

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

**UNIVERSITE d'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE**



**Mémoire de Fin D'étude en Vue de L'obtention du Diplôme de
Master en Physique
Option : ENERGETIQUE**

Thème

**Etude et dimensionnement d'un système d'éclairage
solaire pour la faculté des sciences et technologie à
l'université d'Adrar**

Soutenu le :

Présenté par :

 Hamza Bradai

Membres de jury :

Président :

Pr A. BENATIALLAH Univ.d'ADRAR

Encadré par :

Dr S.BentoubaUniv.d'ADRAR

Examineurs

Mr B.Omari Univ.d'ADRAR

JUIN 2015

Sommaire

Nomenclature	
Liste des tableaux et des figures	
Introduction général	01

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

I. Introduction.....	03
I.1 Le rayonnement solaire.....	03
I.1.1 Gisement solaire.....	03
I.1.2 Le soleil.....	03
I.2 Rayonnement solaire hors atmosphère.....	04
I.3 Spectre solaire.....	05
I.4 Mouvements de la terre.....	05
I.5 Mesure du rayonnement solaire.....	06
I.6 Les coordonnées géographiques.....	07
I.7 Les coordonnées célestes horizontales.....	08
I.7.1 L'azimut solaire.....	08
I.7.2 La hauteur du soleil.....	08
I.8 Les coordonnées célestes horaires.....	09
I.8.1 La déclinaison.....	09
I.8.2 Angle horaire.....	10
I.8.3 Les paramètres de temps.....	10
I.9 Variations du rayonnement global lié à la distance terre-soleil.....	11
I.9.1 La durée d'ensoleillement.....	12
I.9.2 -la durée du jour.....	12
I.10 Le rayonnement solaire.....	13
I.10.1 Le rayonnement solaire direct.....	14
I.10.2 Le rayonnement solaire diffus.....	15
I.10.3. Le rayonnement global.....	16
I.11 Système photovoltaïque.....	16
I.11.1 historique.....	16
I.11.2 Les cellules PV.....	17
I.11.3 L'effet photovoltaïque.....	17
I.11.4 les différents types des cellules photovoltaïques.....	18

I.11.4.1 Les cellules en silicium cristallin.....	19
I.11.4.2 Les cellules en couches minces.....	19
I.11.4.3 Les cellules organiques.....	20
I.11.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	21
I.11.5 .1 Circuit électrique idéal.....	21
I.11.5 .2 Circuit électrique réel.....	22
I.11.5.3 La puissance.....	23
I.11.5.4 Le courant de court-circuit I_{cc}	24
I.11.5.5 La tension de circuit ouvert V_{co}	24
I.11.5.6 Le facteur de forme.....	24
I.11.5.7 Le rendement.....	24
I.11.6 Les avantages et les' inconvénients des générateur photovoltaïques.....	24
I.11.7 Les Déférents Types de Systèmes Photovoltaïques.....	25
I.11.7.1 Alimentations électriques faibles puissances.....	25
I.11.7.2 Installations électriques photovoltaïques autonomes.....	25
I.11.7.3 Installations ou centrales électriques photovoltaïques raccordées au réseau.....	26
I.11.7.4 Installations ou centrale électriques photovoltaïques hybride.....	27
I.11.8 Le Potentiel Solaire en Algérie.....	27
Conclusion.....	29

Chapitre II: Méthode de Dimensionnement des Systèmes Photovoltaïques

INTRODUCTION.....	30
II.1 Les besoins en énergie électrique.....	30
II.1.1 L'énergie à fournir à l'onduleur et son utilisation.....	31
II.1.2 L'énergie à fournir à la batterie et son utilisation.....	32
II.2 L'énergie électrique Fournie par le générateur photovoltaïque.....	32
II.2.1 Estimation de l'énergie solaire reçue sur un site donné.....	32
II.2.1.1 Les valeurs statistiques de l'énergie solaire.....	33
II.2.1.2 Caractéristiques propres au site.....	33
II.2.1.3 Les conditions atmosphériques exceptionnelles.....	33
II.2.1.4 Les masques.....	33
II.2.2 Estimation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque.....	34
II.3 Dimensionnement du panneau photovoltaïque.....	35
II.3.1 Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau.....	35

II.3.2 Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé.....	36
II.3.3 Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé.....	36
II.4 Stockage inter-saisonnier de l'énergie.....	37
II.5 Procédure de dimensionnement du panneau solaire.....	38
II.6 Choix de la tension du fonctionnement.....	39
II.7 Dimensionnement de la batterie.....	39
II.7.1 Rôle du stock d'énergie.....	39
II.7.2 Capacité de la batterie.....	39
II.7.3 Choix de la capacité de la batterie.....	40
II.7.4 Les contraintes à respecter.....	40
II.7.4.1 Le courant de décharge maximal (IDC max).....	40
II.7.4.2 La quantité d'énergie maximale prélevée chaque jour (QDC max).....	40
II.7.4.3 La profondeur de décharge.....	41
II.7.4.4 Charge (et recharge) de la batterie.....	41
II.7.4.5 Le choix de la capacité C1.....	41
II.7.4.6 Choix de la capacité C2.....	42
II.8 Dimensionnement de l'onduleur.....	43
II.9 Dimensionnement des câbles de raccordement.....	43
II.10 La liaison électrique panneau-batterie.....	43
II.11 La liaison électrique batterie-appareils.....	44
II.11.1 Distribution en courant continu.....	44
II.11.2 Distribution à partir d'un on onduleur.....	45
CONCLUSION.....	45

Chapitre III: Modélisation d'un système photovoltaïque

III .1 Introduction.....	46
III.2 Modélisation des panneaux.....	46
III.3 Résultats et interprétations.....	49
III.3.1 Caractéristique courant- tension, puissance – tension.....	49
III.3.2 Influence de la température.....	50
III .3.3 Influence de l'éclairement.....	51
III -3-4 Influence de l'éclairement et la température.....	52
III -3-5 Influence de la résistance série.....	53
III -3-6 Influence du facteur de qualité :	54

III-6 Conclusion.....	55
-----------------------	----

Chapitre IV : Dimensionnement du système d'éclairage public à l'université d'Adrar

IV Introduction.....	56
IV .1 Système d'éclairage Solaire.....	56
IV .1.1 Le panneauSolaire IV .1.2 La batterie	56
IV .1.2 La batterie.....	56
IV .1.3 La diode anti-retour.....	56
IV .1.4 Le régulateur de charge.....	57
IV .1.5 Les câbles.....	57
IV .1.6 Le luminaire.....	57
IV .1.7 Le poteau ou le mât.....	57
IV.2 Principe de fonctionnement d'un lampadaire solaire.....	57
IV.3 présentation de site.....	58
IV.4 Les besoin énergétique de système d'éclairage solaire.....	59
IV.4.1 Présentation du system Cahier des charges.....	59
IV.5 Dimensionnement du module photovoltaïque.....	60
IV.5 .1 Ensoleillement.....	60
IV.5 .2 Calculer la quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour.....	61
IV.5.3 Calcul de la puissance crête requise par l'installation.....	62
IV.6 Dimensionnement de la batterie.....	66
IV.6 .1 Energie stockée.....	66
IV.6.2 Autonomie.....	67
IV.6 .3 Profondeur de décharge.....	67
IV.6 .4 Calcul de la capacité de stockage.....	68
IV.7 Choix d'équipements.....	69
IV.7.1 Modules photovoltaïques.....	69
IV.7.2 Batterie solaires.....	70
IV.8 conclusion.....	71
Conclusion général.....	72

Référence

Nomenclature

Symbol	Designation
h	la hauteur du soleil
δ	La déclinaison
ω	L'angle horaire
L	Latitude d'un lieu
G_{dirh}	éclairage énergétique direct reçu sur un plan horizontal.
θ	Angle d'incidence des rayons solaires
G_{dif1}	Rayonnements diffusés par le ciel
G_{dif2}	Rayonnements diffusés par le sol
alb	albédo du sol.
UT	<i>tension thermique</i>
K	1.38×10^{-23} constant de Boltzmann.
q	1.602×10^{-19} charge de l'électron.
T	température absolue
I_D	Courant de saturation de la diode
I_{PH}	Photo courant.
A	le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 3$)
I_{SH}	Résistances shunt
R_s	Résistance série
T_c	température de jonction (K)
E_g	Éclairage.
P_m	La puissance maximale.
I_m	Le courant maximum.
G	Eclairage (W/m^2).
I_L	Photon courant (A).
V_m	La tension maximale.
N_s	Le nombre des cellules associé en série.
N_p	le nombre des cellules associé en parallèle
E	l'énergie journalier consommé
P	puissance de equipment

t	la dure d'utilisation de l'Equipment
ρ	Le rendement réel de l'onduleur
E_B	L'énergie fournie par la batterie
E_P	L'énergie fournie par le panneau
PC	puissance crête
C	La capacité de la batterie
CR	La capacité résiduelle de la batterie
CU	La capacité utile de la batterie
IPV	Le courant débite par le panneau
IU	Le courant utilise par l'occupant
ICH	Le courant de recharge
CS_k	L'énergie totale demandée à la batterie
K	Le nombre de jour sans soleil
B_i	L'énergie électrique demandée par jour à la batterie
Isc	Courant de court-circuit du GPV.
Voc	La tension de circuit ouvert.
E_B	La consommation globale de système
P_{lampe}	Puissance unitaire de lampe
N_h	Nombre d'heure d'éclairé
N_{br}	Nombre de lampe utilise dans le système
E_P	La quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour
E_C	La quantité d'énergie consommée par le système chaque jour
K_p	facteur de perte
E_s	L'énergie solaire journalière globale en (Wh/m ²)
C_S	Capacité de stockage de système en (Ah)
E_c	Énergie consommé par le système
N_a	Nombre des jours autonomes
P_D	Profondeur de décharge maximale acceptable par la batterie
U_b	Tension de batterie utilise

Liste des tableaux Et des figures

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Structure du soleil.....	4
Figure I.2 : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil.....	6
Figure I.3.appareille de mesurent du rayonnement.....	7
Figure I.4. Coordonnées terrestres.....	8
Figure I.5. Les coordonnées célestes horizontales.....	9
Figure.I.6.Le temps local de lever du soleil en fonction du numéro du jour dans l'année.....	11
Figure I.8. Variation mensuelle de la constante solaire.....	12
Figure I.9. Les composants du rayonnement solaire.....	13
Figure I .10.spectre solaire.....	14
Figure I.11 Coupe transversale d'une cellule PV.....	18
Figure I.12 la cellule en silicium cristallin.....	19
Figure I.13 la cellule en couches minces.....	20
Figure I.13 Les different types des cellules.....	20
Figure I.14 schéma électrique idéal de cellule photovoltaïque.....	21
Figure I.15 le schéma électrique équivalent d'une cellule PV.....	22
Figure I.16 Schéma typique d'une installation photovoltaïque autonome.....	26
Figure I.17 Installation ou centrale électrique photovoltaïque raccordée au réseau.....	27
Figure I.18 Potentiel solaire en Algérie.....	28

Chapitre II

Figure II.1. L'énergie électrique fournie par un panneau en tenant compte des pertes et les désadaptations.....	34
Figure II.2 Panneau solaire photovoltaïque.....	35

Figure II.3 Batterie solaire gel 12V.....	37
Figure II.4. Dimensionnement du panneau photovoltaïque. Liaison entre les paramètres.....	38
Figure 1.5. Dimensionnement de la batterie. Tableau synoptique de la procédure.....	42

Chapitre III

Figure III .1 Circuit électrique équivalent de la cellule photovoltaïque.....	46
Figure III.2 Caractéristique courant-tension.....	50
Figure III .3 Caractéristique puissance-tension.....	50
Figure III .4 Influence de la température sur I(V)	51
Figure III .5 Influence de la température sur P(V)	51
Figure III.6 Influence de l'éclairement sur I(V)	52
Figure III .7 Influence de l'éclairement sur P(V).....	52
Figure III.8 Influence de l'éclairement et de la température sur I(V).....	53
Figure III .9 Influence de l'éclairement et de la température sur P(V).....	53
Figure III.10 Influence de la résistance série sur I(V).....	54
Figure III.11 Influence de la résistance série sur P(V).....	54
Figure III.12 Influence du facteur de qualité sur I(V).....	55
Figure III.13 Influence du facteur de qualité sur P(V).....	55

Chapitre IV

Figure IV.1. Système d'éclairage Solaire.....	56
Figure IV.2.composant de Système d'éclairage Solaire.....	58
Figure IV.3 La variation de puissance crête à installer en fonction de flux global Hiver.....	63
Figure IV.4 La variation de puissance crête à installer en fonction de flux global (Eté).....	64
Figure IV.5 l'énergie consommée par le système en fonction de dure d'éclairage Pour une lampe de 30 W	65

Figure IV.6 l'énergie consommée par le système en fonction de dure d'éclairage Pour une lampe de 35 W.....	65
Figure IV.7 l'énergie consommée par le système en fonction de dure d'éclairage Pour une lampe de 40 W	66
Figure IV.8 la capacité de stockage en fonction d'énergie consommer par le system pour déférant période de l'Anne.....	68
Figure IV.9 Caractéristiques techniques des différents types des modules Sharp.....	69
Figure IV.10 Batterie de type GEL solaire VICTRON 100-100Ah.....	70

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I .1. répartition spectrale du rayonnement solaire.....13

Tableau I.3. Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique..... 15

Tableau I.4. Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude.....15

Chapitre II

Tableau II.1. Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête39

Chapitre III

Tableau III.1Caractéristiques électriques du module BP MSX62 de BP Solaire.....50

Chapitre IV

Tableau IV.1 Les besoin énergétique de système d'éclairage.....59

Tableau IV.2 le flux solaire moyen journalier pour les quatre-saisons de l'Anne (site d'Adrar).... 61

Tableau IV.3 la quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour solaire.....62

Tableau IV.4 Nombre de jours autonomie.....67

INTRODUCTION GENERALE

Les questions énergétiques constituent le grand enjeu de l'avenir. Elles embrassent l'ensemble des problématiques qui se posent à nous et se déclinent en autant de matières qu'il y a de champs politiques. Si l'on évoque l'indépendance nationale et l'autonomie de décision d'un Etat, on aborde forcément tôt ou tard ses sources d'approvisionnement en énergie et les négociations commerciales qu'elles induisent. Quand on mentionne la grande lutte engagée contre le changement climatique et pour la préservation des ressources, on ne peut négliger les consommations irraisonnées d'énergie ni le droit fondamental de tout être humain à y avoir accès. C'est une donnée forte des relations géostratégiques autant qu'un secteur économique générateur de richesses et d'emplois.

Le solaire photovoltaïque ; dans les utilisations possibles de l'énergie solaire, les systèmes photovoltaïques apparaissent comme une solution privilégiée pour la production d'électricité de faible ou moyenne puissance en site isolé et particulièrement pour les habitations.

Une installation photovoltaïque autonome fonctionne indépendamment du réseau électrique. Dans la majorité des cas, ce système est utilisé dans les sites isolés où il serait beaucoup trop coûteux de raccorder l'habitation ou le local que l'on souhaite alimenter en électricité. La différence majeure avec une installation photovoltaïque standard (raccordée au réseau), c'est la présence de batteries. Une installation photovoltaïque autonome doit être capable de fournir de l'énergie, y compris lorsqu'il n'y a plus de soleil (la nuit ou en cas de mauvais temps). Il faut donc qu'une partie de la production journalière des modules photovoltaïques soit stockée dans des batteries.

Le dimensionnement est l'objectif de notre travail, dans lequel on se propose de déterminer la taille optimale d'une station solaire dans le but d'alimenter un système d'éclairage public à la faculté des sciences et technologie à l'université d'Adrar notre dimensionnement a été basé sur l'utilisation de une méthode simple qui permet donc de calculer le nombre optimal de batteries et de modules photovoltaïques à installer pour alimenter notre système.

Ainsi notre travail de mémoire est scindé en quatre chapitres :

- ✚ Le premier chapitre a été consacré aux généralités sur l'énergie solaire, dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord, globalement l'énergie solaire, puis on mettra l'accent sur l'énergie solaire photovoltaïque qui nous intéresse particulièrement dans cette étude.

- ✚ Dans le deuxième chapitre nous avons présente une méthode de dimensionnement des systèmes photovoltaïques autonomes

- ✚ Le troisième chapitre est consacré à la modélisation. Dans ce chapitre nous avons fait une étude d'un panneau photovoltaïque simple du module BP MSX62 de BP Solaire sous environnement Matlab et nous avons présentés les différentes simulations sur les caractéristiques électriques du modèle électrique équivalant de la cellule photovoltaïque, ainsi que l'influence de la température et de l'éclairement sur ces caractéristiques

- ✚ Dans le quatrième chapitre nous avons on présente la méthode de calcul pour le dimensionnement de systèmes photovoltaïques d'éclairage public à l'université d'Adrar et nous avons réalisé une simulation sous logiciel MATLAB

Ce travail sera bien évidemment finalisé par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

Introduction

De tous les temps, l'homme a cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, l'étoile la plus proche de la terre. La plupart des utilisations, connues depuis des siècles, sont directes comme en agriculture à travers la photosynthèse ou dans diverses applications de séchage et chauffage autant artisanales qu'industrielles.

Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 10 000 w/m² crête dans les zones tempérées jusqu'à 14 000 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée. Signalons dès à présent le flux solaire reçu au niveau de sol dépend de [1]:

- l'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre.
- la latitude du lieu de collecte, son degré de pollution ainsi que son altitude.
- la période de l'année.
- l'instant considéré dans la journée.
- la nature des couches nuageuses.

Ainsi, il existe dans le monde des zones plus favorisées que d'autres

I.1 Le rayonnement solaire :

I.1.1 Gisement solaire :

I.1.2 Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse hélium et dihydrogène (80%H₂, 19%He et 1%autres éléments), sa densité moyenne est de 76000 Kg/m³ au centre, la masse du soleil représente 99.58 % de la masse totale de système solaire et 330000 fois celle de la terre, son âge est estimé à 5.109ans, le diamètre du soleil atteint 1391000Km.[2]

Le soleil est composé de trois régions principales :

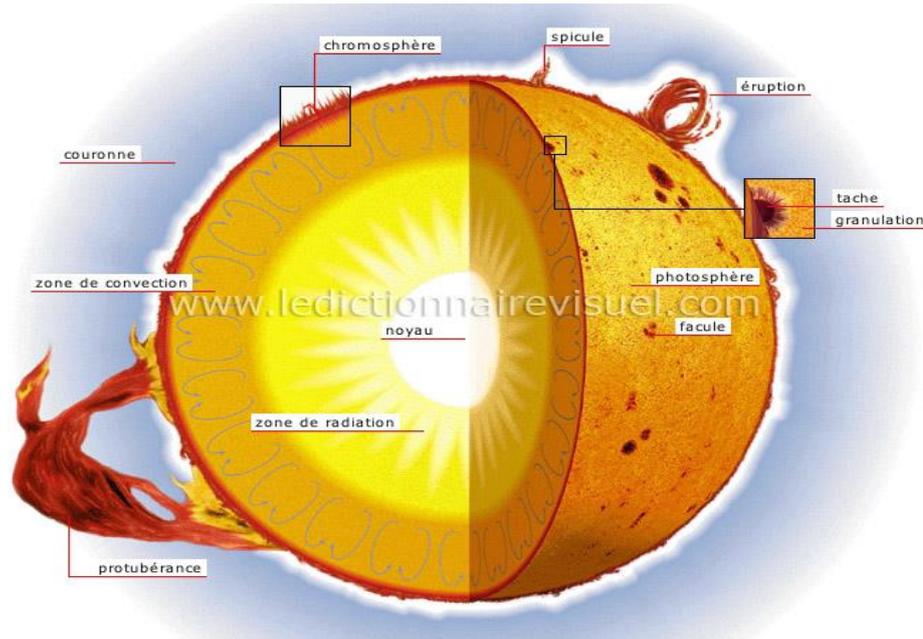


Figure I.1. Structure du soleil

I.1.2.1 L'intérieur :

C'est le lieu de la production de l'énergie par une suite des réactions thermonucléaire exothermique dite « cycle de Bethe ». La température dans ces régions peut atteindre de 8.10^6 à 40.10^6 K, et la pression un milliard d'atmosphère. [2]

I.1.2.2 Photosphère :

C'est une mince région (300Km d'épaisseur environ). Elle est seule responsable de la majorité du rayonnement qui arrive au sol, sa température moyenne est de quelques Milliers de degrés, mais elle décroît rapidement dans l'épaisseur jusqu'à la température de la surface qui est de l'ordre de 5720K. [2]

I.1.2.3 La chromosphère et cornue :

C'est une région à faible densité ; sa matière est très diluée le rayonnement émis est très faible.

I.2 Rayonnement solaire hors atmosphère :

L'essentiel du rayonnement solaire hors atmosphère se trouve dans l'intervalle spectral (200 - 400) nm. Nous pouvons voir sur la figure (1-5).

Le rayonnement en dehors de l'atmosphère de la terre est représenté et les paramètres géométriques du soleil et du collecteur sont déterminés; puis la proportion du rayonnement atteignant le dispositif, qui dépend de plusieurs facteurs géométriques (latitude, azimut, etc..) et environnementaux (absorption par : vapeur d'eau, gaz, etc..), est formulée.[3]

I.3 Spectre solaire :

Le spectre solaire c'est la décomposition on longueurs d'onde ou couleurs de la lumière solaire est en effet composée de toutes sortes de rayonnement de couleur différentes caractérisées par leur gamme de longueur d'onde. Les photons grains du Lumière qui composent ce rayonnement électromagnétique, sont porteurs d'une énergie qui est reliée à leur longueur d'onde par la relation. [3]

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (\text{I.1})$$

Avec

h : constante de planck (j.s-1)

ν : la fréquence (s-1)

C : vitesse de la lumière dans le vide (m.s-1)

λ : Longueur d'onde (m)

La répartition d'énergie en fonction de la longueur d'onde est :

le domaine de l'ultra-violet ($200 < \lambda < 400$) nm, représente environ (9%) de l'énergie totale émise par le soleil.

Le domaine du visible ($400 < \lambda < 800$) nm, représente (40%) de l'énergie totale

Le domaine de l'infrarouge ($800 < \lambda < 1000$) nm, représente (51%) de l'énergie totale.

I.4 Mouvements de la terre:

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique [1,4]. L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de $\pm 1,7$ % par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675 10 6 km [4].

