

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des hydrocarbure et énergies renouvelables et des
sciences de la terre et de la l'univers

Département des énergies renouvelables



Mémoire

MASTER ACADIMIQUE

Domaine : Sciences et technique

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables en mécanique

Présenté par : ACHBI Abdelghaffar

NAILI Mohammed Salah

Thème

**Etude comparative entre un système PV avec
générateur diesel électrique et un système PV connecté au
réseau électrique pour alimenter un polyclinique**

Soutenu publiquement

Le : 23 / 06/2019

Devant le jury :

DOUAK. Med	M.A.A	Examineur	UKM Ouargla
MAAMMEUR.H	M.C.B	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
BENMNINE. Dj	M.C.B	Président	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2018/2019

Dédicace

Au nom du dieu le clément et miséricordieux

Louange à ALLAH le tout puissant.

Nous tien à dédier ce modeste travail à :

A nos parents,

A nos frères,

A nos sœurs,

A nos familles (NAILI, ACHBI),

A tout nos amis et nos collègues.

Remerciement

En préambule à ce mémoire, nous remercions ALLAH

Qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur

Mr. MAAMEUR Hocine, d'avoir accepté de bien diriger cet œuvre et d'avoir mis à notre disposition tout les moyens qui nous ont permis de mener à terme cette étude et ses précieux conseils et ses encouragements et son aide durant toute la période du tâche.

Nous tenons aussi à remercier Mr. DOUAK Mohamed pour l'intérêt qu'il nous a bien voulu porter à cette activité ainsi que l'honneur qu'il nous a fait en étant que président du jury.

Nos remerciements vont également à Mr. BENMNINE Djamel qui s'est intéressé à notre recherche et d'avoir la gentillesse de nous honorer par sa présence comme membre du jury.

Enfin, à tous les étudiants de notre promotion et nous leur souhaitons de tout cœur ; bon courage à tous les collègues pour leurs fin d'études, et à tous les enseignants de l'université KASDI MERBAH D'OUARGLA.

Merci à tous et à toutes ...

SOMMAIRE

Liste des symboles et des abréviations.....	I
Liste figure.....	II
Liste les tableaux.....	III
Introduction générale.....	2

Chapitre 1 : Gisement Solaire

I .1. Gisement solaire.....	5
I .2.Rayonnement solaire.....	5
I .2. 1. Position du soleil par rapport à la terre.....	6
I .2.1.1. Repérage d'un site à la surface de la terre (coordonnées géographiques).....	6
a) La latitude θ	6
b) La longitude φ	6
c) L'altitude.....	6
I .2-1-2-La trajectoire apparente du soleil.....	6
A - Coordonnées équatoriales.....	7
B - Les coordonnées horizontales.....	7
I .2-1-3. Le temps:.....	8
a) Le temps universel (TU).....	9
b) Le temps solaire moyen (TSM).....	9
c) Le temps solaire vrai (TSV).....	9
d) Equation du temps.....	9
e) Numéro du jour de l'année.....	9

I .2.2– Influences l'atmosphère.....	10
I .2.2.1-La masse atmosphérique	10
I .2.2.2-Composition de l'atmosphère	10
I .2.2.3-Absorption de la radiation solaire	11
a). Ozone (O ₃).....	11
b).Oxygène (O ₂).....	11
c). Gaz carbonique (Co ₂).....	11
d).Vapeur d'eau.....	11
I .2.2.4.Les nuages	12
I .2.2.5.Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère	13
I.3. Rayonnement solaire au sol	13
I .3.1. Rayonnement direct.....	13
I .3.2. Rayonnement diffus.....	14
I .3.3. Rayonnement global :	14
I.4. Différents types de rayonnement :	14
I .5. Potentiel solaire en Algérie	15
I.6. Spécification de la région de Touggourt.....	16
I .6.1. Présentation du site.....	16
I .6-2- Les donnée géographique.....	17
I .6-3- Rayonnement solaire de Touggourt.....	18
I .6.4. Température mensuelle moyenne.....	19
I .7. Conclusion.....	20

Chapitre 2 : Généralités sur les systèmes PV

II .1. Introduction	22
II .2. L'énergie solaire	22
II .3. Historique l'énergie photovoltaïque	22
II .4. Système photovoltaïque	22
II .4.1. La cellule photovoltaïque	23
II .4.1.1. Définition.....	23
II .4.1.2. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	24
II .4.1.3. Caractéristique d'une cellule photovoltaïque	25
II .4.2.4. Influence de la température et de l'éclairement.....	26
II .4.1.5. Rendement	28
II .4.2. Le module photovoltaïque.....	28
II .4.2.1. Définition.....	28
a). Regroupement des cellules en série.....	28
b). Regroupement de cellules en parallèle.....	29
c). Regroupement des cellules (série et parallèle).....	30
II .4.3. Le panneau solaire	31
II .4.4. Batteries d'accumulateurs	33
II .4.4.1. Les batteries au plomb:.....	33
II .4.4.2. Les batteries au Nickel Cadmium.....	33

II .4.5.Régulateurs	33
II .4.6.Onduleurs	33
II .4.7.Charge (utilisateurs)	33
II .5.Différents domaines d'applications	34
II.5.1. Industrie isolée.....	34
II .5.2.Centrale de puissance.....	34
II.5.3. Résidence urbaine.....	35
II .5.4.Biens de consommation :	35
II .6.Modes d'exploitation d'un système photovoltaïque	35
II .6.1.Mode autonome	35
a) Pompage de l'eau.....	36
b) Centrales photovoltaïques.....	36
II.6.2. Mode connecté au réseau	37
II .6.3.Mode hybride	38
II .7.Les avantages et les inconvénients d'une installation PV	38
II .7.1.Les avantages	38
II .7.2.Les inconvénients.....	39
II .8.Conclusion.....	39

Chapitre : 03 Dimensionnement d'un système PV-Diesel et un système PV connecté au réseau électrique

III .1. Introduction	41
III. 2. Présentation du Polyclinique LEBDOUAT	41
III .3. Calcul de l'énergie électrique journalière.....	42
III .4. Calcul de la puissance crête.....	44
III .5. Choix des modules PV et calcul du nombre de modules PV.....	44
III .6. Choix de l'onduleur.....	45
III .7. Montage de modules PV.....	46

III .8. Choix du générateur Diesel.....	46
III .9. Analyse économique.....	48

Chapitre : 04 Etude de l'impact énergétique, économique et environnemental

IV.1. Introduction :.....	50
IV.2. Système PV avec générateur diesel.....	50
IV.2.1. Résultats énergétique	50
IV.2.2. Résultats économique.....	51
IV.2.3. Résultats environnemental.....	51
IV.3. Système PV connecté au réseau électrique.....	52
IV.3.1. Résultats énergétique.....	52
IV.3.1. Résultats économique.....	53
IV.3.1. Résultats environnement.....	53
IV.4. Comparative entre le système PV connecté avec réseau électrique et système PV avec un générateur diesel.....	54
IV.4.1. Comparative énergétique.....	54
IV.4.1. Comparative économique.....	54
IV.4.1. Comparative environnement	55
Conclusion.....	57
Bibliographe.....	58
Annexes	

Liste des symboles et des abréviations

Des Symboles et des abréviations	Désignation	Unité
E	L'énergie, exprimée	J
C	La vitesse de la lumière en	m/s
H	Constante de Planck	J/s
F	La fréquence	/
N	Longueur d'onde	/
θ	La latitude	[°]
φ	La longitude	[°]
δ	La déclinaison	[°]
ω	L'angle horaire	[°]
ψ	L'azimut	[°]
γ	L'angle de la hauteur solaire (h s)	[°]
λ	Le pic d'émission	[°]
Z	La distance zénithale	[°]
GMT	Greenwich Mean Time	/
TU	Le temps universel	S
TSM	Le temps solaire moyen	S
TSV	Le temps solaire vrai	S
Et	Equation du temps	/
Mh	La masse atmosphérique	/
E	Directement réfléchi vers l'espace la terre	/
D	La terre	/
R	Réflexions	/
RA	les radiations absorbées	/

I gl	Rayonnement globale	/
Idi	Rayonnement direct	/
I dif	Rayonnement diffus	/
Hh	Irradiation sur un plan horizontal	Wh/m2/jour
Hopt	Irradiation sur un plan avec l'inclinaison optimale	Wh/m2/jour
H(90)	Irradiation sur un plan incliné:90deg	Wh/m2/jour
GPV	Générateur photovoltaïque	/
ICC	Le courant de court circuit correspondant au courant	/
VCO	La tension du circuit correspondant à la tension maximale (V)	V
V m	Tension maximale	V
Im	Un courant maximal (A)	A
δ	Rendement	
FF	Facteur de forme	
V coNs	La somme de la tension en circuit ouvert de Ns cellules en série	V
I ccNs	Courant de court-circuit de Ns cellules en série	A
Iccnp	La somme des courant de court-circuit de cellules parallèle.	A
Vccnp	La tension du circuit ouvert de cellules en parallèle.	V
Ns	Cellule en sérié	/
N p	Cellule en parallèle	/
I pv	Courant – circuit du module photovoltaïque	A
V pv	Tentions du module photovoltaïque	V

DC	Courant continu	
AC	Courant alternatif	
MPPT	Point de puissance maximale	
Pc	Puissance crête du générateur PV	KW
PV	Photovoltaïque	/
Ec	Energie électrique	KWh
Pi	Cte	KW
Ir	l'irradiation moyenne journalière	KWh/m ² /j
K	Rendement la conversion 0.85	/
Nm	Nombre de modules	/
Pm	Puissance de module PV	KWh
Vm	La tension maximale du module	V

Liste de figures

Chapitre I : Gisement Solaire

Figure I.1: Coordonnées terrestres.....	6
Figure I. 2: Système de coordonnées horaires.....	7
Figure I.3 : Coordonnées selon le repère horizontal.....	8
Figure I.4: Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire.....	11
Figure I.5 : Spectre d'absorption du rayonnement atmosphère.....	12
Figure I.6 : Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère.....	13
Figure I.7: Composantes du rayonnement solaire: extraterrestre globale = direct + diffus + albédo	14
Figure I.8: Classification des divers rayonnements électromagnétiques.....	15
Figure I.9: Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné.....	16
Figure I.10 : Site de la ville de Touggourt.....	17
Figure I.12: Irradiation mensuelle moyenne.....	18
Figure I.13: Température moyenne chaque mois.....	19

Chapitre II : Généralités sur les systèmes PV

Figure II.1: Schéma simplifié d'un système PV.....	23
Figure II.2 : Une cellule PV.....	23
Figure II.3: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	24
Figure II.4: Caractéristique courant-tension d'une cellule solaire photovoltaïque.....	25
Figure II.5: (a) Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant- tension d'une cellule photovoltaïque.....	26
Figure II.6: (b) Influence de la température sur la caractéristique courant-Tension d'une cellule photovoltaïque.....	26
Figure II.7: Influence de la température sur la caractéristique puissance-Tension d'une cellule photovoltaïque.....	27
Figure II.8: Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance- d'une Cellule photovoltaïque.....	28
Figure II.9: Caractéristiques résultantes d'un groupement de (Ns) cellules en séries.....	29

Figure II.10: Caractéristiques d'un groupement de (Np) cellules en parallèle.....	30
Figure II.11: (a) architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protections.....	31
(b) défaillance d'une des cellules du module PV et activation de diode de circulation I.....	31
Figure II.12: Panneau de solaire.....	32
Figure: II.13: Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome.....	35
Figure II.14: Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome (pompage).....	36
Figure II.15: Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome (centrales).....	37
Figure II.16 : Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (connecté au réseau)...	37
Figure II.17: Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (hybride).....	38

Chapitre : III Dimensionnement d'un système PV-Diesel et un système PV connecté au réseau électrique

Figure III.1: Polyclinique-LEBDOUAT.....	41
Figure III.2: Montre que la polyclinique consomme beaucoup d'électricité durant la journée que dans la nuit.....	44
Figure III.3: Dimensionnement d'un système PV connecté au réseau électrique.....	46
Figure III.4: Générateur diesel.....	48

Chapitre : IV Etude de l'impact énergétique, économique et environnemental

Figure IV.1: Schéma du système PV connecté au générateur diesel.....	50
Figure IV.2: Production électrique du système PV et le générateur diesel.....	51
Figure IV.3: Schéma du système PV connecté au réseau électrique.....	52
Figure IV.4: Production électrique du système PV connecté au réseau électrique.....	53

Liste des tableaux

Chapitre I : Gisement Solaire

Tableau I.1: Bandes Spectrale du rayonnement solaire.....	5
Tableau I.2: Classification de nuage.....	12
Tableau I.3: Tableau Potentiel solaire en Algérie.....	15
Tableau I.4: Les coordonnées géographique de Touggourt.....	17
Tableau I.5: Le rayonnement solaire de Touggourt.....	18
Tableau I.6: La température moyenne dans la ville Touggourt	19

Chapitre : III Dimensionnement d'un système PV-Diesel et un système PV connecté au réseau électrique

Tableau III.1: Appareils électriques de la polyclinique.....	42
Tableau III.2: Consommation électrique mensuelle de la polyclinique	43
Tableau III.3: Caractéristiques techniques du type de modules PV choisi	45
Tableau III.4: Affiche les caractéristiques techniques du type d'onduleur choisi	45
Tableau III.5: Simulation du système PV avec plusieurs générateurs Diesel.....	47
Tableau III.6: Coût du système photovoltaïque.....	48

Chapitre : IV Etude de l'impact énergétique, économique et environnemental

Tableau IV.1: Résultats énergétique du système PV avec un générateur diesel.....	50
Tableau IV.2: Résultats économique du système PV avec un générateur diesel.....	51
Tableau IV.3: Résultats environnementaux du système PV avec un générateur diesel	52
Tableau IV.4: Résultats énergétique du système PV connecté au réseau électrique.....	52
Tableau IV.5: Résultats économique du système PV connecté au réseau électrique.....	53
Tableau IV.6: Résultats environnementaux du système PV connecté au réseau électrique..	53
Tableau IV.7: Comparaison énergétique.....	54
Tableau IV.8: Comparaison économique.....	54
Tableau IV.9: Comparaison environnementale	55

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie est un pilier très important de l'économie pour tous les pays et à la base de toute activité humaine, ces sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire une demande toujours croissante. Les pays développés sont ainsi passés du bois au charbon, à des hydrocarbures plus avancés, enfin les énergies renouvelables.

Ces énergies dernières sont exploitées en mono source ou en hybride et en mode autonome ou connectés au réseau. Vu la dépendance de leur production des conditions météorologiques, ces sources sont intermittentes. Ainsi, l'association de plusieurs sources (mode hybride) s'avère utile pour couvrir les saisons de l'année.

Afin d'assurer l'équilibre production-consommation, des systèmes de stockage des énergies sont nécessaires. De plus, des sources d'énergie complémentaires telles que les groupes électrogènes sont sollicités en cas de manque d'énergies renouvelables. L'alimentation d'une installation par plusieurs sources doit respecter une architecture de connexion et une stratégie de contrôle convenable de la production des sources vis-à-vis de la consommation permet de couvrir le besoin énergétique de l'installation et garantir une exploitation optimale de l'énergie produite.

Dans ce contexte, on s'intéresse au système hybride photovoltaïque –diesel autonome ou système hybride photovoltaïque connecté avec réseau électrique, c'est deux systèmes qui allient l'énergie photovoltaïque et un groupe électrogène d'un moteur diesel ou réseau électrique.

Fournir l'énergie électrique nécessaire aux cliniques médicales utilisant les énergies photovoltaïques est l'un des problèmes énergétiques les plus importants de notre époque, dans ce travail, nous traitons en problème de la production d'électricité au moindre coût et avec meilleur énergie et la moins dommageable pour l'environnement entre les deux systèmes, mène une étude comparative entre un système PV avec générateur diesel électrique et un système PV connecté au réseau électrique pour fournir l'énergie électrique nécessaire de polyclinique. Pour ce faire, notre travail est composé de quatre chapitres:

Le premier chapitre comporte une étude bibliographique sur le gisement solaire et spécifications de la région étudiée (Touggourt) .Dans le deuxième chapitre nous avons discuté les concepts de base de l'énergie photovoltaïque et ses principe .

Le troisième chapitre, comporte une présentation de la polyclinique étudiée dans notre travail et une recherche dans l'appropriée dimensionnement d'un système photovoltaïque avec générateur diesel et un système photovoltaïque connecté au réseau électrique.

Dans le quatrième chapitre, commence par une utilisation du logiciel HOMER. Nous avons conclu ce chapitre avec une présentation et analyse des résultats obtenus, suivie d'une comparaison entre les deux systèmes (énergétique, économique et environnementale).

Finalement une conclusion générale donnera un résumé des travaux réalisés.

Chapitre I:

Gisement Solaire

I.1. Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement Solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances.

L'existence d'une solide et fiable base de données est une nécessité pour au moins la survie économique des installations de collection et de conversion de l'énergie solaire [1].

I.2. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est de nature électromagnétique, provenant essentiellement d'une série d'interactions composites émises par le soleil. Le rayonnement électromagnétique émis a un double aspect ondulatoire et corpusculaire correspondant à deux champs, l'un électrique et l'autre magnétique, il se déplace dans le vide avec une vitesse de 299793 Km/s. Le corpuscule, appelé photon, de masse nulle, a une énergie reliée à la fréquence F ou à la longueur d'onde N par la relation suivante :

$$E = hF = hC \div L \quad (I-1)$$

Où,

E : l'énergie, exprimée en Joule

c : la vitesse de la lumière en (m/s)

h : la constante de Planck ($h = 6.626.10^{-37}$ J/s)

Le spectre du rayonnement solaire est divisé en plusieurs domaines de longueurs d'onde. Sa distribution est répartie comme suit (Tab.1.1) [2].

Tableau 1.1: Bandes Spectrale du rayonnement solaire

Bande spectrale		Energie solaire rayonnée
ultraviolet	$< 0.38\mu m$	12%
visible	$0.38 < < 0.78\mu m$	39%
infrarouge	$0.75 < < 4\mu m$	48%

I.2.1. Position du soleil par rapport à la terre

Il est possible de déterminer la position du soleil dans la voûte céleste en fonction du temps et de la position de l'observateur sur la terre.

I.2.1.1. Repérage d'un site à la surface de la terre (coordonnées géographiques)

Pour repérer un site donné à la surface terrestre, on définit les grandeurs suivantes :

a) La latitude θ : C'est l'angle θ que fait la verticale du lieu avec le plan équatorial. Si $\theta > 0$, le site se trouve dans l'hémisphère nord, sinon le site est dans l'hémisphère sud.

b) La longitude φ : C'est l'angle φ formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré. La longitude est comprise entre -180 (vers l'ouest) et $+180$ (vers l'est). Comme la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle même (360°), chaque heure représente 15° d'écart de longitude et donc, chaque degré de longitude représente 4 minutes.

c) L'altitude : C'est la distance verticale exprimé en mètres, séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence [3].

