

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERIE DE TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

CENTRE DE DEVELOPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES



MEMOIRE



DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER II EN ELECTRONIQUE

OPTION : MATERIAU ET DISPOSITIFS ELECTRONIQUES ET
PHOTOVOLTAIQUES

THEME

Etude et conception d'une application softwar sous matlab qui permet
de dimensionner les systemes photovoltaiques autonomes

Sujet proposé et dirigé par :

- Mme Amrouche Badia directrice de thèse
- Mr Belkaid Mohammed Said co-directeur de thèse.

Etudié et réalisé par :

- Mr Ibouchouken Nabil
- Mr Bouzegane Hamid

Promotion 2016-2017

Remerciements

Au terme de ce projet de conception, nous tenons à remercier toutes les personnes dont l'intervention a favorisé son aboutissement :

Nous tenons à exprimer nos sincères reconnaissances et notre profonde gratitude à notre directrice de thèse Mme, AMROUCHE BADIA, chercheur au Centre de Développement des Energies Renouvelable, d'abord pour nous avoir fait confiance, et pour son soutien morale, ses remarques, son encadrement efficace et ses conseils, ensuite pour nous avoir donné l'honneur de travailler à ses côtés, et pour nous avoir accompagnés pour nos premiers pas dans le monde de la recherche.

Un merci tout particulier à notre co-directeur de thèse, Monsieur Mohammed Saïd BELKAID professeur à l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou et doyen de la faculté des sciences de l'ingénierat qui, malgré son emploi du temps très chargé, a su nous faire profiter de son expérience de ses réflexions et de ses conseils dans le domaine de la microélectronique, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous remercions sincèrement Mademoiselle HATEM Djedjiga, maitre de conférences A, à l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, pour ses conseils et orientations.

Nous souhaitons ensuite remercier tous les membres de notre jury de soutenance pour avoir

Examine notre travail

Pour finir, nous souhaitons remercier avec toutes notre reconnaissance nos enseignants qui pendant tout notre cursus d'études ont inlassablement su, nous apporter leurs soutient et leurs conseils.

Il nous est aussi agréable de remercier toute l'équipe de département d'électronique

En fin nous tenons à remercier tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Résumé

La lutte contre le changement climatique, conjuguées aux récentes augmentations du prix des hydrocarbures, à relancer les efforts de recherche pour produire l'électricité en minimisant les émissions des gaz à effet de serre.

Le recours aux technologies solaires PV ; est dû à leurs nombreux avantages, mais comme le coût de ces installations PV reste élevé, un dimensionnement est donc nécessaire afin d'optimiser le rendement et le coût des installations PV et pour ce faire un logiciel de calcul des besoins est plus que nécessaire.

Donc Le but de notre travail est la contribution à la conception d'une application software sous matlab qui nous permettra de dimensionner les systèmes PV autonomes.

En première étape nous avons exposé des généralités sur le rayonnement solaire et les systèmes de conversion de l'énergie solaire.

Au second lieu nous avons définies les Système PV autonome, leurs avantages et inconvénients .dans ce même chapitre nous sommes aussi intéresser aux différentes étapes d'un projet photovoltaïque.

Nous avons ensuite Penché sur la Fin de vie des éléments photovoltaïque, et à leur remplacement ainsi que le recyclage.

Puis nous avons décortiqué la technique de dimensionnement d'un système PV autonome qui n'est qu'un procédé qui définit le nombre et la technologie du matériel à utiliser afin d'optimiser au maximum le rapport qualité et coût du projet et Les différents composants d'une installation.

Avant d'entamer la conception de notre application nous avons cerner dans un chapitre quelques logiciels conçu pour le dimensionnement, en dernier nous avons développé notre propre application software qui nous permettra de réaliser un dimensionnement fiable sans calculatrice, sans grand effort et dans des délais très très réduits.

Mots clés : PV : photovoltaïque, système de conversion : cellules solaires, composants d'une installation : modules, batteries, régulateur, onduleur.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur le rayonnement solaire et les systèmes de conversion de l'énergie solaire.	
Introduction.....	3
I.1.Le rayonnement solaire	3
I.2. Spectre solaire	3
I.3L'effet photovoltaïque	5
I.4 Les différentes technologies des cellules solaires	5
I.5 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	6
I.6 Paramètres Photovoltaïques	7
I.6.1Le courant de court-circuit I_{cc}	7
I.6.2Tension du circuit ouvert V_{co}	8
I.6.3 Le facteur de forme $\ll FF \gg$	8
I.6.4 caractéristique courant- tension, puissance-tension de la cellule solaire	9
I.7 schéma équivalent d'une cellule PV sous éclairnement	10
I.7.1 Cas d'une cellule PV idéale	10
I.7.2 cas d'une cellule PV réelle	11
I.8 association des cellules photovoltaïques	11
I.8.1 Association en série	11
I.8.2 Association en parallèle	13
I.8.3 Association en série/ parallèle	14
I.9 technologies pour la réduction des pertes.....	15
I.9. 1 couche anti reflet	15
I.9. 2 texturisation de la surface	15
I.9.3 Passivation des faces avant et arrière.....	16
I.10 modules solaires	16
I.101.assemblage des modules solaires	16
Conclusion.....	16
Chapitre II : Système photovoltaïque autonome	17
Introduction.....	17