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison de l'ordre de $23^{\circ}27'$ [1].

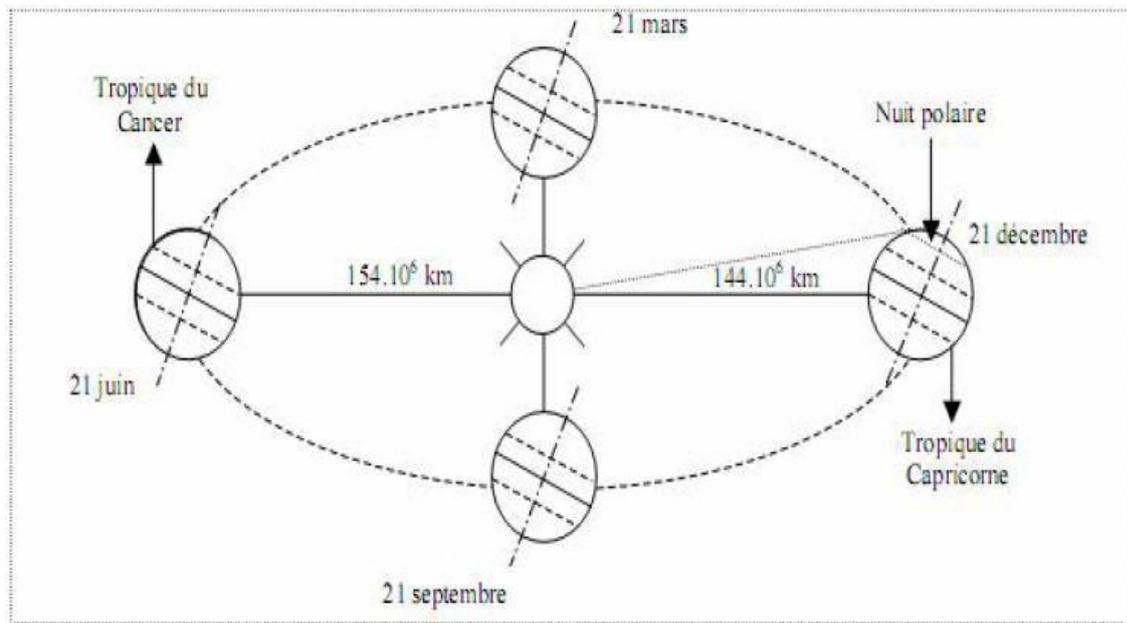


Figure (I.2) : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil[3].

I.5) Mesure du rayonnement solaire :

Il est plus du temps impossible de calculer l'intensité du rayonnement solaire parvenant au sol en utilisant les formules relatives à l'absorption et à la diffusion par l'atmosphère qui ont été données précédemment. Les données météorologiques très complètes qui sont nécessaires font en l'effet le plus souvent défaut. Il faut donc, soit l'estimer à partir de mesures antérieures effectuées sur le lieu même ou dans des environnements comparables ou encore à partir de données météorologiques plus sommaire.

Les rayonnements au voisinage du sol peuvent être divisés en deux catégories :

Les rayonnements de courte longueur d'onde ($0.2\mu\text{m}$ à $0.4\mu\text{m}$) d'origine solaire.

Les rayonnements de grande longueur d'onde ($4\mu\text{m}$ à $80\mu\text{m}$) émis par des sources terrestres (sol, atmosphère) dont la température est proche de la température ambiante.

Pour mesurer ces divers rayonnements, plusieurs types d'appareils peuvent être utilisés :

I.5.1 le pyréliomètre :

Un appareil qui mesure le rayonnement solaire direct (c'est-à-dire le rayonnement d'une petite partie du ciel contenant tout le soleil) en incidence normale ; on les appelle aussi actinomètres.

I.5.2 Le pyranomètre:

Un appareil qui mesure le rayonnement solaire global provenant d'un demi-espace (angle solide 2π). Généralement, ils sont placés horizontalement. Ils sont parfois appelés solarimètres.

I.5.3 la pyrgémètre :

Est un radiomètre hémisphérique qui sert à mesurer le flux radiatif infrarouge incident à la surface de la Terre dans toutes les directions (angle solide de 2π) et dû au rayonnement tellurique d'origine atmosphérique ou à celui émis et réfléchi par le sol.



Le pyranomètre

la pyréliomètre

la pyrgémètre

Figure (I.3) : appareille de mesure du rayonnement [5].

I.6 Les coordonnées géographiques :

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre constitué par deux angles :

I.6 .1La latitude(L):

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur Terre (ou sur une autre planète), au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence. Est une mesure angulaire, elle varie entre la valeur 0° à l'équateur et 90° aux pôles.

I.6 .2 La longitude :

La longitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression du positionnement est-ouest d'un point sur Terre (ou sur une autre planète). La longitude de référence sur Terre est le méridien de Greenwich.

La longitude, généralement notée Λ , est donc une mesure angulaire sur 360° par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de -180° (180°) Ouest à $+180^\circ$ (-180°) Est.

I.6.3 L'altitude (Z) :

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une Surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre.

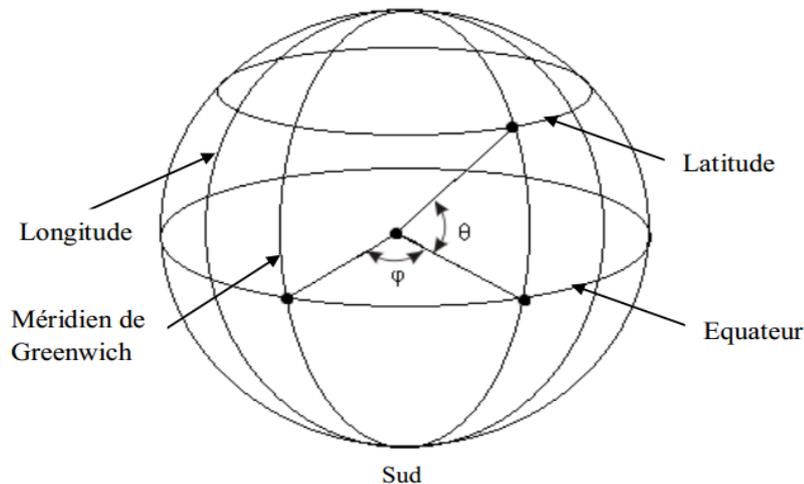


Figure (I.4) : Coordonnées terrestres[3].

I.7 Les coordonnées célestes horizontales :

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont :

I.7.1 L'azimut solaire (a) :

C'est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens contraire dans l'hémisphère sud, en utilisant les projections sur le plan horizontal du point d'observation, c'est-à-dire la projection de la droite reliant la terre au soleil. Il est compris entre $-180 \leq a \leq 180^\circ$, tel qu'il est négatif le matin (direction Est), nul ou égal à 180° à midi et positif l'après-midi (direction Ouest), sur tout le globe. Il diffère de l'azimut géographique, lequel est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord, indépendamment de l'hémisphère du point d'observation (figure I.5). Il

est donné par la relation suivante :

$$\sin(a) = \cos(\delta) \times \frac{\sin(\omega)}{\sin(h)} \quad (\text{I.1})$$

I.7.2 La hauteur du soleil (h) :

C'est l'angle que fait le plan horizontal avec la direction du soleil, la valeur $h = 0$ correspond au lever et au coucher du soleil. La hauteur du soleil varie entre $+90^\circ$ (zénith) et -

90° (nadir). La hauteur du soleil est bien représentée par une formule bien connue qui avait été également adoptée par Capderou.

$$\sin(h) = \cos(L) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(L) \times \sin(\delta) \quad (\text{I.2})$$

Avec :

h: la hauteur du soleil, δ : La déclinaison, ω : L'angle horaire et L: Latitude d'un lieu

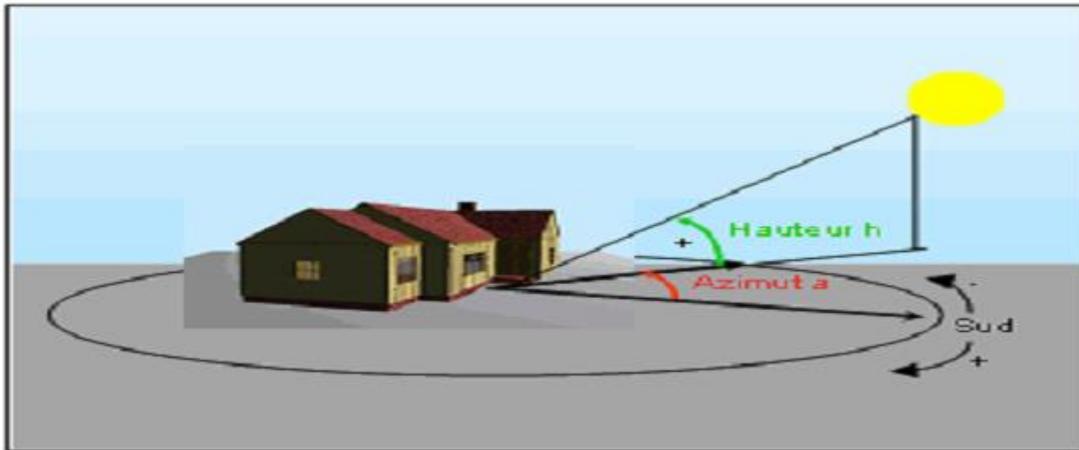


Figure (I.5) : Les coordonnées célestes horizontales [3].

I.8 Les coordonnées célestes horaires

I.8.1 La déclinaison δ :

C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de $+23^{\circ}27'$ à $-23^{\circ}27'$ et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante:

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (n - 81)\right) \quad (\text{I.3})$$

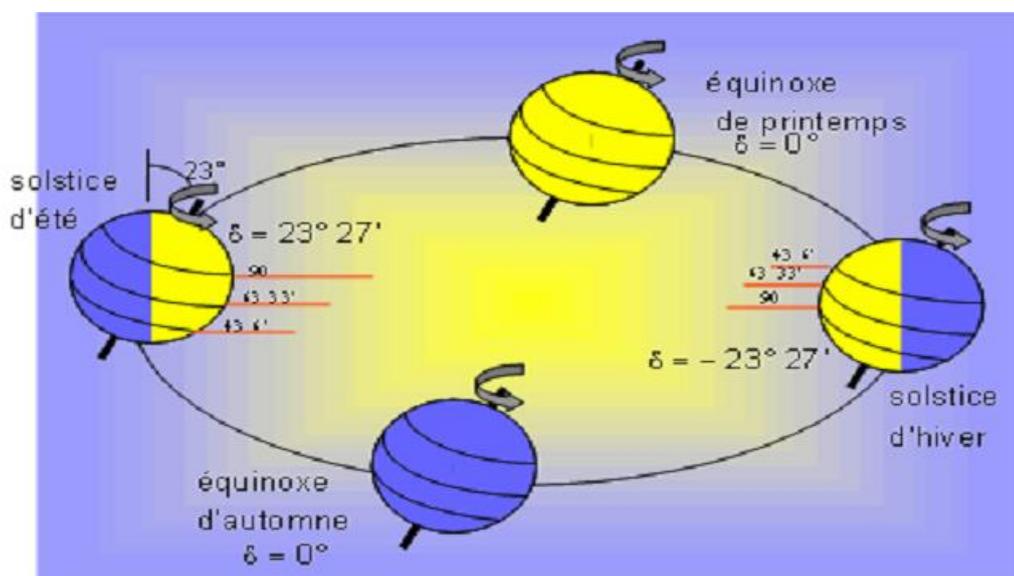


Figure (I.6) Variation annuelle de la déclinaison solaire

Pour « jour », c'est un jour de l'année à partir des données que l'on rentre en entrée de la fonction : le jour et le mois. On introduit une condition nous permettant de prendre en compte le mois de février.

I.8.2 Angle horaire:

L'angle horaire ω étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) définit le temps solaire vrai TSV [8]. L'angle horaire est donné par l'équation suivante:

$$\omega = 0.261799 \times (t - 12) \quad (\text{I.4})$$

Avec t est le temps. Pour calculer l'angle horaire, Capderou a utilisé la formule suivante dans l'Atlas Solaire de l'Algérie [1]:

$$\omega = 15 \times (\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.5})$$

Si $\omega = 0$, TSV = 12h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

I.8.3 Les paramètres de temps :

On distingue :

- Le temps solaire vrai (TSV) est l'angle horaire entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu considéré, il est donné par l'expression:

$$\text{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (\text{I.6})$$

- Le temps solaire moyen (TSM) est donné par :

$$\text{TSV} - \text{TSM} = \text{ET} \quad (\text{I.7})$$

ET est l'équation du temps qui corrige le TSV par rapport au TSM [1]:

$$\text{ET} = 9.87 \times \sin(2 \times N') - 7.53 \times \cos(N') - 1.5 \times \sin(N') \quad (\text{I.8})$$

$$N' = (n - 81) \times \frac{360}{365} \quad (\text{I.9})$$

- Le temps universel (TU) est le temps moyen de Greenwich :

$$\text{TU} = \text{TSM} - \frac{\lambda}{15} \quad (\text{I.10})$$

- Le temps légal (TL) est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL = TU + \Delta H \quad (I.11)$$

H : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

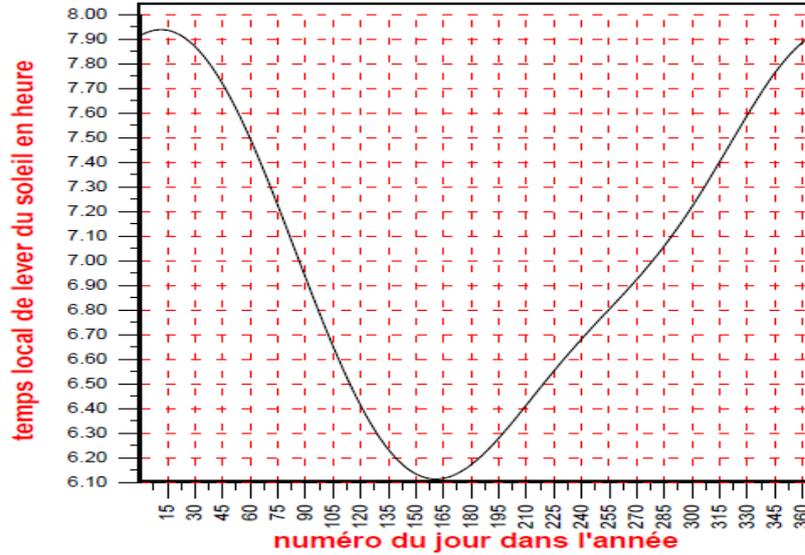


Figure (I.7) : Le temps local de lever du soleil en fonction du numéro du jour dans l'année [1].

I.9 Variations du rayonnement global liées à la distance terre-soleil:

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique ce qui fait que la distance entre terre et soleil ne reste pas la même au cours de l'année [4].

La constante solaire estimée à la limite de l'atmosphère à 1367 W/m^2 varie en fonction de l'espacement terre-soleil, et pour cela un facteur de correction est défini :

$$\varepsilon = 1 + 0.034 \cos\left(\frac{360}{365}j\right) \quad (I.12)$$

Avec : j désigne le quantième, jour de l'année, donc prend les valeurs de 1 à 365.

La constante solaire corrigée devient :

$$C^* = 1367 * \varepsilon = 1367(1 + \cos(0.986j)) \quad (I.13)$$

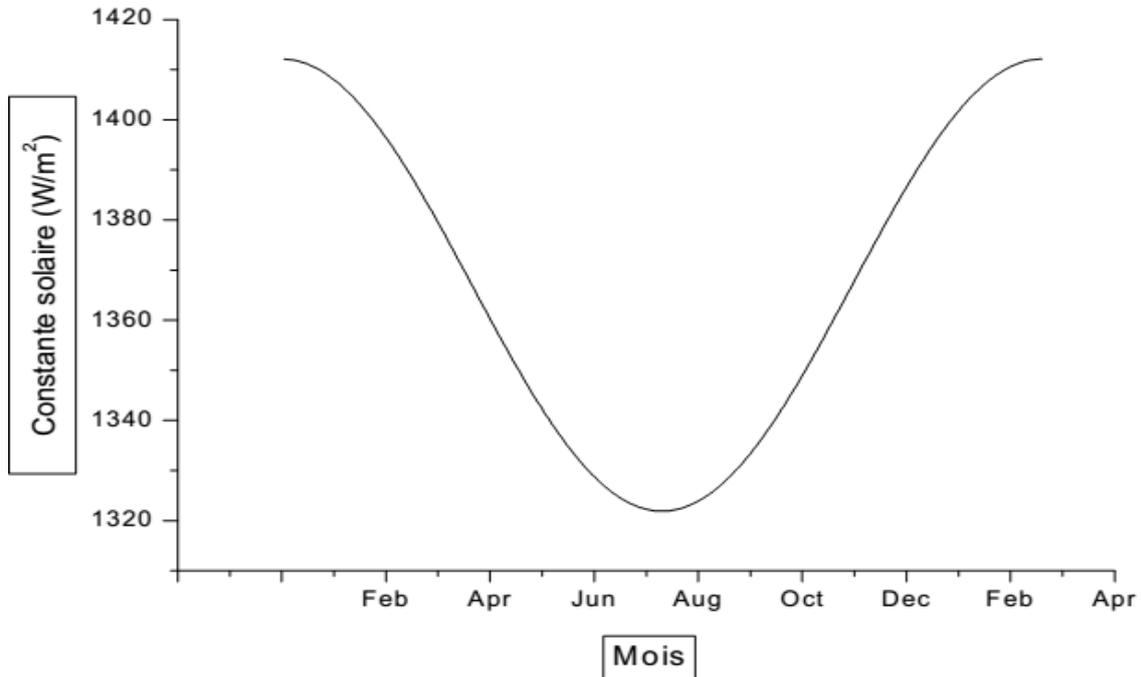


Figure (I.8) : Variation mensuelle de la constante solaire [6]

I.9.1 La durée d'ensoleillement :

C'est l'intervalle de temps entre le lever et le coucher de soleil. L'éclairement normal direct atteint le sol sans atténuation est 120 W/m^2 . Cette durée correspond à la durée effective D_j de l'ensoleillement enregistrée au moyen d'un héliographe.

La fraction d'ensoleillement est le rapport de la durée maximale S_0 sur la durée effective.

$$\alpha = \frac{S_0}{D_j} \quad (\text{I-14})$$

I.9.2 -la durée du jour :

C'est l'intervalle de temps qui sépare le lever et le coucher du soleil.

En donnant la valeur maximale d'ensoleillement, elle est modélisée par la formule [06] :

$$D_j = \frac{2}{15} \arccos(-\tan(L) \cdot \tan(\delta)). \quad (\text{I-15})$$

L : la latitude du lieu

I.10 Le rayonnement solaire :

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements corpusculaires et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide intersidéral avec une vitesse de 3.10^8 les rayons X et gamma jusqu'à l'I.R lointain. Cependant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et $8\mu\text{m}$ [7].

On pourra supposer avec une approximation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir porté à une temps correspondant pas à la réalité physique [8].

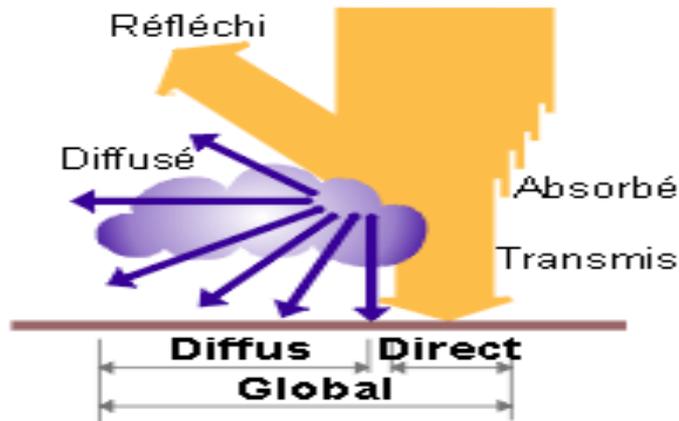


Figure (I.9) : Les composants du rayonnement

La répartition de l'énergie solaire dans les bandes du spectre du rayonnement thermique est donnée dans le tableau (I.2)

Longueur d'onde (μm)	0-0.38	0.38-0.78	0.78
Pourcentage (%)	6.4	48	45.6
Energie (w/m^2)	87	656	623

Tableau (I.2) : Répartition spectrale du rayonnement solaire [6]

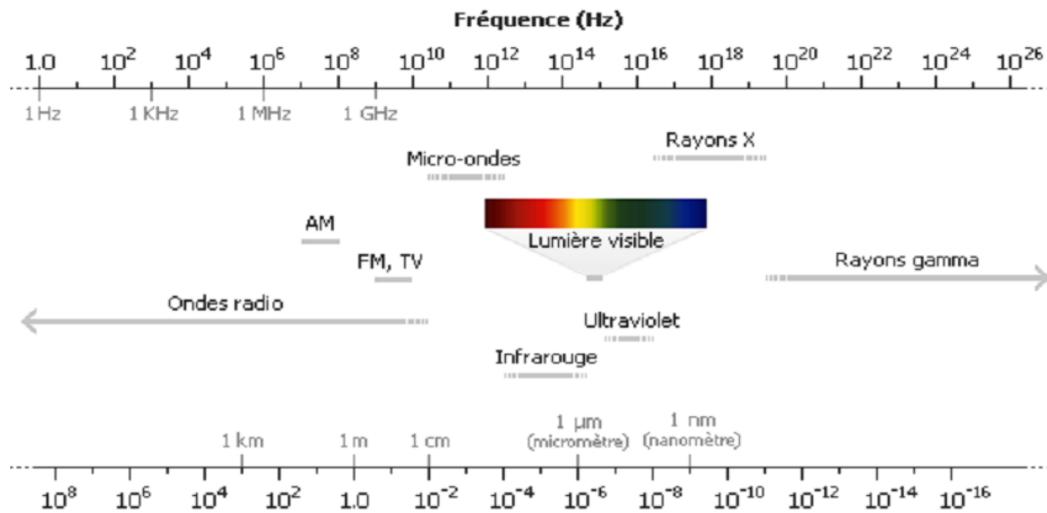


Figure (I.10) : spectre solaire [1].

I.10.1 Le rayonnement solaire direct :

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair [10].