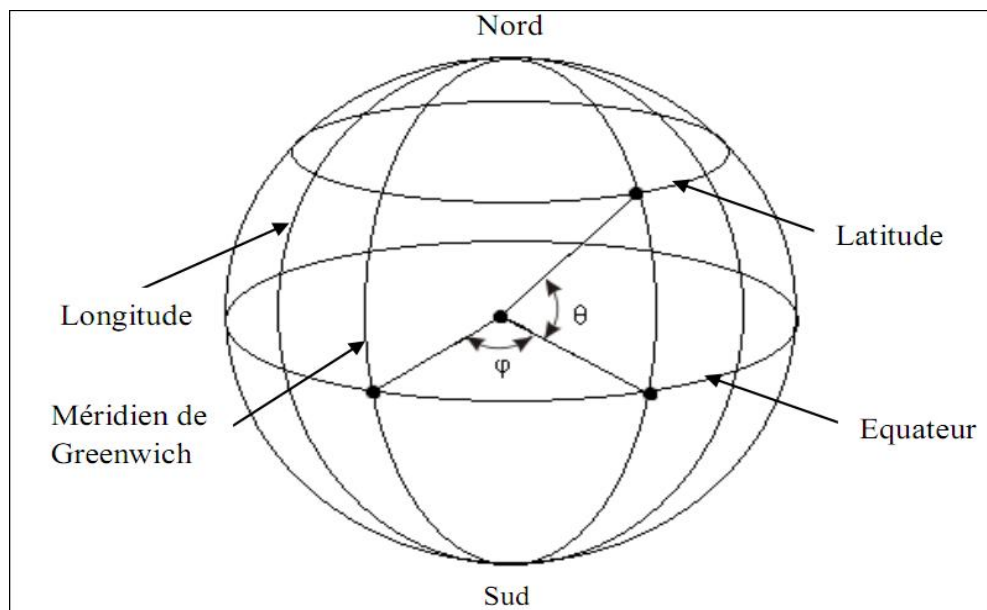


Figure 1.1: Coordonnées terrestres.

I.2.1.2. La trajectoire apparente du soleil

La position du soleil dans la voûte céleste est repérée à tout instant de la journée par Deux systèmes de coordonnées:

A - Coordonnées équatoriales

Les coordonnées équatoriales sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont liées à l'heure de l'observation. La position du soleil est exprimée par deux angles qui sont :

- **La déclinaison δ**

C'est l'angle qui forme la direction du soleil et le plan équatorial. La déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année : elle vaut 0 aux équinoxes et atteint ses deux valeurs extrêmes au solstice d'hiver ($-23^{\circ},27'$) et au solstice d'été ($+23^{\circ},27'$). Plusieurs expressions ont été développées pour évaluer la déclinaison, la plus simple est celle Utilisée par Cooper [4].

$$\Delta = 23.45 \sin[360/365(j - 284)] \quad (\text{I-2})$$

- **L'angle horaire ω (ah)**

L'angle horaire mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant où le soleil passe au plan méridien du lieu zénith. Cet angle est formé entre la projection du soleil sur le plan équatorial à un moment donné et la projection du Soleil sur ce même plan au midi vrai. L'angle horaire est donné par la relation suivante [4] :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (\text{I-3})$$

Où TSV est le temps solaire vrai qui sera décrit dans les paragraphes suivants.

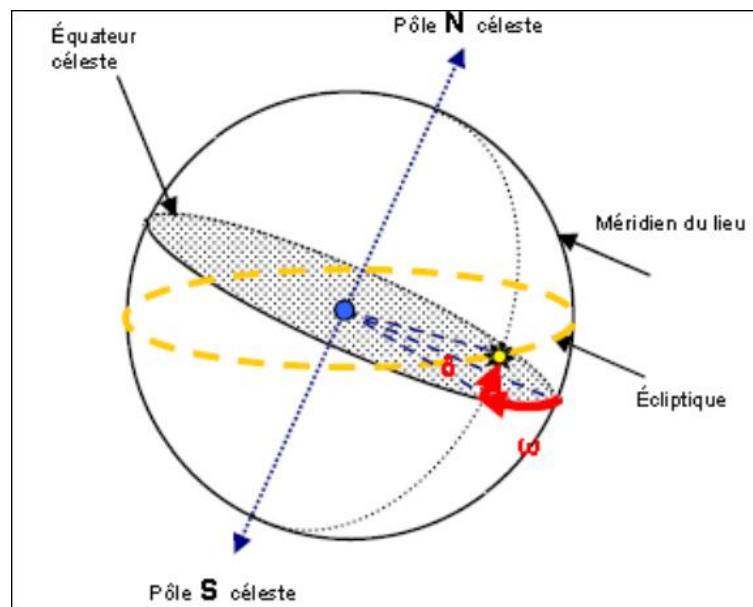


Figure 1.2: Système de coordonnées horaires.

B - Les coordonnées horizontales

Le soleil est repéré par les grandeurs suivantes :

- **L'azimut ψ**

L'azimut est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il se compte de 0° à 360° à partir du sud dans le sens rétrograde. La relation qui donne l'azimut est donnée ci-dessous [4].

$$\cos \varphi = (\sin \gamma \sin \theta - \sin \delta \cos \theta) \quad (\text{I-4})$$

- **L'angle de la hauteur solaire γ (h s)**

C'est l'angle compris entre la direction du soleil et le plan horizontal. γ varie de 0° à 90° vers le zénith et de 0° vers -90° vers le nadir. L'angle de la hauteur solaire est donné par [4].

$$\sin \gamma = \sin \delta + \cos \theta \cos \delta \cos \omega \quad (\text{I-5})$$

- **La distance zénithale z**

C'est l'angle entre la direction du soleil et la verticale du lieu (zénith) [4].

$$\cos z = \sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos \omega \quad (\text{I-6})$$

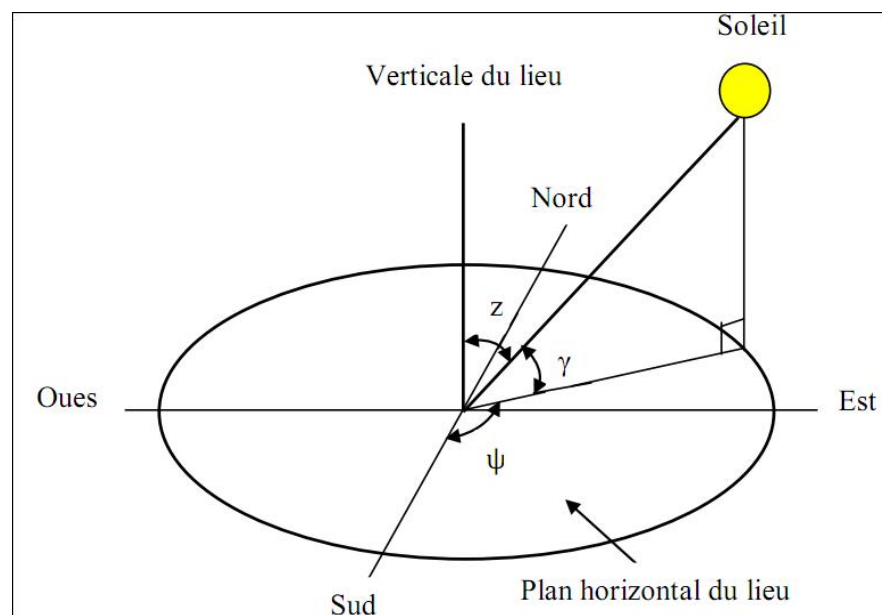


Figure 1.3: Coordonnées selon le repère horizontal.

I.2.1.3. Le temps

La terre subit deux types de déplacement : la rotation de la terre autour de l'axe des Pôles et sa révolution autour du soleil. Le mouvement de la terre sur elle-même définit la notion de journée solaire. Une rotation complète s'effectue en 24 heures. Elle amène ainsi la définition du temps, puisque chaque heure correspond à un écart angulaire de 15° .

La rotation de la terre autour du soleil définit les saisons et amène à distinguer le temps solaire vrai.

a) Le temps universel (TU)

C'est le temps solaire moyen du méridien de Greenwich GMT (Greenwich Mean Time) qui est le méridien central du fuseau horaire. Pour en déduire le temps légal ou local (TL), il convient d'ajouter au temps universel le décalage du fuseau horaire.

$$TL = TU + \text{décalage} \quad (\text{I-7})$$

b) Le temps solaire moyen (TSM) : Il se déduit de l'équation suivante :

$$TSM = TU + Q/15 \quad (\text{I-8})$$

Avec TSM en heure.

c) Le temps solaire vrai (TSV) : C'est le temps défini par les coordonnées angulaires Vraies du soleil.

$$TSV = TSM + Et \quad (\text{I-9})$$

Où Et est l'équation du temps

d) Equation du temps

Le temps Et varie de -14,5 minutes (du 10 au 15 Février) à +16,5 minutes (du 25 au 30 Octobre). Une bonne approximation du temps Et est donnée par l'équation suivante :

$$Et = 9.9 \sin [2(0.986 j + 100)] - 7.7 \sin (0.986 j - 2) \quad (\text{I-10})$$

Où Et est exprimé en minutes et j est le numéro du jour l'année à partir du 1 Janvier

e) Numéro du jour de l'année j

Le calcul du numéro du jour dans l'année consiste à ajouter le numéro du jour dans le Mois (quantième) au numéro caractéristique de chaque mois. j varie de 1 (1^{er} janvier) à 365 (31 décembre) ou 366 pour une année bissextile [3].

I.2.2. Influences de l'atmosphère

I.2.2.1. La masse atmosphérique

Pour tenir compte du trajet parcouru par les photons, on utilise la notion de masse atmosphérique, encore appelée masse de la distance optique atmosphérique; elle est définie à partir de l'unité d'épaisseur atmosphérique prise verticalement au niveau de la mer, elle est égale au rapport, noté M_h . où L'atmosphère est une couche d'épaisseur constante et au sol supposé horizontal [2] :

$$M_h = 1/\sin h \quad (I - 11)$$

I.2.2.2. Composition de l'atmosphère

L'atmosphère est constituée de trois grandes couches de caractéristiques différentes, qui sont :

- **La troposphère**, comprise entre le sol et 16 km d'altitude; dans cet intervalle la température et la pression décroît, respectivement, de $5.6^\circ\text{C Km}^{-1}$ et de 400 à 100 mb jusqu'à la limite supérieure. La masse de la troposphère représente les $\frac{3}{4}$ de la masse totale de l'atmosphère qui est de 5.1015 Tonne.

L'air de la troposphère renferme de la vapeur d'eau, du gaz carbonique, des poussières et des cristaux de sel. C'est le siège des nuages, des pluies et des orages.

- **La stratosphère** est la zone entre 16 et 65 km d'altitude. A sa limite supérieure, la Stratopause, la pression n'est plus que de 1 mb.

La stratosphère comprend des couches à différentes températures dont l'une,

Particulièrement riche en ozone, présente une température voisine de 0°

C. Ce réchauffement est vraisemblablement dû à l'absorption partielle du rayonnement UV émis par le Soleil.

- **La mésosphère**, comprise entre 55 et 80 km d'altitude. La pression n'est plus que de 10,2 mb à sa limite supérieure, appelée mésopause.

La masse gazeuse totale traversée est de 10 tonnes /m²; elle équivaut à 7.8 km

D'atmosphère ramenée aux conditions de température et de pression dites normales:

$T=0^\circ\text{C}$; $p=10^{13}$ mbar. Si ces gaz étaient tous ramenés aux conditions normales, on aurait 6.2 km d'azote, 1.7 km d'oxygène, 74 m d'argon, 30m de vapeur d'eau, 24 m de CO₂, 14 cm de Néon, 4 cm d'Hélium, quelques mm de Krypton, de méthane de NO et de NO₂ et seulement 5 mm d'ozone [2].

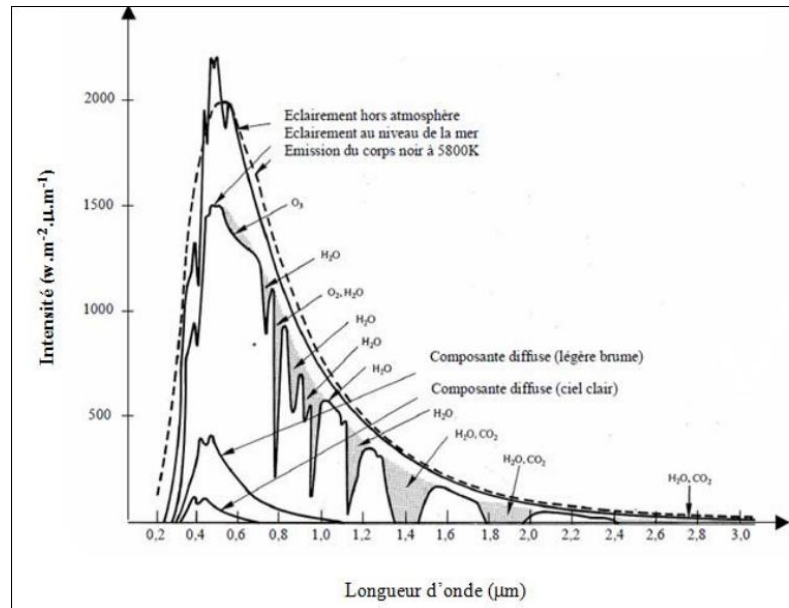


Figure 1.4: Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire.

I.2.2.3. Absorption de la radiation solaire

L'absorption du rayonnement solaire est sélective et dépend principalement de quatre éléments qui sont [3]:

a). Ozone (O₃) : Il absorbe des bandes fortes entre 0.2 et 0.3 μm , des bandes faibles de 0.45 à 0.7 μm et deux bandes IR à 10 et 14 μm . il forme aussi un écran qui arrête les UV.

b). Oxygène (O₂) : Il absorbe des bandes étroites du spectre visible (vers 0.69 et 0.76 μm).

c). Gaz carbonique (Co₂) : Il absorbe des une partie de l'infrarouge lointain ($\lambda > 2\mu\text{m}$).

d). Vapeur d'eau qui entraîne des bandes d'absorption multiples surtout dans l'IR. On ne la rencontre pratiquement qu'au niveau du sol ($z < 5 \text{ km}$).

La figure (1.5) représente le spectre de la principale absorption sélective par les gaz Atmosphériques [2].

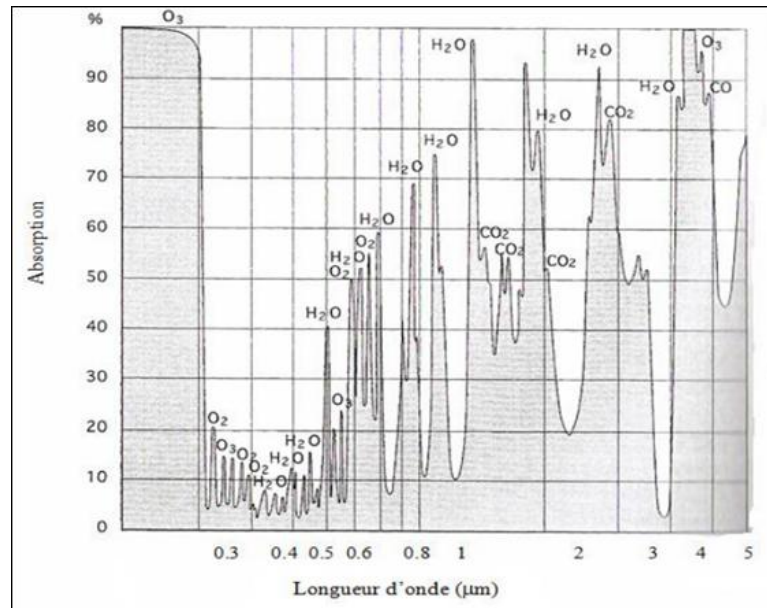


Figure 1.5: Spectre d'absorption du rayonnement atmosphère.

I.2.2.4. Les nuages

Un nuage est composé de millions de toutes petites gouttes d'eau ou de cristaux de glace si la température de l'air est très basse, flottant dans l'air. Un nuage se forme lorsque la vapeur d'eau devient liquide, c'est-à-dire lorsque l'air humide se refroidit et que la vapeur condense sur des minuscules particules. Les nuages peuvent être divisés en trois catégories selon le niveau caractéristique d'apparence : nuages bas, nuages de niveau intermédiaire (les nuages d'étage moyen) et les nuages hauts plafonnant à des altitudes avoisinant la dizaine de kilomètres. Les météorologues ont ainsi identifié un nombre limité de formes caractéristiques en fonction de l'altitude et des conditions de formation. Les espèces de nuages se rapportent à une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : la forme (nuages en banc, en couches, en nappes, en Voile...), la dimension (surface des éléments constitutifs, extension verticale...). Les Nuages peuvent être classifiés selon l'altitude (voir tableau (I.2)), selon le genre (voir tableau.3), selon l'espèce ou bien selon la variété [5].

Tableau 1.2: Classification de nuage.

Groupe	Altitude moyenne de base(m)	Préfixe du nom du nuage
Etage supérieur	600	Cirr
Etage moyen	2000	Alto
Etage inférieur	Du sol à 2000	Stra
A développement vertical	500	Cum

I.2.2.5. Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère

Les radiations solaires arrivant au sommet de l'atmosphère sous forme d'ondes électromagnétiques se répartissent premièrement en deux parties : L'une (E) est directement réfléchie vers l'espace avant de s'enfoncer dans l'atmosphère. L'autre partie (R), en pénétrant dans l'atmosphère subit des réflexions et des diffractions pour être à son tour, soit renvoyée vers l'espace (R_a) soit dirigée vers la terre (D).

Dans l'atmosphère la vapeur d'eau et de multiples gaz absorbent de façon très irrégulière certaines radiations caractérisées par leurs longueurs d'ondes, les radiations (RA) absorbées par les composants de l'atmosphère sont ensuite émises. Une fois ces Radiations arrivées au sol, une fraction est réfléchie directement vers le ciel, l'autre est gagnée par la terre, pour être à son tour émise par le sol sous forme de chaleur latente et chaleur. La figure 1.6 ci-dessous présente la distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère [6].

