (Tableau III.2)

APPAREILS	NOMBRES	PUISSANCES (WATT)	Durée utilisation(heures)	ENERGIES (Wattheure/jour)
Lampes	179	20	3	10740
ORDINATEUR bureautique	20	350	3,5	24500
MICRO PORTABLE	6	30	3	540
FRIGO	2	160	24	7680
IMPRIMENTE Laser	10	750	0,5	3750
CLIMATESEUR	43	1230	4	211560
Data show	5	200	1	1000
ONDULEUR	20	350	3,5	24500
Chambre froid	1	350	12	4200
Hautparleur	1	125	0,2	25
CHAUFFAGE	1	1200	3	3600
dupli copieur	2	230	0,1	46
electrique cumulus	1	2200	1	2200
consommation totale journalière				294341

Tableau III.1: Différents appareils de consommation au lycée

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

La consommation totale journalière d'énergie de l'application est calculée en additionnant la consommation journalière de chaque récepteur :

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + \dots$$

$$E_t = [(P_1.t_1)n_1] + [(P_2.t_2)n_2] + [(P_3.t_3)n_3] + [(P_4.t_4)n_4] + [(P_5.t_5)n_5] = \text{wh/j} \quad \text{Équation III-1}$$

Avec :

P_1 : Puissance du récepteur (W) ;

t_1 : Temps d'utilisation du récepteur par jour (h/j);

n_1 : Nombre de récepteur ;

Après la consommation globale journalière, il faut étudier sa variation dans le temps (hebdomadaire, mensuelle voire saisonnière) en fonction de l'utilisation des exploitants. Le dimensionnement des panneaux photovoltaïques dépend de la fréquence d'occupation de l'habitat et le dimensionnement du système photovoltaïque.

Pour une consommation le calcul du dimensionnement est fondé sur une valeur moyenne de consommation obtenue en multipliant la consommation totale

ENERGIE_{TOTAL}=Lampes+Ordinateur_{bureautique}+Microportable+Imprimante_{Laser}+Frigorifère+Climatiseur+Data-show+Onduleur+Chambre-froid+Haut-parleur+Duplicopieur+Chauffage+Electrique cumulus

$$= 10740 + 24500 + 540 + 7680 + 3750 + 211560 + 1000 + 24500 + 4200 + 25 + 3600 + 46 + 2200 = 294341$$

D'où L'ENERGIE TOTAL=294,341 kwh/j

$$B_{jwh} / \text{jour} = E_{\text{Totale}}$$

$$P_{jwh} / \text{jour} = \sum P_i$$

$$B_j = 294,341 \text{Kwh}$$

$$B_h = B_j \times 7 = 2060,387 \text{KWh}$$

$$B_m = B_h \times 4 = 8241,548 \text{KWH}$$

$$B_a = B_m \times 12 = 988985,76 \text{KWH}$$

Équation III-2

Le tableau suivant de termine les valeurs citées:

	Besoins journaliers(B_j)	Besoins Hebdomadaire(B_h)	Besoins mesuels(B_m)	Besoins annuels(B_a)
Besoins en énergie(KWh)	294,341	2060,387	8241,548	988985,76

Tableau III.2: les besoins du système PV dans les temps

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.4. Détermination d'irradiation du site pour le dimensionnement

III.4.1 Période de l'ensoleillement

Plus la puissance lumineuse (ensoleillement) augmente, plus la puissance générée par la cellule PV augmente aussi.

Au contraire, plus la température des cellules augmente, plus la puissance générée par les cellules est faible. La carte ci-dessous nous montre l'ensoleillement moyen annuel.

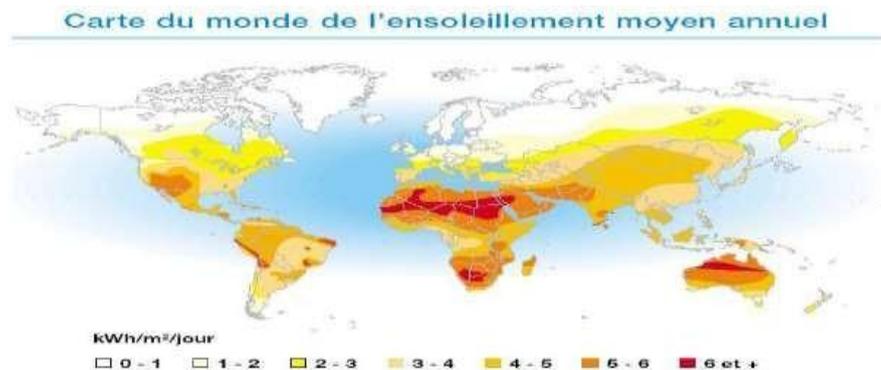


Figure III.3 : carte ensoleillement

Sur cette directive, nous choisirons la période la moins ensoleillée dans l'année, le mois de Janvier dans notre cas.

La figure (III.4) Représente l'irradiation moyenne en Algérie, MECHERIA fait partie de l'intervalle [4900-5300] (Wh/m²/j).

L'énergie solaire est définie par le produit du nombre d'heure équivalente (la durée d'ensoleillement maximale pendant une journée par le rayonnement de référence 1000W/m²).

$$E_{sol} = N_e * 1000$$

(Soit $N = N_e * 1000$)

Équation III-3

Avec : L'ensoleillement du site (Wh/m²/jour)

N_e : Nombre d'heures équivalentes (h/jour) Soit $N_e = E_{sol} / 1000$

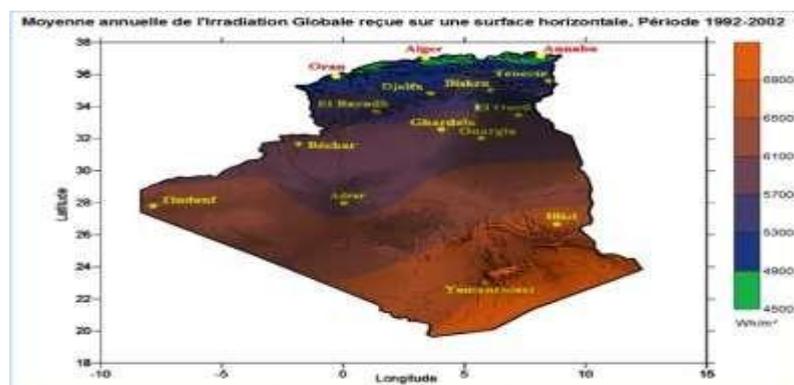


Figure III.4:l'irradiation globale

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.4.2 Le coefficient de perte

Plusieurs pertes interviennent dans les systèmes photovoltaïques tels que voir (tableau III.4).