L'état du ciel est défini par deux coefficients, a et b qui symbolisent le trouble atmosphérique du lieu où se trouve le capteur solaire (tableau(I.3)).

La transmissivité totale de l'atmosphère pour le flux solaire incident direct est donnée par [11]:

$$\tau_{\text{dir}} = a \times \exp \frac{-p \times b}{1000 \times \sin(h)} \quad (\text{I.16})$$

Où a, b : coefficients traduisant les troubles atmosphériques.

H : hauteur du soleil.

P : pression atmosphérique du lieu.

	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielles
A	0.87	0.88	0.91
B	0.17	0.26	0.43

Tableau (I.3) : Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique [9]

Altitude (m)	0	500	1000	1500	2000	2500
P (mbar)	1000	950	900	850	800	500

Tableau (I.4) : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude [9]

Le rayonnement direct reçu sur un plan horizontal est donné par [8]:

$$G_{\text{dirh}} = C^* \times \tau_{\text{dir}} \quad (\text{I.17})$$

G_{dirh} : Éclairement énergétique direct reçu sur un plan horizontal.

L'éclairement énergétique G_{dir} reçu sur un plan incliné est donné par [11]:

$$G_{\text{dir}} = G_{\text{dirh}} \times \cos\theta \quad (\text{I.18})$$

θ : Angle d'incidence des rayons solaires.

I.10.2 Le rayonnement solaire diffus :

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, il parvient de toute la voûte céleste [10].

La relation entre le coefficient de transmission du flux direct et diffus est [11]:

$$\tau_{\text{dif}} = 0.271 - 0.2939 \times \tau_{\text{dir}} \quad (\text{I.19})$$

Le flux diffus reçu sur un plan horizontal est défini par [11]:

$$G_{\text{dif}} = C^* \times \sin(h) \times \tau_{\text{dif}} \quad (\text{I.18})$$

Le flux diffus reçu sur un plan incliné est défini par :

$$G_{\text{dif}} = G_{\text{dif1}} + G_{\text{dif2}} \quad (\text{I.19})$$

$$G_{\text{dif1}} = G_{\text{difh}} \times \frac{1+\cos(i)}{2} \quad (\text{I.20})$$

$$G_{\text{dif2}} = \text{alb} \times \frac{1+\cos(i)}{2} \times (G_{\text{difh}} \times \sin(h) + G_{\text{difh}}) \quad (\text{I.21})$$

$G_{\text{dif1}}, G_{\text{dif2}}$: Rayonnements diffusés par le ciel et par le sol respectivement.

alb : albédo du sol.

i: angle d'inclinaison du plan du capteur par rapport à l'horizontale.

I.10.3. Le rayonnement global :

Le rayonnement global (G) est le rayonnement émis par le soleil incident sur plan donné (horizontal). C'est la somme des rayonnements diffus et direct, il est mesuré par un pyranometre .[10]:

$$G = G_{\text{dir}} + G_{\text{dif}} \quad (\text{I.21})$$

I.11 Système photovoltaïque :

I.11.1 historique :

La technologie de conversion de l'énergie photovoltaïque (PV) débute en 1839, lorsque Becquerel découvre pour la première fois l'effet photovoltaïque. Il s'agit de convertir directement l'énergie solaire en énergie électrique. Becquerel a réalisé des expériences en utilisant des électrodes en acide soluté et en métal noble.

L'étude des dispositifs photovoltaïques à semi-conducteurs a été débutée en 1882. Le matériau utilisé était le sélénium avec un rendement de conversion d'énergie qui n'a jamais excédé approximativement 2%.

En 1954, les laboratoires de téléphone Bell ont produit le premier type pratique de la cellule solaire, une cellule de silicium de type monocristalline avec un rendement de conversion d'énergie jusqu'à 6%.

Le développement de la nouvelle technologie d'énergie a été plutôt modéré jusqu'au milieu des années 70 et a été limité par les technologies conventionnelles d'énergie dominantes, les combustibles fossiles, particulièrement le charbon, le pétrole et le gaz naturel [12].

En outre la recherche a été consacrée surtout au développement de l'énergie nucléaire.

Ensuite, la situation a été changée radicalement. Des grandes améliorations ont permis l'augmentation de rendement de la conversion d'énergie, réduisant ainsi les coûts des cellules, par l'utilisation de différents matériaux de semi-conducteurs. Un rendement maximum de conversion de l'énergie photovoltaïque pour les cellules solaires monocristallines à base de silicium, a été atteint en 1988 avec une valeur de 22.8%, sans qu'il y ait utilisation de concentrateur solaire, et ceci en laboratoire. Le rendement le plus élevé a été obtenu pour une cellule cristalline de l'arséniure de gallium est de 31% avec un éclairement solaire équivalent à 350 W/m² (1988).

Les cellules solaires les plus récentes sont celles appelées couches minces qui se composent de CuInSe, et cellules amorphes de silicium. Ces deux types ont permis un rendement de plus de 14%. Les nouvelles technologies de production ont réduit le prix de vente des cellules photovoltaïques, ce qui a permis à l'industrie PV de se développer. Plusieurs facteurs sont responsables de cette évolution tels que l'augmentation mondiale de la demande énergétique et le fait que les sources d'énergie fossiles sont périssables et de plus en plus chers. Une autre question importante est l'impact des technologies classiques de la production d'énergie sur l'environnement (pollution de l'air et l'effet de serre qui en résulte). L'énergie nucléaire est elle-même source de problèmes tels que la radioactivité et les déchets nucléaires.

En contrepartie, l'avantage de l'énergie produite par les cellules photovoltaïques est la production d'énergie propre et durable et son avenir est prometteur.

I.11.2 Les cellules PV

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Nous allons ici présenter rapidement le fonctionnement du phénomène photovoltaïque [13].

I.11.3 L'effet photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule PV est basé sur un phénomène physique appelé l'effet photovoltaïque. La Figure (2-1) illustre la coupe d'une cellule PV.

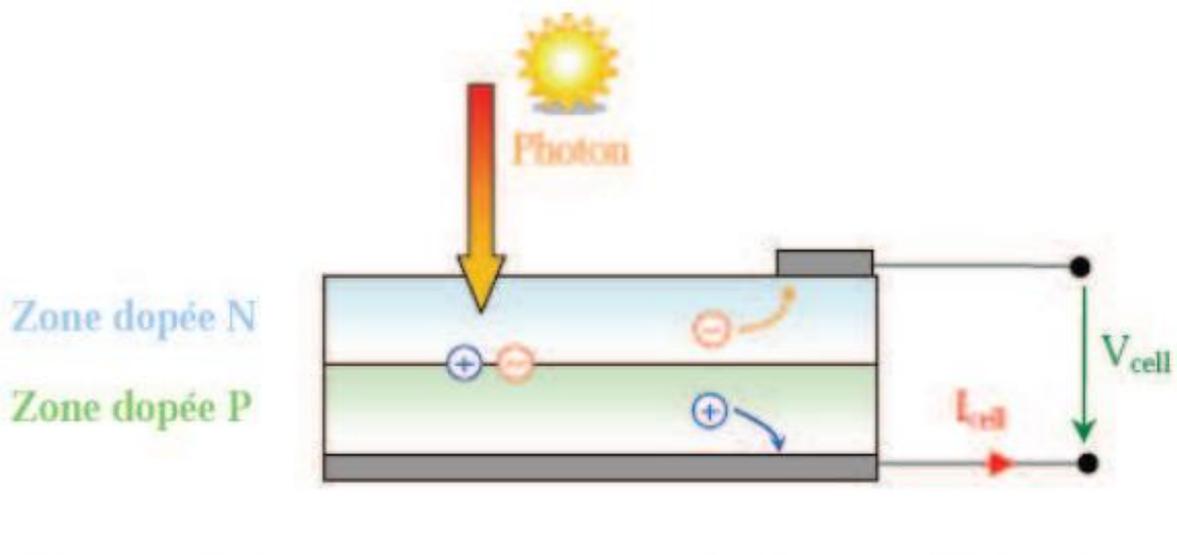


Figure (I.11) Coupe transversale d'une cellule PV

Une cellule PV est réalisée à partir d'un matériau semi-conducteur (par exemple le silicium). Sa réalisation est comparable à une diode classique. La cellule est composée de deux différentes couches. La couche supérieure est dopée N et la couche inférieure est dopée P créant ainsi une jonction PN.

Cette jonction PN crée une barrière de potentiel. Lorsque les grains de lumière (les photons) heurtent la surface de ce matériau, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la matière. Ce gain d'énergie libère des électrons de ces atomes, créant des trous et des électrons.

Ceci engendre donc une différence de potentiel entre les deux couches. Cette

différence de potentiel crée un champ E qui draine les porteurs libres vers les contacts métalliques des régions P et N. Il en résulte alors un courant électrique et une différence de potentiel dans la cellule PV. Le courant et la tension fournis par une cellule PV dépendent de différents paramètres[14].

I.11.4 les différents types des cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs familles de cellules photovoltaïques. Actuellement, les plus répandues sur le marché sont les cellules en silicium cristallin et les cellules en couches minces. D'autres en sont au stade de la Recherche et Développement.

I.11.4.1 Les cellules en silicium cristallin

Ce type de cellule est constitué de fines plaques de silicium, un élément chimique très abondant et qui s'extrait notamment du sable ou du quartz. Le silicium est obtenu à partir d'un seul cristal ou de plusieurs cristaux : on parle alors de cellules monocristallines ou multicristallines.

Les cellules en silicium cristallin sont d'un bon rendement (de 14 à 15 % pour le multicristallin et de près de 16 à 19 % pour le monocristallin). Elles représentent plus de 90 % du marché actuel[14].



Figure (I.12) la cellule en silicium cristallin

a) Monocrystallin b) poly cristallin

I.11.4.2 Les cellules en couches minces :

Les cellules en couches minces sont fabriquées en déposant une ou plusieurs couches semi-conductrices et photosensibles sur un support de verre, de plastique, d'acier... Cette technologie permet de diminuer le coût de fabrication, mais son rendement est inférieur à celui des cellules en silicium cristallin (il est de l'ordre de 5 à 13 %). Les cellules en couches minces les plus répandues sont en silicium amorphe, composées de silicium projeté sur un matériel souple. La technologie des cellules en couches minces connaît actuellement un fort développement, sa part de marché étant passée de 2 %, il y a quelques années, à plus de 10 % aujourd'hui [14].

Propriétés de la cellule amorphes :

- Peut fonctionner sous la lumière fluorescente.
- Fonctionnement si faible luminosité.
- Fonctionnement par temps couvert.
- Fonctionnement si ombrage partiel.

* La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20 % supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois

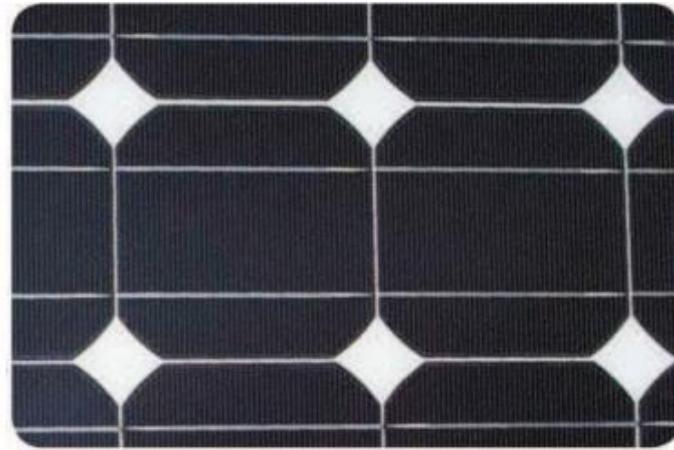


Figure (I.13) la cellule en couches minces

I.11.4.3 Les cellules organiques :

Composées de semi-conducteurs organiques déposés sur un substrat de plastique ou de verre, ces cellules, encore au stade expérimental, offrent un rendement moyennement élevé (de l'ordre de 5 à 10 %) mais présentent des perspectives intéressantes de réduction de coûts.

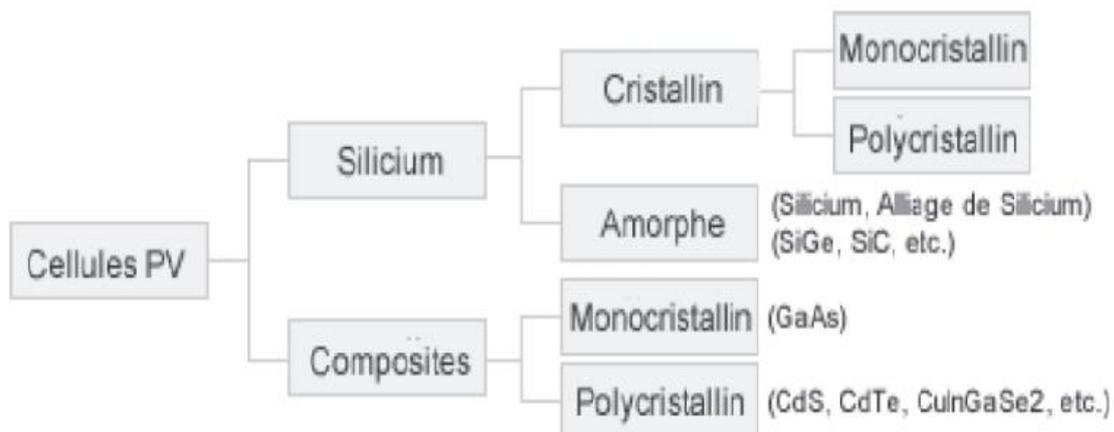


Figure (I.13) Les différents types des cellules

I.11.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

I.11.5 .1 Circuit électrique idéal :

La cellule photovoltaïque peut être représentée par le circuit électrique équivalent par la figure (I.15) composé d'un générateur de courant et d'une diode parallèle. Le courant I généré par la cellule s'écrit alors.

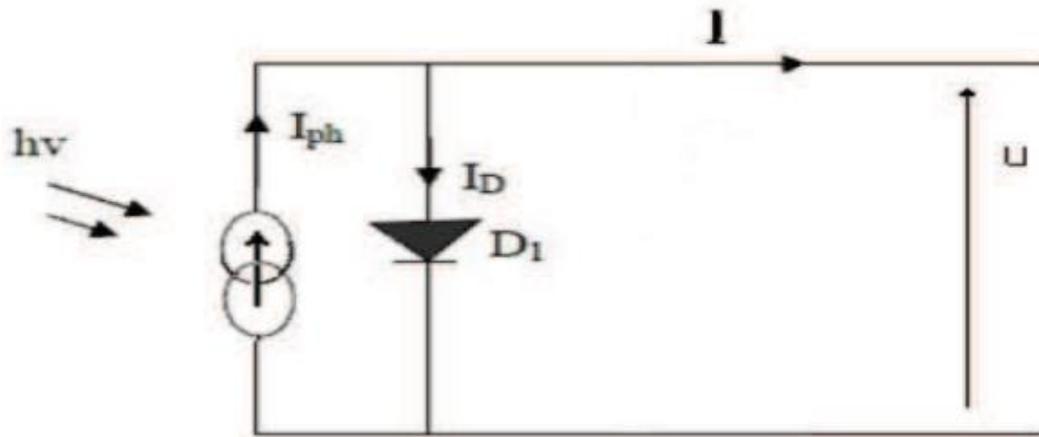


Figure (I.14) : schéma électrique idéal de cellule photovoltaïque.

$$I = I_{PH} - I_D \quad (I.22)$$

$$I_D = I_s (e^{\frac{U}{UT}} - 1) \quad (I.23)$$

$$I = I_{PH} - I_s (e^{\frac{U}{UT}} - 1) \quad (I.24)$$

U : tension.

UT : KT/q tension thermique.

K : 1.38×10^{-23} constant de Boltzmann.

q : 1.602×10^{-19} charge de l'électron.

T : température absolue en °k.

I_D : Courant de saturation de la diode.

I_{PH} : Photo courant.

I.11.5 .2Circuit électrique réel :

En réalité, il existe l'influence de résistances dans la génération du courant, et le circuit électrique équivalent est alors représenté par la figure (I.15).

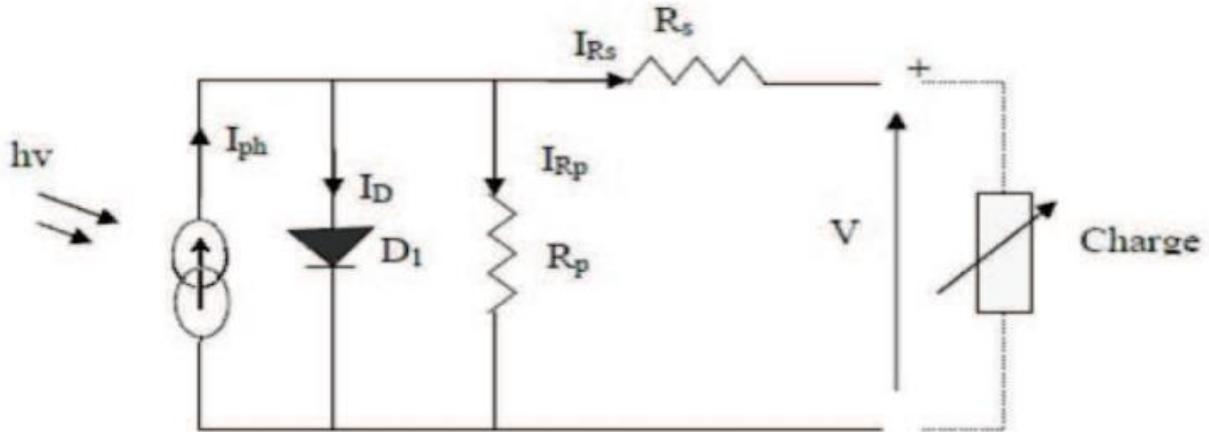


Figure (I.15) : le schéma électrique équivalent d'une cellule PV.

La caractéristique courant-tension pour une température donnée et un éclairement solaire fixé par la relation suivante :

$$I = I_{PH} - I_D - I_{SH} \quad (I.25)$$

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{q(v+R_s I)}{A K T c}} - 1 \right) \quad (I.26)$$

$$I_{SH} = \frac{(v+R_s I)}{R_p} \quad (I.27)$$

$$I = I_{PH} - I_0 \left(e^{\frac{q(v+R_s I)}{A K T c}} - 1 \right) - \frac{(v+R_s I)}{R_p} \quad (I.28)$$

A : le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 3$)

I_{PH} : Phot courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident).

I_0 : Courant de diode, représente le courant de fuite interne à une cellule causée par la Jonction p - n de la cellule.

I_{SH} : Résistances shunt représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de cellule.

R_s : Résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi conducteur, ainsi les résistances ohmique et de contact au niveau des connexions des cellules.

q : la charge de l'électron ($1,6.10^{-19}$ C).

K : constant de Boltzmann ($1,38.10^{-23}$ J/K).

T_c : température de jonction (K).

$$T_c = \frac{T + (\text{NOCT} - 20)E_g}{800} \quad (\text{I.29})$$

E_g : Éclairement.

NOCT:(Nominal operating cella température), température nominal de fonctionnement de la cellule qui est mesurée sous les conditions suivantes :

- Journée claire d'ensoleillement moyenne $800(\text{w}/\text{m}^2)$.
- Température ambiante de (20°c).
- Vitesse moyenne du vent ($1\text{m}/\text{s}$).

En négligeant le terme $(\frac{v+R_s.I}{R_p})$ Pour une résistance shunt très grande.

$$I = I_{PH} - I_0 \left(e^{\frac{q(v+R_s.I)}{A.K.T_c}} - 1 \right) \quad (\text{I.30})$$

I.11.5.3 La puissance :

La partie intéressante de la caractéristique courant-tension pour l'utilisateur c'est celle que génère de l'énergie, donc ce ne sera ni au point de tension de circuit ouvert, ni au point de court-circuit, qui ne générer aucune énergie puisque la puissance est le produit du courant par la tension, donc la puissance maximal génère par la cellule.

$$P_m = I_m \times V_m \quad (\text{I.31})$$

La puissance de panneau constitué des cellules parallèle

$$P_p = N_p \times I \times V \quad (\text{I.32})$$

La puissance de panneau constitué des cellules série :

$$P_s = N_s \times I \times V \quad (\text{I.33})$$

La puissance de panneau constitué des cellules série et parallèle :

$$P_{sp} = N_p \times N_s \times I \times V \quad (I.34)$$

P_m : la puissance maximale.

I_m : le courant maximum.

V_m : la tension maximale.

N_s : le nombre des cellules associé en série.

N_p : le nombre des cellules associé en parallèle

I.11.5.4 Le courant de court-circuit I_{cc} :

Soit le courant débité par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle .en pratique ce courant est très proche de la photo courant I_{ph} .

I.11.5.5 La tension de circuit ouvert V_{co} :

Soit la tension qui apparait aux bornes de la cellule quand le courant débité est nul.

I.11.5.6 Le facteur de forme :

Qui indique le degré d'idéalité de la caractéristique, soit le rapport :

$$F_F = \frac{P_m}{V_{co} \times I_{cc}} \quad (I.35)$$

I.11.5.7 Le rendement :

On définit le rendement énergétique d'une cellule par le rapport entre la puissance maximale fournie par la cellule et la puissance incidente :

$$\eta = \frac{P_m}{E \times S} \quad (I.35)$$

I.11.6 Les avantages et les' inconvénients des générateur photovoltaïques

I.11.6.1 les avantages :

- 1- Le soleil est une source d'énergie propre et renouvelable, qui ne produit ni le gaz ni le déchet toxique par son utilisation.
- 2- Le processus photovoltaïque est complètement à semi-conducteurs et d'un seul bloc. Il n'y a aucune pièce mobile et aucun matériau n'est consommé ou émis.
- 3- Les systèmes photovoltaïques ont les avantages suivants par rapport aux options de concurrence de puissance:

- Ils ne font pas de pollution, sans émissions ou odeurs discernables.
- Ils peuvent être des systèmes autonomes qui actionnent sûrement sans surveillance pendant de longues périodes.
- Ils ne consomment aucun carburant.
- Ils peuvent être combinés avec d'autres sources d'énergie pour augmenter la fiabilité de système.
- Ils n'exigent aucun raccordement à une source d'énergie ou à un approvisionnement en carburant existant.