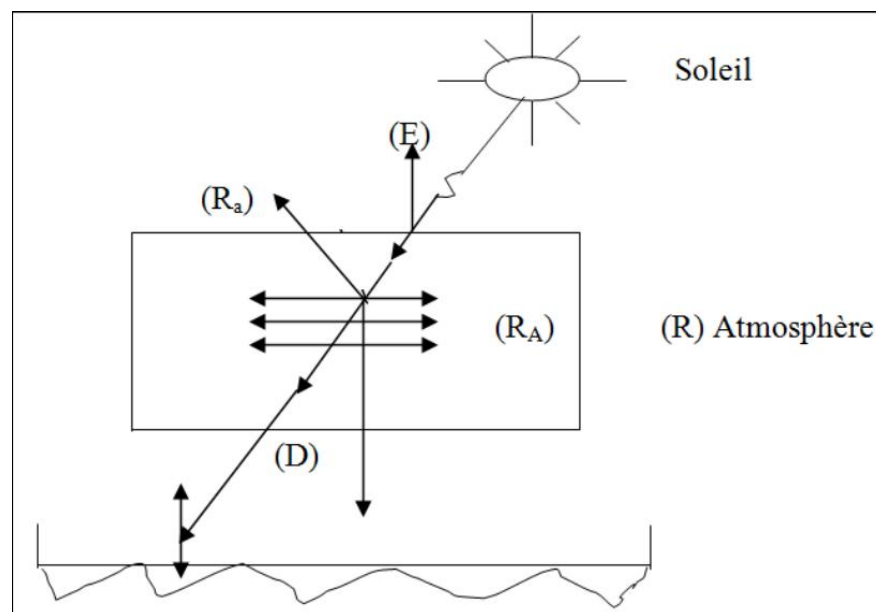


Figure 1.6: Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère.

I.3. Rayonnement solaire au sol

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

I.3.1. Rayonnement direct

C'est le rayonnement qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.

I.3.2. Rayonnement diffus

C'est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en Suspension dans l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols,...). Il n'a pas de direction Privilégiée.

I.3.3. Rayonnement global

C'est la somme des rayonnements direct et diffus [7].

$$I_{gl} = I_{dir} + I_{dif}$$

(I – 12)

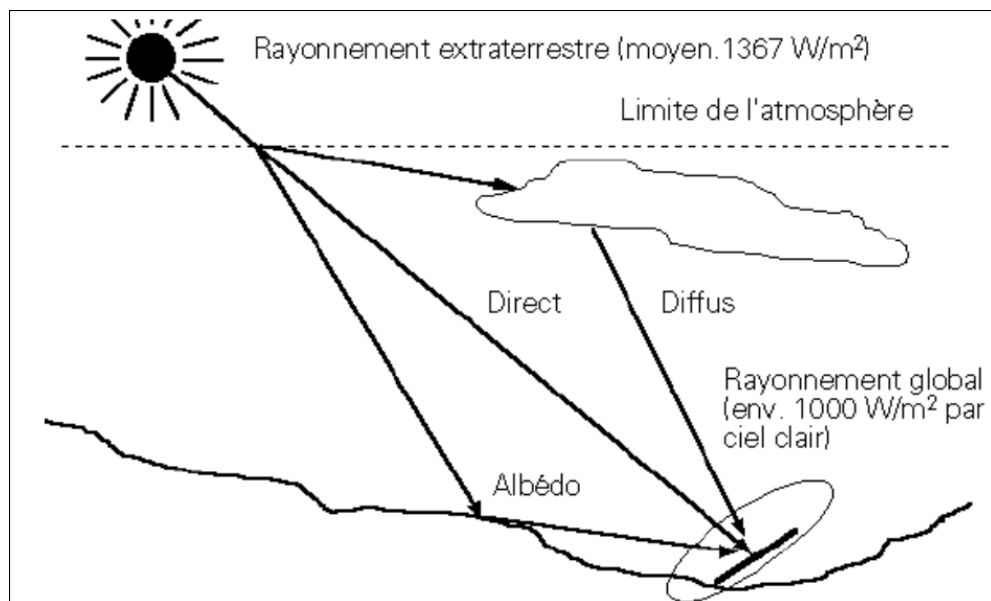


Figure I.7: Composantes du rayonnement solaire: extraterrestre, globale = direct + diffus + albédo.

I.4. Différents types de rayonnement :

L'homme est exposé à une grande variété de sources d'énergie naturelles ou artificielles qui émettent un rayonnement sur plusieurs bandes du spectre électromagnétique. Les rayonnements se déplacent dans le vide à grande vitesse. On peut les considérer comme des ondes ou des particules qui se déplacent en ligne droite. Les rayonnements électromagnétiques se caractérisent par leur vitesse, leur Fréquence et leur longueur d'onde. La figure (1.8), donne une classification de ces rayonnements en fonction de leur longueur d'onde [8].

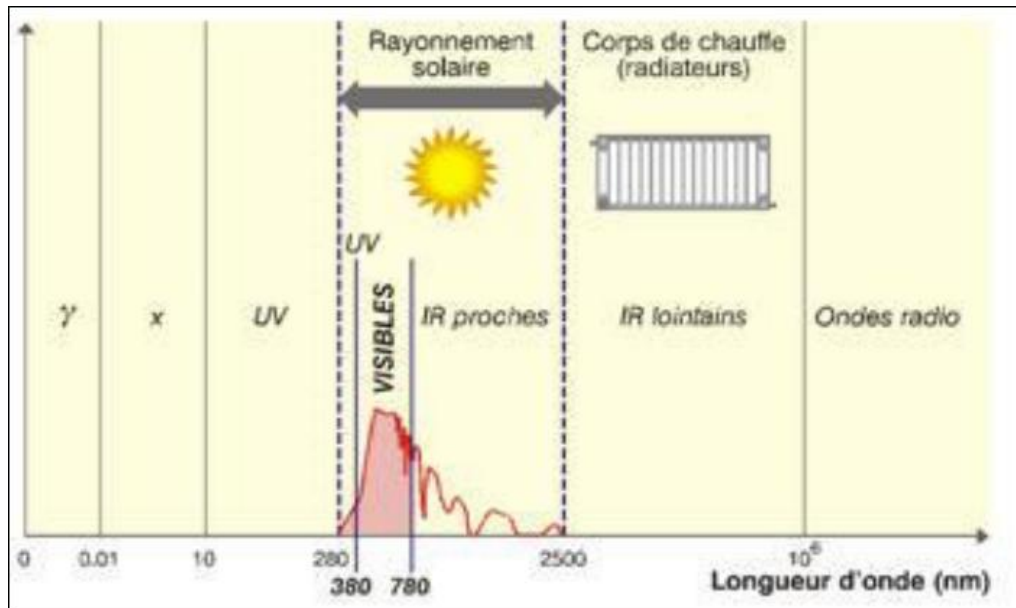


Figure 1.8 : Classification des divers rayonnements électromagnétiques.

I.5. Potentiel solaire en Algérie

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les gisements plus élevé dans le monde. La durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures. Ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région s'il est exploité de manière économique. Le tableau dessous indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie. Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque mais les autres volets solaires thermiques et thermodynamiques restent toujours au stade d'expériences [9].

Tableau 1.3: Tableau Potentiel solaire en Algérie

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	0.04	0.1	0.86
Durée moyenne d'ensoleillement $\frac{\text{heures}}{\text{an}}$	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue $\frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{ an}}$	1700	1900	2650

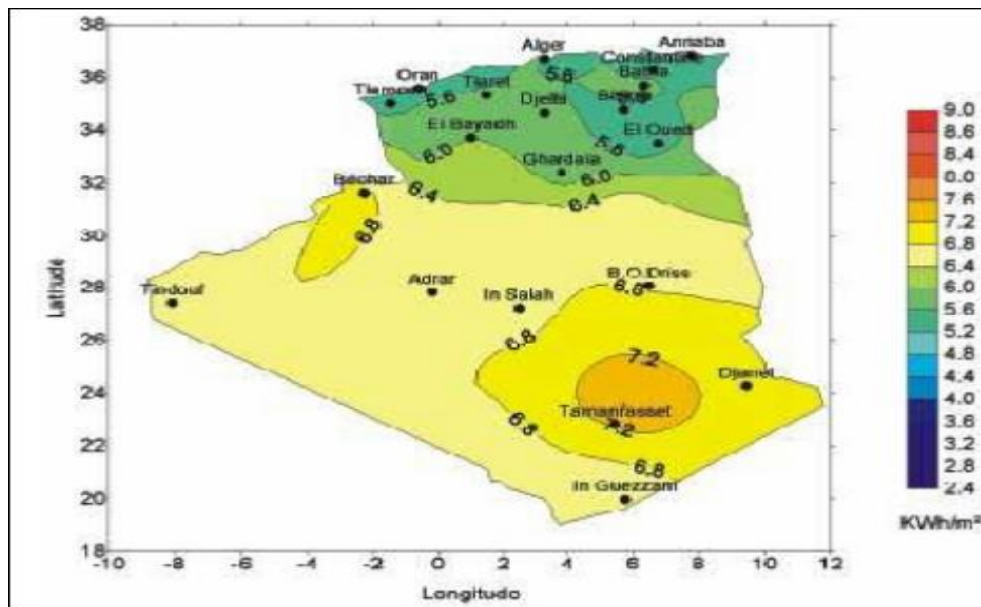


Figure 1.9: Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné.

I.6. Spécifications de la région de Touggourt

I.6.1. Présentation du site

La ville de Touggourt est située (figure (1.10)) à 160 km au nord-est la Wilaya d 'Ouargla, à 225 km au sud Wilaya de Biskra et à 600 km environ au sud-est d'Alger, couvrant une superficie de 40Km^2 [10].

Elle est limitée :

- ✓ Au Nord par MEGGARIN.
- ✓ A l'Est par TAIBAT.
- ✓ A l'Ouest par El HAJIRA.
- ✓ Au Sud par TEMACINE [10].

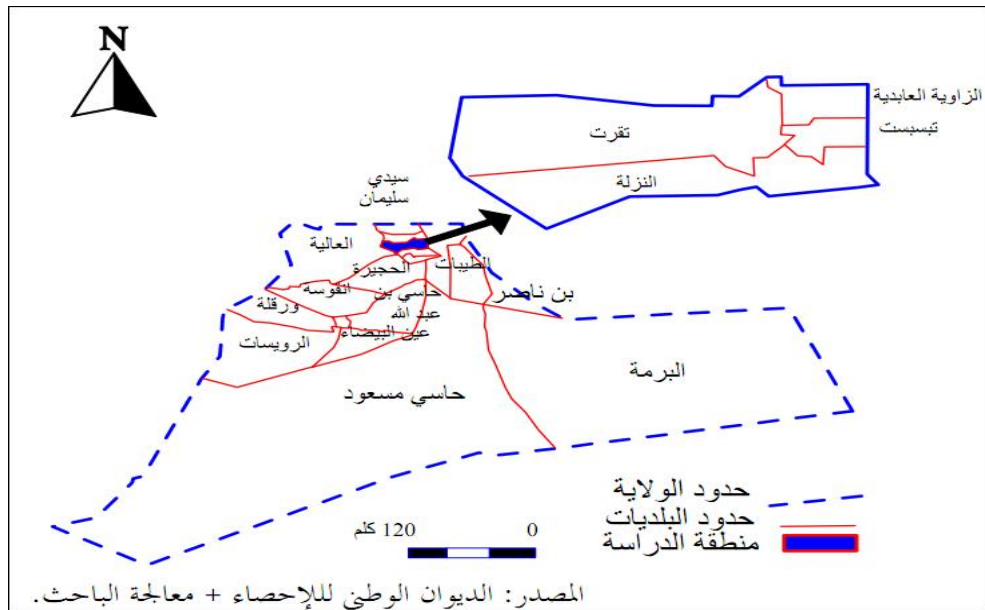


Figure 1.10 : Site de la ville de Touggourt.

I.6.2. Les donnée géographique

Les données géographiques de Touggourt sont donnée par le tableau suivant : [11]

Tableau 1.4: Les coordonnés géographique de Touggourt.

Altitude : 55 m	Latitude : 33° 16 Nord
32°	Longitude : 6° 04 Est

I.6.3. Rayonnement solaire de Touggourt

Tableau 1.5: Le rayonnement solaire de Touggourt [12].

Mois	Hh	Hopt	H(90)
Jan	3480	5550	5370
Fév	4510	6360	5340
Mar	5980	7140	4760
Avril	6700	6960	3310
Mai	7280	6800	2380
Juin	7930	7020	1920
Juil	7830	7100	2120
Aou	7130	7080	2890
Sep	5730	6470	3830
Oct	4810	6300	4860
Nov	3780	5800	5380
Déc	3120	5140	5150
Année	5700	6480	3930

Hh: Irradiation sur un plan horizontal (Wh/m²/jour)

Hopt: Irradiation sur un plan avec l'inclinaison optimale 32 deg(Wh/m²/jour)

H(90): Irradiation sur un plan incliné:90deg. (Wh/m²/jour)

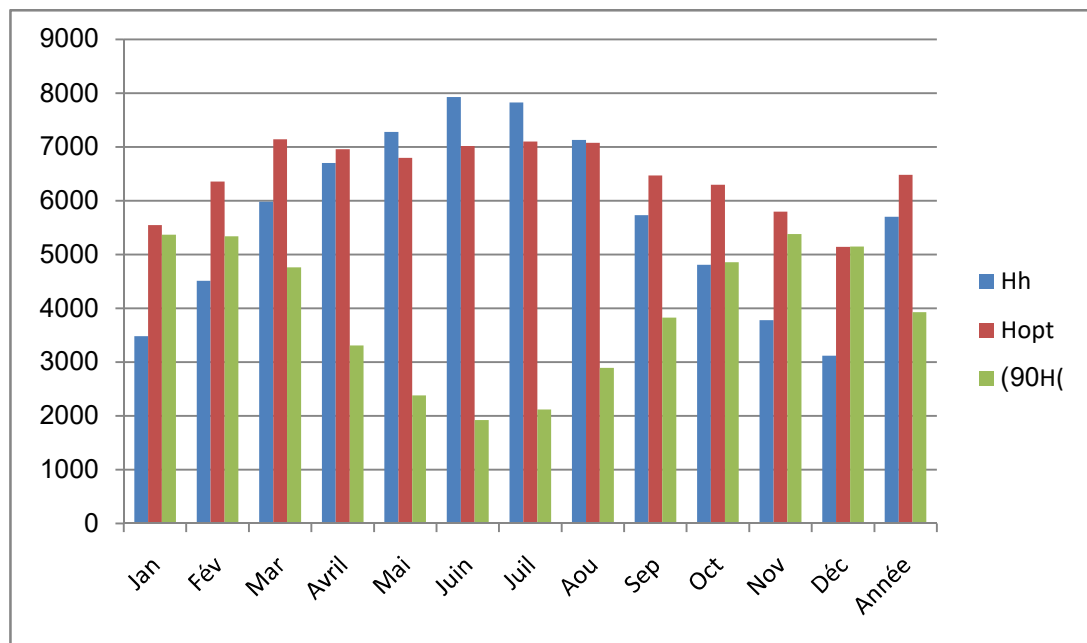


Figure 1.12: Irradiation mensuelle moyenne.

Nous trouvons dans le tableau (1.5) et les colonnes graphique l'entrevue que le Hh, Hopt , H(90) est variable le long de l'année.

Que le Hopt est mieux dans la majorité de tout l'année et Hh est mieux à l'été et le dos ce à différents temps période de la luminosité du soleil par jour.

I.6.4. Température mensuelle moyenne

Le tableau ci-dessous illustre les températures dans un an 2018 d'observation de région de Touggourt, les valeurs mensuelles d'avril à octobre dépassent la moyenne annuelle (28.78°C), par contre avec les autres mois qui sont sous moyenne annuelle. Au mois du Février, la moyenne minimale mensuelle est de (12.1°C), au mois du juillet, la moyenne maximale mensuelle est de (37.7°C).

Tableau I.6 : La température moyenne dans la ville de Touggourt [13].

Mois	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Tmoye	12.5	12.1	18.2	22.4	26	30.8	37.7	32	30.1	22.5	16	11.6	22.66

Tmoye : Moyenne des températures sur 24 heures (° C)

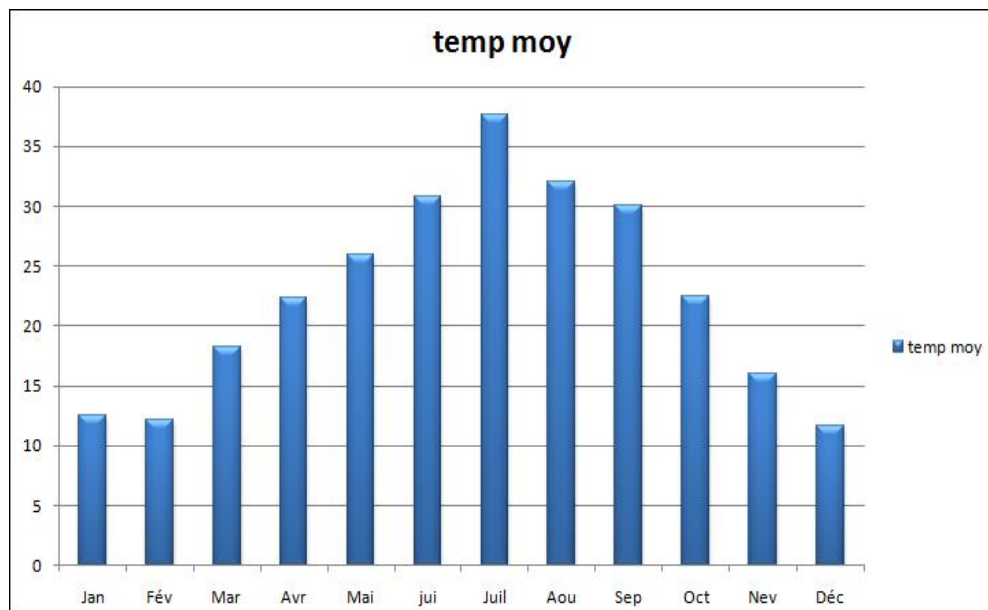


Figure I.13: Température moyenne chaque mois.

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases indispensables à la compréhension du soleil et ses caractéristiques physiques principales.

Ensuite nous avons donné brièvement quelques définitions pour différencier les types de rayonnement solaire, ainsi que le rôle de l'atmosphère dans l'atténuation du rayonnement avant son arrivée au sol.

Nous avons étudié l'influence de l'atmosphère (la troposphère, la stratosphère et la mésosphère) sur le rayonnement solaire et Spécifications de la région de Touggourt.

Chapitre II: Généralités

sur les systèmes PV

II.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie des photons, compris dans le rayonnement solaire, en énergie électrique, par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible (cellules photovoltaïque PV) [14].

II .2.L'énergie solaire

L'électricité est une des formes d'énergie les plus versatiles et qui s'adapte au mieux à chaque nécessité. Son utilisation est si étendue, qu'aujourd'hui on pourrait difficilement concevoir une société techniquement avancée qui n'en fasse pas usage [14].