Nature de perte		Perte(%)	Observations
Pertes par salissure		5 – 10	Pertes dépendant de l'inclinaison des panneaux et de la fréquence d'entretien
Pertes liés aux composants électriques	Régulateur	2	Pertes dépendant des caractéristiques internes des composants et de la technologie utilisée (en série ,MPT)
	Onduleur	10	
	Diode en série	3 – 6	Pertes en fonction du nombre de branches
Pertes ohmiques liées aux câbles		3 voire 1	Pertes à réduire au minimum en réalisant un dimensionnement du câblage adéquat
Pertes thermiques		05%/°C	Pertes à minimiser par une ventilation adaptée Pertes affectant surtout les systèmes en pays chauds
Pertes de dispersion de puissance nominale d'un module		3 – 10	Pertes selon les fabricants Difficile à vérifier
Perte d'appairage en série		3	Pertes à réduire au minimum en réalisant le bon tri des modules
Pertes liées à la batterie		10	Pertes dépendant des caractéristiques internes et de la technologie utilisée (tubulaire ,plaques ,etc.)
Pertes liées au faible éclairement		Faible	Pertes à minimiser en fonction de la technologie des modules
Coefficient global de perte		Compris entre 0.65 et 0.90	

Tableau III.3: les différents types de pertes

D'où en faisant des recherches approfondies on a constaté que les pertes est égales $C_p = 0,65$

III.4.3 Irradiation moyenne dans l'année 2021

Mois	Jan.	févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov	Déc.	Année
(KWh/m ² /jour)	2.64	3.25	4.24	5.11	5.93	6.43	6.34	5.8	4.53	3.67	2.8	2.34	4.43
(h/jour)	2.6	3.2	4.2	5.1	5.9	6.4	6.3	5.8	4.5	3.6	2.8	2.3	4.43

Tableau III.4: Irradiation moyenne dans l'année (logiciel PVsyst7)

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.5. Détermination et importance de l'orientation et d'inclinaison des panneaux

Pour optimiser au mieux la production l'énergie d'une installation solaire. Il est très important de ne pas sous-estimer l'importance de l'inclinaison et d'orientation du panneau solaire.

Les critères à prendre en compte pour un rendement optimal des panneaux. Avant de commencer nous expliquons brièvement les termes :

- ❖ L'inclinaison est l'angle entre le plan du panneau solaire et le sol. Un panneau incliné 0° est à plat contre le sol ou horizontal, un panneau à 90° est à la verticale.
- ❖ L'orientation est l'angle entre le panneau solaire et l'axe plein Sud. A 0° l'angle de l'orientation correspond à un panneau faisant face au Sud, à l'Est ou l'Ouest, 180° au Nord.

III.5.1Energie solaire récupérable

L'énergie fournie par les panneaux dépend de leur rendement, de l'ensoleillement du site et de la taille du champ donc de sa puissance crête.

L'orientation, l'inclinaison et l'ombre portée influent également sur l'énergie qui sera produite par les panneaux. Il faut par conséquent être très vigilant sur la position des modules par rapport au soleil.

III.5.2Orientation et inclinaison

Dans la mesure du possible, il est conseillé dans nos latitudes (Europe hémisphère nord) d'orienter les modules en direction du sud. L'inclinaison optimale est fonction de l'usage de l'installation :

- ❖ Pour un fonctionnement annuel, ou,
- ❖ Pour un fonctionnement saisonnier.

Sur les sites isolés ou le besoin est annuel, il est conseillé de privilégier la production d'électricité durant la période hivernale. Une inclinaison des panneaux correspondant à la « latitude du site $+10^\circ$ » (par exemple à Paris : $49^\circ + 10 = 60^\circ$) permet de recevoir un maximum de rayonnement solaire en hiver, tout en gardant une production « correcte » durant le reste de l'année

Pour une installation ne fonctionnant qu'en été, l'inclinaison optimale sera de 20 à 30° . Pour les bâtiments existants, l'orientation des toits est généralement fixée. La section « la variation du rayonnement solaire en fonction de l'orientation et de l'inclinaison peut aider à optimiser la production en fonction de la situation réelle

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.5.3 Détermination de la puissance crête des panneaux

La puissance d'un panneau solaire s'exprime en watts-crête (WC) ou kilowatts-crête (kwc). Cette Puissance crête d'un panneau solaire correspond à la puissance maximale de production électrique qu'il peut délivrer. Il s'agit d'une puissance idéale fournie dans des conditions optimales

Un ensoleillement de 1000 W de lumière/m²

- ❖ Une température extérieure de 25°C.
- ❖ Une bonne orientation des panneaux et aucun ombrage.

III.5.3.1 Calcul pratique de la puissance photovoltaïque

- ❖ Calculons l'énergie à produire:

$$E_p = \frac{B_j}{C_p} = \frac{E_{Totale}}{C_p}$$

$$E_p = \frac{294,341}{0,65} = 452,833KW$$

Équation III-4

- ❖ Calcul la puissance crête:

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

N_e = irradiation moyenne de 5 kwh/m/jour pour (la période estival de fonctionnement)

$$P_c = \frac{529,46152}{5} = 90,56KW_c$$

$$P_c = 90,56KW_c$$

III.5.3.1.1 Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation

Les panneaux photovoltaïques choisissent de type monocristallin ,leurs caractéristiques sont consignées dans la figure ci-dessous:

SPECIFICATIONS		
Module type	JKM340M-72-V	
	STC	NOCT
Maximum power (P _{max})	340W _P	254W _P
Maximum power voltage (V _{mp})	38,7V	36,8V
Maximum power current (I _{mp})	8,79A	6,89A
Open-circuit Voltage (V _{oc})	47,1V	45,5V
Short-circuit Current I _{sc})	9,24A	7,33A
Module Efficiency STC (%)	17,52%	

Figure III.4:Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Cell type	Mono-crystalline 156*156mm(6 inch)
No of cells	72(6*12)
Dimensions	1956*992*40mm(77.01*39.05*1.57inch)
Weight	65.5kg(58.4lbs)
Front Glass	4.0mm, Anti-reflection Coating High transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1*4.0mm ² , length 900mm or Customized length

Figure III.5: Caractéristiques mécaniques De Panneau solaire

III.5.3.2 Calcul du nombre de panneaux

Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation est déterminé par l'équation suivante :

$$N_b = \frac{P_C}{\text{Puissance de panneau}} = \frac{90,56}{340} \quad \text{Équation III-5}$$

$$N_b = 267$$

Nb-Nombre de panneau solaire

Nb=312 modules

a) Le nombre de modules connectés en série:

$$N_s = \frac{V_{Ch}}{V_N} \quad \text{Équation III-6}$$

$$N_s = \frac{48}{38,7} = 1,24 \approx 2$$

Donc on utilise 2 panneaux de 340 Wc connectés en séries.

b) Le nombre de modules connectés en parallèle:

$$N_p = \frac{N_M}{N_s} \quad \text{Équation III-7}$$

$$N_p = \frac{267}{2} \approx 134$$

Donc on utilise 134 panneaux de 340 Wc connectés en parallèle.

III.5.4 Dimensionnement et calcul du nombre de batterie

Toutes technologies confondues, la caractéristique principale d'un accumulateur, c'est la capacité. C'est la quantité d'énergie qu'il est à même d'emmagasiner, et donc celle qu'il est capable de restituer.

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Cette capacité s'exprime en Ampère-heure, symbole Ah.

Il faut savoir que la capacité restituée par un accu n'est pas constante, même à charge égale. La capacité restituée dépend des conditions de décharge.

Plus il fera froid et plus vous demanderez un courant important, plus la capacité de l'accu sera faible, et inversement. Pour une même technologie la capacité d'un élément est proportionnelle à son volume. Par contre pour deux technologies différentes, des mêmes capacités, les volumes ne sont pas du tout les mêmes. Ce rapport capacité / volume poids est caractérisé par la densité d'énergie exprimée en Wh/kg aussi appelé facteur de mérite.

On parlera souvent dans le texte de la capacité nominale d'un accu (notée C ou Cn).