I.11.6.2 les inconvénients :

1. La fabrication des panneaux solaires photovoltaïques relèvent de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements couteux. Cela se traduit dans le prix de l'installation qui, aujourd'hui, reste chère.
2. Le rendement des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20% (pour les meilleurs).l'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoin, comme une maison unifamiliale, par exemple.
3. dans le cas d'une installation photovoltaïque autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le cout reste très élevé.
4. e niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement.de plus, il n'ya aucune production d'électricité le soir et la nuit. La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans.

I.11.7 Les Différents Types de Systèmes Photovoltaïques

I.11.7.1 Alimentations électriques faibles puissances

Il s'agit des alimentations électriques faibles telles que les calculettes ou les chargeurs de piles. Des modules photovoltaïques (PV) peuvent faire fonctionner n'importe quel appareil alimenté par des piles.

I.11.7.2 Installations électriques photovoltaïques autonomes

En site isolé, le champ photovoltaïque (1) (Figure (I.17)) peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement

domestique). Un système de régulation (2) et une batterie (3) d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique qui sera ensuite utilisée en l'absence du Soleil. Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques.

Le régulateur de charge (2) a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie. En site isolé, on peut aussi utiliser des récepteurs fonctionnant en courant alternatif (6). Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur (4). On peut citer quelques exemples de systèmes autonomes, comme les balises en mer, les lampadaires urbains, le pompage solaire et les maisons en sites isolés.

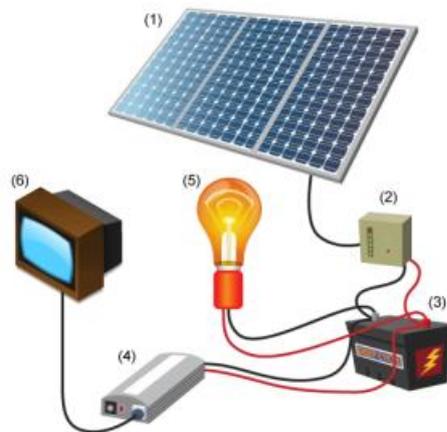


Figure (I.16): Schéma typique d'une installation photovoltaïque autonome.

La majorité des populations à l'écart des réseaux électriques vit dans des zones rurales, où l'implantation de tels réseaux est difficile, pour des raisons d'accès ou de moyens. Les systèmes photovoltaïques constituent alors une option intéressante, ils donnent aux populations un accès à l'électricité avec un coût, une maintenance et des discutés de mise en œuvre réduits.

I.11.7.3 Installations ou centrales électriques photovoltaïques raccordées au réseau

Un générateur photovoltaïque connecté au réseau n'a pas besoin de stockage d'énergie et élimine donc le maillon le plus problématique (et le plus cher) d'une installation autonome. C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie. Deux compteurs d'énergie sont nécessaires : un compteur comptabilise l'énergie achetée au fournisseur

d'énergie et un autre compteur mesure l'énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation.

Un troisième compteur est ajouté dans le cas où l'énergie produite est injectée en intégralité dans le réseau (compteur de non-consommation).

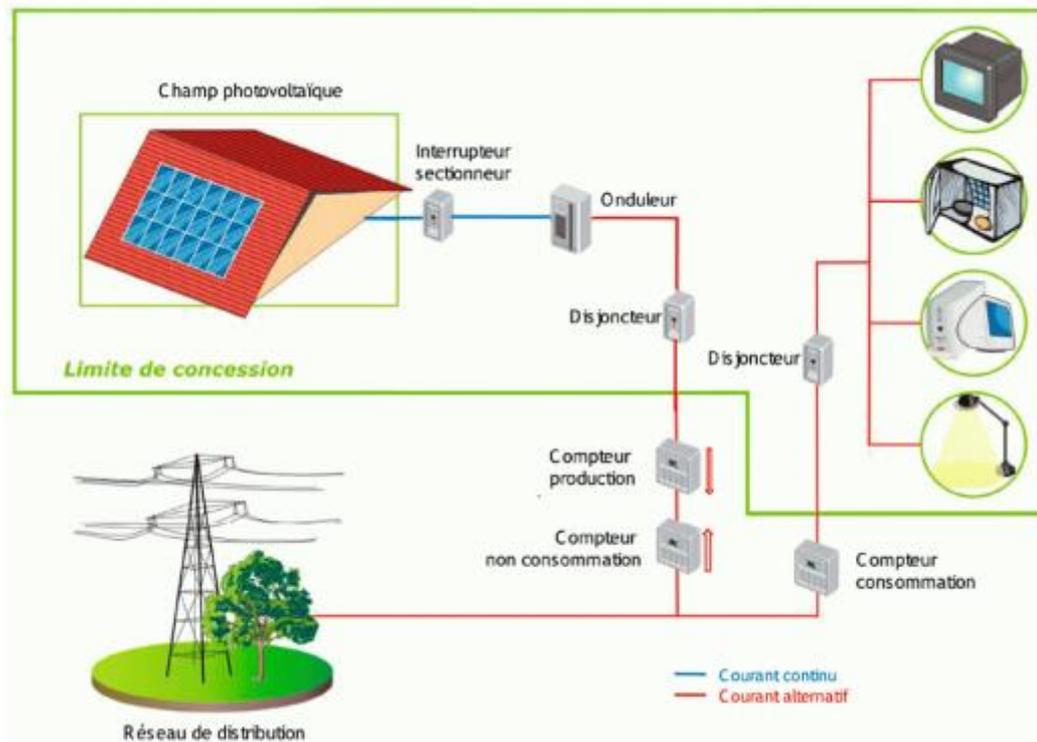


Figure (I.17): Installation ou centrale électrique photovoltaïque raccordée au réseau

I.11.7.4 Installations ou centrale électriques photovoltaïques hybride

Il s'agit de systèmes qui regroupent des sources d'énergie de nature différentes tels une installation éolienne, un générateur diesel ou une centrale de cogénération en plus du générateur photovoltaïque. Ce type d'installation est utilisé lorsque le générateur photovoltaïque seul ne couvre pas toute l'énergie requise.

I.11.8 Le Potentiel Solaire en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au nord et $2263\text{kwh}/\text{m}^2/\text{an}$

au sud du pays. Au Sahara, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable s'il est exploité de manière économique. Le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie [15][16][17].

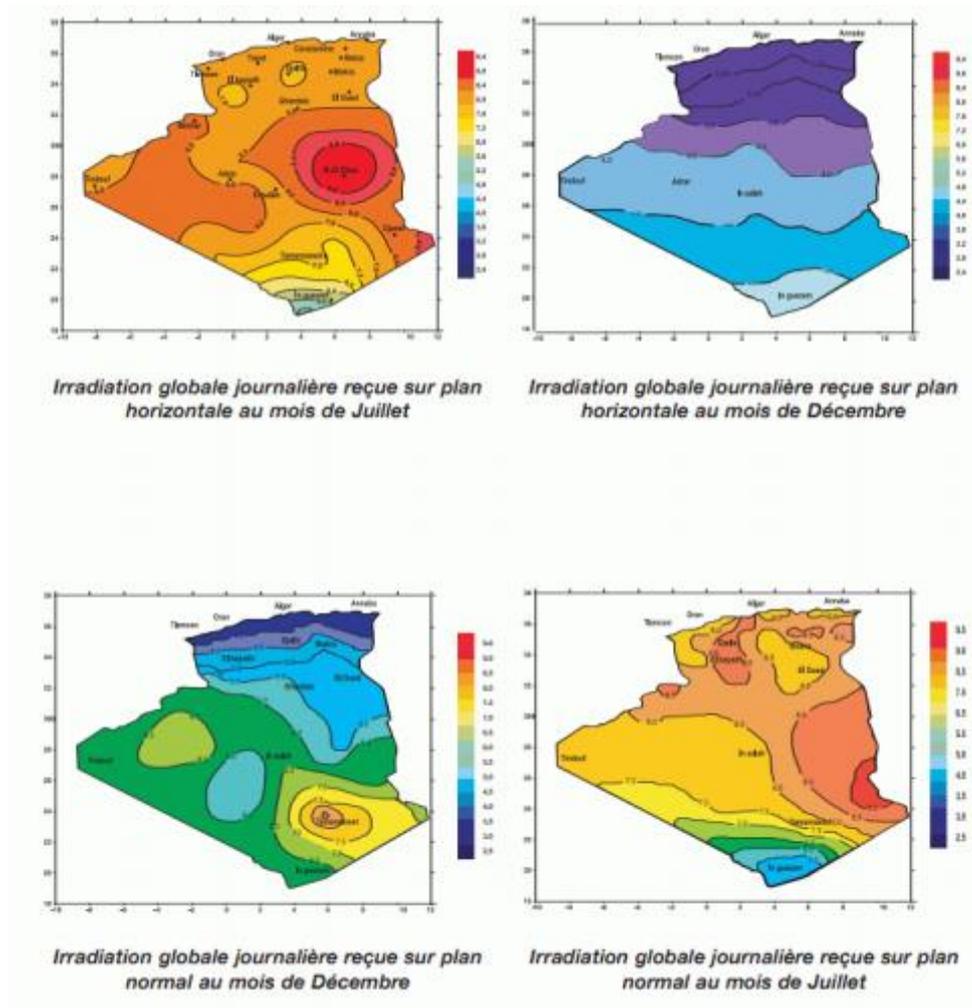


Figure (I.18): Potentiel solaire en Algérie.

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	4 %	10 %	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m2/an)	1700	1900	2650

Tableau (I.5): Potentiel solaire en Algérie.

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de G Wh/an.

Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque, les autres volets solaire, thermique et thermodynamique, restent toujours au stade expérimental. Toutefois, la complexité des procédés de fabrication des modules photovoltaïques et les

rendements de production faibles entraînent des coûts très élevés, ce qui freine son développement.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques, en suite nous avons présenté les différents type de rayonnement (directe, diffus, global) et les expressions mathématiques de chaque rayonnement selon la variation d'inclinaison et l'orientation. Et aussi nous avons décrit le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et son rendement et les différents types de cellules existants.

Ainsi que les différents types de systèmes d'alimentations photovoltaïques existants et en fin le potentiel solaire en Algérie.

Chapitre II

Méthode de Dimensionnement des Systèmes Photovoltaïques

INTRODUCTION

« Dimensionner », c'est fixer la « taille », les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît la configuration.

En effet, le dimensionnement peut amener finalement à changer le système, par exemple s'il s'avère que des éléments « optimaux » sur le plan technique sont très chers, ou indisponible, etc...

La méthode de dimensionnement consiste à déterminer d'abord la puissance crête qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant le mois le moins ensoleillé (généralement décembre). Elle consiste à déterminer le moment où nous avons besoin d'électricité, et à mesurer notre consommation. Cette étape comporte peu de calculs, mais demande relativement beaucoup de réflexion car une erreur à ce stade faussera nos résultats jusqu'à la fin.

La méthode comporte 07 étapes : Le résultat d'une étape influence directement le résultat des étapes suivantes. Si nous obtenons un résultat aberrant, ça ne veut pas forcément dire que nous sommes trompés dans nos calculs. Il ne faut pas hésiter à revenir en arrière, notamment à la première étape, afin de redéfinir nos besoins (comme par exemple réduire notre consommation en choisissant des appareils plus économes).

II.1 Les besoins en énergie électrique

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour et par période (été, hivers, vacances...)

L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir la télévision, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc... ; Elle est donnée par la loi suivante [17]:

$$E = \sum_i E_i \quad (\text{II.1})$$

Le temps moyen d'utilisation est plus délicat à cerner ; il faut le rapporter à :

- La saison,
- Le nombre d'occupants,

- Le mode d'utilisation

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [17]:

$$E = P_i \times t_i \quad (\text{II.2})$$

E : l'énergie journalier consommé par cette Equipment (wh/j)

P : puissance de cet Equipment

t : la dure d'utilisation de l'Equipment

II.1.1 L'énergie à fournir à l'onduleur et son utilisation

Lorsqu'un onduleur est utilisé, il alimente :

- Les consommations en 220 VCA de petites puissances (téléviseur, hi-fi, perceuse, mixeur...) (qu'on note X);
- Les consommations en 220V CA de longue durée ou de forte puissance tel que le réfrigérateur, le congélateur... (qu'on note Y);
- Et éventuellement l'éclairage (énergie noté W) ;

Le rendement réel, moyen d'un onduleur bien conçu, de bonne qualité, dépend de son taux de charge ρ . [17]

$$\rho = \frac{\text{puissance demander}}{\text{puissance nominal}} \quad (\text{II.3})$$

Si nous supposons que l'onduleur est bien utilisé : son taux de charge doit être élevé (de 0.75 à 1).

Le rendement de conversion est alors de 0.7 à 0.9 et nous retenons la valeur moyenne de 0.8. Ainsi, la puissance à fournir à l'onduleur pour disposer de l'énergie E à la sortie (sous 220 V CA) est de [23] :

$$P = \frac{E}{0.8} = 1.25 \times E \quad (\text{II.4})$$

L'analyse des consommations donne l'énergie qui est demandée à l'onduleur (Sans l'emploi d'une seconde source et avec l'emploi des équipements à grande puissance.

L'énergie demandée à l'onduleur E vaut :

$$E = X + Y + W \quad (\text{II.5})$$

Et l'énergie à fournir à l'onduleur est :

$$E = 1.25 \times (X + Y + W) \quad (\text{II.6})$$

II.1.2 L'énergie à fournir à la batterie et son utilisation

L'emploi de la batterie (pour la majeure partie de l'énergie consommée finalement) introduit des pertes.

Celles-ci proviennent :

- Du rendement énergétique de la batterie ;
- De l'auto décharge, qui dépend de la durée de stockage (pour une batterie donnée) ;

Pour une batterie dite solaire, c'est-à-dire bien adaptée aux systèmes photovoltaïques, le rendement énergétique est de 0.80 à 0.85 et l'auto décharge de 3% par mois environ.

Le rendement global constaté dans un système est de 0.8 en général, donc [2] :

$$E_B = E_P \times 0.8 \quad (\text{II.7})$$

E_B : L'énergie fournie par la batterie

E_P : L'énergie fournie par le panneau

II.2 L'énergie électrique Fournie par le générateur photovoltaïque

Elle dépend bien sûr de l'ensoleillement reçu et de l'orientation du panneau. L'estimation de l'énergie solaire reçue sur le site est simple, mais il faut tenir compte des caractéristiques propres au site de l'installation lui-même [19].

II.2.1 Estimation de l'énergie solaire reçue sur un site donné

Cette estimation doit tenir compte à la fois :

- Des données statistiques concernant l'énergie solaire reçue sur la région d'installation ;
- Des caractéristiques propres au site et susceptibles d'empêcher le panneau photovoltaïque de recevoir toute l'énergie possible (du fait des masques, neige, poussière...).

II.2.1.1 Les valeurs statistiques de l'énergie solaire

Il est nécessaire de connaître avec une assez bonne précision l'énergie solaire reçue en moyenne par jour sur le site pendant une période donnée. Cette période est en générale égale à un mois [19].

Selon les pays, les quantités sont connues à partir de l'une ou l'autre des données suivantes (pour une période donnée) :

- Nombre moyen d'heures d'ensoleillement par jour (ou durée d'insolation) ;
- L'irradiation moyenne reçue au sol (plan horizontal) ;
- L'ensoleillement global sur un plan incliné à un certain angle ;

La troisième forme est de loin la plus intéressante, car elle permet facilement, l'angle d'inclinaison des panneaux étant donné, de déterminer l'énergie électrique produite par un panneau de puissance crête donnée.

II.2.1.2 Caractéristiques propres au site

Ces caractéristiques peuvent être :

II.2.1.3 Les conditions atmosphériques exceptionnelles

La neige, les poussières sont susceptibles de diminuer pendant certaines périodes l'énergie solaire reçue par les modules.

Un coefficient réducteur doit alors d'être appliqué aux données définies au paragraphe précédent pour tenir compte des conditions atmosphériques particulières et des conditions d'entretien du système (fréquence du nettoyage...) [20].

II.2.1.4 Les masques

La cause de réduction la plus importante est constituée par les masques (arbre, maisons,...) ombragent tout ou partie du panneau pendant une partie de la journée chaque jour, ou pendant une certaine période de l'année (en général l'hiver). [20]

II.2.2 Estimation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque

Pour un angle d'inclinaison donné, du panneau photovoltaïque la série des quantités d'énergie solaire reçue permet d'estimer l'énergie électrique fournie par le panneau en moyenne, par jour, pour chaque mois.

Un panneau de puissance crête totale P_C , qui reçoit du soleil $n \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$, peut fournir au mieux $n P_C \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$. [17]

Malheureusement, ce panneau produit en fait une quantité d'énergie électrique nettement moindre, car : [21]

- Le panneau ne fonctionne que rarement à son point de fonctionnement optimal (sauf si un dispositif électronique d'adaptation asservie est utilisé). En particulier, un panneau débitant sur une batterie ne fonctionne pratiquement jamais à son point de puissance maximale (16 V pour une batterie de 12 V, mais variable avec l'éclairement).
- Les diodes et les connexions causent des pertes d'énergie.
- Les disparités entre les modules causent des pertes d'énergie.
- Le point de puissance maximal dépend aussi de la température du panneau.

Il est difficile de traduire par une formule utilisable la résolution de ces pertes. L'expérience montre que l'énergie produite pratiquement par un panneau de $P_C \text{ watts crête}$ recevant une énergie de $n \text{ kWh par jour}$ est de : $n P_C 0.7 \text{ kWh/jour}$.

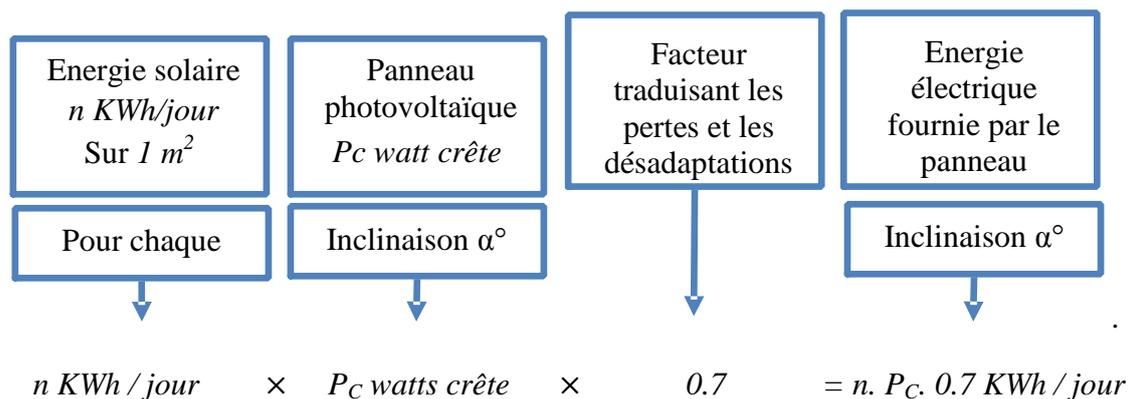


Figure II.1. L'énergie électrique fournie par un panneau en tenant compte des pertes et les désadaptations [17]

II.3 Dimensionnement du panneau photovoltaïque



Figure II.2 Panneau solaire photovoltaïque

La détermination de puissance crête installée présente un intérêt tout particulier, compte tenu du coût du watt-crête.

Généralement, la variation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque d'inclinaison donnée, ne suit pas celle des besoins en énergie d'une system.

Si on fixe la puissance crête pour satisfaire au mieux les besoins d'un mois donné, on obtient généralement un déficit ou un excédent pour d'autre mois.

Sur quelle période faut-il s'efforcer d'égaliser les besoins et les apports? Une inclinaison égale à la latitude du lieu permet de capter une quantité d'énergie annuelle maximale, mais :

- Une partie de cette énergie risque d'être inutile ; l'énergie est chère à stocker.
- Le panneau risque d'être trop cher.

Une inclinaison forte (plus proche de la vertical : latitude du lieu + 20° par exemple) favorise la captation de l'énergie solaire en hiver (quand le soleil est bas).

II.3.1 Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau

Les deux principes extrêmes illustrent les raisonnements employés pour confronter :

- L'énergie que le panneau doit fournir.
- L'énergie que le panneau peut fournir à partir de l'ensoleillement.

II.3.2 Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé

Une solution simple est sûr consiste à choisir une puissance crête tel que pendant le mois le moins ensoleillé, l'énergie fournie par le panneau satisfasse les besoins, avec une inclinaison voisine de la latitude du lieu.

C'est la solution généralement adopté par les sociétés commercialisant et installant des systèmes photovoltaïque. [17]

Elle conduit, malheureusement à un gaspillage important d'énergie pendant les autres périodes, et spécialement pour la période la plus ensoleillée.

Pour réduire ce gaspillage, et donc économiser sur la puissance crête du panneau, il est possible :

- De favoriser l'exposition du panneau pendant la saison la moins ensoleillée en choisissant une inclinaison supérieure de 10 à 20° (15° en général) à la latitude du site;
- De sur dimensionner la batterie par aux besoins réels (principalement liés au nombre possible de jour sans soleil durant cette saison moins ensoleillée ; [21]

Il est alors possible de dimensionner non plus sur le mois le mois ensoleillé, mais sur des mois un peu plus ensoleillé permettant de combler le déficit du mois le mois ensoleillé grâce à une capacité suffisante de la batterie. [17]

II.3.3 Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé

La puissance crête est suffisante pour satisfaire les besoins pendant le mois le plus ensoleillé et généralement tout à fait insuffisante pour satisfaire les besoins d'hiver.

Un tel dimensionnement implique le recours à une source d'énergie complémentaire. Dans un système à deux sources, il faut alors favoriser l'utilisation de l'énergie solaire pendant les mois plus ensoleillé et donc, choisir une faible inclinaison des modules (α =la latitude -10° à 20°). Ce dimensionnement trouve sa limite dans le coût de l'énergie complémentaire. [17]

Un calcul de coût (investissement, fonctionnement) permet de décider de la solution optimale entre :

- Petit panneau peu incliné et source complémentaire très sollicitée.
- Panneau plus important et plus incliné et source complémentaire moins sollicitée.

II.4 Stockage inter-saisonnier de l'énergie

Il est envisageable de mieux adapter les apports solaires aux besoins en utilisant en hiver de l'énergie stockée en batterie pendant les périodes ensoleillées.

Le stockage à long terme (03 à 06 mois) en batterie et pourtant pratiquement exclu à cause de son coût : la capacité de la batterie nécessaire est trop importante.