II .3.Historique de l'énergie photovoltaïque

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

1954 : Trois chercheurs américains Chapin , Peason et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie[15].

II.4. Système photovoltaïque

Le système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composantes qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. La figure suivante représente le schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome [16].

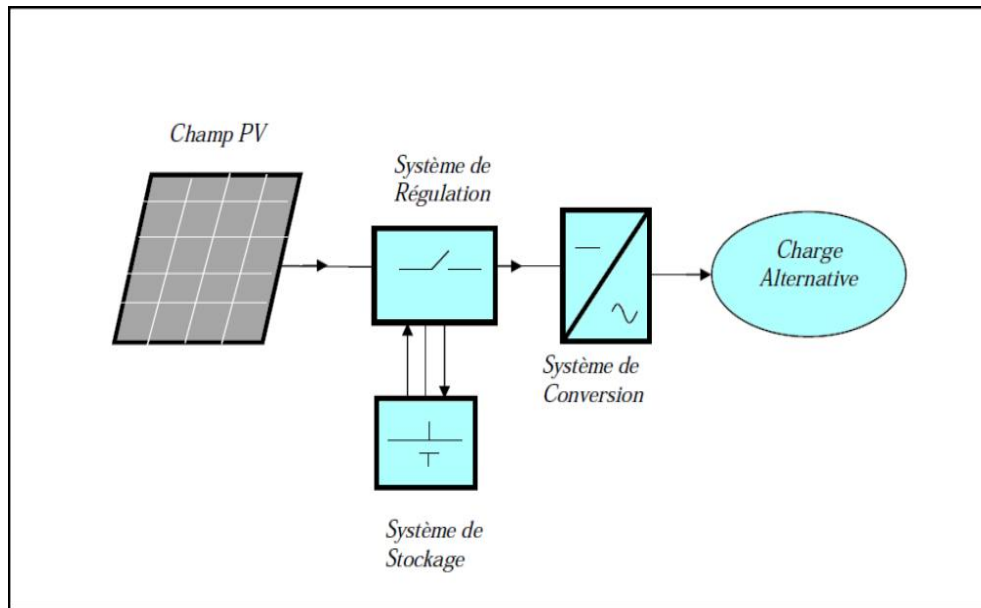


Figure II.1: Schéma simplifié d'un système PV.

II .4.1.La cellule photovoltaïque

II.4.1.1. Définition

Une cellule photoélectrique, également appelée photopile ou cellule photovoltaïque est un dispositif électronique a une particularité de produire un courant électrique lorsqu'il est exposé aux rayonnements du Soleil. Elle est constituée de matériaux semi-conducteurs à base, par exemple, de silicium, de sulfure de cadmium, ou de tellure de cadmium [17].



Figure II.2: Une cellule PV.

II .4.1.2.Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base de silicium. La taille de chaque cellule va de quelque centimètre jusqu'à 100 cm², sa forme est circulaire carrée ou dérivée des deux géométries. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [18].

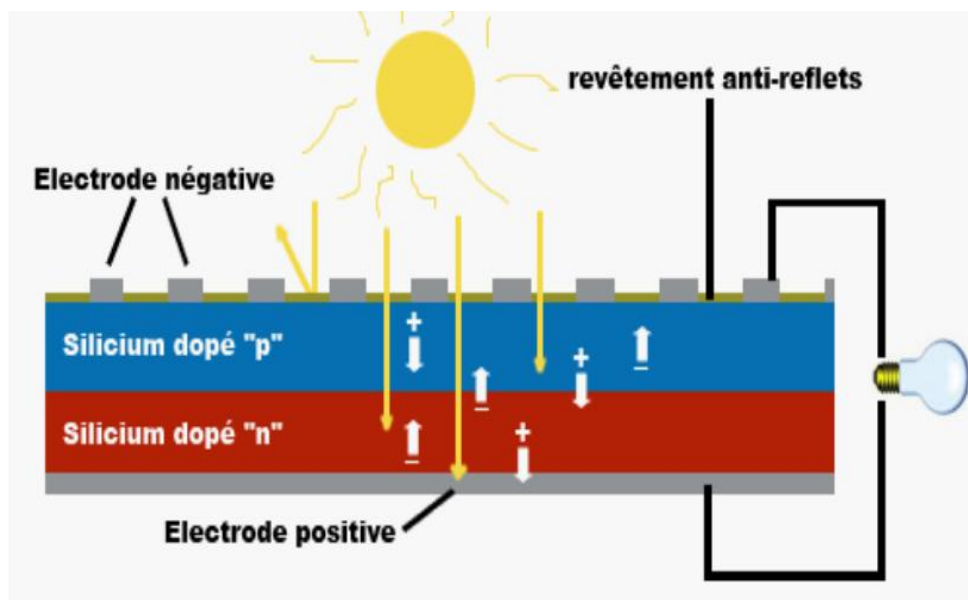


Figure II.3: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [19].

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium. Chaque type de cellule a un rendement qui lui est spécifique. Par contre quelque soit leurs types leurs rendements sont assez faibles de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent [18].

Il existe trois principaux types de cellules:

- Les cellules monocristallines

Elles ont le meilleur rendement ainsi qu'un coût très élevé, du fait que leur fabrication est compliquée.

- Les cellules poly cristallines

Un rendement plus faible, et un coût de fabrication moins important ainsi qu'une conception plus au moins facile.

- Les cellules amorphes

Elles sont utilisées dans de petits produits tel que des calculatrices ou encore des montres elles ont un rendement assez faible, elles nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium donc un cout plus élevé.

II.4.1.3. Caractéristique d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement d'une cellule peut être représenté par la courbe $I=f(V)$, qui indique l'évolution du courant généré par la cellule photovoltaïque en fonction de la tension à ces bornes depuis le court-circuit, jusqu'au circuit ouvert [16,20].

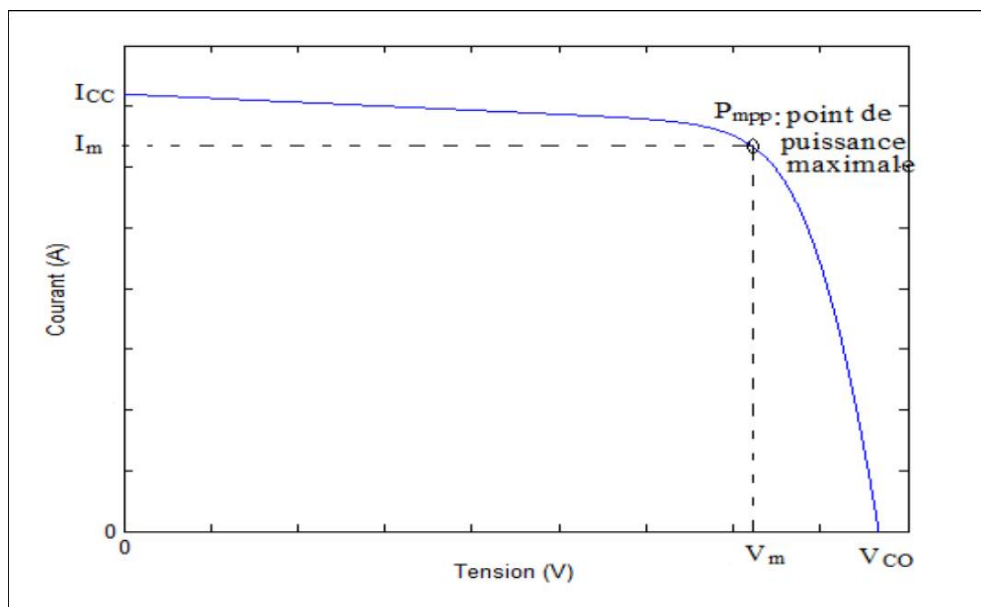


Figure II.4: Caractéristique courant-tension d'une cellule solaire photovoltaïque.

D'après la caractéristique courant-tension, il est possible de déduire les paramètres électriques de la cellule :

- le courant de court circuit (ICC) correspondant au courant débité par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle.
- la tension du circuit ouvert (VCO) correspondant à la tension qui apparaît aux bornes de la cellule quand le courant débité est nul. Entre ces deux valeurs, il existe un optimum, à

une tension dite de tension maximale V_m et un courant maximal I_m , donnant la plus grande puissance (P_{mpp}) ou puissance crête [16,20].

II.4.1.4. Influence de la température et de l'éclairement

L'allure de la caractéristique courant-tension (Figure (II.5)) varie en fonction des conditions environnementales (éclairage et température) [16].

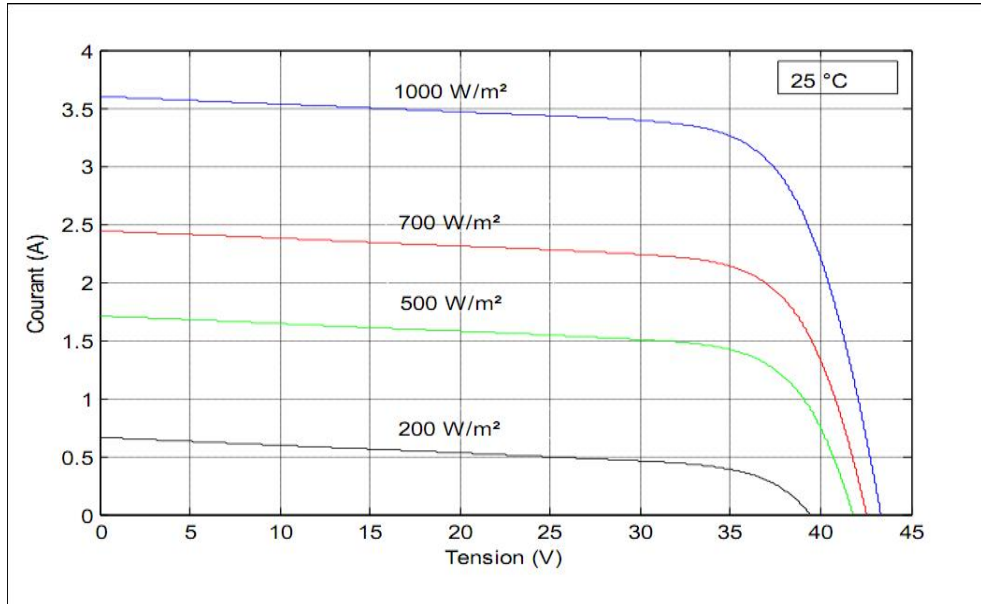


Figure II.5: (a) Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant- tension d'une cellule photovoltaïque.

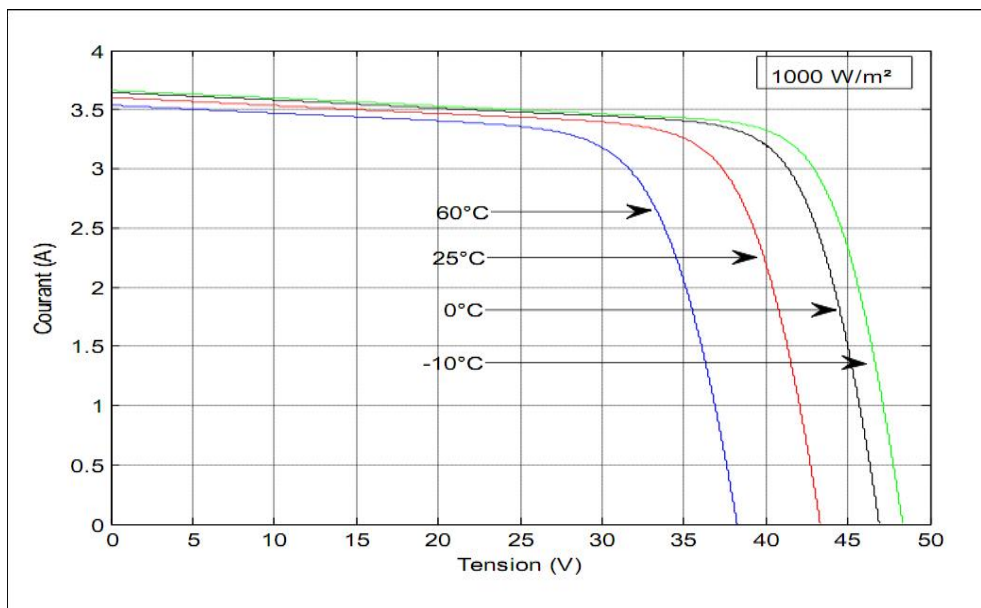


Figure II.6: (b) Influence de la température sur la caractéristique courant- Tension d'une cellule photovoltaïque.

L'influence de la température est non négligeable sur la caractéristique courant /tension. La tension en circuit ouvert diminue avec l'augmentation de la température, par contre le courant varie très peu avec la température. Par conséquent la puissance maximale (figure (II.7)) délivrée par la cellule photovoltaïque diminue [16,20].

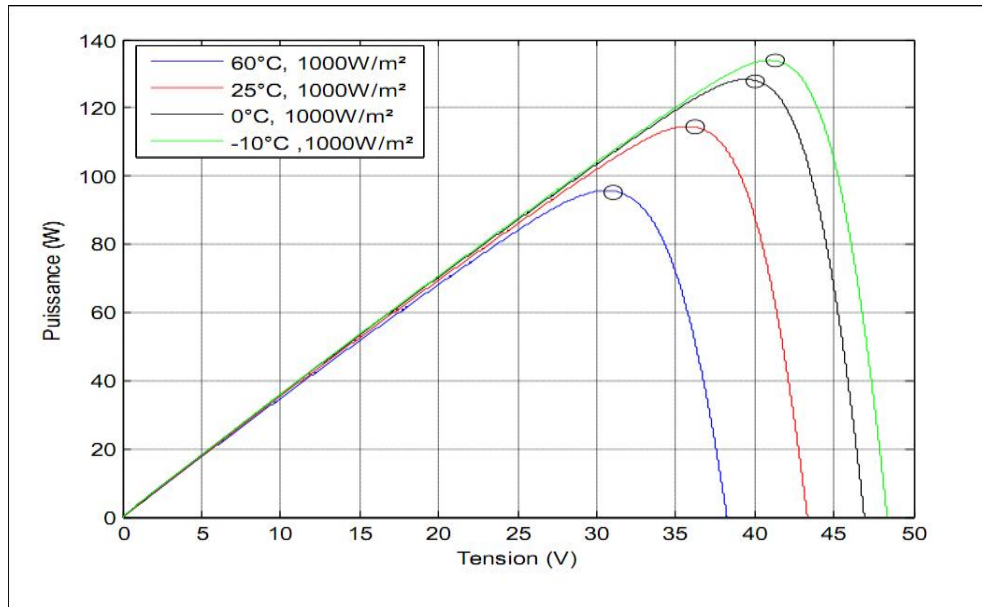


Figure II.7: Influence de la température sur la caractéristique puissance-Tension d'une cellule photovoltaïque.

Contrairement à la variation de la température, la variation de l'éclairement influe sur le courant de court circuit qui diminue quand l'éclairement diminue. La tension de circuit ouvert est peu sensible à cette variation. Ceci implique que :

- La puissance optimale de la cellule est proportionnelle à l'éclairement;
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension (Figure (II.8)).

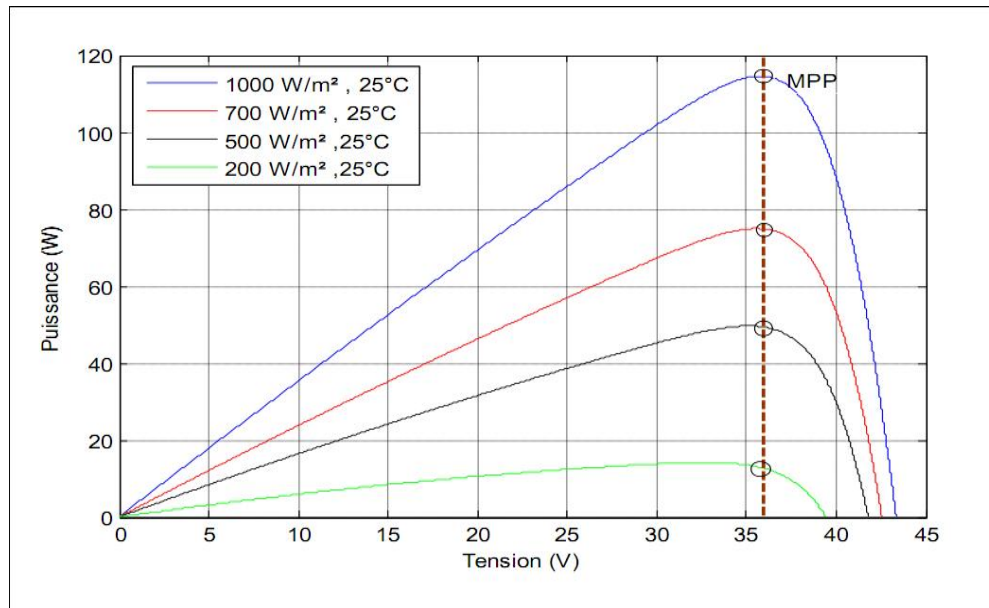


Figure II.8: Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance- d'une Cellule photovoltaïque

II .4.1.5.Rendement

Elle est le rapport de la puissance électrique maximale pouvant être extraite, à la puissance de rayonnement incident sur la surface X de la cellule

$$\delta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{S \cdot G_a} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \tag{II - 1}$$

Où X est la surface de la cellule, I est l'ensoleillement ambiant et un est le facteur de forme.

II.4.2. Module photovoltaïque

II.4.2.1. Définition

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et /ou parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électrique désirées tels que la puissance, le courant de court circuit et la tension en circuit ouvert [21].

a). Regroupement des cellules en série

Une association de (Ns) cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultante de groupement série est obtenue par addition des tensions

élémentaires de chaque cellule, un tel regroupement est représenté par la figure (II.9). L'équation (II.2) résume les caractéristiques électriques d'une association série de (N_s) cellules.

$$V_{c0Ns} = N_s \times V_{c0} \times I_{cc} \quad (II-2)$$

V_{c0Ns} : la somme de la tension en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{ccNs} : courant de court-circuit de N_s cellules en série.

Ce système d'association est généralement le plus communément utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce.

Comme la surface de cellules devient de plus en plus importante, le courant produit par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible. L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble [22].