C'est tout simplement la capacité indiquée sur le boîtier de l'élément. Elle est donnée par le fabricant et elle est normalement calculée conformément à une norme.

Pour réaliser le dimensionnement de la batterie, on procède de la façon suivante :

Etape 1 : on calcule l'énergie consommée (E_c) par les différents récepteurs

Etape 2 : On détermine le nombre de jours d'autonomie nécessaire

Etape 3 : On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisé

Etape : 4 on calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U} \quad \text{Équation III-8}$$

C : capacité de la batterie en ampère-heure (AH)

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible (0.8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batter

III.5.5 Profondeur de décharge

L'élément fourni de l'électricité tant qu'on lui en demande et qu'il lui reste de l'énergie chimique. Mais cela pose un problème. En effet si on laisse un accu branché trop longtemps en décharge sur un circuit, il va trop se décharger. Il va " s'éteindre " et il ne sera plus possible de le recharger. Pendant la phase de décharge l'accu se comporte comme tout générateur électrique.

La tension disponible à ses bornes évolue en fonction du courant consommé du fait de sa résistance interne. A la fin de la décharge, quand l'accumulateur est vide, on constate une chute brutale de la tension.

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.5.6 Calcul de la capacité de batterie

Sur le tableau ci-dessous on résume tous les résultats obtenus des calculs qui ont été fait sur : l'énergie consommée par jour en kWh/j ; la puissance photovoltaïque crête du système en kWc et le nombre de panneaux du champ photovoltaïque (tableau III.6).

Nom	L'énergie consommée par jour en kWh/j	La puissance photovoltaïque crête du système en kWc	Le nombre de Panneaux du champ photovoltaïque
Bâtiment de DOYEN	294341	90,56	267

Tableau III.5:les résultats des calculs

Le nombre de jour d'autonomie est 3 jours sans apport solaire note N Décharge maximale admissible est 80%

Caractéristique technique de batterie choisie est :

Voltage	24V
Technologie	Plomb
Capacité batterie	250Ah
Poids	73 kg

Tableau III.6:caractéristique des batteries

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U}$$

$$C = \frac{294341 \cdot 3}{0,8 \cdot 24}$$

$$C = 45,99 \text{ KAh}$$

III.5.6.1 Nombre de batterie

Le nombre de batterie est déterminé par la formule suivante

$$\text{nombre de batterie} = \frac{C}{\text{capacite de batterie}}$$

$$\text{nombre de batterie} = \frac{45,99}{250} = 183,96$$

Équation III-9

Puis on obtient donc 183,96 batteries pour produire l'énergie qu'on a besoin.

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.5.7 Dimensionnement du régulateur et de l'onduleur

Régulateur : Le dimensionnement du régulateur est défini une fois que le type de régulateur est retenu. Il existe deux types de régulateurs ;

un simple régulateur de charge : il ne contrôle que la charge de batterie et évite ainsi les surcharges de la batterie ; il est utilisé pour des installations pour lesquelles le risque de décharge est quasiment nul (surdimensionnement des modules, consommation très bien maîtrisée avec une faible probabilité de dépassement, etc.) ;

un régulateur charge-décharge : il permet, en outre, d'éviter les décharges profondes en coupant l'alimentation de tous des appareils électrique ; les régulateurs charge-décharge sont bien adaptés aux applications domestiques pour lesquelles le dépassement de consommation par les occupants est fréquent.

Pour dimensionner le régulateur, il faut prendre en considération trois éléments principaux la tension nominale entre les panneaux et les batteries : le régulateur doit pouvoir accepter cette tension (en générale 12 V, 24 V ou 48 VDC). Les régulateurs acceptent des plages de tension plus ou moins larges ;

L'intensité maximale de sortie : elle ne concerne que les régulateurs charge-décharge qui doivent accepter le courant maximal fourni simultanément par les récepteurs. Cette intensité maximale doit prendre en compte également les courants transitoires élevés produits lors des démarrages de certains appareils électriques.

À partir de ces données, il est possible de choisir la technologie de régulation à adapter à la puissance du système photovoltaïque et aux types des batteries. Les régulateurs shunt sont plus adaptés aux systèmes photovoltaïques de faible puissance, alors que les régulateurs (série) conviennent aux systèmes plus élevés. [10]

On a comme puissance des appareils de $P_T=7195$ watts

On sait que $P = U \times I \Rightarrow I = \frac{P}{U}$ d'où on= 299.79A

Pour déterminer le type de régulateur on va ajouter 10% au courant donc on

$$a : I_T = 299.79 + 299.79 * 10\%$$

$$I_T = 329,77 \text{ A}$$

On va choisir le régulateur MPPT qui peut supporter le courant de 329,77 A

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

❖ Dimensionnement de l'onduleur

Pour une installation autonome, l'onduleur est dimensionné en fonction des caractéristiques des modules, des batteries et des récepteurs fonctionnant uniquement en courant alternatif.

Les paramètres de dimensionnement sont :

La tension d'entrée (12,24 ou 48 V) : c'est la tension CC délivrée par le générateur photovoltaïque ou par le système de stockage

La tension de sortie (220 V AC à 50 HZ) : la forme de l'onde est soit sinusoïdale, soit carrée, soit encore pseudo sinusoïdale selon la nature des appareils que les récepteurs devront faire fonctionner. Le choix de la technologie dépend donc des caractéristiques du ou des récepteurs

La puissance nominale : elle correspond à la puissance que peut délivrer l'onduleur en fonctionnement permanent, c'est-à-dire à la somme de la puissance de toutes les charges électriques susceptible d'être utilisées en même temps. En pratique, elle est définie à partir des valeurs moyennes du profil de consommation, en courant alternatif, majoré de 20 % ;

- ❖ La puissance maximale (50% de la puissance nominale) : c'est à dire surcharge importante provenant du démarrage de certain moteur, surcharge que doit accepter l'onduleur pendant une très courte durée.
- ❖ La consommation à vide ou en attente : elle doit être la plus faible possible (2% à 3% de la puissance nominale). Une consommation trop importante peut avoir des méfaits sur la capacité et la durée des batteries.
- ❖ La puissance d'un onduleur est exprimée en VA, ou volte Ampères. Avant de choisir un onduleur, il faut faire la somme de la consommation de tous les appareils que l'on va lui connecter. [11]
- ❖ Le problème, c'est qu'en général sur le matériel, informatique, la consommation est exprimée en watts pour convertir rapidement des watts en V.A.
- ❖ On peut utiliser cette formule approximative : puissance en VA= puissance de watts / 0.66 [11]

D'où la puissance en V.A = 7195 watts / 0.66

On a puissance d'onduleur est 10901,52VA

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.6. Branchement des panneaux et batteries sur le régulateur

On branche les panneaux au régulateur et le régulateur à l'onduleur. L'onduleur photovoltaïque se branche directement sur le compteur. L'onduleur achemine alors l'électricité jusqu'à au prises. Le branchement de panneau solaire en série permet d'additionner les tensions. Pour brancher le panneau solaire en série, on connecte la borne + du panneau solaire à la borne et inversement. Le branchement de panneau solaire en parallèle permet d'additionner les intensités. Pour brancher le panneau solaire en parallèle, on connecte les bornes + ensemble et les bornes - ensemble. Pour une puissance suffisante, on opte pour un branchement de panneau solaire mixte, en série et en parallèle.