De plus :

- La charge de la batterie est alors délicate (il faudrait fractionner la capacité ou augmenter le courant de la charge).
- Le panneau ne peut pas recharger seul la batterie en cas de décharge trop profonde.
- L'autodécharge représente environ 10 % de la capacité en 03 mois, c'est-à-dire qu'en moyen, environ 10 % de cette grosse capacité est installée en pure perte.



Figure II.3 Batterie solaire gel 12V

II.5 Procédure de dimensionnement du panneau solaire

Quel que soit le principe retenu, il revient finalement à assurer l'adéquation entre les apports et les besoins pour une période donnée (généralement un mois donné), c'est-à-dire, comparer que doit fournir le panneau avec des tableaux qui donnent l'énergie fournie par un panneau de puissance donnée, selon divers inclinaisons.

Les liaisons entre les principales grandeurs sont représentées dans la figure suivante :

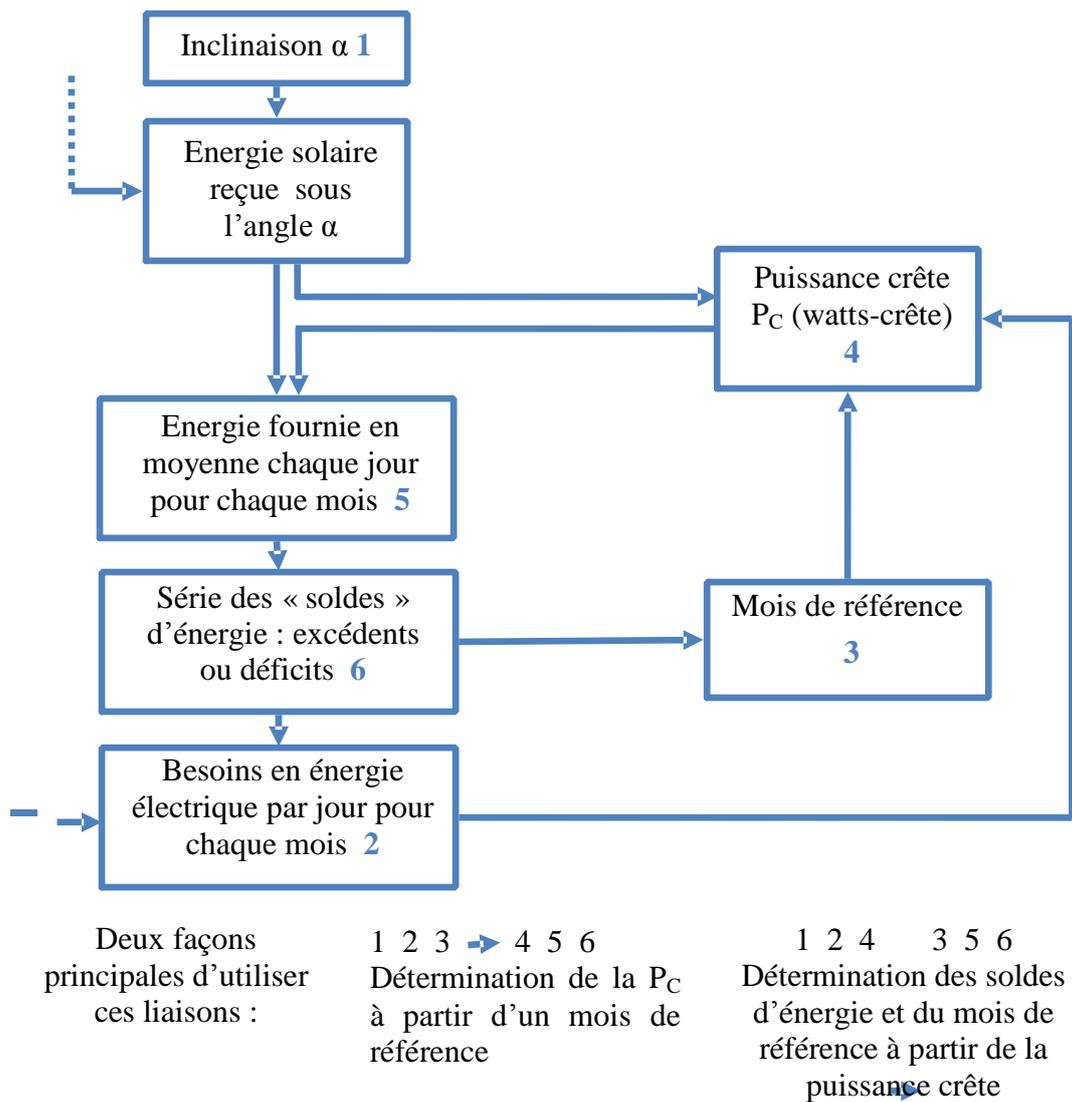


Figure II.4. Dimensionnement du panneau photovoltaïque. Liaison entre les paramètres [17]

II.6 Choix de la tension du fonctionnement

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteurs), aussi, il dépend des niveaux de puissance et d'énergie nécessaire selon le type d'application.

Puissance crête (W_C)	< 500 W_C	500 W_c - 2KW $_c$	>2KW $_c$
Tension du système (V)	12 VDC	24 VDC	48 VDC

Tableau II.1. Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête [21]

II.7 Dimensionnement de la batterie

Celui-ci définit sa capacité de stockage C en KWh puis en Ah. Comment fixer C ?

Le stock d'énergie répond à deux besoin, et le choix de la capacité doit par ailleurs satisfaire à 04 contraintes ;

II.7.1 Rôle du stock d'énergie

- Faire face aux périodes trop peu ensoleillées: le stock permet de satisfaire les besoins malgré la quantité aléatoire d'énergie solaire reçue ; en particulier, il assure la continuité du service pendant les périodes sans soleil (d'une certaine longueur).
- Utiliser au mieux le panneau de photopiles : si celui-ci n'a pas été dimensionné sur le mois le moins ensoleillé, la batterie doit permettre de combler un déficit éventuel pendant certaines périodes.

II.7.2 Capacité de la batterie

La capacité de la batterie est donc :

$$C = CR + CU \quad (II.8)$$

C : La capacité de la batterie

CR : La capacité résiduelle de la batterie

CU : La capacité utile de la batterie

La capacité résiduelle CR est la capacité qui n'est pas utilisée, pour préserver la batterie, tandis que la capacité utile CU, est la capacité qui peut être

effectivement déchargée si nécessaire. Elle est égale à [2] :

$$C = CR + CU \quad (\text{II.9})$$

II.7.3 Choix de la capacité de la batterie

Il s'agit de choisir C, la capacité en Ah, on est amené à faire trois choix :

1. $\frac{CU}{c}$
2. C1
3. C2

II.7.4 Les contraintes à respecter

Pour le choix de la capacité C, on se retrouve devant différents critères :

II.7.4.1 Le courant de décharge maximal (IDC max)

Pendant une période de plus de 10 à 30 seconde, le courant de décharge maximal doit être inférieur à [17]:

$$IDC \max < \frac{1}{10} C \quad (\text{II.10})$$

Où C es exprimée en Ah.

Ainsi :

$$PDC \max < \frac{1}{10} CP \quad (\text{II.11})$$

La puissance maximal en courant continue (Wh) $< \frac{1}{10}$ de l'énergie stocke (Wh)

Par exemple, pour une batterie de 500 Ah, le courant de décharge maximal doit être inférieur à 50 A.

II.7.4.2 La quantité d'énergie maximale prélevée chaque jour (QDC max)

Elle doit être au plus de l'ordre de 10 à 20 % de la capacité totale (selon le type de la batterie) [17]:

$$QDC \max < 0.1 \text{ à } 0.2 \quad (\text{II.12})$$

En considérant le même exemple que précédemment, pour une batterie de 500 Ah, la quantité d'énergie électrique maximale prélevée en un jour sera de 50 à 100 Ah.

II.7.4.3 La profondeur de décharge $\frac{CU}{C}$

La profondeur de décharge, c'est-à-dire le pourcentage de la capacité de la batterie que l'on s'autorise à prélever, conditionne sa durée de vie totale.

Cette contrainte diffère selon le type de la batterie utilisée, l'objectif de vie visé et son mode de fonctionnement.

II.7.4.4 Charge (et recharge) de la batterie

A partir d'un état « vide » ($CU = 0$), la durée de recharge doit être telle que le stock puisse faire face à ses deux rôles ($C1$ et $C2$) dès que besoin.

Pratiquement, l'idéal est d'assurer la recharge selon la procédure optimale pour la batterie.

En tous cas, il faut éviter que le courant de recharge de la batterie soit inférieur à $\frac{1}{50} C$.

Donc, le courant délivré par le panneau servira partiellement à recharger la batterie [17]:

$$IPV = IU + ICH \quad (II.13)$$

IPV : Le courant débité par le panneau

IU : Le courant utilisé par l'occupant

ICH : Le courant de recharge

II.7.4.5 Le choix de la capacité $C1$

Il repose d'abord sur une estimation du nombre maximal de jours consécutifs où le rayonnement global est très faible (sans soleil ou durée d'ensoleillement inférieure à l'heure).

Les périodes « sans soleil » longues arrivent généralement en hiver. Par ailleurs, à chaque période sans soleil correspond une demande d'énergie électrique à la batterie.

Pour une période sans soleil de K jours consécutifs [18]:

$$CS_k = K \times B_i \quad (II.14)$$

CS_k : L'énergie totale demandée à la batterie

K : Le nombre de jours sans soleil

B_i : L'énergie électrique demandée par jour à la batterie

II.7.4.6 Choix de la capacité C2

En l'absence d'une source complémentaire, C2 représente une à deux semaines d'utilisation pendant la période la moins ensoleillée (consommation moyenne du mois le moins ensoleillé × 7 à 14 jours).

Le dimensionnement de batterie est configuré dans le schéma bloc suivant :

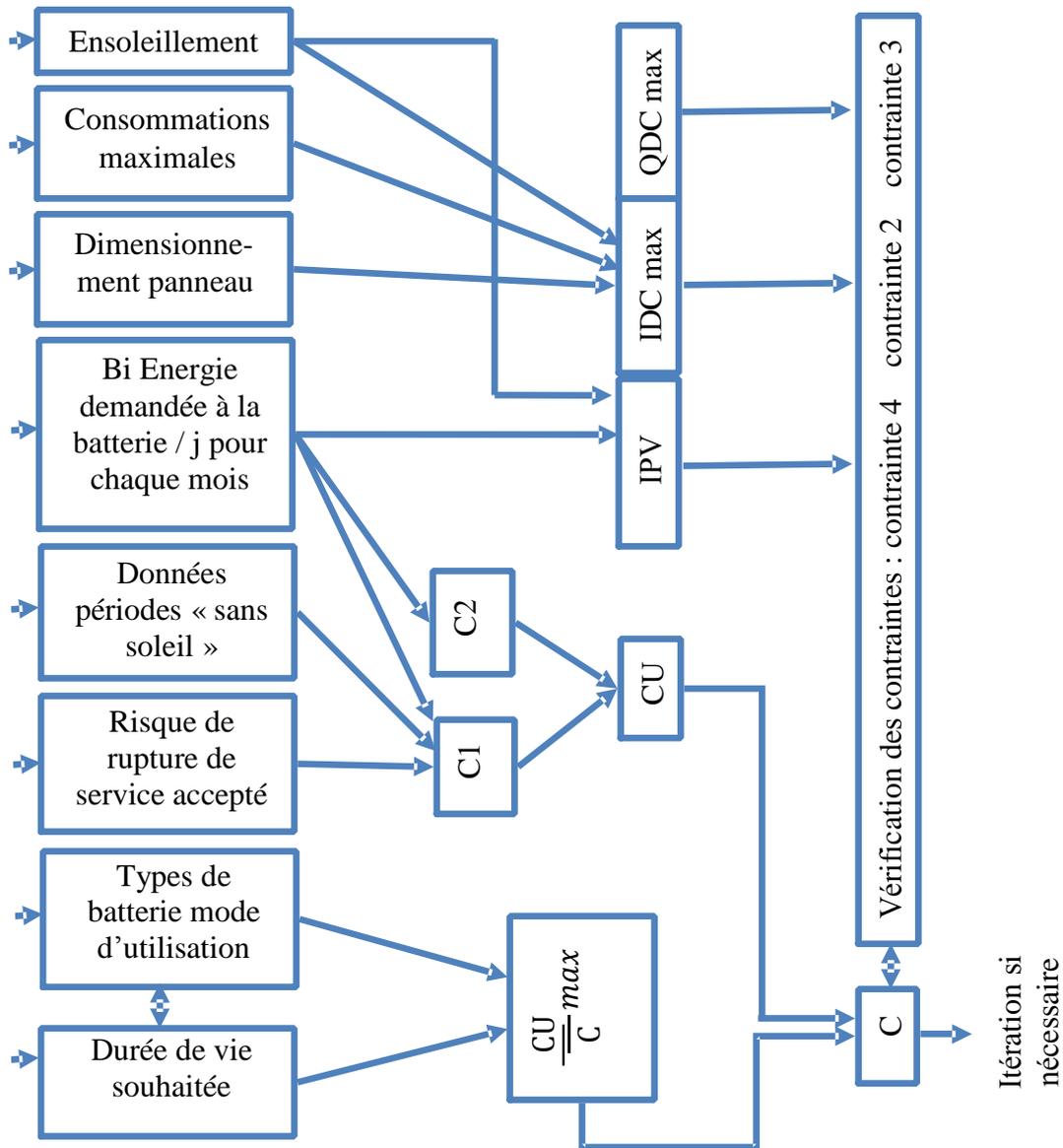


Figure 1.5. Dimensionnement de la batterie. Tableau synoptique de la procédure.

II.8 Dimensionnement de l'onduleur

Pour fixer la puissance nominale de l'onduleur, il faut estimer :

- La charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10 – 20 minutes : les charges de courtes durées ne sont pas prises en compte.
- La charge maximale instantanée : elle est généralement égale à 04 fois la puissance du moteur le plus puissant que l'onduleur devra démarrer.

L'onduleur devra pouvoir fournir la charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10-20 minutes en permanence et la charge maximale instantanée pendant quelque secondes. Ces deux valeurs sont bien connues des constructeurs. [22]

La puissance maximale doit être la plus faible possible afin de limiter au maximum les pertes à charges faibles ou nulle, tous spécialement si l'onduleur est amenée à fonctionner d'une façon continue.

Si la puissance nominale est calculée au plus juste, le disjoncteur de l'onduleur déclenchera de temps en temps. Pour une system moyenne, l'onduleur a une puissance nominale comprise entre 0.5 et 2.5 KVA, selon le système retenu (valeur moyenne 1.8 KVA) [22].

II.9 Dimensionnement des câbles de raccordement

La plus part des installations photovoltaïques fonctionne sous une faible tension (12 à 48 Vcc) et courant relativement élevé. Or, les pertes en lignes sont proportionnelles au carré de l'intensité (RI^2 ou R est la résistance du câble considéré). [2]

Qu'il s'agisse du câble permettant de raccorder le panneau à la batterie, ou de celui permettant de raccorder la batterie aux appareils, il faut en calculer la section de façon à limiter les pertes en lignes. Celles-ci doivent être faibles par rapport à la puissance réellement transmise par la ligne, si possible inférieures à 04 ou 05 % de cette puissance. [17]

II.10 La liaison électrique panneau-batterie

Soit une installation alimentant une batterie de tension nominale 12 V à partir d'un panneau 12 V/160 Wc

Il s'agit de calculer la section de câble permettant de limiter à 0.48 V (4% de la tension nominale) la chute de tension maximale dans le câble de liaison, le panneau et la batterie étant distant de 15 mètres environ.

Le courant maximal qui sera délivré à la batterie est donc de l'ordre de 10A (160 W

maximal) sous une tension optimale de 14 V environ.

La résistivité du cuivre est de $1.8 \cdot 10^{-8} \Omega/m$. Si on appelle ΔU_{max} la chute de tension maximale, elle s'écrit en fonction du courant I_{max} :

$$\Delta U_{max} = R \times I_{max} \quad (\text{II.15})$$

La résistance R est fonction des paramètres constitutifs du câble selon la formule :

$$R = \rho \times \frac{L}{S} \quad (\text{II.16})$$

D'où :

$$R = \frac{\Delta U_{max}}{I_{max}} = \rho \times \frac{L}{S} \quad (\text{II.17})$$

Qui permet de tirer la section du câble S :

$$S = \frac{I_{max}}{\rho \Delta U_{max}} = \rho L \quad (\text{II.18})$$

La section du câble devient vite très importante et donc son prix aussi. Il est par conséquent, nécessaire de faire un compromis entre un coût raisonnable du câble, et les pertes en ligne (afin de ne pas sur-dimensionner le panneau).

II.11 La liaison électrique batterie-appareils

II.11.1 Distribution en courant continu

Le même calcul doit être effectué pour la section du câble entre la batterie et les différents appareils à alimenter.

Il doit tenir compte de la conception de la distribution : dans le cas d'une seule sortie de la batterie, les appareils sont montés en parallèle. Tandis que dans le cas où la batterie possède plusieurs sorties (modèles qui existent sur le marché), chacune de ces sorties est branchée à un appareil ou une série d'appareils.[22]

Le câblage total est souvent plus long, mais le courant maximal dans chacun des circuits est moindre, d'où une section plus faible, et un prix finalement moindre.

II.11.2 Distribution à partir d'un on onduleur

On distribue du courant alternatif 220 V. la distribution est alors tout à fait classique, et le lecteur pourra se reporter à de nombreux et excellents ouvrages sur ce sujet (ou s'adresser à un installateur).

CONCLUSION

Avec les données de la première étape, il est possible de connaître la quantité de modules photovoltaïques nécessaires pour la fourniture de l'énergie électrique dans l'installation considérée. Dans ce chapitre, consacré à la méthode de dimensionnement des installations autonomes, nous avons intégré les données indispensables concernant les caractéristiques du site d'installation et de l'énergie solaire reçu sur le site lui-même.

La première étape permet, également, de calculer la quantité de batteries.

L'énergie qu'il faut stocker dépend directement de la périodicité de la consommation. Autrement dit, il vous faudra beaucoup moins de batteries si vous consommez un peu d'électricité tous les jours (consommation régulière) que si vous consommez tout en quelques jours,

Enfin, le dimensionnement de l'installation photovoltaïque est terminé. Lorsque le calcul de la section des câbles électriques transportant l'énergie est effectué. Une section trop petite augmente la résistance et la température du câble, ce qui réduit la puissance de l'installation.

Chapitre III

Modélisation d'un panneau photovoltaïque

III.1 Introduction :

Le capteur photovoltaïque est décrit par ses caractéristiques courant tension ($I=f(V)$) la modélisation est utilisée généralement pour approximer la sortie du capteur (tension, courant) en fonction de deux entrées qui sont la température et l'éclairement reçu par le capteur. Le courant généré par le module photovoltaïque à une tension donnée dépend uniquement de l'éclairement et de la température de la cellule. Dans ce chapitre nous avons fait une étude d'un panneau photovoltaïque simple du module BP MSX62 de BP Solaire sous environnement **Matlab**

III.2 Modélisation des panneaux :

Pour ce travail, un modèle de complexité modérée a été employé, la dépendance à la température du courant de la diode et du courant inverse de saturation, est incluse. La résistance série était incluse, mais pas la résistance shunt. Une simple diode shunt a été utilisée pour réaliser la meilleure forme de la courbe. Ce modèle est une version simplifiée du modèle à une seule diode présenté par **Gow et Manning [24]**.

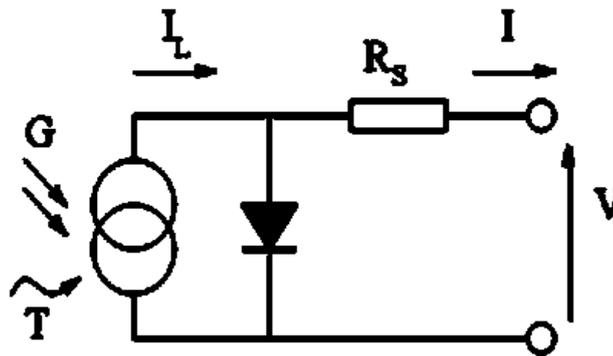


Figure III .1 Circuit électrique équivalent de la cellule photovoltaïque [24]

Les équations décrivant le système de la cellule photovoltaïque sont:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{q}{nKT} (V + I \cdot R_s) \right) - 1 \right] \quad (\text{III. 2})$$

$$I_L = I_{L(T_1)} [1 + K_0(T - T_1)] \quad (\text{III. 3})$$

$$I_{L(T_1)} = G * \frac{I_{sc(T_1, nom)}}{G_{(nom)}} \quad (\text{III. 4})$$

$$K_0 = \frac{(I_{sc(T_2)} - I_{sc(T_1)})}{T_2 - T_1} \quad (\text{III. 5})$$

$$I_0 = I_{0(T_1)} * \left(\frac{T}{T_1}\right)^{3/n} \cdot \exp\left(\frac{-q \cdot V_g}{n \cdot K \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)}\right) \quad (\text{III. 6})$$

$$I_{0(T_1)} = \frac{I_{sc(T_1)}}{\exp\left(\frac{q \cdot V_{oc(T_1)}}{n \cdot K \cdot T_1}\right) - 1} \quad (\text{III. 7})$$

$$R_s = -\frac{dV}{dI_{V_{oc}}} - \frac{1}{X_v} \quad (\text{III. 8})$$

$$X_v = I_0(T_1) \cdot \frac{q}{n \cdot K \cdot T} \exp\left(\frac{q \cdot V_{oc}(T_1)}{n \cdot K \cdot T_1}\right) \quad (\text{III. 9})$$

Avec :

G : Eclairement (W/m²).

I : Courant délivré par le module PV(A).

V : Tension du module PV (V).

I_L: Photon courant (A).

I₀ : Courant de saturation de la diode (A).

T₁ : Température 1 de référence (°K).

T₂ : Température 2 de la cellule (°K).

T : Température de la cellule (°K).

q.V_g : Energie de gap pour le silicium cristalline (E_g = 1,12 eV).

R_s : Résistance série (Ω).

n : Le facteur d'idéalité de la jonction.

k : Constante de Boltzmann (k).

q : Charge de l'électron (q = 1,6.10⁻¹⁹ C).

I_{sc} : Courant de court-circuit du GPV.

V_{oc} : La tension de circuit ouvert.