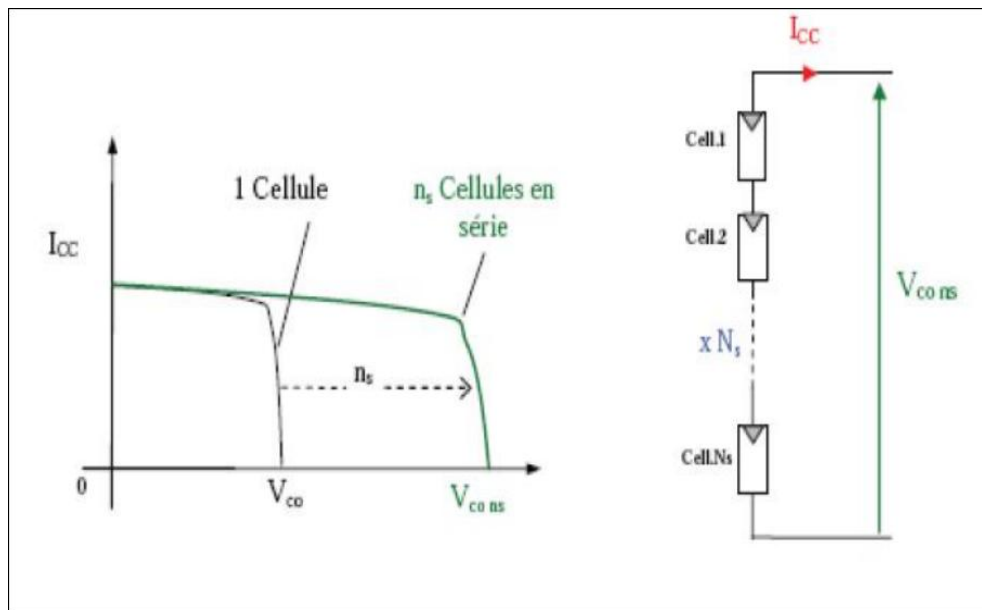


Figure II.9: caractéristiques résultantes d'un groupement de (N_s) cellules en séries

b). Regroupement de cellules en parallèle

Une association parallèle de (N_p) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créée. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

L'équation (II -3) et la figure 'II.10) résument les caractéristiques électriques d'une association parallèle de (N_p) cellules [22].

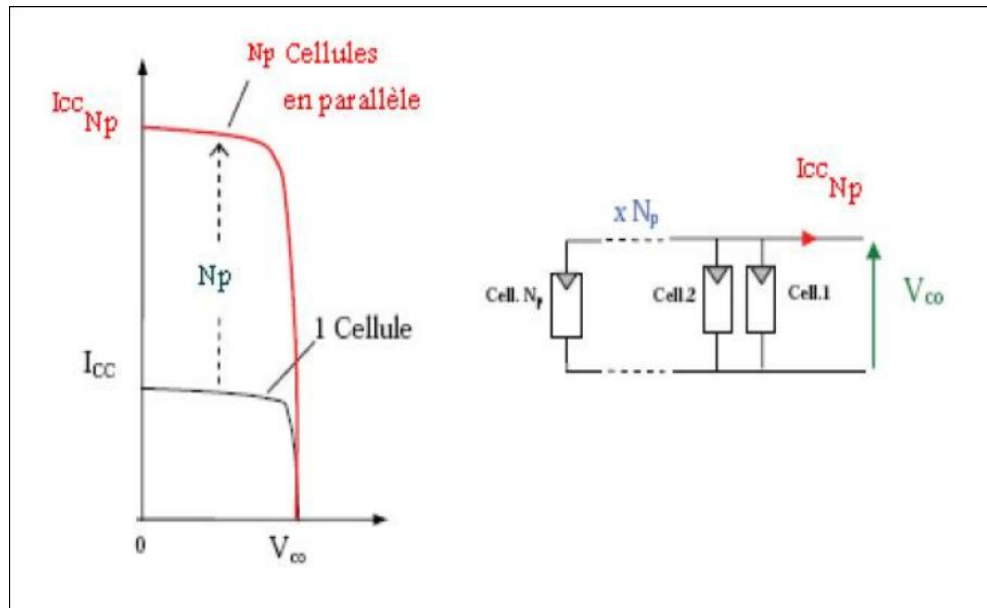


Figure II.10: caractéristiques d'un groupement de (N_p) cellules en parallèle.

Avec :

$$I_{ccnp} = N_p \times I_{cc} \quad V_{co} = V_{conp} \quad (II-3)$$

I_{ccnp} : La somme des courant de court-circuit de (N_p) cellules parallèle.

V_{conp} : La tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

c). Regroupement des cellules (série et parallèle)

La caractéristique ($I_{pv} - V_p$) d'un générateur solaire peut être considérée comme le fruit d'une association d'un réseau de ($N_s \times N_p$) cellules en série /parallèle. La caractéristique globale peut en outre, varier en fonction de l'éclairement, température, du vieillissement des cellules et les effets d'ombrage ou d'inhomogénéité de l'éclairement. De plus, il suffit d'une occultation ou d'une dégradation d'une des cellules mises en série pour provoquer une forte diminution du courant produit par le module photovoltaïque.

Lorsque le courant débité est supérieur au courant produit par la cellule faiblement éclairée, la tension de celle-ci devient négative et devient un élément récepteur. Celle-ci se trouve à dissiper une quantité trop importante de puissance électrique qui pourrait aboutir à sa destruction si le défaut persiste trop longtemps. C'est le phénomène du point chaud. Pour remédier à ce phénomène, on équipe donc les panneaux photovoltaïques des diodes by-pass qui ont pour rôle de protéger les cellules qui deviennent passives figure (11-A). Des mesures réalisées sur un module photovoltaïque commercial de (85Wc) sur lequel on occulte

volontairement (à différents niveaux d'ombrage) une des (36) cellules qui composent se générateur sont consignées en figure ' II.11). On observe bien la déformation de la courbe (I_{pv} - V_p) liée à un effet d'ombrage Partiel du module PV. La diode by-pass lorsqu'elle se met à fonctionner, court-circuite alors une partie du panneau comme indiqué en figure (II.11-b), évitant ainsi la circulation du courant inverse au sein des cellules défectueuses. Par contre, cette solution efficace réduit d'autant la puissance délivrée ainsi que la tension aux bornes du panneau. La dégradation d'une seule cellule condamne donc le groupe de cellules associées à la cellule défectueuse, elle est protégée par la diode (by-pass) à ne pas produire de puissance. Ce phénomène de perte parallèle de puissance est à comparer à la perte totale d'un panneau entier en cas de problème sur une cellule avec un panneau fonctionnant sans protection. Un tel regroupement des cellules (série et parallèle) avec diode de protection sont représentés par la figure qui suit [22].

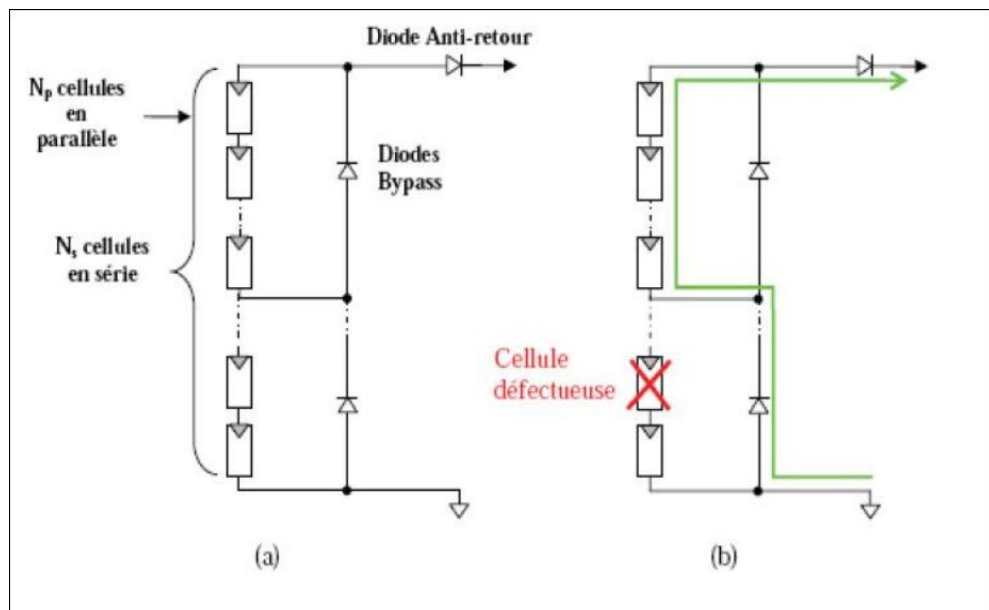


Figure II.11:(a) architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protections.

(b) défaillance d'une des cellules du module PV et activation de diode de circulation I_{pv}

II.4.3. Le panneau 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. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.



Figure II.12: Panneau photovoltaïque[24].

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, comme l'illustre la figure (II.12)), Alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connexions entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.

La boîte de dérivation est composée également d'un circuit imprimé sur le quel se trouvent :

- Des diodes schotcky séries, placée sur un radiateur, sur chaque entrée, qui empêchent aux batteries de se décharger dans les panneaux.
- Des fusibles de protections qui empêcheront aux batteries de se décharger dans les modules en cas de destruction des diodes antiparallèles.
- Des diodes lumineuses, en parallèle sur chaque fusible de protection. Ces diodes permettant de contrôler individuellement chaque branche de modules. Par exemple une boîte à 4 entrées de 24 sera constituée de deux branches de deux modules, il y aura donc deux diodes qui permettront de constater le fonctionnement de chaque branche.
- Une protection parafoudre () en sortie de la boîte. Le câblage de ces boîtes permet d'avoir une sortie en 12,24 ou 48 volts selon les modules, elles sont équipées de deux à douze entrées, selon les tensions de sortie.

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux dépend :

- des besoins en électricité.

- la taille du panneau.
- L'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- La saison d'utilisation. La puissance délivrée par un panneau est importante dans les qui nécessite un élément de stockage [23].

II.4.4. Batteries d'accumulateurs

Le fait que l'énergie solaire ne soit pas disponible sur l'ensemble d'une période de fonctionnement du système alimenté impose l'utilisation de batteries dans les installations autonomes pour stocker l'énergie.

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement:

II.4.4.1. Les batteries au plomb: Elles constituent l'écrasante majorité du marché des accumulateurs. Sa bonne maîtrise technologique, son bas coût de revient, son bon rendement énergétique de charge/décharge. Ses conditions d'utilisation non difficiles à satisfaire militent en faveur de sa large utilisation.

II.4.4.2. Les batteries au Nickel Cadmium : Elles sont les plus chers, mais aussi très résistant aux surcharges et aux décharges, et résistent bien aux basses températures.

II.4.5. Régulateurs

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes, afin de maximiser sa durée de vie le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation.

II.4.6. Onduleurs

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un dispositif électronique statique de conversion ou convertisseur DC/AC est utilisé pour la transformation du courant continu en courant alternatif.

II.4.7. Charge (utilisateurs)

Il existe deux types d'appareils alimentés par le système, celles qui fonctionnent en courant continu comme des équipements de télécommunications, le pompage d'eau, et celles en courant alternatif dans les cas d'usage domestique, ce cas nécessite un onduleur.

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque doit être pensée en termes d'économie de l'énergie. Il est donc plus avantageux de chercher des consommateurs fonctionnant en courant continu plutôt que d'ajouter un onduleur et un consommateur en 220 Vac.

II.5. Différents domaines d'applications

- ❖ Domaine spatial
- ❖ Habitation isolée
- ❖ Industrie isolée
- ❖ Centrale de puissance
- ❖ Résidence urbaine
- ❖ Biens de consommation

De nombreuses organisations internationales d'aide aux pays en voie de développement ont choisi la technologie photovoltaïque comme outil de développement social et économique pour fournir des services de base à la population, tels que:

- le pompage de l'eau pour la consommation du village ou pour l'irrigation.
- la réfrigération pour la production de glace et la conservation de vaccins, sang, produits agricoles,...
- l'éclairage (lampe portative, éclairage public, électrification villageoise, ...).

II.5.1. Industrie isolée

La technologie photovoltaïque est de plus en plus couramment intégrée dans les programmes nationaux d'électrification rurale (habitations domestiques, écoles, centres de santé, télécommunication, ...). Beaucoup d'applications professionnelles exigent une source d'électricité hautement fiable, autonome, sans entretien et sans combustible. Le générateur photovoltaïque est de loin l'option la plus séduisante; on l'utilise avec succès dans les télécommunications (stations-relais pour TV, radio, téléphonie, émetteur-récepteur,..).

II.5.2. Centrale de puissance

Avec les applications photovoltaïques connectées au réseau d'électricité national, une nouvelle tendance se dégage; elle est caractérisée par un fort potentiel de diffusion dans les pays industrialisés. Des centrales de production photovoltaïque sont expérimentées depuis quelques années en Europe, aux Etats-Unis et au Japon, mais elles n'ont pas encore dépassé le stade pilote.

II.5.3. Résidence urbaine

Le générateur photovoltaïque connecté au réseau est aussi envisagé en zone urbaine avec l'installation de modules sur les toits et façades de bâtiments.

II.5.4. Biens de consommation

L'électronique moderne requiert de très petites puissances - du milli Watt à la dizaine de Watt - de sorte que beaucoup de petits appareils peuvent être alimentés par une petite surface de cellules photovoltaïques. Les calculatrices et les montres sont de loin les applications les plus connues. Les chargeurs de batteries, radios, lampes de poche, luminaires de jardin, systèmes d'alarme, jouets, fontaines, tondeuses à gazon, etc., sont d'autres exemples et cette liste n'est pas limitative [17].

II.6. Modes d'exploitation d'un système photovoltaïque

On distingue trois modes d'exploitation d'un système PV : autonome, connecté au réseau et hybride.

II.6.1. Mode autonome

En mode autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des récepteurs. Ce mode est adopté lorsque le réseau n'est pas disponible ou lorsque le fonctionnement des récepteurs dépend uniquement du fil de soleil (pompage, éclairage, climatisation, chauffage, etc.). La figure suivante explique ce mode.

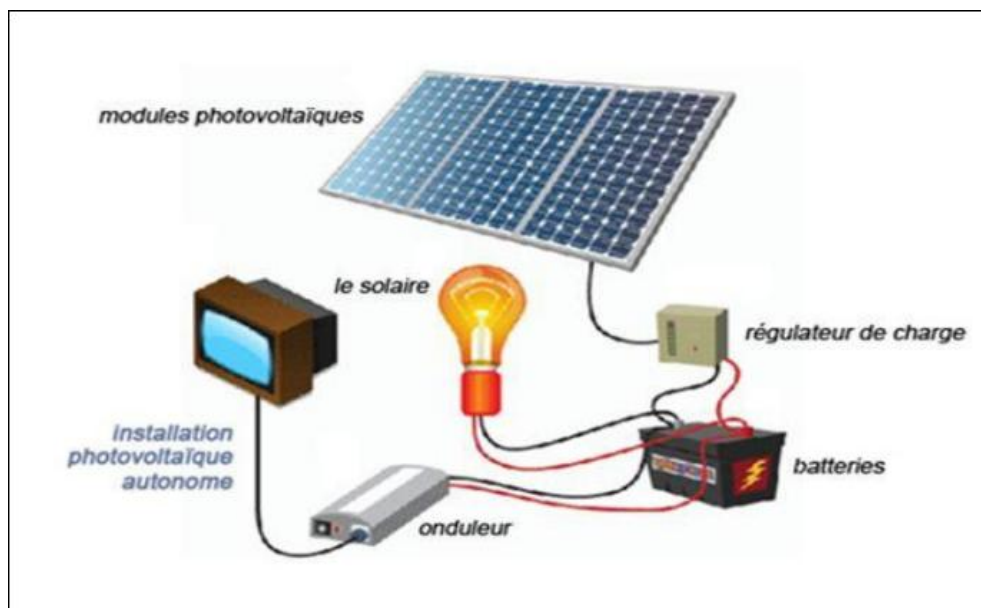


Figure: II.13: Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome.

a) Pompage de l'eau

Dans ce cas d'application, le fonctionnement se fait généralement au fil du soleil. Ainsi, le panneau PV alimente directement une pompe à travers un onduleur ; et ce tant que la puissance de sortie du panneau est capable de faire fonctionner la pompe. Ce mode est plus efficace lorsqu'un stockage de l'eau est toujours possible. Un système de pompage d'eau peut être représenté par la figure (II.14) ci-contre.

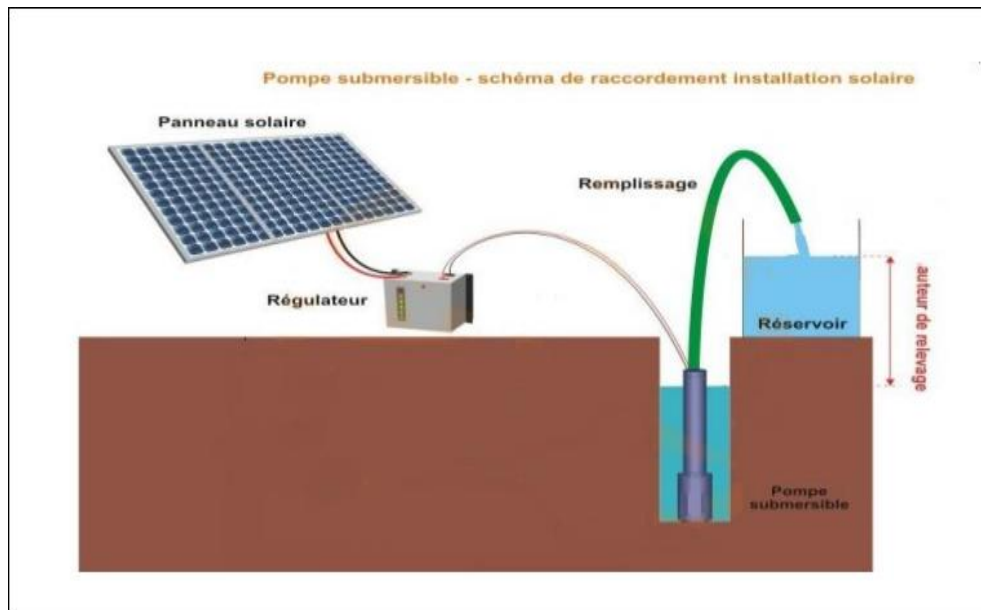


Figure II.14: schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome (pompage).

b) Centrales photovoltaïques

Une centrale photovoltaïque est un ensemble de panneaux photovoltaïques connectés en séries ou en parallèles en vue de délivrer une puissance élevée.

Ce type de centrales est généralement utilisé pour l'électrification des régions éloignées du réseau et avec le minimum de coût. L'énergie offerte par les panneaux photovoltaïques passe par un étage hacheur et MPPT pour tirer le maximum d'énergie, un filtre et un onduleur ce qui garantit une énergie délivrée en continue et en alternatif. La figure suivante donne le principe de ces centrales.



Figure II.15: Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome (centrales).