Un régulateur, qui protège l'installation. Ce régulateur est parfois incorporé à l'onduleur. Un onduleur photovoltaïque transforme le courant électrique continu en courant alternatif. Pour fixer la puissance nominale de l'onduleur, il faut estimer :

- ❖ La charge maximale probable pendant une durée supérieure a 20mn ou les charges de courte
- ❖ durés ne sont prises en compte
- ❖ La charge maximale instantanée, elle est généralement égale à 4 fois la puissance du moteur le plus puissant que la plus grande puissance utilisée.
- ❖ La puissance nominale doit être la plus faible pour limiter les pertes.
- ❖ La puissance nominale de l'onduleur est fixée suivant deux critères
- ❖ La puissance maximale probable pendant une durée supérieure 20 mm

Exemple: Eclairage

$$S_1 = P = U * I \quad \text{Équation III -10}$$

Autre $S_2 = U * I \quad \text{Équation III -11}$

$$P_{totale} = U * I \quad \text{Équation III -12}$$

La puissance maximale instantanée : elle est généralement égale à 4 fois la puissance du moteur le plus puissant

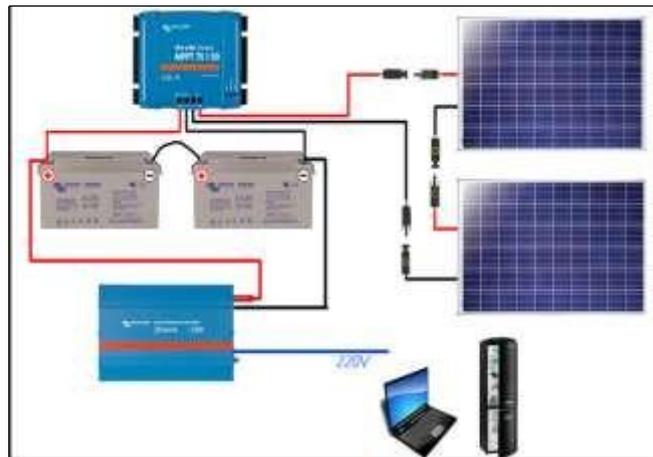


Figure III.5:Branchement des éléments entre eux

III.7. Calcul de la section des câbles

Il est important de calculer correctement la section du câble utilisé lors des installations électriques. En effet un câble trop faible va entraîner un échauffement dû à la résistance du câble (ce qui peut créer un incendie) et une perte de tension, une section trop importante peut entraîner un problème de poids et de coût

La résistance R d'un conducteur (en ohms) est directement proportionnelle à

- ❖ Sa résistivité (0.01786 'mm²/m à 20°C pour le cuivre)
- ❖ Sa longueur L (en mètres)
- ❖ Inversement proportionnelle à la section S (en mm²) de ce conducteur

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

Équation III-13

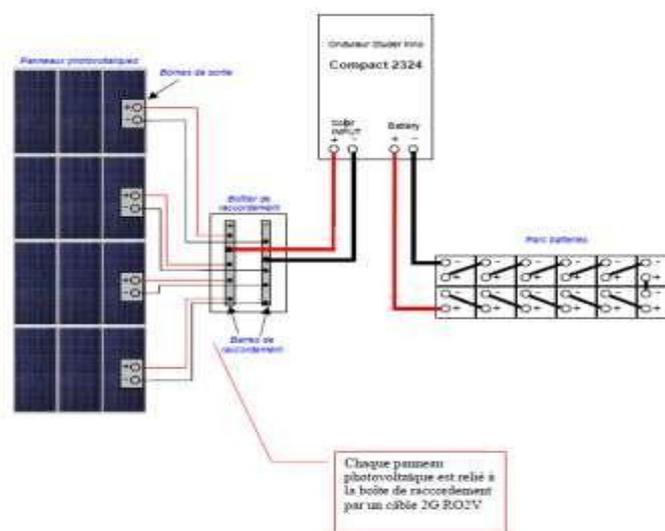


Figure III.6:Raccordement entre les éléments du système

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Le courant de sortie du panneau

$$I = \frac{P}{U} \quad \text{Équation III-14}$$

$$A_N : I = \frac{340}{24} \Leftrightarrow I = 14,16A$$

Section des conducteurs entre 1 et 2 :

ΔU : la chute de tension en%

$$\Delta U = 24 \times 0,02 = 0,48$$

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,48}{14,16} \Leftrightarrow R = 0,03\Omega \quad \text{Équation III-15}$$

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

$$S = \frac{\rho L}{R} \quad \text{Équation III-16}$$

$$A_N : S = \frac{1,6 \times 10^{-8} \times 6}{0,03} \Leftrightarrow S = 3,2mm^2$$

$S=3.2mm^2$ Alors on choisit le câble de section $S=4mm^2$

Courant circulant entre 2 et 3 :

Puissance crête du champ PV :

$$P_C = N_{panneau} * U_{panneau} \quad \text{Équation III-17}$$

$$PC = 267 \times 340 = 90780W$$

Le courant circule entre le boîtier et les batteries

$$I = \frac{P_C}{U} \quad \text{Équation III-18}$$

U: la tension de la batterie

$$A_N : I = \frac{90780}{24} \Leftrightarrow I = 3782,5A$$

Section des conducteurs entre 2 et 3:

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,48}{3782,5} \Leftrightarrow R = 0,0001269\Omega$$

$$S = \frac{\rho L}{R} = \frac{1,6 \times 10^{-8} \times 10}{0,0001269} \Leftrightarrow S = 1,26mm^2$$

$S=126.08 mm^2$ Alors on choisit le câble de section $S=75mm^2$

Calcul du courant entre 3 et 4 :

$$I_{bat} = \frac{P_{onduleur}}{U_{bat}} \quad \text{Équation III-19}$$

CHAPITRE III : Dimensionnement du système photovoltaïque

$$AN : I_{bat} = \frac{10901,52}{24} \Leftrightarrow I_{bat} = 454,23A$$

Section entre 3 et 4

$$R = \frac{\Delta U}{I_{bat}} = \frac{0,48}{454,23} \Leftrightarrow R = 10,56 \times 10^{-4} \Omega$$

$$S = \frac{\rho L}{R} = \frac{1,6 \times 10^{-8} \times 8}{10,56 \times 10^{-4}} \Leftrightarrow S = 12,11 mm^2$$

$S = 12,11 mm^2$ Alors on choisit le câble de section $S = 14 mm^2$

III.7.1 Étude de faisabilité

Installer un système solaire photovoltaïque est donc une réelle opportunité pour minimiser son impact environnemental, réduire sa facture d'énergie sur le long terme et concrétiser un engagement durable.

Pour cela le projet doit être validé, dimensionné, adapté à la situation du site, à ses besoins et à son environnement (localisation, expositions, masques solaires, albédos, obstacles, météo, ...).

III.8. Conclusion

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque est essentiel pour son bon fonctionnement et pour la satisfaction de l'utilisateur. Les applications solaires en site isolé ont le mérite d'un fonctionnement simple et d'un entretien réduit, mais nécessite en revanche une prise en compte des propriétés de la source d'énergie dans leur utilisation : intermittence, course du soleil et dépense rationnelle de l'énergie accumulée.