Toutes les constantes dans les équations ci-dessus peuvent être déterminées en utilisant les données de fabricants de panneaux photovoltaïques et à partir des courbes $I(V)$. Le module BP MSX62 de BPSolar 62W sera utilisé pour illustrer et vérifier le modèle. Le photo-courant est directement proportionnel à l'éclairement.

Quand la cellule est court-circuitée, un courant négligeable entre dans la diode. Le rapport entre le photo-courant et la température est linéaire, voir équation (III. 3) et est déduit en notant le changement du photo-courant en fonction de la variation de température. Quand la cellule est en obscurité, la caractéristique $I(V)$ est donnée par l'équation de Shockley.

Quand la cellule illuminée est en circuit ouvert, le photo-courant passe entièrement dans la diode. est excentrée de l'origine par le photo-courant généré (I_L) et donné par l'équation (III. 4). La valeur du courant de saturation à 25°C donné par l'équation (III. 7) est calculée en utilisant la tension de circuit ouvert et le courant de court circuit à cette température. La relation de la température est complexe, mais ne contient heureusement aucune variable qui exige une estimation de l'équation (III.6). La résistance série du module possède un grand impact sur la pente de la caractéristique (III.5) à $V=V_{oc}$. Les équations (III.6) et (III.7) sont calculées en différenciant l'équation (III.2), l'évaluation à $V=V_{oc}$, et le réarrangement en terme de (R_S) en utilisant les valeurs données par le constructeur, on peut estimer une valeur finale de la résistance série $R_S= 8 \text{ m}\Omega$.

Température	T	25	°C
Tension de circuit ouvert	V_{oc}	21.0	V
Courant de court-circuit	I_{cc}	3.8	A
Tension de puissance maximale	V_m	16.03	V
Courant de puissance maximale	I_m	3.5	A
Puissance maximale	P_m	62.13	W

Tableau (III.1): Caractéristiques électriques du module BP MSX62 de BP Solaire.

III.3 Résultats et interprétations :

Nous avons fait une étude d'un panneau photovoltaïque simple du module BP MSX62 de BP Solaire sous environnement **Matlab** et nous avons déduit les caractéristiques suivantes:

III.3.1 Caractéristique courant- tension, puissance – tension :

Une première manière d'étudier la cohérence du modèle développé tout dans ce chapitre est d'étudier l'allure des caractéristiques courant-tension **I(V)** figure (III -2) et puissance-tension **P(V)** figure (III -3) obtenues a l'aide des équations du modèle électrique présenté dans la figure (III -1).

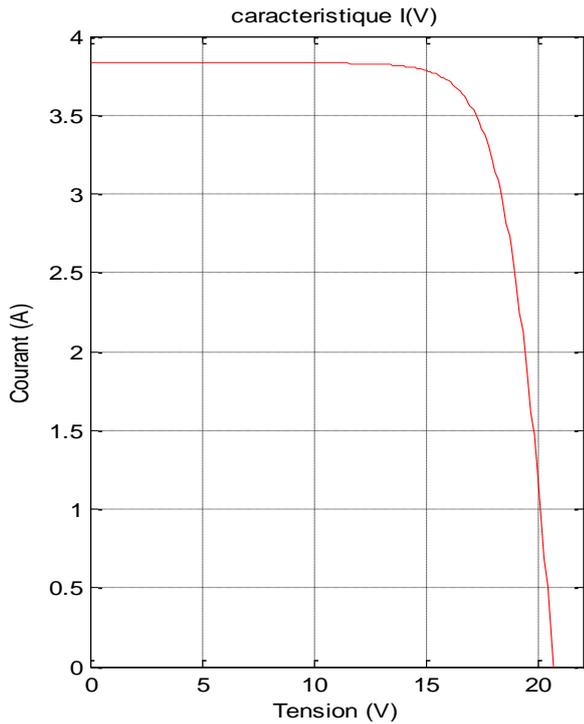


Figure III.2 Caractéristique courant-tension

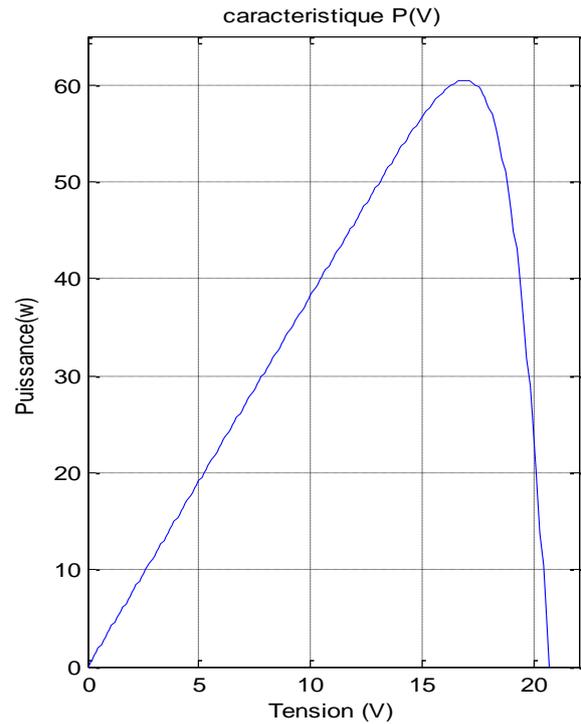


Figure III.3 Caractéristique puissance-tension

Afin de voir le bon fonctionnement du modèle étudié, nous avons effectué des simulations suivant les effets des différents paramètres (la **température** et l'**éclairage**) sur les caractéristiques courant-tension.

III.3.2 Influence de la température :

Nous avons effectué une simulation où nous avons maintenu un éclairage constant ($G=1000W/m^2$) pour différentes températures ($25^{\circ}C$, $50^{\circ}C$, $75^{\circ}C$, $100^{\circ}C$).

La courbe des caractéristiques va présenter des allures différentes selon la température. La tension à vide va diminuer lorsque la température a augmenté, à l'inverse du courant de court-circuit. La variation de tension à vide est pratiquement compensée par la variation du courant de court-circuit figure (III.4) et figure (III.5).

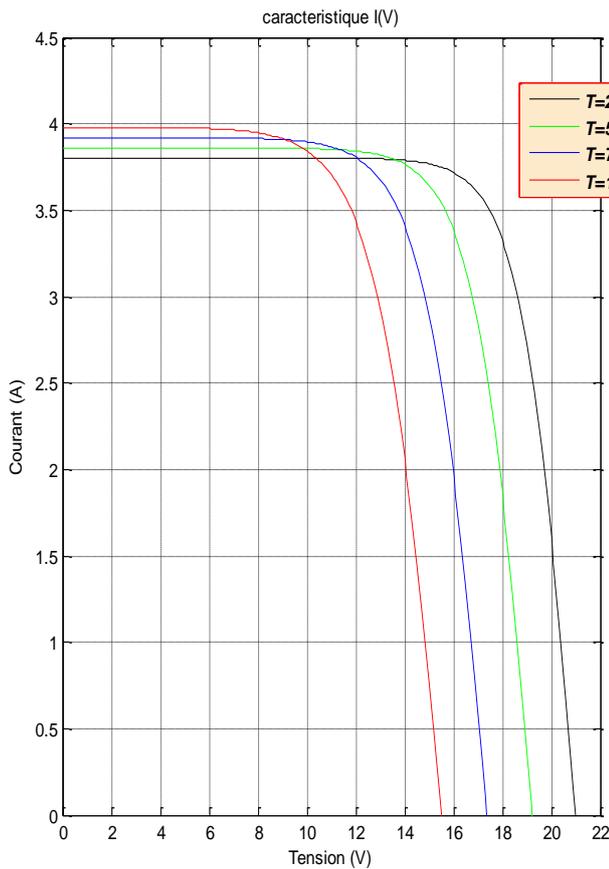


Figure III.4 Influence de la température sur I(V)

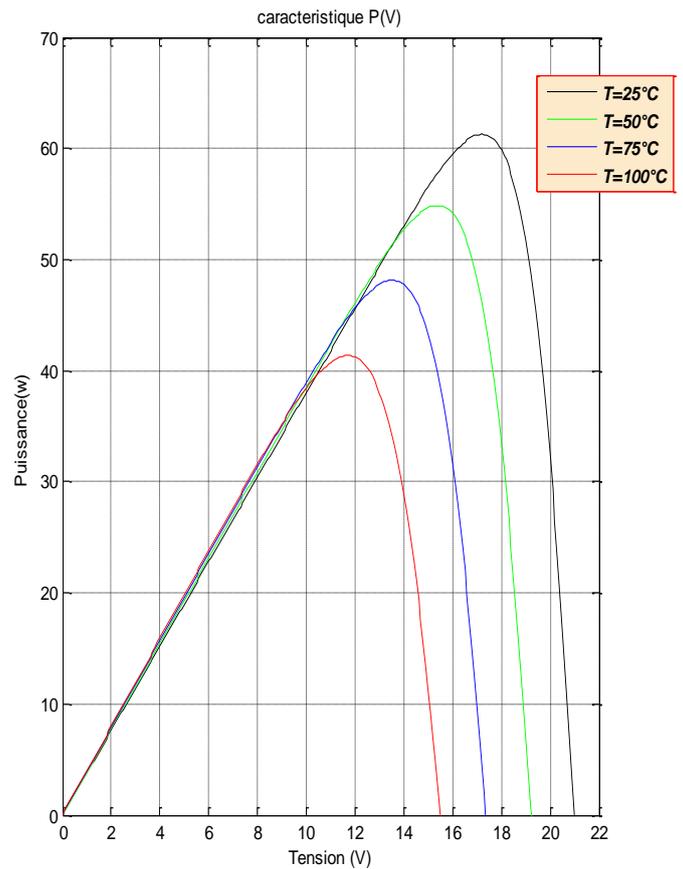


Figure III.5 Influence de la température sur P(V)

III .3.3 Influence de l'éclairement :

Par contre du cas précédant, lorsque nous avons maintenu une température constante (25°C) à différents éclairements ($0\text{W}/\text{m}^2$, $100\text{W}/\text{m}^2$, $200\text{W}/\text{m}^2$, $300\text{W}/\text{m}^2$, $400\text{W}/\text{m}^2$, $500\text{W}/\text{m}^2$, $600\text{W}/\text{m}^2$, $700\text{W}/\text{m}^2$, $800\text{W}/\text{m}^2$, $900\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$) on remarque que l'accroissement du courant de court-circuit est beaucoup plus important que l'augmentation de la tension de circuit ouvert, car le courant de court-circuit (I_{cc}) est une fonction linéaire de l'éclairement et la tension du circuit ouvert (V_{oc}) est une fonction logarithmique voire figure (III -6) et figure (III -7).

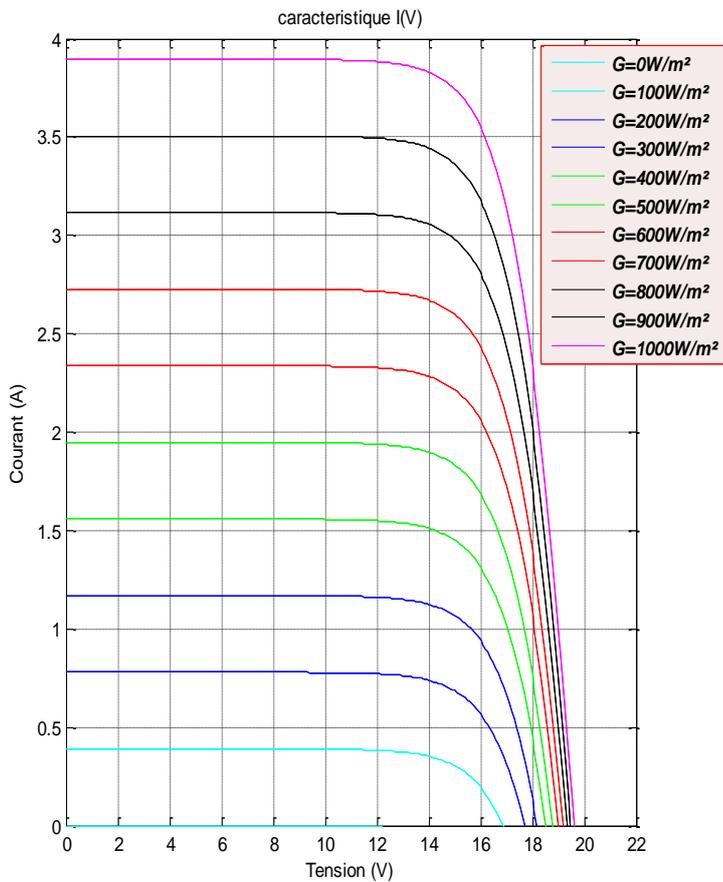


Figure III.6 Influence de l'éclairement sur I(V)

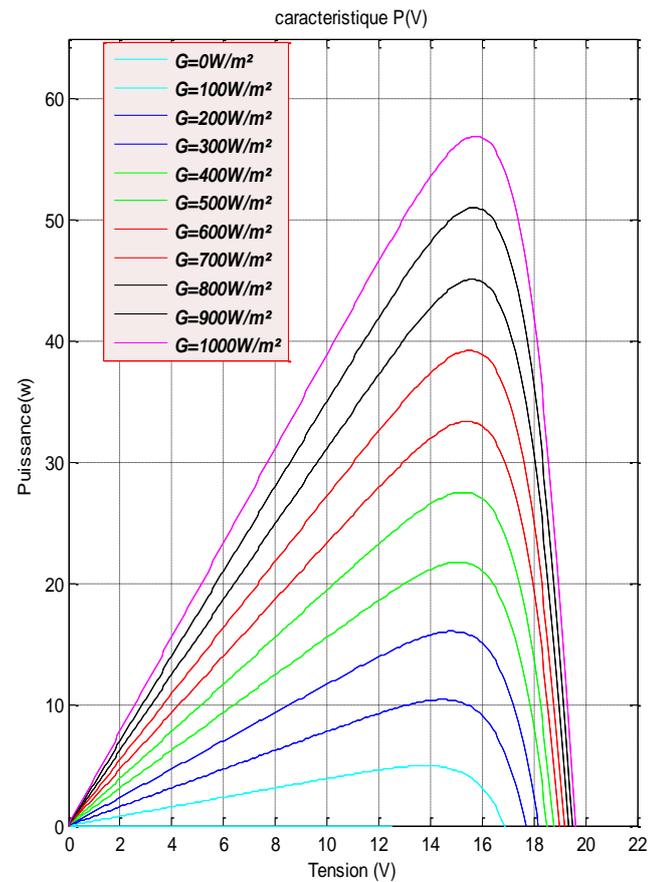


Figure III.7 Influence de l'éclairement sur P(V)

III -3-4 Influence de l'éclairement et la température :

La variation de la température et de l'éclairement en même temps (**250W /m² et 25°C**, **500W /m² et 50°C**, **750W /m² et 75°C**, **1000W /m² et 100°C**), nous a permis de conclure qu'il y a une petite variation de la tension du circuit-ouvert (V_{oc}), par contre il y a une grande variation du courant (I_{cc}), voir figure (III -8) et figure (III -9).

On remarque aussi que la puissance délivrée par un générateur photovoltaïque dépend beaucoup plus de la variation de l'éclairement que la variation de la température.

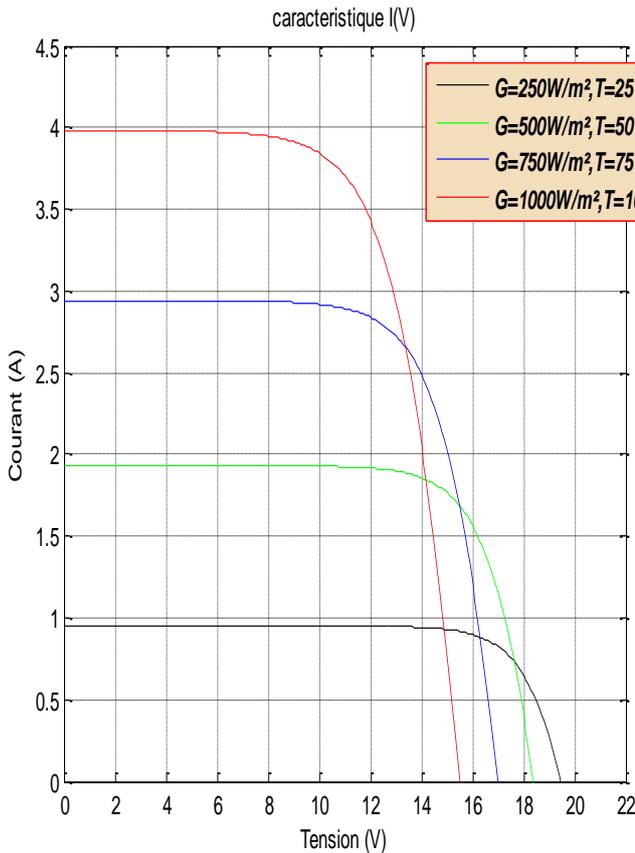


Figure III.8 Influence de l'éclairement et de la température sur I(V)

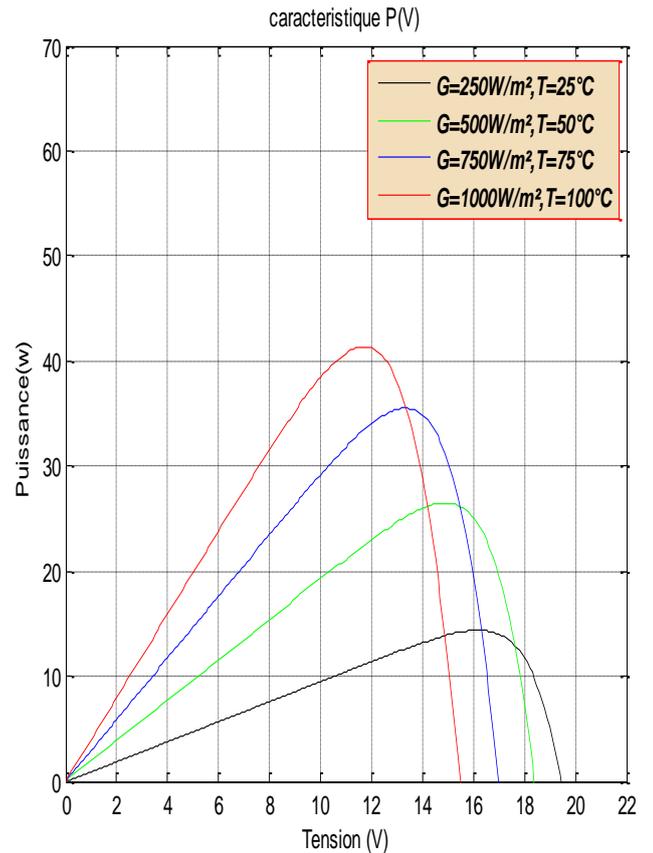


Figure III .9 Influence de l'éclairement et de la température sur P(V)

III -3-5 Influence de la résistance série :

La résistance série agit sur la pente de la caractéristique dans la zone où la photodiode qui se comporte comme un générateur de tension, et lorsqu'elle est élevée ($R_s=0.08\Omega$, $R_s=0.09\Omega$, $R_s=1\Omega$, $R_s=1.1\Omega$), elle diminue la valeur du courant de court-circuit (I_{cc}) voir figure (III -10) et figure (III -11).

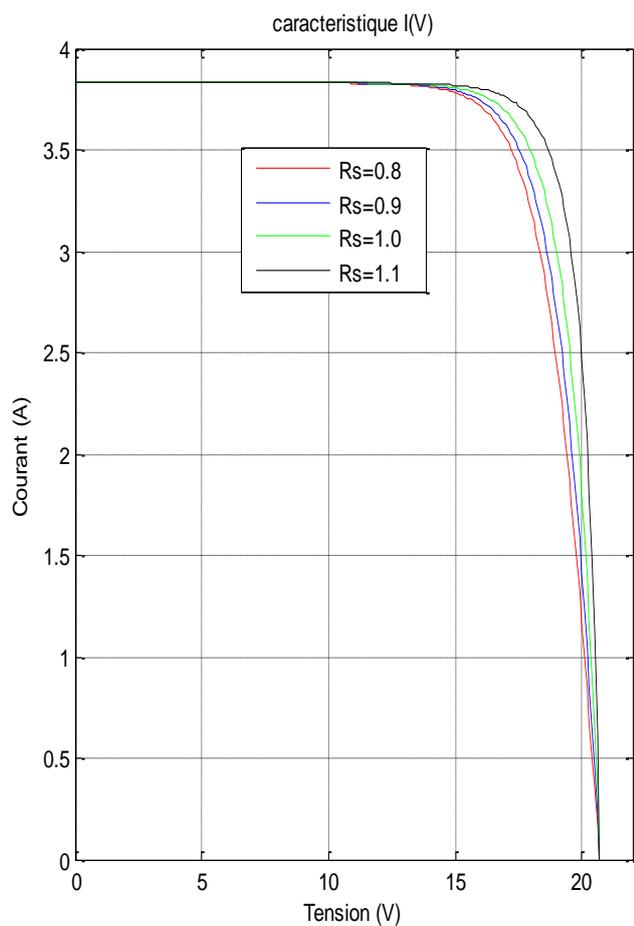


Figure III.10 Influence de la résistance série sur I(V)

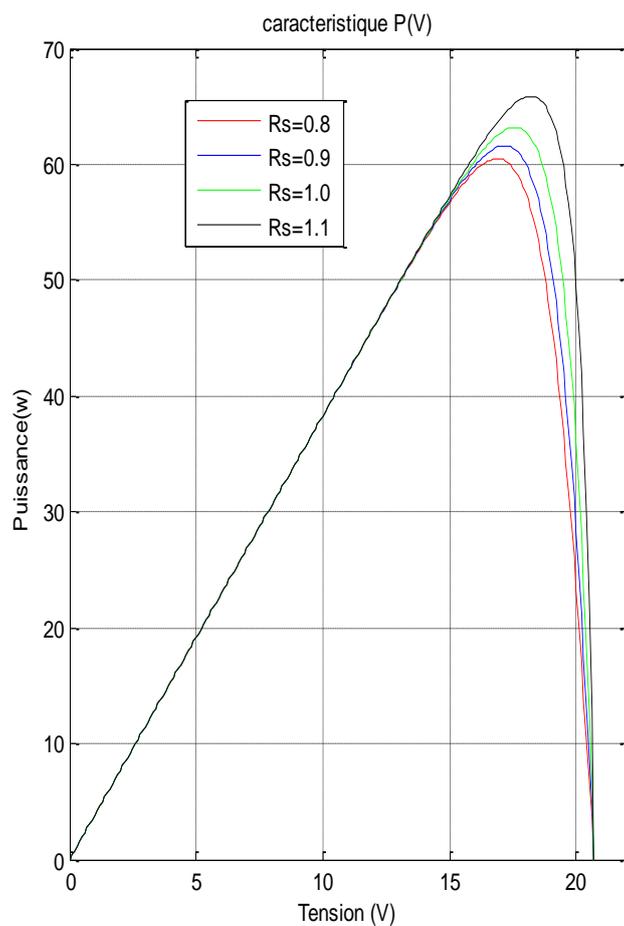


Figure III.11 Influence de la résistance série sur P(V)

III -3-6 Influence du facteur de qualité :

L'augmentation du facteur de qualité de la diode influe inversement sur le point de puissance maximale et cela se traduit par une baisse de puissance au niveau de la zone de fonctionnement voir figure (III -12) et figure (III -13).