II.6.2. Mode connecté au réseau

Dans ce mode, le panneau PV est connecté au réseau électrique. Le système photovoltaïque est muni de convertisseurs de puissance pour adapter l'énergie produite par les panneaux PV. Ces convertisseurs sont composés d'un hacheur muni d'un MPPT, d'un filtre, d'un onduleur et d'une électronique appropriée pour assurer l'adaptation en amplitude et en fréquence avec le réseau (accrochage au réseau) comme le montre la figure suivante.

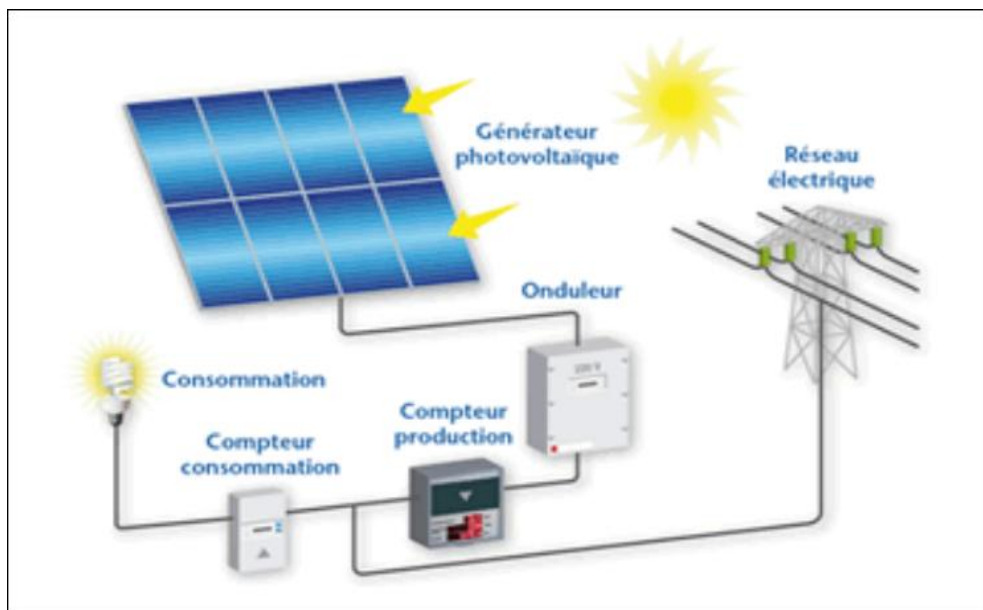


Figure II.16: mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (connecté au réseau).

II.6.3. Mode hybride

Un système d'énergie hybride comporte plus qu'une source d'électricité tel que les panneaux photovoltaïques, les piles à combustibles, les générateurs éoliens, les batteries de stockage, les groupes électrogènes...etc. Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau .Il existe plusieurs configurations de ces systèmes : PV/thermique, PV/batterie, PV/piles à combustibles, PV/éolienne/batterie, PV/éolienne, PV/groupe électrogène.

Le choix se base essentiellement selon les caractéristiques météorologiques du site d'implantation. Les systèmes hybrides connectés au réseau ont pour but de renforcer la source principale d'électricité alimentant le réseau. Ils sont généralement à base de sources d'énergie renouvelables tel que : les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les piles à combustibles, les batteries de stockage, les groupes électrogènes (figure ci-dessous) [25].

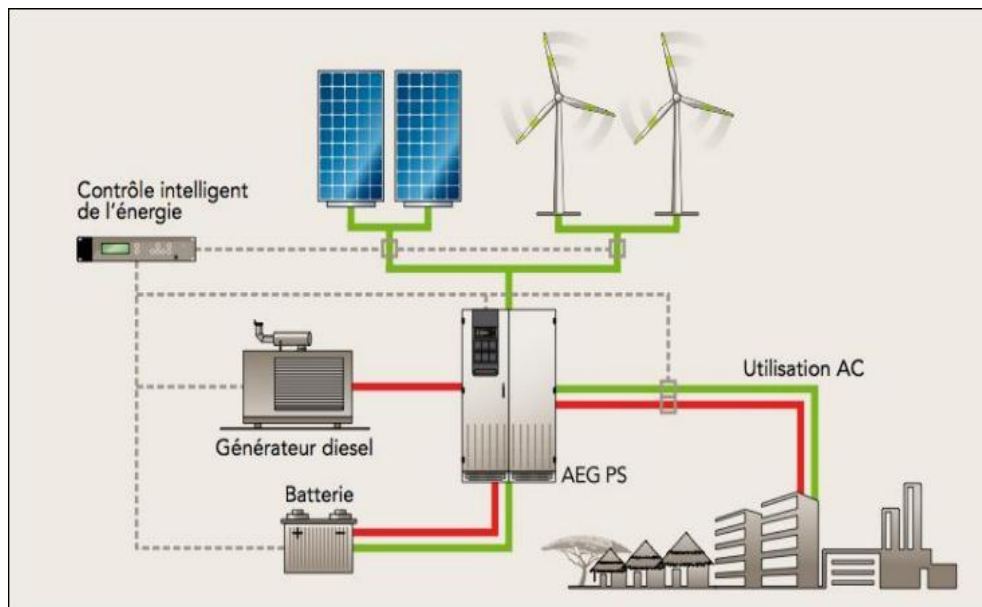


Figure II.17: Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (hybride).

II.7. Avantages et Inconvénients d'une installation PV

II.7.1. Avantages

- Une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

- Ensuite 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 transport, ni personnel hautement spécialisé.

- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

II.7.2. Inconvénients

- 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 % (soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

- Tributaire des conditions météorologiques.

- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.

- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

- Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur [4, 15,18].

II.8. Conclusion

Nous avons présenté dans ce présent chapitre les bases indispensables à la compréhension du fonctionnement physique d'une cellule photovoltaïque et les différents éléments qui entrent dans la constitution d'un système solaire photovoltaïque. Nous avons aussi décrit le principe de fonctionnement de chaque élément et son application dans le domaine photovoltaïque. A cet effet nous avons constaté que l'énergie solaire est une énergie propre et disponible, type des panneaux solaires.

Chapitre III:
Dimensionnement d'un
systeme PV-Diesel et un
systeme PV connecté au
réseau électrique

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la polyclinique étudiée et les étapes à suivre pour dimensionner d'un système photovoltaïque qui sera connecté au réseau électrique et d'un autre côté avec un générateur diesel, et choisir ses différents éléments: les modules photovoltaïques et l'onduleur et le générateur diesel, enfin, nous avons calculé le coût de cette système photovoltaïque.

III.2. Présentation de la Polyclinique LEBDOUAT

La polyclinique LABDOUAT est un établissement sanitaire dont les activités principales sont [26] :

- ❖ Appliquer les programmes nationaux régionaux et locaux de la santé.
- ❖ Exécuter l'activité de précaution, le soin, l'examination et le reconditionnement médical.
- ❖ Planifier la science de précaution, la science scolaire, les soins généraux et ordinaire.
- ❖ Elle peut être encore un milieu de formation.



Figure III.1: Polyclinique-LEBDOUAT.

III .3. Calcul de l'énergie électrique journalière

Le tableau III 1 comprend tous les appareils électriques que cette polyclinique utilise.

Tableau III.1 : Appareils électriques de la polyclinique [27].

Nom d'équipements	Puissance (w)	Nombre	Puissance totale(W)
Electrochoc	450	1	450
Appareil Electro Cardiogramme(E-C- G)	50	1	50
Appareil radiologie	125	1	125
Développeuse automatique	1380	1	1380
Pupitre	550	1	550
Fauteuil dentaire	550	1	550
Autoclave 40 litre	3000	1	3000
Autoclave 22 litre	2300	2	4800
Thermos al	100	1	100
Distillateur	6000	1	6000
Automate	65	1	65
Stabilisateur	322	1	322
Centrifugeuse	130	1	130
Spectrophotomètre	140	1	140
Scialytique	180	1	180
Lampe new	18	37	666
Lampe viltage	75	3	225
Lampe lad	18	69	1242
Lampe extérieur	250	14	3500
Ventilateur de visiteurs	49	2	98
Unité d'ordinateur	400	7	2800
Un écran	185	7	1295

d'ordinateur			
Refrigerateur d'eau	550	2	1100
Magasin de l'électrique ordinateur	500	7	3500
Imprimante	483	2	966
Chauffage		5	
Chambre froid		1	1200
Réfrigérateur	102	5	510
	120	3	360
Groupe électrogène (hybride)	36500	1	36500
Climatiseur	4103	8	32824
	5685	22	125084
	7200	2	14400
Scie à plâtre	250	1	250
Appareil Aérosol	220	1	220
Puissance totale			226282

Le tableau (III.2) donne la consommation électrique mensuelle de cette polyclinique.

Tableau III.2: Consommation électrique mensuelle de la polyclinique [28].

Moi	Consumptions (KWh)		
	Jour	Nuit	Total
Janvier	6216	3184	9400
Février	5425	3023	8448
Mars	3763	2141	5904
Avril	3860	2028	5888
Mai	7885	3006	10891
Juin	14183	4470	18653
Juillet	22196	6635	28831
Aout	17782	5337	23119
September	15580	4401	19981
Octobre	6861	2470	9331
Novembre	3660	1918	5578
Décembre	6293	2800	9093
Année	113704	41413	155117

La figure (III.2) montre que la polyclinique consomme beaucoup d'électricité durant la journée que dans la nuit.

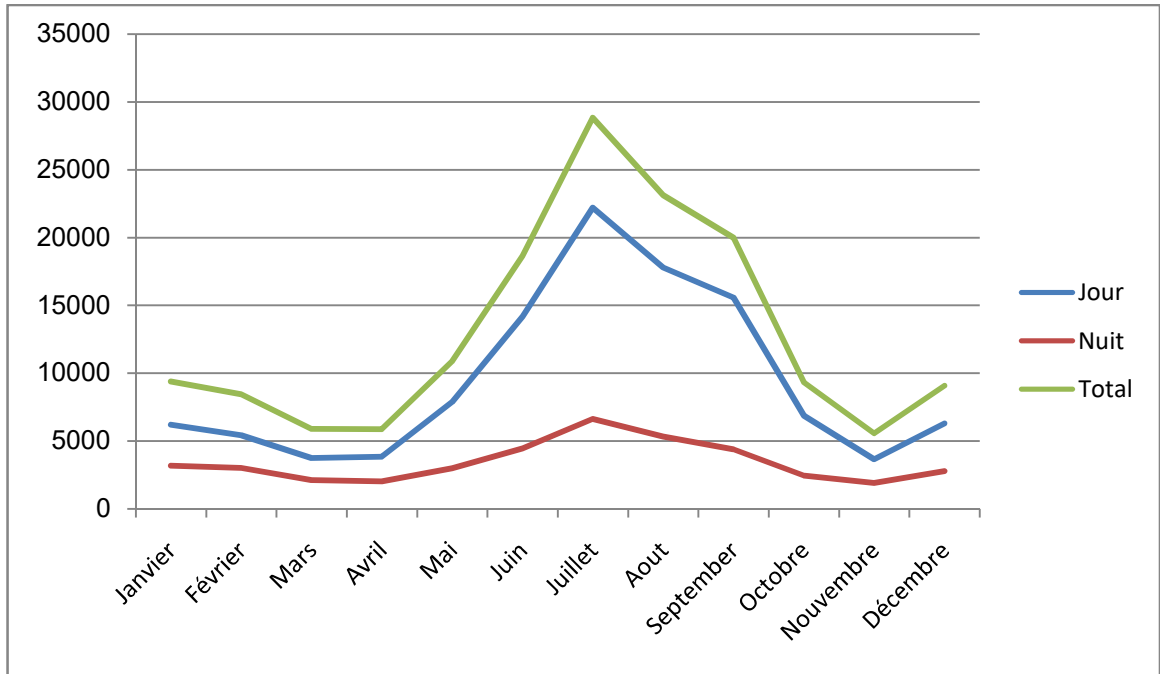


Figure III.2: Variation de la consommation électrique pendant le jour pour chaque mois.

Dans notre dimensionnement, on va baser sur le mois de juillet où la consommation électrique est plus élevée.

$$Ec = \frac{\text{Consommation du mois de juillet}}{\text{Nombre de jour}} = \frac{28831}{31} = 930.03 \text{ KWh/jour} \quad \text{(III-1)}$$

Ec: Energie électrique journalière kWh/jour

III.4. Puissance crête

$$Pc = \frac{Ec \times Pi}{Ir \times k} \quad Pc = \frac{930.03 \times 1}{6.506 \times 0.85} = 168.17 \text{ KW} \quad \text{(III-2)}$$

- Pc: Puissance crête
- Pi: $cte=1 \text{ kWh/m}^2/j$
- Ir: est l'irradiation moyenne journalière estimée dans notre région à $6.506 \text{ kWh/m}^2/j$
- k : rendement 0.85

III.5. Choix du type de modules PV et calcul du nombre de modules PV

Le tableau (III.4) affiche les caractéristiques techniques du type de modules PV choisis.

Tableau III.3: Caractéristiques techniques du type de modules PV choisi [29].

Puissance du module (Pmax)	280 W
Tension en circuit ouvert (Voc)	39 V
Courant de court-circuit (Isc)	9.21 A
Tension à puissance max (Vmpp)	31.8 V
Courant à puissance max (Impp)	8.85 A
Courant inverse max	20 A
Tension max du système	1000 V
Température nominale de fonctionnement (NMOT)	45 °C
Température nominale de fonctionnement	-40 à +85 °C

Le nombre total de modules photovoltaïques est calculé par la formule suivante :

$$Nm = \frac{Pc}{Pm} \tag{III-3}$$

$$Nm = \frac{168176}{280} = 600.628 \approx 600 \text{ modules}$$

- Nm: nombre de modules
- Pm: puissance d'un module PV

III.6. Choix de l'onduleur

Le choix de l'onduleur dépend la puissance crête du système PV.

$$\text{Puissance de l'onduleur} = 1.3 Pc = 1.3 \times 168 = 218.4 \text{ kW}$$

Dans notre recherche, nous avons trouvé un onduleur solaire 210 kW et un autre 250 kW, et puisque nous avons pris un rendement 0.85, on peut utiliser l'onduleur 210 kW. Le tableau (III.4) affiche les caractéristiques techniques de l'onduleur 210 kW.

Tableau III.4: Affiche les caractéristiques techniques du type d'onduleur choisi [30].

Satcon S-Type 210 KW Specifications	
Input Voltage Range (MPPT, full power)	265 - 600 VDC
Maximum Input Courant	830 ADC
Nominal Output Voltage	220 VAC 380 VAC

III.7. Montage de modules PV

Le montage des modules PV dépend de la tension maximale et le courant maximum de l'onduleur.

$600 \text{ VDC} / 31.8 \text{ Vmax} = 18$ modules PV en série (Donc la tension totale de chaque chaîne est $18 \times 31.8 = 572.4 \text{ V} < 600 \text{ VDC}$)

$600 \text{ modules PV} / 18 \text{ modules PV en série} = 33.33$ chaînes

$34 \text{ chaînes} \times 18 \text{ modules PV en série} = 612 \text{ modules PV}$ (donc l'ampérage total $34 \times 8.85 = 300.9 \text{ A} < 830 \text{ A}$)

Puissance crête du système PV = $612 \text{ modules PV} \times 280 \text{ W} = 171 \text{ kW}_C$

III.8. Choix du générateur Diesel

A l'aide du logiciel Homer, nous avons pris le générateur diesel dont la puissance est minimale pour qu'il y ait moins de pertes d'énergie électrique.

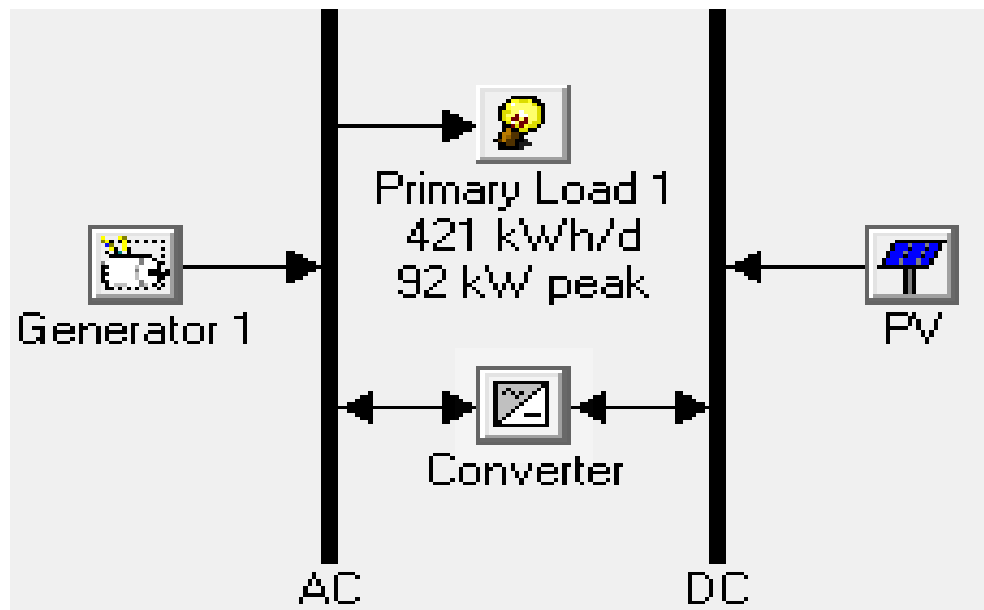


Figure III.3: Dimensionnement d'un système PV avec générateur diesel.

D'après le tableau (III.5), le résultat de la simulation à montrer que le générateur diesel de 80 kW avec lequel le système PV donne moins de pertes d'énergie électrique par rapport aux autres générateurs.

Tableau III.5: Simulation du système PV avec plusieurs générateurs Diesel.