Dans tous les cas, il est nécessaire de connaître le besoin à savoir : le gisement d'énergie solaire du lieu concerné ; le choix des modules PV, leur implantation et la structure support ; le choix des composants électriques assurant la régulation, la protection du système et des usagers ; ainsi que la mise en œuvre (câblage, maintenance). Dans le chapitre suivant, on va entamer la simulation pour déterminer les composants adéquats

CHAPITRE IV :

Simulation et discussion des résultats

Etude Technico-Economique

IV.1. Introduction

Suite à notre étude du système d'installation d'une chaîne photovoltaïque, il est important d'évaluer le coût annuel total de notre système. Alors, nous procédons à la détermination économique et énergétique du coût global actualisé du kWh fourni. Le prix du kWh produit par cette installation solaire photovoltaïque dépend des coûts fixes à l'investissement initial (achat du matériel et travaux) et surtout de la durée considérée pour l'amortissement de l'investissement (exemple 10 ans).

Le choix technique et économique de l'une des formes des énergies renouvelables est tributaire de la connaissance de plusieurs paramètres à savoir : la puissance électrique requise, et le coût d'investissement [33].

IV.2. Tableaux de l'étude technico-économique des systèmes PV

Les prix de l'équipement utilisé pour l'étude économique sont obtenus auprès des entreprises fabricantes en ALGERIE : CONDOR et ALGERIA SOLAR COMPANY. Pour éviter les frais de transport.

Désignatin	Caractéristique	Puissance installée	Quantité	Prix unitaire (DZD)	Montan tDZD
Module poly cristallin	340Wc / 38V	7, 2	266	21.800,00	5798800,00
Supports pour les modules	/	7, 2	266	3000,00	798000,00
Câble et divers	/	7, 2	1	12000,00	12000,00
Régulateurs	125 V/80 A	7, 2	4	42.600,00	170400,00
batteries	V = 6V ; Capacité= 250 Ah.	7, 2	133	45.750,00	6084750,00
onduleur	VCC =38–66 V ;VAC =230 V P= 2500/2250 W	7, 2	1	22.000,00	22000,00
Cout total de SPV	/	/	/	/	12885950,00

Tableau IV.1: Etude technico-économique du système PV alimentant une maison autonome

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats

Le tableau montré que pour une production de 7, 2kW, Le cout total du système photovoltaïque est : 12885950,00 **DZD**.

L'analyse économique qui permettra de déterminer le coût total du projet et le temps de retour sur investissement est faite sur la base des hypothèses suivantes :

- ❖ Coût de maintenance et d'exploitation est pris égal à 5% de l'investissement initial ;
- ❖ La main d'œuvre est pris égale à 10% de l'investissement initial ;
- ❖ Coût d'investissement initial;
- ❖ Le coût de remplacement des équipements.

Suite aux résultats trouvés, l'amortissement de l'investissement du projet est estimé de 20 à 25 ans, et la durée de vie des batteries est de 10 ans, aussi nous considèrerons ces batteries seront remplacées deux fois pendant la durée de projet.

$Coût\ total = Investissement\ initial + coût\ d'Exp\ \&\ maintenance + Main\ d'oeuvre + Coût\ de\ remplacement$

Ce qui nous donne un coût total du projet égal à 20903593,00 DZD.

Notre utilisateur n'amortit pas son investissement pendant la période de 20 ans, une durée de vie du module photovoltaïque de 20 à 25 ans. Ce n'est pas donc très positif pour son investissement, on conclut que le prix du kWh de Sonelgaz est moins cher que le kWh solaire.

IV.3. Installation et maintenance

Le montage d'une installation PV ne diffère pas beaucoup de celui électrique traditionnel.

Cependant les particularités du courant continu et de la basse tension liées aux grands courants imposent certaines précautions particulières.

Les panneaux solaires devant être montés à l'extérieur, une série de problèmes liés à l'environnement peuvent apparaître: corrosion ou vieillissement en fonction de la salinité, des matériaux et des choix de montage.

IV.4. Installation mécanique et électrique

IV.4.1. Installation du générateur PV

➤ Orientation et l'inclinaison du générateur PV

Il est important que les modules soient orientés plein sud pour capter l'énergie quotidienne maximale, quelle que soit la saison. Pour cela, le sud magnétique peut être déterminé à l'aide d'une boussole.

L'inclinaison est le second paramètre important. Elle est principalement choisie en fonction du profil de consommation tout au long de l'année.

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats

Une inclinaison faible par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'été.

Une inclinaison importante par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'hiver et par-là permet de diminuer les variations énergétiques entre l'hiver et l'été.

Par contre, cette inclinaison oblige à dimensionner le générateur sur les apports d'hiver et elle conduit généralement à une surproduction d'énergie électrique en été. **Les masques**

Il est extrêmement important d'éviter d'occulter une partie du générateur PV par un masque. En effet, une ombre portée, même étroite, peut perturber le fonctionnement du système photovoltaïque

- ❖ en provoquant l'éventuelle destruction d'un ou plusieurs module si la protection électrique du générateur est insuffisante ;

- ❖ en occasionnant une perte énergétique en fonction de l'importance et de l'évolution du masque au cours de la journée (et des saisons) et du groupement série parallèle des modules.

➤ **Montage des modules en rangs parallèles**

L'occultation d'une série de modules peut provenir de l'installation du générateur lui-même.

L'écartement entre rangées doit tenir compte de ce facteur, la situation la plus défavorable étant atteinte le jour du solstice d'hiver.

➤ **Fixation des modules**

La fixation des modules doit assurer correctement les fonctions suivantes :

- ❖ Maintien de l'orientation contre le vent et les autres intempéries, contre les agressions mécaniques ;
- ❖ Protection contre les salissures, et agressions venant du sol ;
- ❖ Ventilation des modules afin de limiter leur échauffement ; les performances des modules diminuent quand la température moyenne des cellules augmente ;
- ❖ Rigidité de l'ensemble des modules.

De plus, le système de fixation lui-même est exposé aux intempéries et doit pouvoir leur résister, sa durée de vie doit être au moins égale à celle des modules eux-mêmes.

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation. Pour tout type de générateur, la structure classique consiste en

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats

un châssis avec une base plane pouvant recevoir des écrous de fixation eux- mêmes liés à une armature rigide (exemple : chape de béton).

Les supports sont en général réalisés en aluminium anodisé ou en acier inoxydable.

Toute la boulonnerie de fixation est en général en acier inoxydable. La structure recevant les supports doit :

- ❖ Pouvoir résister aux conditions climatiques, en particulier aux vents ;
- ❖ Permettre une bonne ventilation des modules : l'arrière des modules doit donc être suffisamment dégagé pour permettre la circulation de l'air ;

Isoler les modules du sol. Il est conseillé d'adopter une distance minimum de 0,6 à 0,8m entre le sol et le bas des modules [16].

IV.4.2. Installation des batteries de stockage

Les accumulateurs, de par leurs constituants, sont des éléments présentant un certain nombre de dangers (toxicité, risque d'explosion). Ainsi que leur rendement est lié directement à leurs température de fonctionnement (Il faut qu'ils soient aérées).

Une attention particulière doit donc être portée au local où sont entreposés les accumulateurs et à leur installation dans ce local.