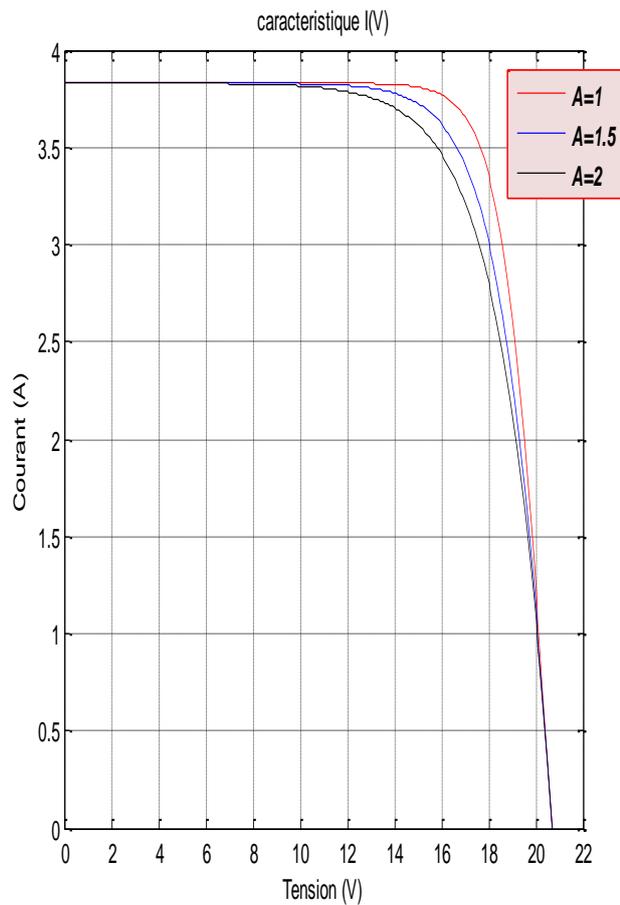


Figure III.12 Influence du facteur de qualité sur I(V)

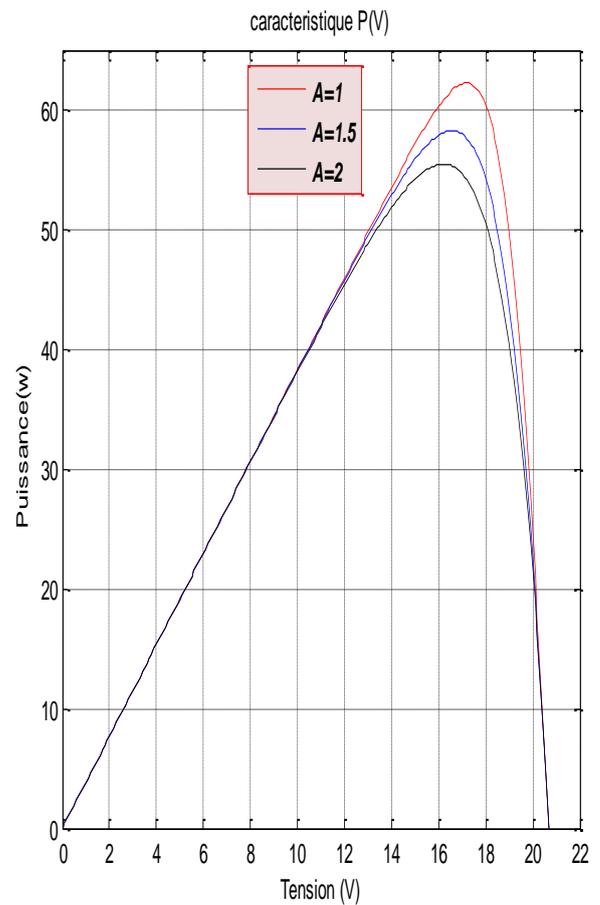


Figure III.13 Influence du facteur de qualité sur P(V)

III-6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présentés les différentes simulations sur les caractéristiques électriques du modèle électrique équivalent de la cellule photovoltaïque, ainsi que l'influence de la température et de l'éclairement sur ces caractéristiques. Les résultats obtenus par simulation du modèle sont satisfaisantes, car les courbes obtenus décris bien les caractéristiques électriques d'un système photovoltaïque type MSX62.

Chapitre IV

**Dimensionnement du système
d'éclairage public à l'université
d'Adrar**

IV Introduction :

L'éclairage solaire peut être une option économiquement viable dans de nombreuses applications .non seulement dans les zones où le coût de la fourniture d'électricité est trop cher, mais aussi dans des situations où la réduction des coûts de fonctionnement est une priorité. Les panneaux solaires fonctionnent sur le principe de la cellule photovoltaïque ou cellule solaire. La cellule solaire convertit l'énergie solaire en énergie électrique qui est stockée dans la batterie. La lumière solaire attire le courant de cette pile et ne nécessite aucun câblage.

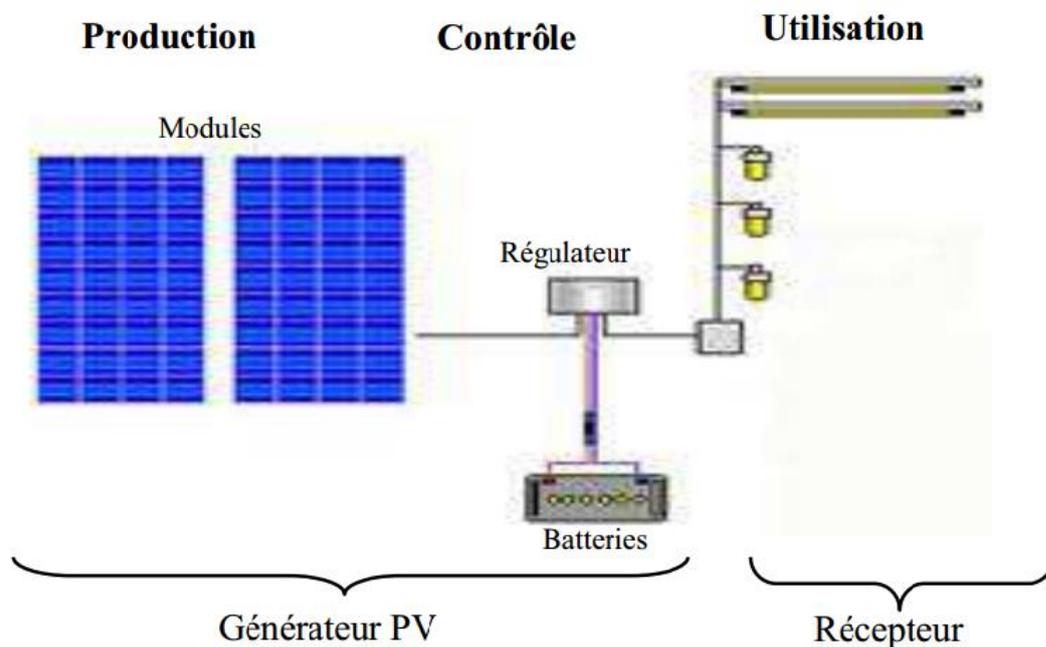


Figure IV.1. Système d'éclairage Solaire

IV .1 Système d'éclairage Solaire :

Le système photovoltaïque (PV) avec batterie peut être comparé à une charge alimentée par une batterie qui est chargée par un générateur photovoltaïque. Le système comprend généralement les composants de base suivantes:[15]

IV .1.1 Le panneau Solaire :

Est composé de modules photovoltaïques (PV) raccordés les uns aux autres et fixés sur une structure support, il produit la quantité requise d'électricité ;

IV .1.2 La batterie :

Alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique issue de la conversion de l'énergie solaire ;

IV .1.3 La diode anti-retour :

Évite la décharge de la batterie à travers les modules PV en période d'obscurité ;

IV .1.4 Le régulateur de charge :

Protège la batterie contre la surcharge de l'énergie produite par les modules PV et inclut habituellement une protection contre les décharges profondes de la batterie. Les indicateurs présents sur le régulateur donnent également des informations sur le fonctionnement du système c'est le tableau de bord du système ;

IV .1.5 Les câbles :

Assurent le raccordement des composants électriques du système (incluant la mise à la terre et les accessoires de fixation) ;

IV .1.6 Le luminaire :

Est un appareil qui assure l'éclairage des lieux cibles ;

IV .1.7 Le poteau ou le mât :

Est une longue pièce rigide plantée verticalement et servant de support de l'ensemble des composants énumérés ci-dessus. Chaque composante du système est dimensionnée en fonction des contraintes techniques du système. Les caractéristiques de ces composantes doivent être bien comprises pour déterminer la plage de fonctionnement du système.

IV.2 Principe de fonctionnement d'un lampadaire solaire :

L'énergie solaire accumulée tout le long de la journée sera utilisée en période d'obscurité par les lampadaires solaires pour éclairer les voies. En effet, les lampadaires solaires, au moyen de leurs panneaux photovoltaïques, reçoivent les rayonnements solaires puis les convertissent en énergie électrique qui est ensuite stockée dans des batteries. Au coucher du soleil ou en période d'obscurité, le système d'éclairage se met en marche et éclaire ainsi les lieux. Ce fonctionnement est contrôlé au moyen d'un dispositif électronique permettant de choisir le temps d'allumage du luminaire et de modifier ce temps selon l'énergie disponible dans les accumulateurs de charges. Le lampadaire solaire est constitué d'un mât sur lequel sont montés le module photovoltaïque et le luminaire ; les équipements électroniques et les batteries sont éventuellement logés dans sa base ou montés à une distance donnée en dessous des modules photovoltaïques. [15]

IV.3 PRÉSENTATION DU SITE

L'Université d'Adrar est située dans la région d'Adrar qui se situe dans le sud-ouest de l'Algérie, Adrar a une latitude de 27.82°N , d'une longitude de 00.18°W et d'une altitude de 263.8 m. elle est parmi les sites les plus intéressants pour les applications solaires avec un gisement qui dépasse le 7 kWh /m^2 et surface de 427 368 km^2 .

Notre système fonctionnant durant la nuit elle est composé des éléments suivants :

- modules solaires
- batterie solaires
- régulateur
- lampes (différent types de lampe.)



Figure IV.2.composant de Système d'éclairage Solaire

IV.3 Les besoin énergétique de système d'éclairage solaire

IV.3 .1 Présentation du system Cahier des charges

Les Saisons	Nombre d'heure d'éclaire	Nombre de lampe	puissance de lampe (w)	Surface Eclairé (m2)	Energie Eb (wh/j)
Hiver	13	30	35	6000	13650
Printemps	11	30	35	6000	11550
Eté	8	30	35	6000	8400
Aoutons	12	30	35	6000	12600

Tableau IV.1 Les besoins énergétiques de système d'éclairage

La consommation globale en éclairage est alors calculée de la façon suivante :

$$E_B = P_{lampe} \times N_h \times N_{br}$$

E_B : La consommation globale de système

P_{lampe} : Puissance unitaire de lampe

N_h : Nombre d'heure d'éclairé

N_{br} : Nombre de lampe utilise dans le système

➤ **En Hiver**

$$E_B = 35 \times 13 \times 30$$

$$E_B = 13650 \text{ Wh/j}$$

➤ **En Printemps**

$$E_B = 35 \times 11 \times 30$$

$$E_B = 11550 \text{ Wh/j}$$

➤ **En Eté**

$$E_B = 35 \times 8 \times 30$$

$$E_B = 8400 \text{ Wh/j}$$

➤ **En Aoutons**

$$E_B = 35 \times 12 \times 30$$

$$E_B = 12600 \text{ Wh/j}$$

Après cette étape nous avons connu le besoin énergétique de notre système dans toutes les saisons de l'année donc on peut passer à l'étape suivante.

IV.4 Dimensionnement du module photovoltaïque

La deuxième étape du dimensionnement d'un Système d'éclairage Solaire photovoltaïque autonome est le dimensionnement de son parc de modules photovoltaïques. Nous connaissons maintenant la quantité d'électricité nécessaire, et le temps dont nous disposons pour la produire. L'étape suivante consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir ces besoins. Il faut pour cela connaître l'ensoleillement de la région où se trouve l'installation, et adapter ces données à sa situation.

IV.4.1 Ensoleillement

L'ensoleillement varie selon la région et l'époque de l'année. Vous devez localiser votre installation sur les cartes suivantes afin de savoir quelle quantité d'électricité vos modules peuvent produire. Une fois localisée, il suffit de relever le coefficient d'ensoleillement correspondant. Si votre installation est susceptible de servir autant en hiver qu'en été, vous devez utiliser la carte du mois de Décembre, car c'est la période de l'année à laquelle vous aurez le moins de soleil et d'électricité.

Le tableau suivant présente des différentes valeurs de flux solaire moyen journalier pour les quatre-saisons de l'année (site d'Adrar)

Les Saisons	Le flux globale G (Wh/m2. jour)
Hiver	4500
Printemps	5500
Eté	7500
Aoutons	6500

Tableau IV.2 le flux solaire moyen journalier pour les quatre-saisons de l'Anne (site d'Adrar)

IV.4 .2 Calculer la quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour

Pour que notre système doit être satisfait il faut que $E_p > E_c$ donc nous avons introduire un facteur de perte K_p , la quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour donne par la relation suivante :

$$E_p = \frac{E_c}{K_p}$$

E_p : La quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour

E_c : La quantité d'énergie consommée par le système chaque jour

K_p : facteur de perte

➤ en Eté

$$E_p = \frac{8400}{0.8}$$

Les Saisons	Nombre d'heure d'éclaire	Nombre de lampe	La puissance de lampe	Energie EC (wh/j)	Energie produite Ep (wh/j)
Hiver	13	30	35	13650	17062,5
Printemps	11	30	35	11550	14437,5
Été	8	30	35	8400	10500
Aoutons	12	30	35	12600	15750

Tableau IV.3 la quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour solaire

IV.4 .3 Calcul de la puissance crête requise par l'installation

Les modules vont produire de l'électricité qui sera stockée dans les batteries pendant toute la durée de la charge. Mais ils vont également en produire durant la décharge. nous avons calculer la quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour. Pour connaître la puissance crête à installer, il ne reste plus qu'à diviser ce nouveau résultat par le coefficient d'ensoleillement.

$$Pc(w) = \frac{E_p \times 1000}{E_s}$$

P_c : Puissance crête de système

E_p : La quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour

E_s : L'énergie solaire journalière globale en (Wh/m²)

En Hiver

$$P_c = \frac{17062,5 \times 1000}{4500}$$

$$P_c = 3791,666667 \text{ Wc}$$

En Printemps

$$P_c = \frac{14437,5 \times 1000}{6500}$$

$$P_c = 2221,153846 \text{ Wc}$$

En Eté

$$P_c = \frac{10500 \times 1000}{7500}$$

$$P_c = 1400 \text{ Wc}$$

En Aoutons

$$P_c = \frac{15750 \times 1000}{5500}$$

$$P_c = 2863,636364 \text{ Wc}$$

La puissance crête à installer n'est plus la même dans les deux saisons, puisqu'il s'agit des consommations différentes et d'intensités de rayonnement solaire reçue sur notre capteur différente aussi. (C'est évident que l'ensoleillement d'hivers doit être inférieur à celui d'été).

Pour réaliser la simulation sous logiciel MATLAB de dimensionnement le système solaire il faut passe par les étapes suivant :

- a. Introduire les données de charge, systèmes d'éclairage et site utilisée
- b. Calculer les divers puissances et capacités ; E_c , E_p et P_c

➤ **la puissance crête à installer P_c (hiver)**

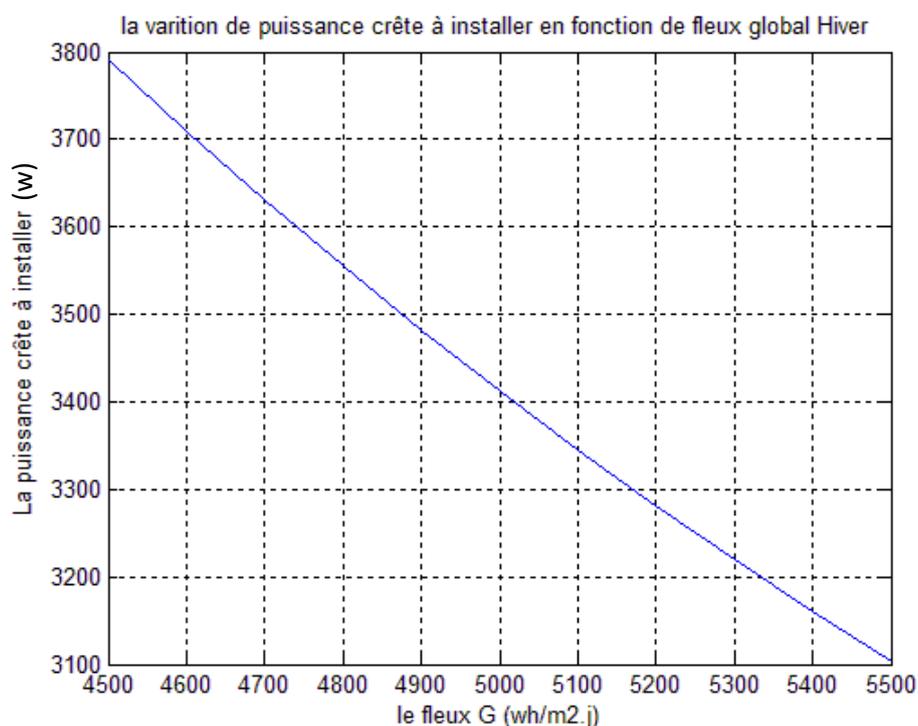


Figure IV.3 La variation de puissance crête à installer (w) en fonction de flux global Hiver

➤ la puissance crête à installer P_c (Été)

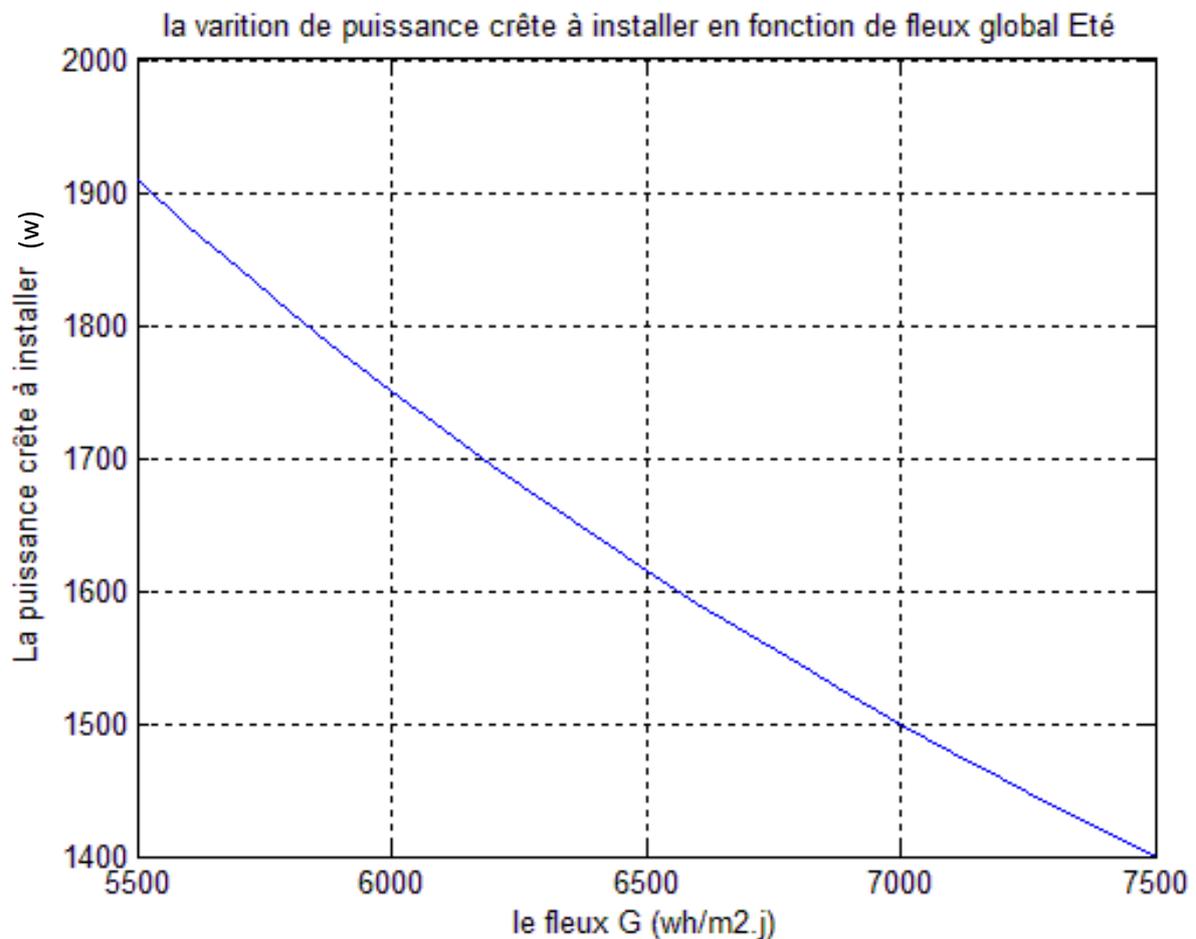


Figure IV.4 La variation de puissance crête à installer en fonction de flux global (Été)

La puissance crête à installer n'est plus la même dans les quatre saisons, puisqu'il s'agit de consommations différentes et d'intensités de rayonnement solaire reçue sur notre capteur différente aussi. (C'est évident que l'ensoleillement d'hivers doit être inférieur à celui d'été).