Système PV (kW)	Générateur diesel (kW)	Onduleur (kW)	Production PV (kWh/an)	Production Générateur diesel (kWh/an)	Perte d'énergie (kWh/an)
171	80	210	62 589	211 284	117 890
171	85	210	62 589	221 696	128 405
171	90	210	62 589	232 254	139 66
171	100	210	62 589	253 794	160 814
171	150	210	62 589	367 921	275 766
171	200	210	62 589	487 627	395 834
171	230	210	62 589	560 376	486 632

Caractéristique du groupe Diesel [31]:

- Puissance évaluée: 80 kW
- Tension évaluée: 110/220v 400/230v
- Courant: 144 A
- Coût: 3736 (\$)

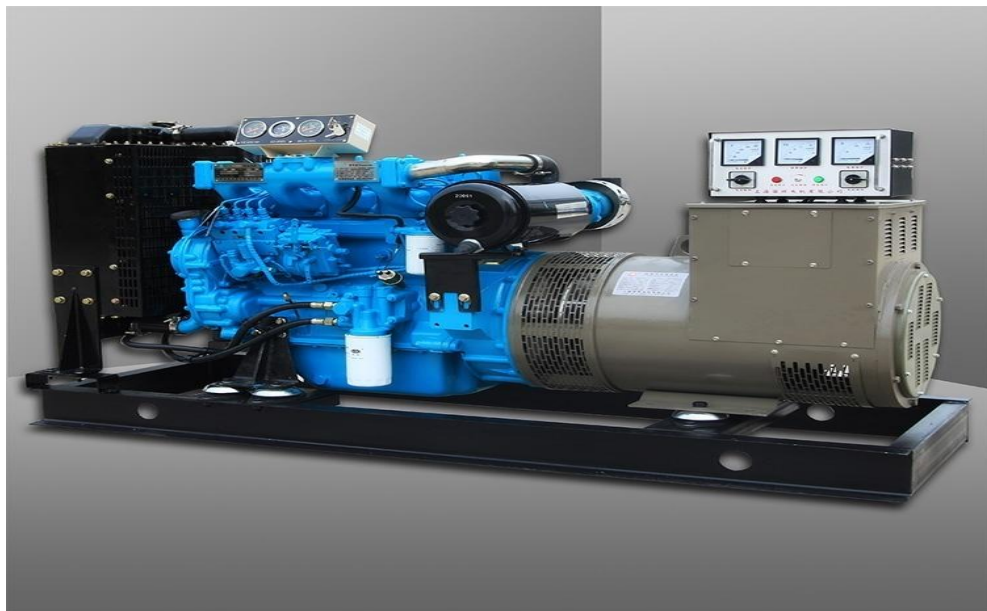


Figure III.4: Générateur diesel [31].

III.9. Analyse économique

Le tableau suivant donne le coût initial investi dans l'installation du système photovoltaïque.

Tableau III.6: Coût du système photovoltaïque.

	Prix unité (\$)	Nombre	Prix total (\$)	Prix total (DA)
Générateur Diesel	3736	1	3736	445480.64
Module PV	178.15	612	109027.8	13000474.87
Onduleur	9000	1	9000	1073160
			121763.8	14519115.51

Chapitre IV:
Etude de l'impact
énergétique, économique et
environnemental

IV.1. Introduction Logiciel Homer

Le logiciel de dimensionnement Homer est un outil connu pour sa fiabilité dans la conception et l'analyse des systèmes d'énergies hybrides, qui contiennent un regroupement de générateurs conventionnels, des éoliennes, des générateurs photovoltaïques, de l'hydroélectricité, etc... Ainsi, pour une ou plusieurs installations connectées au réseau ou autonomes, Homer permet d'obtenir la configuration optimale après une étude technico-économique [17].

IV.2. Système PV avec générateur diesel

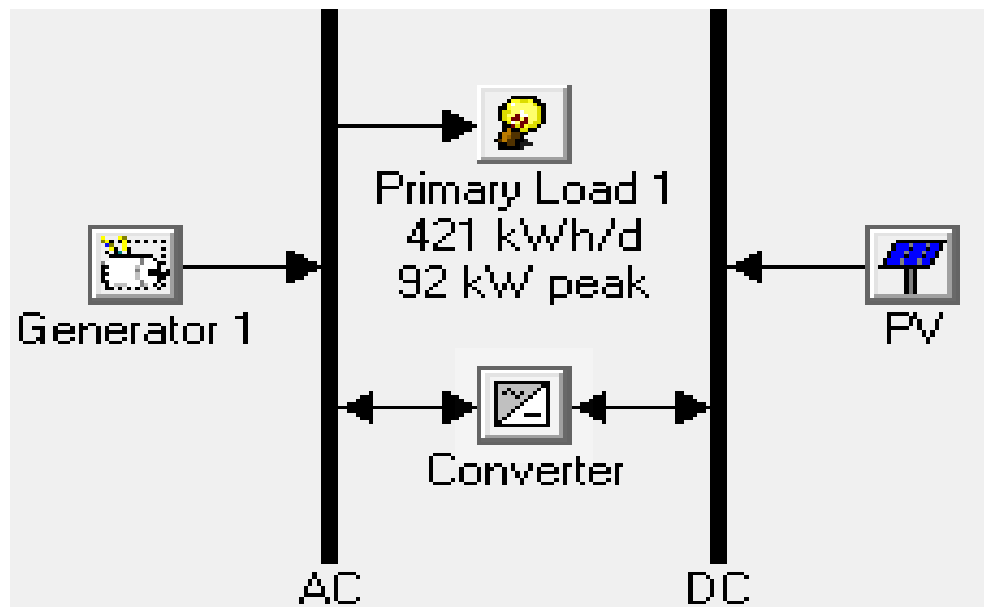


Figure IV.1: Schéma du système PV avec un générateur diesel.

IV.2.1. Résultats énergétique

Le tableau (IV.1) affiche les résultats énergétique du système PV avec un générateur diesel, et la figure (IV.2) montre la production électrique du système PV avec un générateur diesel pour chaque mois.

Tableau IV.1: Résultats énergétique du système PV avec un générateur diesel.

Système PV (kW)	Générateur diesel (kW)	Onduleur (kW)	Consommation (kWh/an)	Production PV (kWh/an)	Production Générateur diesel (kWh/an)	Perte d'énergie (kWh/an)
171	80	210	153 650	62 589	211 284	117 890

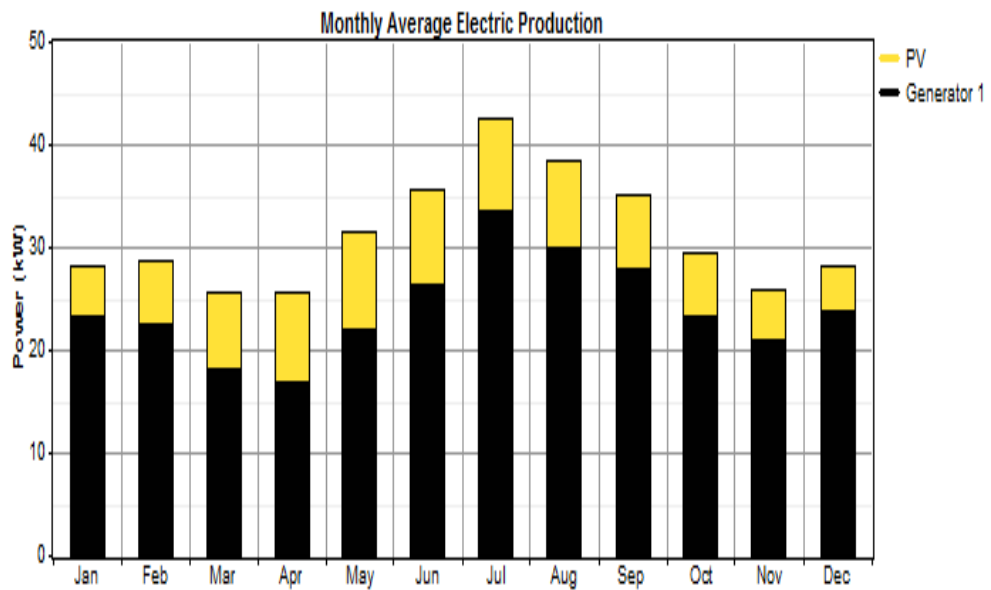


Figure IV.2: Production électrique du système PV avec un générateur diesel.

IV.2.2. Résultats économiques

Le tableau (IV.2) affiche les résultats économiques du système PV avec un générateur diesel.

Tableau IV.2: Résultats économique du système PV avec un générateur diesel.

	Capital	Replacement	O & M	Fuel	Salvage	Total
Système PV	109028	27196	1278	0	-15242	122261
générateur	3736	1246	77 504688	254 501	-339	77 764088
Onduleur	9000	3129	23010	0	-582	34557
Système	122013	31572	77 528976	254501	-16164	77 920896

IV.2.3. Résultats environnemental

Le tableau (IV.3) affiche les résultats environnementaux du système PV avec un générateur diesel.

Tableau IV.3 : Résultats environnementaux du système PV avec un générateur diesel.

Emission (kg/an)	Gaz carbonique	Monoxyde Carbone	Hydrocarbures non brûlés	Affaire particulièrement	Dioxyde de soufre	Oxydes d'azote
Système PV (kW) et Générateur diesel	275 928	681	75.4	51.3	554	6 077

IV.3. Système PV connecté au réseau électrique

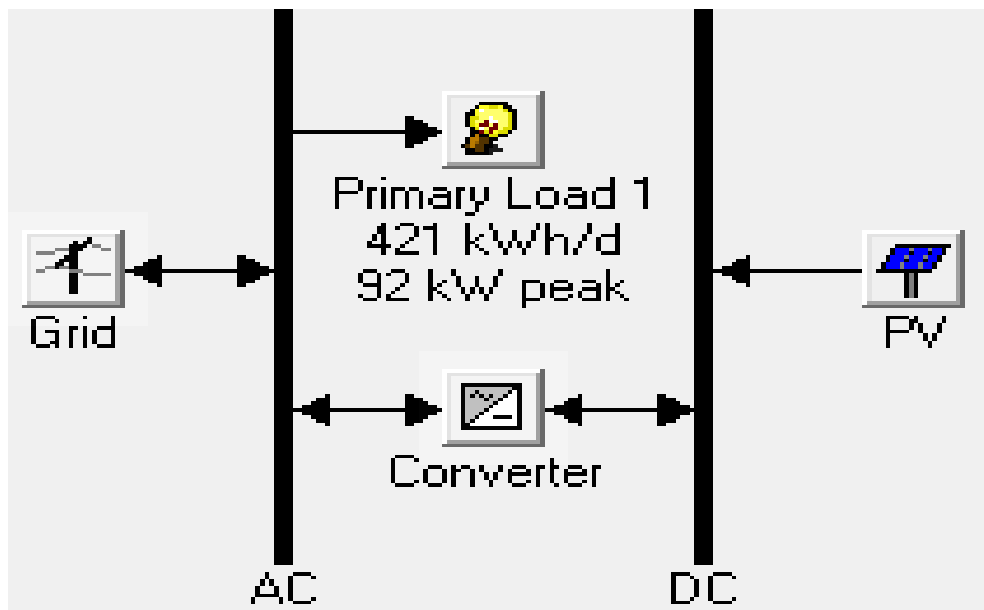


Figure IV.3: Schéma du système PV connecté au réseau électrique.

IV.3.1. Résultats énergétique

Le tableau (IV.4) affiche les résultats énergétique du système PV connecté au réseau électrique, et la figure (IV.3) montre la production électrique du système PV connecté au réseau électrique pour chaque mois.

Tableau IV.4: Résultats énergétique du système PV connecté au réseau électrique.

Système PV (kW)	Réseau électrique (kW)	Onduleur (kW)	Consommation (kWh/an)	Production PV (kWh/an)	Production grille (kWh/an)	Perte d'énergie (kWh/an)
171	1000	210	153 630	62 589	104 617	0

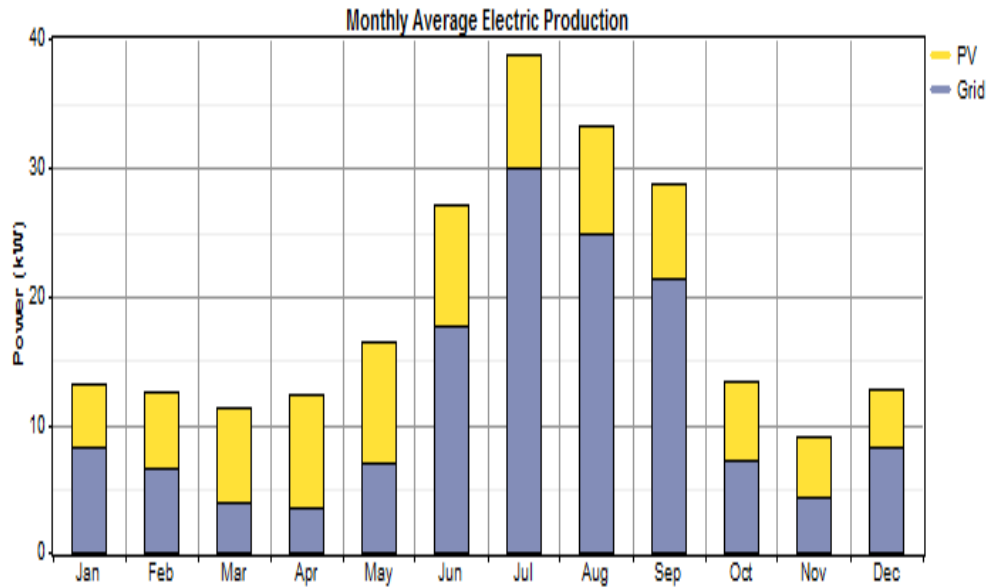


Figure IV.4: Production électrique du système PV connecté au réseau électrique.

IV.3.2. Résultats économique

Le tableau (IV.5) affiche les résultats économiques du système PV connecté au réseau électrique.

Tableau IV.5: Résultats économique du système PV connecté au réseau électrique.

	Capital	Replacement	O & M	Fuel	Salvage	Total
System PV	109028	27196	1278	0	-15242	122261
Réseau	0	0	29422	0	0	29422
Onduleur	9000	3129	23010	0	-582	34557
Système	118028	30326	53710	0	-15824	186240

IV.3.3. Résultats environnemental

Le tableau (IV.6) affiche les résultats environnementaux du système PV connecté au réseau électrique.

Tableau IV.6: Résultats environnementaux du système PV connecté au réseau électrique.

Emission (kg/an)	Gaz carbonique	Monoxyde Carbone	Hydrocarbures non brûlés	Affaire particulièrement	Dioxyde de soufre	Oxydes d'azote
Système PV (kW) et Réseau électrique	61 515	0	0	0	267	130

IV.4. Comparative entre le système PV connecté au réseau électrique et système PV avec un générateur diesel

IV.4.1. Comparative énergétique

D'après le tableau (IV.7), la comparaison énergétique entre le système PV avec un générateur diesel et le système PV connecté au réseau électrique a montré que la perte d'énergie est nulle lorsque on utilise un système PV connecté au réseau électrique alors qu'il y a beaucoup de pertes d'énergies si on utilise un système PV avec un générateur diesel.

Tableau IV.7: Comparaison énergétique.

	Consommation (kWh/an)	Production PV (kWh/an)	Production Générateur diesel (kWh/an)	Perte d'énergie (kWh/an)
Système PV (kW) avec Générateur diesel	153 630	62 589	211 284	117 890
Système PV (kW) connecté au Réseau électrique	153 630	62 589	104 617	0

IV.4.2. Comparative économique

D'après le tableau (IV.8), la comparaison économique après 20 ans entre le système PV avec un générateur diesel et le système PV connecté au réseau électrique a montré que le système PV connecté au réseau électrique est beaucoup moins coûteux que le système PV avec un générateur diesel.

Tableau IV.8 : Comparaison économique.

	Total NPC (\$)	Total NPC (DA)
Système PV (kW) avec Générateur diesel	77 920896	9291287639
Système PV (kW) connecté Réseau électrique	186 240	22207257.6

IV.4.3. Comparative environnementale

D'après le tableau (IV.9), la comparaison environnementale entre le système PV avec un générateur diesel et le système PV connecté au réseau électrique a montré que le système PV connecté au réseau électrique est beaucoup moins polluant que le système PV avec un générateur diesel.

Tableau IV.9: Comparaison environnementale.

Emission (kg/an)	Gaz carbonique	Monoxyde Carbone	Hydrocarbures non brûlés	Affaire particulaire	Dioxyde de soufre	Oxydes d'azote
Système PV (kW) avec Générateur diesel	275 928	681	75.4	51.3	554	6 077
Système PV (kW) connecté au Réseau électrique	61 615	0	0	0	267	130

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles des énergies renouvelables, celle de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque. Dans ce travail, on a traité une étude comparative entre un système PV avec un générateur diesel et système PV connecté au réseau électrique pour fournir l'électricité nécessaire à l'une des polycliniques de Touggourt, dont la consommation par jour est 171 KWh /ans.

Alors à la fin de ce travail on a conclu les points suivants :

- ❖ Nous avons constaté qu'en utilisant le générateur diesel ou le réseau électrique, les batteries peuvent être retirées d'installation et éliminent donc le maillon le plus problématique (et plus cher d'une installation).
- ❖ Après avoir utilisé logiciel HOMER, nous avons pu observer l'effet des conditions externes sur le fonctionnement électrique (température, éclairage)
- ❖ Le système PV connecté au réseau électrique est meilleure énergétique et économique et environnementale

A la fin, cette étude a montré le grand avantage de doter toutes les polycliniques ou n'importe quel établissement administratif ou n'importe quelle maison connecté au réseau électrique avec un système PV.

Référence bibliographiques

- [1] : M.SALMI, "Le gisement solaire", Polycopie de cours, Université Mohamed Boudiaf – M'SILA, page 6.
- [2] : M. Salmi « Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications », Thèse Doctorat, Université Ferhat Abbas de SETIF, 012. pages26/10-13.
- [3] : F.MEZIANI,"Détermination du gisement solaire par traitement d'image MSG ", Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU, pages3-4/7-8.
- [4] : F.MERAD, "Conception d'un programme de calcul du rayonnement Solaire cas particulier de la région de Mostaganem", Mémoire Magister, Université ABDE Hamid Ibn BADI, 2013, pages 17-19-48-49-50.
- [5] : N.SELAMI et N.BENABADJI, 'Etude des structures nuageuses', JAS09 de l'AUF, Alger, Novembre 2009.
- [6] : V. Etienne, Physique de l'atmosphère; Phénomènes d'absorption et de diffusion dans l'atmosphère. Gautier Villard, Tome 3, Paris (1966).
- [7] : S. KARROUT, « Etude théoriques et numériques des systèmes couples : distillateur plan-capteur et distillateur HOT BOX – capteur », mémoire Magister, Université de CONSTANTINE, 2009, pages 12-13.
- [8] : M.HADJ BELKACEMI, "Modélisation et Etude Expérimentation d'un capteur solaire non Vitré et Perforé" , Mémoire de Master , Université Abdou BEKR BELKAID de TLEMCEN, 2011, page 12.
- [9] M.L.BEN GUEHZA, " Impact de l'espace entre les deux Vitrages sur le rendement d'un capteur solaire ", Mémoire MAGISTER, Université de KASDI MERBAH de OUARGLA, 2009, page 18.
- [10] : A.A.DKMA, "La rationalisation de la consommation de 'eau zone Touggourt", Mémoire Magister, Université MENTOURI de CONSTONTINE, 2010, pages 13/49.
- [11] : N.GHATTAS "Epuraton des eaux usée: Cas de ville de Touggourt", Mémoire Magister, Université de KASDI MERBAH –OUARGLA, 2009, page 20.
- [12] : <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa&lang=fr>
- [13] : وكالة الأرصاد الجوية بمطار سيدي مهدي- تقرت :
- [14] : DJOUNAIDI Karim 'Mémoire de fin d'étude master : Etude d'un système photovoltaïque autonome', université de Biskra 2013.
- [15] : H.GHERDINE, B.YAH«Etude d'un système autonome d'énergie photovoltaïque

Application au pompage hydraulique», Mémoire de Master, UNIVERSITÉ DE TLEMCEM, 2017, Page 4-32.