➤ Local des accumulateurs

Il doit assurer les fonctions suivantes :

- ❖ Isoler les accumulateurs des intempéries et des éléments extérieurs (pluie, neige, soleil.) ;
- ❖ Permettre une inspection périodique commode des accumulateurs ;
- ❖ Etre correctement ventilé, les accumulateurs dégageant des gaz qui peuvent former un mélange explosif ;
- ❖ Maintenir une température ambiante la plus proche possible de 20 °C et en tout cas compris entre 0 et 45 °C;

➤ Installation des accumulateurs

Elle doit assurer les fonctions suivantes :

- ❖ Isoler les accumulateurs du sol ;
- ❖ Permettre une inspection facile des niveaux et connexions, et l'addition d'électrolyte dans chaque accumulateur ;
- ❖ Permettre d'assurer des connexions électriques fiables, simples donc courte, entre les accumulateurs ;

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats

- ❖ Isoler électriquement les accumulateurs du sol.

IV.5. Maintenance

Les composants photovoltaïques nécessiteront des opérations de maintenance et surtout des pour s'assurer du bon fonctionnement du système.

➤ Modules

L'entretien des modules se fera chaque fois pour assurer que rien ne gêne l'arrivée du rayonnement et que l'énergie produite est transmise au régulateur. On fera donc :

- ❖ Le nettoyage de la face avant des modules à l'eau claire tous les 3 à 6 mois environ pour enlever les salissures, le sable, les éventuels nids
- ❖ Une vérification des supports : surveillance des corrosions éventuelles, serrage des fixations mécaniques
- ❖ L'élagage de la végétation tout autour si elle a poussé
- ❖ La vérification des connexions

➤ Batteries

Les opérations de maintenance et les contrôles sur les batteries doivent être effectués avec de l'outillage isolé et en observant les règles de sécurité pour éviter tout court-circuit.

On fera donc des opérations de maintenance et les contrôles suivants :

- ❖ La mesure de la tension de chaque élément et report des valeurs dans un tableau.
- ❖ Le contrôle de l'aspect : bac normale, non déformé, bornes propres (sinon les nettoyer).
- ❖ L'entretien des connexions et nettoyage des contacts
- ❖ Le contrôle visuel des niveaux d'électrolyte : ajout de l'eau distillée si nécessaire (il y a deux indicateurs de niveau MAX et MIN)
- ❖ La mesure de la densité de l'électrolyte de chaque élément.

➤ Régulateurs

Les nécessitent en principe très peu d'entretien.

Les éléments à contrôler sont la fixation du régulateur, le serrage des borniers et la tenue des câbles. Les paramètres de fonctionnement ne doivent pas changer dans le temps, sauf après une surcharge occasionnée, par exemple par un impact de foudre proche du système, dans un tel cas on surveillera que le fonctionnement de fin de charge est correct et que la charge s'arrête.

Au vu de ces résultats obtenus, le système PV étudié présente des avantages et des inconvénients, qui sont résumés sur le tableau ci-dessous. Le système photovoltaïque présente un coût d'investissement important, un entretien très réduit et un faible coût d'exploitation [34].

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats

IV.6. Mise à la terre du système

La mise à la terre est l'un des moyens généralement préconisés pour éviter la destruction d'une partie du système par la foudre.

b) Coût de l'énergie:

coût total du projet	20903593,00 DZD
Energie produite	115635,6KWh/ an
Coût de l'énergie produite	180,77 DA / kWh

Tableau IV.2: Coût de l'énergie

Suivant le cout d'installation le prix de 1KWh est estimé à **180,77** DA.

I. Présentation du logiciel de simulation PVSYST

PVSYST est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverses informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète.

Le dimensionnement du système est basé sur une procédure simple et rapide :

- ❖ Indiquer la puissance souhaitée ou la surface disponible.
- ❖ Choisir un module PV dans la base de données interne (liste déroulante),
- ❖ Choisir un onduleur dans la base de données (liste déroulante).

PVsys proposera une configuration de modules / système permettant de réaliser une première simulation préliminaire. Le logiciel inclut un système de code d'erreurs ou d'avertissement coloré

Nombre	Appareil	Puissance	Util. journ.	Distrib. horaire	Daily energy
178	Lamps (LED or fluo)	20 W/lampe	4.0 h/jour	OK	14240 Wh
25	ORDINATEUR bureautique	350 W/app	4.0 h/jour	OK	35000 Wh
5	MICRO PORTABLE	30 W/app	3.0 h/jour	OK	450 Wh
2	FRIGO	0.16 kWh/jour	24.0	OK	320 Wh
10	IMPRIMANTE Laser	750.0 W moy.	2.0 h/jour	OK	15000 Wh
51	CLIMATESEUR	1230 W/app	1.0 h/jour	OK	62730 Wh
72	APPAREILS	1001 W/app	3.0 h/jour	OK	216216 Wh
	Consomm. de veille	8 W tot	24 h/jour		192 Wh
Energie journalière totale					344148 Wh/jour
Energie mensuelle					10324.4 kWh/mois

Tableau IV.3: Estimation de consommation

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats

Dans le tableau IV.3 est notre cahier des charges rédigé lors du recensement des appareils

Analyse des résultats

- ❖ La production d'énergie totale (KWh/an) est essentielle pour évaluer la rentabilité du système PV.
- ❖ L'indice de performance (PR [%]) décrit la qualité du système lui-même.
- ❖ L'énergie spécifique [kWh/kWp] est un indicateur de la productivité du système, selon L'irradiation disponible (localisation et orientation).
- ❖ Le diagramme des pertes (Figure III.3) : Le diagramme des pertes montre les énergies à différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade.

Sous-champ

Nom et orientation du sous-champ
Nom: Champ PV
Orient.: Plan incliné fixe
Inclinaison: 33°
Azimut: 0°

Aide au dimensionnement
Pas de prédim. (radio button)
Entrez Pnom désirée: 90.4 kWc
ou surface disponible(modules): 516 m²

Sélection du module PV
Disponibles: Tous les modules PV
Modules nécessaires approx.: 266
Jinkosolar: 340 Wp 33V Si-mono JKM 340M-72 Depuis 2016 Manufacturer 2017
Utiliser optimiseur: SolarEdge P485 Worldwide 485 W Depuis 2019

Sélection de l'onduleur
Disponibles: Tension de sortie 400 V Tri 50Hz
SolarEdge: 12.5 kW Fixed 750 V TL 50/60 Hz SE12.5K-EU-APAC/AUS Depuis 2010
Nb. onduleurs concerné: 7
Tension de fonctionnement: 750 V Puissance onduleur utilisée: 87.5 kWac
Tension entrée maximale: 950 V Architecture SolarEdge

Déf. champ pour l'architecture SolarEdge
Entrée optimiseur: Entrée onduleur
Nb. optimiseurs en série: 39 (14 à 39)
=> 1 chaîne = 39 modules, Pnom = 13417 Wc soit Fraction de la capacité onduleur: 79 %
Nb. chaînes en parall.: 7 (Planifié 7)
Rapport Pnom: 1.07 Perte sur puissance: 0 %
nbre modules: 273 Surface: 530 m²

Référence pour dimensionnement
Puissance max.: 344 W / optimiseur (selon meilleures conditions ciel clair)
Irradiance plan: 1000 W/m²
Puiss. max. en fonctionnement (à 1000 W/m² et 50°C): 83.8 kW
Puiss. nom. champ (STC): 92.8 kWc

Liste des sous-champs

Nom	#Mod #Ond.	#Chaîne #MPPT
Champ PV		
Jinkosolar - JKM 340M-72	39	7
SolarEdge - SE12.5K-EU-APAC...	7	1

Résumé système global

Nombre de modules	273
Surface modules	530 m ²
Nbre d'onduleurs	7
Puissance PV nominale	92.8 kWc
Puissance PV maximale	93.0 kWDC
Puissance AC nominale	87.5 kWAC
Rapport Pnom	1.061

Résumé du système

Schéma simplifié

Tableau IV.4: Configuration d'un système

On a choisi le type de panneau qui convient à une puissance de 340 Wc mono puis un convertisseur MPPT de 24 v ;

on obtenu comme résultat 267 panneaux pour une surface de 516m².