Nous avons simulé la variation de durée d'éclairage en fonction d'énergie pour différents types de lampes on obtient les résultats suivants

➤ Pour une lampe de 30 W

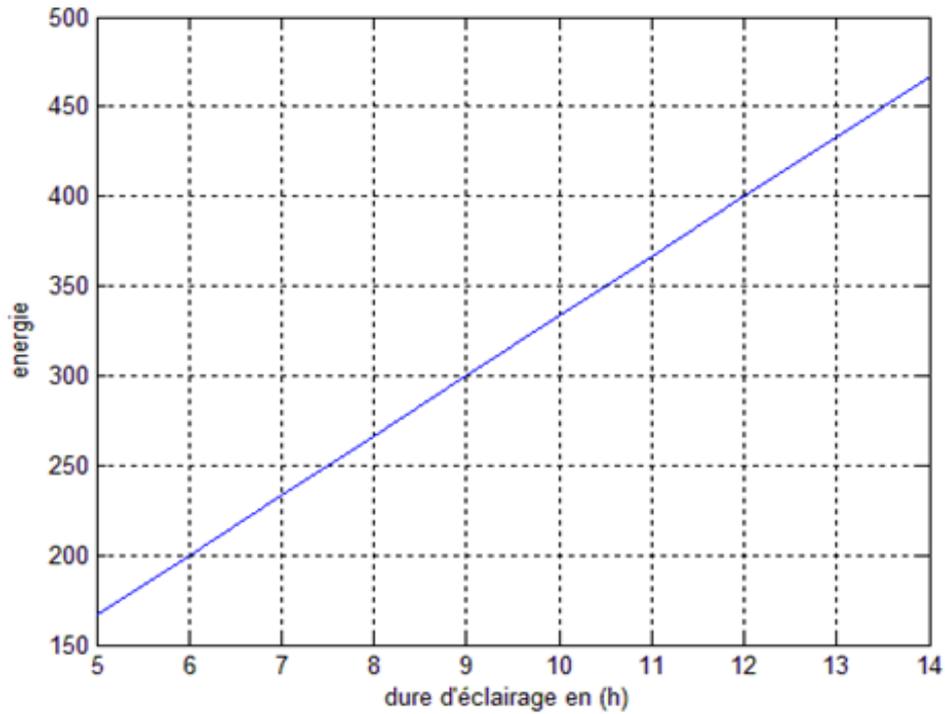


Figure IV.5 l'énergie consommée par le système en fonction de dure d'éclairage
Pour une lampe de 30 W

➤ Pour une lampe de 35 W

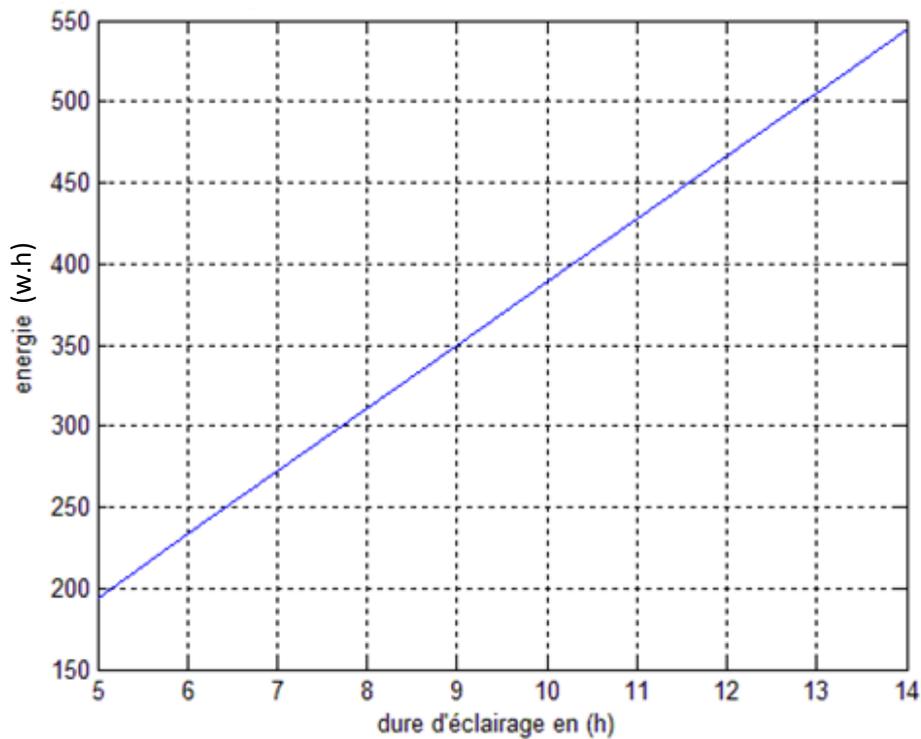


Figure IV.6 l'énergie consommée par le système en fonction de dure d'éclairage
Pour une lampe de 35 W

➤ **Pour une lampe de 40 W**

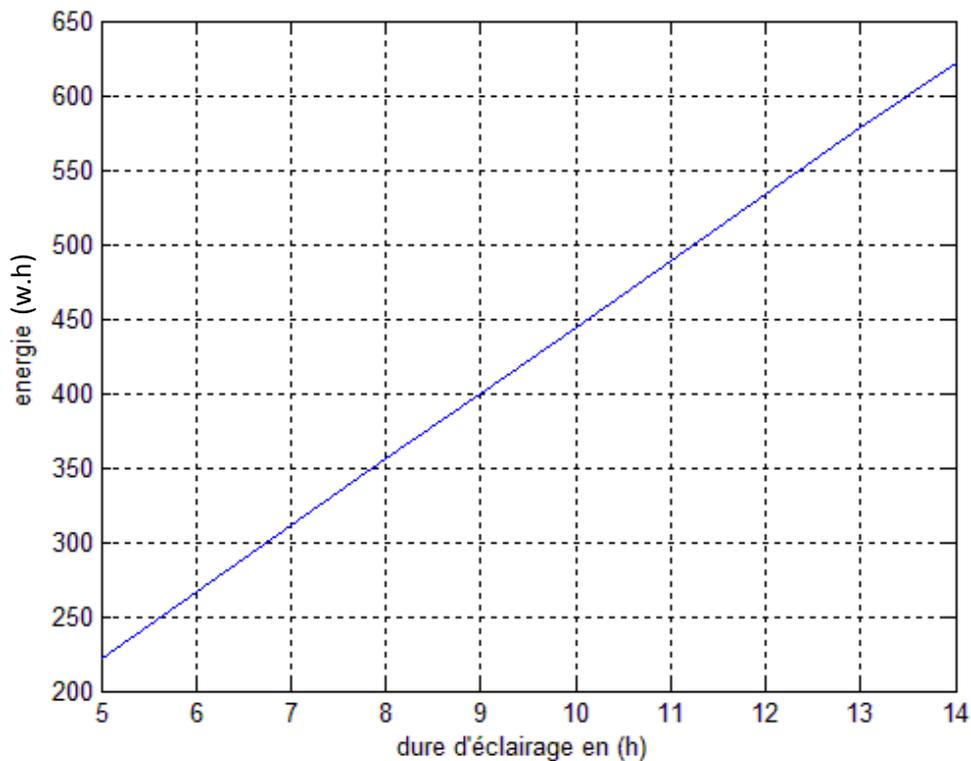


Figure IV.7 l'énergie consommée par le système en fonction de dure d'éclairage
Pour une lampe de 40 W

Nous remarquons que l'énergie consommée a une relation proportionnelle avec le type de lampe

IV.5 Dimensionnement de la batterie

Pour dimensionner les batteries de stockage, il ne reste plus qu'à se poser trois questions : quelle est la quantité d'énergie à stocker, quelle doit être l'autonomie de notre installation, et quelle est la profondeur de décharge maximum que nous avons imposé à les batteries ?

IV.5 .1 Energie stockée

On peut se dispenser de calculs en choisissant directement :

$$\text{Energie stockée} = \text{énergie consommée} = \text{énergie produite} ;$$

La quantité d'électricité dans une batterie (la capacité) s'exprime en Ampère-heure (Ah). Vous devez donc convertir vos Wh en Ah, sachant que $1\text{Ah} = 1\text{Wh} / \text{la tension du système (12, 24 ou 48V)}$.

IV.5.2 Autonomie

L'autonomie d'une installation est le nombre de jours pendant lesquels les batteries initialement chargées peuvent assurer les besoins en électricité sans que les modules ne fonctionnent.

Autrement dit, les batteries emmagasinent de l'énergie lorsque les modules sont éclairés.

Lorsqu'ils ne produisent plus (nuit, panne, mauvais temps ...), les batteries peuvent continuer de restituer cette électricité pendant quelques jours. Il faut donc se demander combien de temps on souhaite avoir de l'électricité en cas de problèmes. En général, on peut partir sur une base de quatre jours d'autonomie. Bien entendu, cela dépend fortement de l'usage que l'on a de son installation et des conditions météorologiques. Cependant, même lorsque le soleil est caché, les modules continuent de produire de l'électricité grâce au peu de lumière qu'ils reçoivent. Avec quatre jours d'autonomie en réserve, on peut donc affronter deux semaines de mauvais temps. Mais comme nous ne rencontrons pas ce problème d'autonomie solaire dans notre ville, et surtout parce qu'on est en train de dimensionner un cabanon généralement occupé en été, un jour d'autonomie suffit largement.

La saison	Nombre de jours autonomie(N)
Hiver	3
Printemps	1
Eté	1
Aoutons	2

Tableau IV.4 Nombre de jours autonomie

IV.5.3 Profondeur de décharge

Pour déterminer la profondeur de décharge que l'on veut imposer à sa batterie, il faut arbitrer entre deux facteurs : Tout d'abord, plus on permet aux batteries de se décharger profondément, plus on réduit le nombre de batteries nécessaires. En effet, une batterie que l'on décharge à 100% fournit autant d'énergie que deux batteries identiques que l'on décharge à 50%. On économise donc sur le coût initial de l'installation. Cependant, la durée de vie d'une batterie est directement proportionnelle à sa profondeur de décharge. Ainsi, une batterie que l'on décharge à 100% vivra deux fois moins longtemps qu'une batterie que l'on décharge à 50%.

Le juste milieu que l'on choisit généralement d'appliquer se situe donc entre 60 et 80% de décharge, ce qui permet de réduire le nombre de batteries tout en leur assurant une bonne espérance de vie.

IV.5 .4 Calcul de la capacité de stockage

Nous avons choisi une batterie de 12 v pour notre système est nous avons calculé la capacité de stockage de système par la relation suivante

$$C_S (Ah) = \frac{E_c \times N_a}{P_D \times U_b}$$

C_S : Capacité de stockage de système en (Ah)

E_c : Énergie consommé par le système

N_a : Nombre des jours autonomes

P_D : Profondeur de décharge maximale acceptable par la batterie

U_b : Tension de batterie utilise

Le tableau suivant résume la capacité de stockage de notre système pour chaque saison

La saison	Capacité de stockage de système en (Ah)
Hiver	2843,75
Printemps	1203,125
Eté	875
Aoutons	2625

Nous avons simulé la capacité de stockage en fonction d'énergie consommé par le system pour déférant période de l'Anne on obtint les résulta suivant :

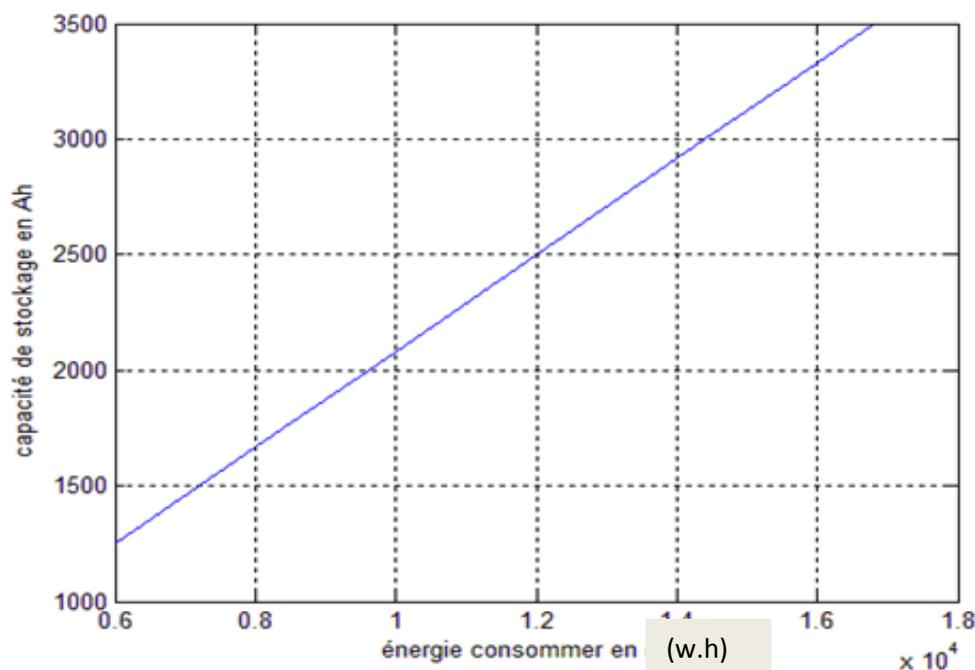


Figure IV.8 la capacité de stockage en fonction d'énergie consommé par le system pour déférant période de l'Anne

IV.6 Choix d'équipements

Après cette étape nous avons connu maintenant tous les besoins de notre système il reste de choisir un équipement qui respecte le rapport qualité/prix.

IV.6.1 Modules photovoltaïques

Sharp propose une gamme de type de modules photovoltaïques dont on a choisi celui qui possède 100 Wc de puissance : c'est le module de type : NA-F100 (P5). [26]

Caractéristiques mécaniques		Valeurs limites	
Cellule	Cellule tandem composée de silicium amorphe (α -Si) et de silicium microcristallin (μ c-Si)	Humidité (relative) de stockage	jusqu'à 90 %
Type de connexion	2 sous-modules montés en parallèle	Température de fonctionnement (cellules)	- 40 à +90 °C
Dimensions	1 165 × 970 × 46 mm (1,13 m ²)	Température de stockage	- 40 à +90 °C
Poids	18 kg	Tension maximale du système	1000 V CC
Type de sortie	Câble avec connecteur	Résistance mécanique maximale	2 400 N/m ²
Diodes bypass	1	Courant inverse	4 A

Caractéristiques électriques		Valeurs initiales			Valeurs nominales			
		NA-F100 (P5)	NA-F095 (P5)	NA-F090 (P5)	NA-F100 (P5)	NA-F095 (P5)	NA-F090 (P5)	
Puissance maximale	P_{max}	117,6 W _C	111,8 W _C	105,9 W _C	100 W _C	95 W _C	90 W _C	
Tension à vide	V_{OC}	65,9	64,9	63,9	64,9	63,9	62,6	V
Courant de court-circuit	I_{SC}	2,50	2,42	2,39	2,42	2,35	2,29	A
Tension au point de puissance maximale	V_{mpp}	52,6	51,9	50,4	47,8	47,5	47,2	V
Courant au point de puissance maximale	I_{mpp}	2,24	2,16	2,1	2,10	2,0	1,91	A
Rendement du module	η_m				8,8	8,4	8,0	%
NOCT					44	44	44	°C
Coefficient de température – tension à vide	αV_{OC}	- 0,30	- 0,30	- 0,30	- 0,30	- 0,30	- 0,30	% / °C
Coefficient de température – courant de court-circuit	αI_{SC}	+0,070	+0,070	+0,070	+0,070	+0,070	+0,070	% / °C

Figure IV.9 Caractéristiques techniques des différents types des modules Sharp [26]

Les caractéristiques électriques mesurées selon les conditions de test standardisées (STC) : rayonnement de 1 000 W/m², masse atmosphérique de 1,5, température des cellules de 25 °C.

Les caractéristiques de puissance sont données avec une tolérance de fabrication de $\pm 5\%$.

Conditions NOCT : rayonnement de 800 W/m², température ambiante de 20 °C, vitesse du vent de 1 m/sec. [26]

IV.6.2 Batterie solaires

La Batterie sélectionnée est de type GEL solaire VICTRON 100-100Ah, destinée au stockage de l'énergie solaire et éolienne.

La batterie possède les caractéristiques suivantes :

- ❖ Technologie : plaques planes GEL
- ❖ Tension nominale : 12V
- ❖ Capacité : 100 Ah en C10 et 110 Ah en C20
- ❖ Bômes : Cuivre, M8
- ❖ Tension de fin décharge: 10,8 V pour une batterie 12 V
- ❖ Dimensions en mm (L x l x H) : 522 x 238 x 240
- ❖ Poids : 66 Kg
- ❖ Très longue durée de vie (10 à 15 ans dans de bonnes conditions)
- ❖ Sans entretien pendant toute la durée de vie
- ❖ Batterie 100% étanche, idéale pour être transportée
- ❖ Garantie 24 mois
- ❖ Fabricant Hollandais [26]
- ❖ rgie solaire et éolienne. [26]



Figure IV.10 Batterie de type GEL solaire VICTRON 100-100Ah

IV.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons étudié un système d'éclairage public pour la faculté de technologie. Notre système, est formé de modules individuels d'une puissance nominale de 100 Wc chacun et destinés à l'alimentation de notre lampe qui consomme quotidiennement une énergie électrique qui se diffère d'une saison à une autre

CONCLUSION GENERALE

L'étude de dimensionnement est toujours confrontée par deux critères essentiels qui sont gisement solaire et la demande de l'énergie. Cette gestion d'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle utilisés. Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des panneaux solaire constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge à tout instant ainsi que la capacité de charge de la batterie. Ces deux éléments sont les plus importants en raison du coût élevé qu'ils totalisent (plus de 50% de prix de l'installation) et du degré de satisfaction.

Notre étude a apporté sur l'étude de système d'éclairage photovoltaïque de petite puissance à l'université d'Adrar.

En première partie, nous avons étudié généralement l'énergie solaire en deuxième partie, nous avons présenté une méthode pour dimensionner les systèmes PV puis on a fait une modélisation d'un système PV avec une simulation par logiciel MATLAB.

Dans la dernière partie, nous avons utilisé la méthode de dimensionnement de système PV/Batt, cette méthode permet de calculer le nombre des batteries qui sont associées avec un certain nombre de modules pour couvrir les besoins de l'éclairage à l'université d'Adrar.

D'après les résultats de simulation de couple optimal, nous avons remarqué que dans la saison été, le coût est moins cher par rapport aux autres couples de saisons.

Nous avons trouvé aussi qu'un panneau de 100 Wc peut satisfaire tous les besoins énergétiques de notre système pour toutes les périodes de l'année.

Résume

L'électricité solaire photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable ayant atteint la maturité technique. Ses caractéristiques en font une ressource de grand intérêt dans les nombreuses régions de notre planète notamment dans notre pays très ensoleillé. Pour cette raison et pour beaucoup d'autres, notre étude dans ce mémoire s'intéresse à une application photovoltaïque pour alimenter un système d'éclairage public à l'université d'Adrar à la fin de notre étude nous avons trouvé que un panneau de 100 Wc put satisfaire toute les besoin énergétique de notre système pour tous les période de l'Anne

Mots clés : système d'éclairage, Systèmes photovoltaïques, dimensionnement, batteries de stockage, rayonnement solaire,

الملخص

الكهرباء الشمسية تعتبر منبع الطاقات المتجددة التي تؤدي الى الاستقلالية التكنولوجية مميزاتا صنعت منها منبعا ذا فائدة كبيرة في العديد من مناطق كوكبنا بالخاص في بلادنا الجد مشمسة لهذه الحقيقة و عدة حقائق اخرى اهتمت دراستنا بتطبيق شمسي لتغذية نظام إضاءة خاص بكلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة درار ومن خلال دراستنا خلصنا الى ان استعمال لوح شمسي ذو 100 Wc لكل عمود كافي لتلبية الاحتياجات الطاقوية خلال جميع ايام السنة

الكلمات المفتاحية: اضاءة ,نظام كهروضوئي ,اشعاع شمسي , بطارية

REFERENCES BIBLIODRAPHIQUES

[1] J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, EllipseEdition Marketing. (2004).

[2] C, Vauge. Introduction générale sur les différentes énergies renouvelables, Techniques de l'Ingénieur, B263. (1982).

[3] A, H, Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).

[4] Z, Sen. Solar energy fundamentals and modeling techniques, Springer. (2008).

[5] Site internet http://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur_solaire_thermiquedifinition

[6] J, A, Duffie; W, A, Beckman. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980).

[7] A, Sfeir ; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).

[8] Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).

[9] O, Sotehi. Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire; thèse de magistère, Université de Constantine. (2009).

[10] P, H, Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Recherche et d'Édition, France. (2002).

[11] N, Bellel. Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur; thèse de magistère, Université de Constantine. (1989).

[15] <http://www.sonelgaz.dz>

[16] Ministère de l'énergie et des Mines, "Guide des Énergies Renouvelables", Édition 2007

[17] Brahimi (MEM), "Situation des énergies renouvelables en Algérie". Conférence sur la maîtrise de l'énergie et de l'environnement dans un contexte d'économie de marché, 2001, Hôtel Sheraton, Alger, Algérie.

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

[19] : I. BENSEFIA & S. MAMOUN, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'une Maison Autonome Appliquée au Site de Tlemcen », Mémoire de fin d'étude présenté pour l'obtention du Diplôme Licence LMD en Physique Energétique, Université de Tlemcen, Juillet 2008.

[20] : Falk ANTONY, Christian DÜSHNER et Karlheinz REMMERS, « Le photovoltaïque pour tous Conception et réalisation d'installation », livre édité par : INES), 2006.

[21] : Emmanuel RIOLET, « L'énergie solaire et Photovoltaïque pour le particulier », livre édité par : EYROLLES), 2009.

[22] : Anne LABOURET et Michel VILLOZ, « Energie Solaire Photovoltaïque », livre édité par : DUNOD), 2006.

[23]: Rick DEGUNTHER, "Solar Power Your Home for DUMMIES" livre édité par: Wiley Publishing, Inc, 2008.