[16] : F. TRAHI," Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation de laboratoire de recherche LAMPA."Mémoire Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 20, Pages 11.

[17] : <http://dspace.univ.biskra.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/4967/1/Etude%20classique%20et%20quantique%20de%20l%E2%80%99h%C3%A9t%C3%A9rojonction%20AlGaAsGaAs.pdf>

[18] : F.SALAMA «Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique». Mémoire de Magister, Université de Sétif, 2011, Page 9-14.

[19] : A. CATANA, L. de Schoulepnikoff, « Quelle source d'énergie pour les vingt prochaines années ? Le solaire une solution ». Gymnase Auguste Piccard, Novembre 2009.

[20] : A. SAHLI," Filtrage actif et contrôle de puissances : application aux systèmes photovoltaïques interconnectés au réseau", Mémoire Magister, UNIVERSITE FERHAT ABBAS d'SETIF, 2012, Page 27.

[21] : K.AMARA," Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque De puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension", Mémoire de Magister, UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2015, Page5.

[22] : S. PETIBON, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques», Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Janvier 2009.

[23] : C. Bernard, J.CHAUVIN, D. LEBRUN, J.F MURAZ, P. STASSI « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger.2006.

[24] : www.mac4ever.com.

[25] : Y. MERABTI, «Etude et réalisation d'un système photovoltaïque hybride à trois sources», Mémoire de fin d'étude master, université de Biskra 2016.

[26] العيادة المتعددة الخدمات لبدوعات المجاهد معطا الله عمار

[27] المؤسسة العمومية للصحة الجوارية- تقرت

[28] الوكالة التجارية سونلغاز- تقرت

[29] : [www.newenergyeco.com]

[30] : [http://www.satcon.com/fre/pv_inverters/210kw_stype.html].

[31]:[https://www.alibaba.com/product-detail/Groupe-electrogene-generator-diesel-Lovol-engine_60233353129.html?spm=a2700.7724838.2017115.42.12df77c7ZaRw4B]

ANNEXES

Annexes 01 : Record des températures pour la ville de Touggourt pour l'année 2018.

STATION:tougl ANNEE: 2018

Mois	Rtot	Nj	Rmax	Vm	Vx	Hm	HN	HX	Tmoy	TNm	TXm	TNA	TXA	EV
JAN	0.3	1	0.3	3	14	56	35	76	12.5	5.6	19.7	1.6	25	115
FEV	9.8	5	7	2.8	15	59	37	80	12.1	6.6	18.8	0.8	28	116
MAR	4.2	2	3	4.6	23	42	23	66	18.2	11.1	25.5	2.2	35	240
AVR	2.4	1	2.4	3.4	18	40	24	63	22.4	14.8	29.6	9	37.4	253
MAI	7.2	4	3.2	4.4	21	43	27	65	26	18.9	32.9	9.7	45	297
JUN	0	0	0	3.5	16	35	21	54	30.8	23.6	37.9	17.4	46.1	301
JUL	0	0	0	3.5	19	26	11	41	37.7	29.5	45.5	26	49.6	421
AOU	2	1	2	3.1	23	43	28	63	32	25.8	38.5	22.6	42.9	250
SEP	5	1	5	3.2	18	43	26	65	30.1	23	37.4	14.7	44	280
OCT	0.1	1	0.1	3.2	20	48	29	70	22.5	16.3	29	8	33.9	206
NOV	0.6	1	0.6	3	14	58	38	79	16	9.9	23.2	4.4	26.9	121
DEC	0	0	0	2.1	15	62	39	81	11.6	5.3	19.6	2	23.5	71

Rtot = total précipitation en mm
 Nj = Nombre de jour de précipitation
 Rmax = pr"cipitation max en 24/heure en mm
 Vm = vent moyen en Nœud
 Tmoy = Température moyenne en °C
 Hm = humidité moyenne en %
 Vx = Vent max en Nœud
 Hn = Humidité mini en %
 Hx = Humidité maxi en %
 TNm = Température mini moyenne en °C
 TXm = Température maxi moyenne en °C
 TNA = Température mini absolu en °C
 TXA = Température maxi absolu en °C
 EV = évaporation total en mm

Annexes 02 : Facture d'électricité de polyclinique 2018.

Période de consommation du: _____ au: _____

Tarif: 43 Comptage: _____

CONSUMMATION:

Compteurs	Numéro	Coeff. de lecture	Index Premier cadran		Index Second cadran		Index Troisième cadran	
			Ancien	Nouveau	Ancien	Nouveau	Ancien	Nouveau
ACTIF-T-TARIF	0740	1.00	177147	179757	125939	127356	471872	476327
REACTIF-S-T	0740	1.00	451816	456264				
IND PUISSANCE	0740	1.00		27.00				

Energies	Consommations			Périodes tarifaires	
	Cadran 1	Cadran 2	Cadran 3	NUIT	JOUR
CONSDM. ACTIVE	2610	1417	4455	2800	6293
P. E. C ACTIVE	55	30	94		
P. A. V ACTIVE	135	72	225		
					7646
CONSDM. REACTIVE	4448				
P. E. C REACTIVE	177				
P. A. V REACTIVE	3021				

	Quantité	P.U (cDA)	A déduire	A ajouter
Energie consommée				
NUIT	2800	102.40		2867.20
JOUR	6293	428.30		26952.92
Facteur de puissance 84.09%				1410.97
MAJORATION	3099	45.53		3096.00
Puissance mise à disposition	80	3870.00		4173.12
Puissance maximale atteinte	27	15456.00		515.65
Primes fixes				39015.86
Montant énergie HT				7413.01
TVA énergie taux 19 %				3.91
Location (comptage, transformateur)				11.31
Entretien de poste transformateur				
Frais de coupure et remise				15.22
Montant prestation HT				2.89
TVA prestation taux 19 %				
Taxe d'habitation				
Taxe sur vente de produits énergétiques				
Intérêts moratoires				

Veuillez régler avant le _____ par :

- Virement au compte CCP ou bancaire sus indiqué.
- Chèque CCP ou bancaire adresse à notre unité.

DD QUARGLA, le 31-12-2018
Le Directeur de Distribution

Contribution aux coûts permanents du système:	68.19	DA
---	-------	----

TOTAL FACTURE 46446.98 DA

La présente facture est arrêtée à la somme de:
 Quarante Six Mille Quatre Cent Quarante Six
 Dinars Quatre Vingt Dix Huit Centime(s)

Client n°: 8190234
 Facture n°: 811812000926
 Référence: 30707340023614
 Montant: 46446.98

AVIS : Un délai de paiement de 15 jours à dater de la réception de la présente facture vous est accordé. Passé ce délai nous serons dans l'obligation d'entamer la procédure de suspension de la fourniture d'énergie

Annexes 03 : affiche les caractéristiques techniques du type de panneau solaire choisi.

Caractéristiques techniques	
Puissance du module (Pmax)	280 W
Tension en circuit ouvert (Voc)	39 V
Courant de court-circuit (Isc)	9.21 A
Tension à puissance max (Vmpp)	31.8 V
Courant à puissance max (Impp)	8.85 A
Rendement du panneau	17.14 %
Coefficient de température	Isc : 0.0474 %/°C Voc : -0.285 %/°C Pmax : -0.37 %/°C
Courant inverse max	20 A
Tension max du système	1000 V
Température nominale de fonctionnement (NMOT)	45 °C
Plage de température de fonctionnement	-40 à +85 °C
Verre	Verre trempé transparent de 3.2 mm
Encapsulation des cellules	EVA (Ethylène Vinyl Acétate)
Cellules	60 cellules polycristallines de 156.75 x 156.75 mm
Face arrière	Film polyester multicouche
Cadre	Aluminium anodisé avec perforation et drainage
Charge max (vent / neige)	5400 Pa
Boite de jonction	Certifié IEC62790, IP68
Câbles	900 mm avec connecteurs compatibles MC4
Dimensions	1650 x 990 x 35 mm
Poids	17.7 kg

Annexes 04 : panneau solaire choisi.

Accueil > Panneau solaire > Panneau polycristallin >



Panneau solaire polycristallin FUTURASUN 280W (280Wc - 60 cells)



SOLARIS-STORE

 Garantie de production 25 ans*
Fabricant Italien 

* Garantie en performance : 87% à 25 ans
Garantie produit : 15 ans

Reference : PE1110828

Expédition : 1 et 2 jours

Frais de port : France & Export : VOIR PANIER
Retrait au magasin (01) : GRATUIT

Ressources :  [Fiche technique PDF](#)

Une question ?  [Contactez-nous](#)

159,00 € TTC

[Demander les Tarifs PROs](#)

Quantité

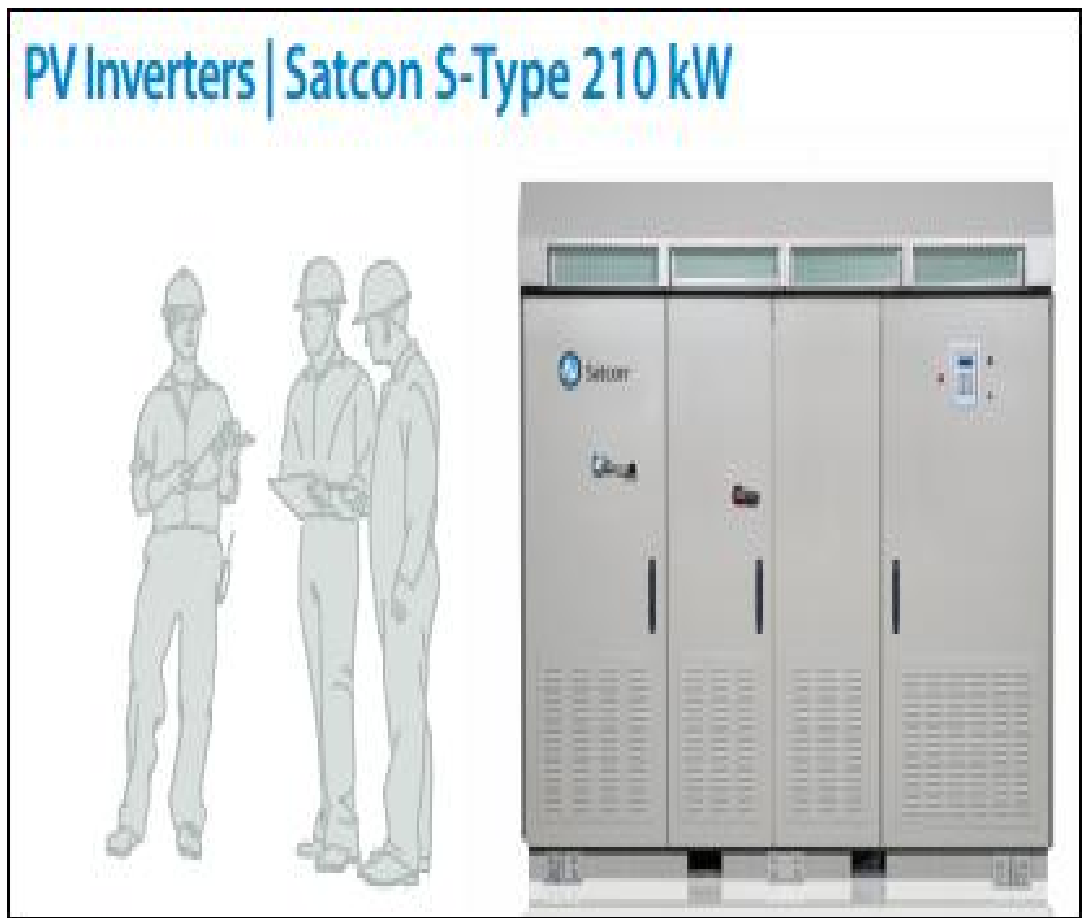
- 1 +

Ajouter au panier

★ Ma liste de matériel



Annexe 05: Onduleur solaire choisi.




Annexes 06 : Affiche les caractéristiques techniques du type d'onduleur choisi.

Satcon S-Type 210 kW Specifications		
Input Parameters		
Maximum Array Input Voltage		600 VDC
Input Voltage Range (MPPT; Full Power)		265–600 VDC
Maximum Input Current		830A DC
Output Parameters		
Output Voltage Range (L-L)	208 VAC	183–229 VAC
	240 VAC	211–264 VAC
	480 VAC	422–528 VAC
Nominal Output Voltage		208 VAC
		240 VAC
		480 VAC
Output Frequency Range		59.5–60.5 Hz
AC Voltage Range (Standard)		-12 % / +10%
Nominal Output Frequency		60 Hz
Number of Phases		3
Maximum Output Current per Phase	208 VAC	583A
	240 VAC	505A
	480 VAC	253A
Maximum Overcurrent Protection per Phase	208 VAC	760A
	240 VAC	640A
	480 VAC	320A
CEC-Weighted Efficiency		95.5%
Maximum Continuous Output Power		210 kW (210 kVA)
Tare Losses	208 VAC	160.8 W
	240 VAC	112.9 W
	480 VAC	189.8 W
Power Factor at Full Load		>0.99
Harmonic Distortion		<3% THD

Satcon S-Type 210 kW Specifications		UL/CSA
Temperature		
Operating Ambient Temperature Range (Full Power)	-20° C to +50° C	•
Storage Temperature Range	-30° C to +70° C	•
Cooling	Forced Air	•
Noise		
Noise Level	<65 dB(A)	•
Combiner		
Number of Inputs and Fuse Rating	10 (160A DC)	○
	15 (100A DC)	○
Inverter Cabinet		
Enclosure Rating	NEMA 3R	•
Enclosure Finish (14-Gauge, Powder-Coated G90 Steel)	RAL-7032	•
Base and Door Finish (16-Gauge, Powder-Coated Steel)	RAL-7032	•
Cabinet Dimensions (Height x Width x Depth)	92.6" x 117.7" x 43.3"	
Cabinet Weight	4,500 lbs	
Transformer		
Integrated Internal Transformer	•	
Testing and Certification		
UL1741, CSA 107.1-01, IEEE 1547, IEEE C62.41.2, IEEE C62.45, IEEE C37.90.1, IEEE C37.90.2	•	
UBC Zone 4 Seismic Rating	•	
Warranty		
Five Years	•	
Extended Warranty (up to 10, 15, or 20 years)	○	
Extended Service Agreement	○	
Uptime Guarantee	○	
Intelligent Monitoring		
Satcon PV View® Plus	○	
Satcon PV Zone®	○	
Third-Party Compatibility	•	

Annexe 07: affiche les caractéristiques techniques du type de générateur diesel choisi.

Product Details	Company Profile		
Overview			
Quick Details			
Place of Origin:	Shandong, China (Mainland)	Brand Name:	Shenghan
Model Number:	SH80L	Rated Power:	80kw
Output Type:	AC Three Phase	Rated Voltage:	110/220v 400/230v
Rated Current:	144A	Speed:	1500 OR 1800RPM
Frequency:	50 OR 60HZ	Engine brand:	lovol
Alternator brand:	Stamford, Marathon, Leroy Somer and other domestic bra...	Governor type:	mechanical or electrical
Start method:	electrical	Control panel:	AMF or ATS
Connection type:	1 phase,2 wire 3 phase,4 wire	Warranty period:	1 year or 1500 hours
Certificate:	CE, ISO9001		
Supply Ability			
Supply Ability:	200 Set/Sets per Month		
Packaging & Delivery			
Packaging Details	standard export package		
Port	Qingdao		

 PRODUCT ATTRIBUTE	
Warranty	one year or 1500 running hours
Certificate	CE and ISO
Cooling method	Water cooling
Applicable fuel	diesel
Start method	24V Electric start
Control panel	automatic controller
Ignition system	Direct injection
Alternator	Stamford and other famous brand
Condition	brand new
Fuel consumption	200g/kw.h

Etude comparative entre un système photovoltaïque avec générateur diesel et un système photovoltaïque connecté au réseau électrique pour alimenter une maison

Résumé : L'utilisation de l'énergie photovoltaïque comme source majeure de production d'électricité considérablement augmentée au cours des dernières années. Elle doit fournir une source auxiliaire pour éviter les interruptions. Le but de ce travail est de comparer le système photovoltaïque avec un générateur électrique diesel et le système photovoltaïque connecté au réseau électrique pour alimenter la polyclinique LEBDOUAT située en TOUGGOURT. Après l'utilisation du logiciel Homer, les résultats ont montré que le système PV connecté au réseau électrique est le meilleur pour la polyclinique du point de vue énergétique, économique et environnemental.

Mots-clés : énergie solaire, photovoltaïque, réseau électrique, dimensionnement, logiciel Homer.

دراسة مقارنة بين نظام كهروضوئي مدعم بمولد كهربائي ديزل و نظام كهروضوئي متصل بالشبكة الكهربائية لتغذية عيادة متعددة الخدمات

ملخص شهد العالم في السنوات الأخيرة انتشاراً كبيراً في استعمال الطاقة كهر وضوئية كمصدر أساسي في إنتاج الطاقة الكهربائية إلى أنها تحتاج لمصدر مساعد لتفادي الانقطاعات. الهدف من هذا العمل هو دراسة مقارنة بين نظام كهروضوئي مدعم بمولد كهربائي ديزل و نظام كهر وضوئي متصل بالشبكة الكهربائية لتغذية عيادة متعددة الخدمات الواقعة بتقوت بالطاقة الكهربائية الأزمة. بعد استخدامنا لبرنامج هومر الخاص بالأنظمة الهجينة أظهرت النتائج أن نظام كهر وضوئي متصل بالشبكة الكهربائية هي الأفضل للعيادة من الجانب الطاقوي و الاقتصادي و البيئي.

الكلمات المفتاحية الطاقة الشمسية الكهروضوئية شبكة الكهرباء تحجيم برنامج هومر.

A comparative study between a photovoltaic system connected to an electric diesel generator and a photovoltaic system connected to an electric network in order to feed the polyclinic

Abstract: The use of photovoltaic energy as a major source of electricity production is increased considerably in the recent years. The latter is used as an auxiliary source to avoid interruptions. The aim of this study is to compare two systems: the photovoltaic system with an electric diesel generator and a photovoltaic system connected to an electric network in order to feed the polyclinic LEBDOUAT located in TOUGGOURT. After the use of Homer software, the results show that PV systems connected to the electric network is better for the polyclinic in terms of: energy, economy and environment.

Keywords: Solar power, Photovoltaic, Electric network, Sizing, HOMER software.