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats

L'ors de notre simulation, l'angle d'inclinaison est de 35°c et les caractéristiques complètes des panneaux, batterie, régulateur de charge et décharge et onduleur de 97 /95 % comme efficacité maximale.

Comme l'illustre le tableau 4, le champ PV sera constitué de 134 modules PV répartis sur une surface de 516 m², comme suit :

- ❖ 2 Module connecté en série ;
- ❖ 134 Modules connectés en parallèle.



PVsyst V7.2.0
 VCO, Simulé le :
 25/06/21 23:45
 avec v7.2.0

Projet: lycee les freres barani mecheria
 Variante: Nouvelle variante de simulation

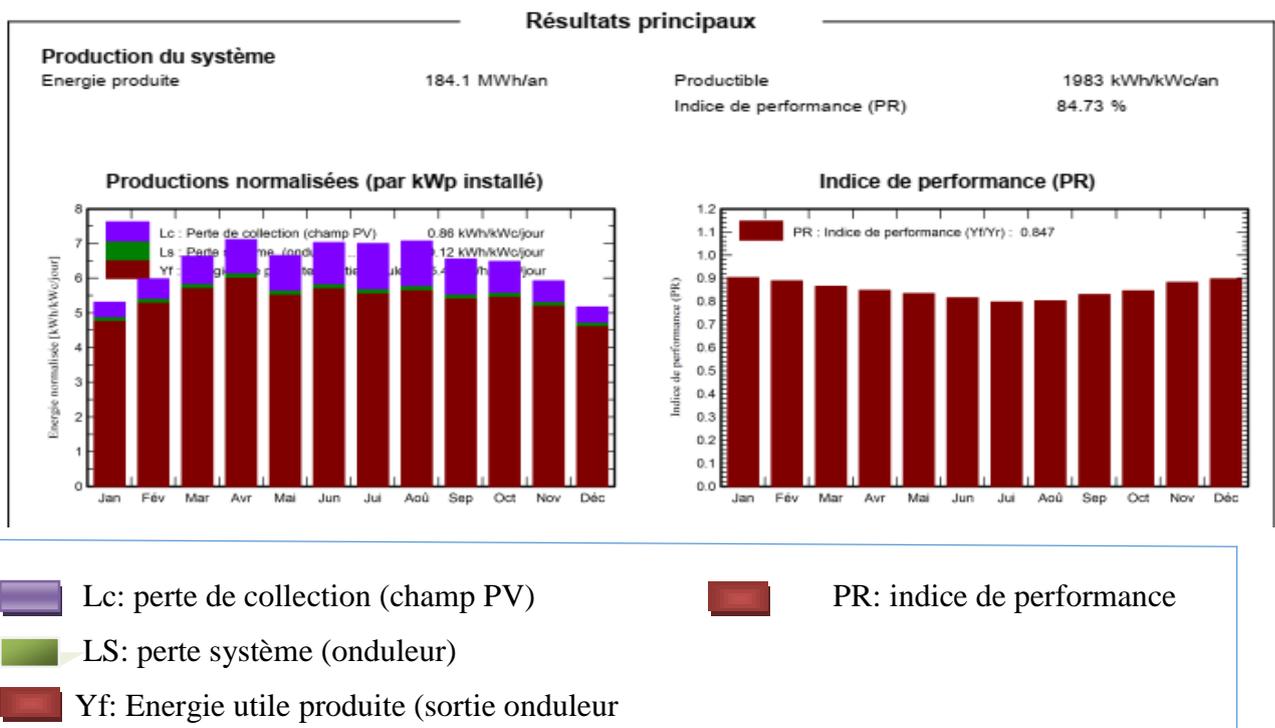


Tableau IV 6: Énergie utile produite par le PV (à la sortie de l'onduleur).

L'énergie disponible est de 184.1 Mwh/an, par ailleurs l'énergie utilisée 150.15 Mwh/an. L'indice de performance (PR) vaut 84.73% et la fraction solaire (S F) vaut 99.5%. Le lancement de la simulation nous permet d'accéder aux différents résultats de la conception de notre système photovoltaïque d'une puissance de 937kW à 25 °c.

La figure (III.3.8) résume les pertes influençant la production du système PV à savoir :

- ❖ les pertes ohmiques du câblage, effets d'incidence,
- ❖ les pertes dues à la température du champ,
- ❖ les pertes dues à la qualité des modules, etc.

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats

Parmi celles-ci, nous remarquons que la contribution la plus importante est celle de l'onduleur qui constitue l'élément essentiel, d'où l'importance de prendre en considération son efficacité.

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
Janvier	102.7	31.58	6.87	164.5	161.3	14.09	13.79	0.903
Février	116.9	28.58	8.63	167.5	164.2	14.12	13.82	0.889
Mars	170.3	47.75	13.17	205.7	201.1	16.87	16.51	0.865
Avril	203.0	53.19	16.88	213.4	207.7	17.16	16.80	0.848
Mai	220.2	65.90	21.84	206.3	200.0	16.31	15.96	0.834
Juin	235.8	67.64	26.86	210.8	204.3	16.31	15.96	0.815
Juillet	235.1	76.07	31.58	217.0	210.7	16.40	16.05	0.797
Août	216.5	64.14	29.86	219.3	213.6	16.68	16.32	0.802
Septembre	172.1	57.32	24.33	196.6	191.8	15.47	15.14	0.830
Octobre	148.1	36.92	19.43	201.1	197.3	16.13	15.79	0.846
Novembre	113.0	26.88	11.78	177.7	174.4	14.86	14.55	0.882
Décembre	95.2	25.54	8.07	160.4	157.4	13.64	13.36	0.897
Année	2028.8	581.53	18.34	2340.2	2284.0	188.03	184.06	0.847

Légendes

GlobHor Irradiation globale horizontale

DiffHor Irradiation diffuse horizontale

T_Amb Température ambiante

GlobInc Global incident plan capteurs

GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages

EArray Energie effective sortie champ

E_Grid Energie injectée dans le réseau

PR Indice de performance

Tableau IV. 7: Bilans et résultats principaux du site de MECHERIA

D'après résultat (tableau IV.7) on voit bien que l'énergie produite par le champ photovoltaïque (tableau IV.3) est proportionnelle aux valeurs d'énergie incident (GlobInc). La production de système (à la sortie de l'onduleur) est représentée sur la figure (IV.). Les pertes Lc et Ls sont respectivement les pertes correspondantes au champ PV est due à l'onduleur.

CHAPITRE IV : Simulation et discussion des résultats



Tableau IV.8. Diagramme des pertes

On déterminera ici les pertes du système :

- ❖ les pertes thermiques,
- ❖ dues notamment à la température du module,
- ❖ les pertes ohmiques dues à la résistance des câbles,
- ❖ les pertes dues aux incertitudes et aux erreurs et enfin
- ❖ les pertes dues à la vitre de protection du module.

IV.7. Conclusion

Le coût d'investissement pour la mise en oeuvre d'un système photovoltaïque autonome est important, ce qui fait que le kWh produit grâce à ce système n'est pas compétitif face au prix du kWh produit par la connexion au réseau de Sonelgaz.

Il faut savoir que le kWh solaire est cher. L'utilisateur doit choisir des récepteurs de faible consommation comme nous le conseillons pour l'éclairage dans notre lycée

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne le dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'un primaire située à Mécheria. Avec un systèmes photovoltaïques couplés au réseau électrique. Ce dispositif est amené à connaître des développements importants liés essentiellement à une volonté de plus en plus affichée de diversification des moyens de production et d'un meilleur respect de l'environnement. Les études ont été faites sur la base d'un bilan de consommation journalière établi au niveau de ce site. Notre système sert à couvrir les besoins énergétiques de site plus consommable d'électricité et de diminuer la charge sur le réseau électrique dans notre. Ce système nécessite des modules photovoltaïques qui représentent le champ de captage des rayons solaires, un régulateur qui règle la valeur de la tension nominale, un onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif, et de câblage qui relie les différents composants de ce système. Dans le premier chapitre, l'étude théorique nous a aidés à entamer notre travail. Sur les plans théoriques, ont permis de montrer : Concernant le générateur photovoltaïque, qu'un modèle mathématique (courant -tension) du circuit électrique équivalent, en tenant compte de la température, permet une estimation précise et rapide de la production d'énergie pour des conditions météorologiques données (ensoleillement et température). Ensuite, nous avons représenté une étude approfondie de tout ce qui concerne les systèmes photovoltaïques connecté aux réseaux électriques, ces avantages et inconvénients avec des exemples réel. Dans le troisième chapitre, nous avons appliqué une étude par application numérique de notre installation photovoltaïque de puissance 220 KW. Dans le dernier chapitre le logiciel de simulations que nous avons utilisées PVsyst réponde correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec meilleurs perspectives. Enfin, en perspectives, nous proposons que notre étude soit complétée par un projet pratique

Références Bibliographiques

-
- [1]. Les onduleurs : comment choisi son onduleur ‘ www.europ-computer.com ‘
- [2] P. Pernet. (2000). "*Développement de cellules solaires en Silicium amorphe de type 'n.i.p' sur substrats souples*". Thèse no :2303. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [3] A. Mefti & H. Mimouni. (2002). "*Evaluation du potentiel énergétique solaire*". Bulletin des énergies renouvelables. No 2. Décembre.
- [4] T. Fogelman. (1982). "*Système photovoltaïque pour les pays en déventement*", manuel d'installation et d'utilisation, Agence Française pour la Maîtrise de l'énergie (AFME).
- [5] J. P. Charles., A. Haddi., A. Maouad., H. Bakhtiar., A. Zerga., A. Hoffmann & P. Mialhe. (2000). "*La Jonction, du Solaire à la Microélectronique. Revue des Energies Renouvelables*". Vol.3.
- [6] P. Bessemoulin, J. Olivieri. (2000). "*Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette*". La Métrologie 8e série No. 31. p. 42–59.
- [7] Document, DLR, "*Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region*", 2005.
- [8] Geyer M., "*SolarPACES*", Report on the SolarPACES START Mission to Algeria, September 14-18, 2003.
- [9] .Mohamed Amjahdi et Jean Lemale <<Adopter le solaire thermique et photovoltaïque >> Dunod ; paris, 2011
- [10]. Sylvain Brigand << Installations solaires photovoltaïque >> Dimensionnement Installation et mise en œuvre Maintenance Groupe Moniteur (Editions du MoniteurParis,2011
- [11] R.P. Mukund. (1999). "*Wind and solar Power Systems*". Ph.D.,P.e U. S merchant Marine Academy, Kings Point, New York, CRC Press LLC.
- [12] M. Dahbi. (2007). "*Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne Autonome*". Mémoire de magister, option physique énergétique.
- [13] M. Capdereau. (1988). Atlas solaire de l'Algérie : "*Aspect géométrique, synthèse géographique*". Office des publications universitaires.
- [14] R. Khezzar. (2017). "*Optimisation de chaine de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique*". Thèse de doctorat, Université de Batna1.
- [15] A. Benhammou. (2010). "*Optimisation d'un nouveau système de séchage solaire modulaire pour plantes aromatiques et médicinales*". These doctorat Universite de Tlemcen.
- [16] R. W. Bliss. (1959). The derivations of several "*Plate-efficiency factors*" useful in the design of flat-plate solar heat collectors. Solar Energy. vol. 3. No. 4. p. 55–64.
- [17] D. Matte. (2011). "*Climatologie de l'ensoleillement au Québec*". Thèse doctorat. Université Laval. Québec.
- [18] M. Belhadj. (2008). "*Modélisation d'un Système de captage photovoltaïque Autonome*". Mémoire de Magister option : Microélectronique-Photovoltaïque. Centre Universitaire de Béchar.
-

-
- [19] M. A. Camara. (2011). "*Modélisation du stockage de l'énergie photovoltaïque par supercondensateurs*". PhD thèse. Université Paris-Est.
- [20] J. Royer & E. J. Schiller. (1998). "*Le pompage photovoltaïque*" : Manuel de cours a l'intention des ingénieurs et des techniciens. Québec : Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français.
- [21] F. Kreith. (2013). "*Principles of Sustainable Energy Systems*". Second Edition.
- [22] F. Benyarou. (2015). "*Conception assistée par ordinateur des systèmes photovoltaïques : Modélisation, dimensionnement et simulation*". Thèse doctorat. Université de Batna.
- [23] A. Bouden. (2008). "*Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque*". Mémoire de Magister. Université Mentouri Constantine.
- [24] M. Missoum. (2011). "*Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie*". Mémoire de Magister. Université de Chlef.
- [25] A. T. Singo. (2010). "*Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome*" Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré Nancy-I.
- [26] C. Carreau., M. Dufour & M. Gibilisco. (2001). "*Les énergies renouvelables dans l'habitat*". Revue de l'habitat de France, France.
- [27] Z. Mostefaoui. (2015). "*Etude et analyse d'un système énergétique de source photovoltaïque et thermique : Application à une habilitation individuelle*". Mémoire de Master, Université de Tlemcen.
- [28] www.neal-dz.net
- [29] Ministère de l'énergie et des Mines.
<http://www.memalgeria.org/francais/index.php?page=potentiels>.
- [30] F. Abdo. (2007). "*Croissance de couche minces de silicium par épitaxie en phase liquide*". Thèse de Doctorat. Université de Lyon France.
- [31] N. Aoun. (2010). "*Etude et modélisation des différents modèles de la cellule photovoltaïque établis sur base de valeurs nominales*". Mémoire de Magister. Université de Constantine.
- [32] <http://fr.wikipedia.org/>.
- [33] S. Abada. (2011). "*Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recherche d'une batterie avec un convertisseur SEPIC*". Mémoire pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M.Sc.), Université Laval Québec.
- [34] L. Protin & S. Astier. (1997). "*Convertisseurs photovoltaïques*". Techniques d'Ingénieur.
- [35] D. Meekhun. (2011). "*Réalisation d'un système de conversion et de gestion de l'énergie d'un système photovoltaïque pour l'alimentation des réseaux de capteurs sans fils autonomes pour l'application aéronautique*". Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
-