II.1 définition.....	17
II.2 Les différents composants d'une installation PV autonome	18
II-2-1-les modules ou générateur photovoltaïque	19
II-2-2- le régulateur ou système de régulation de charge	21
II.2.3 les batteries	21
II.2.3 .1 Batteries solaire ouverte ou liquide en 12V ou 2V.....	22
II.2.3.2 Batteries solaires AGM et GEL à plaque en 12V	22
II.2.3.3 Batteries solaires tubulaires OPzV en élément de 2V	23
II.2.4 l'onduleur	23
II.5 domaine d'applications des systèmes PV autonome	25
II5.1 pompages.....	25
II.5.2 conservation de vaccins et éclairage des centres de santé.....	25
II.5.3 télécommunications.....	25
II.5.4 entreprises et institutions.....	26
II.5.5 électricité domestique	26
II.6 Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques autonomes.....	26
II.7 Les étapes d'un projet photovoltaïque.....	27
II.7.1 L'étude.....	27
II.7.2 l'installation	27
II.7.3 maintenance fin de vie des éléments PV, remplacement et recyclage.....	29
II.7. 3.1 Fin de vie des modules	29
II.7.3.2 Fin de vie des onduleurs	30
II.7.3.3 Fin de vie des batteries	30
Conclusion.....	31
 Chapitre III : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome	
Introduction	32
III.1 Définition	33
III.1.1 Choix du site	33
- a) La latitude Θ	33
- b) La longitude φ	34

- c) L'altitude.....	34
III .2 le Dimensionnement des éléments d'un système PV autonome	34
III .2.1 calcul du besoin en énergie d'une installation autonome	34
III.2.2 calcul de la puissance des modules photovoltaïques	35
III 2.2.1 Puissance crête d'un champ photovoltaïque	35
III 2.2.2 Notion du nombre d'heures équivalentes	35
III .2.3 les pertes en énergie	37
III .2.4 calcul du nombre de modules nécessaires	38
III .2.4.1 nombre de module en série.....	38
III .2.4.2 nombre de module en parallèle.....	38
III .2.5 Dimensionnement de système de stockage (batteries)	39
III .2.5.1 Détermination de la capacité de stockage :	39
III .2.5.2 Détermination du nombre d'élément batterie en série	39
III .2.5.3 Détermination du nombre de branche d'élément en parallèle	39
III .2.5.4 Détermination du nombre total d'élément batterie	40
III .4 .Dimensionnement du régulateur :	40
III .5 Dimensionnement de l'onduleur.....	40
III .5.1La puissance apparente	41
III .6 Dimensionnement des câbles :.....	41
III .6.1 Propriétés des câbles.....	41
Conclusion.....	42
IVEtat de l'art des logiciels de dimensionnement	
Introduction	43

IV.1 Le logiciel du dimensionnement photovoltaïque RETSCreen	43
IV.2 Aperçu sur le logiciel	43
IV.3 Moteur de décision RETSCreen.....	44
IV.4 Analyseur d'énergie virtuel.....	44
IV.5 Identificateur de projet intelligent.....	44
IV.6 Évaluateur de risques financiers.....	44
IV.7 Suiveur de performance.....	44
IV.8 Analyse de comparaison.....	44
IV.9 Analyse de faisabilité	44
IV.10 Analyse du rendement.....	45
IV.11 Analyse de portefeuille	45
IV.12 Données	46
IV.12.1 Feuilles de calcul Fichier.....	46
IV.12.2 Feuilles de calcul Lieu	46
IV.12.3 Feuilles de calcul Installation.....	46
IV.12.4 Feuilles de calcul Modèle énergétique	46
IV.12.5 Feuilles de calcul Analyse des coûts	46
IV.12.6 Feuilles de calcul Analyse des émissions	47
IV.12.7 Feuilles de calcul Analyse financière.....	48
IV.12.8 Feuilles de calcul Analyse de sensibilité et de risque.....	48
IV.12.9 feuille de calcul Analyse du rendement.....	48
IV.12.10 feuille de calcul de l'Analyse de perfection de régression.....	49
IV.12.11 Feuille de calcul du Rapport.....	50
IV.2 Le logiciel du dimensionnement photovoltaïque PVsyst.....	50
IV.2.1 Aperçu sur le logiciel	51
IV.2.2 Pré-dimensionnement	51

IV.2.2 Pré-dimensionnement	51
IV.2.4 Bases de données.....	52
IV.2.5 Outils.....	53
Conclusion.....	54

Introduction générale

De nos jours, la production mondiale d'énergie est réalisée à 74% à partir de combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz) à 20% par les énergies renouvelables (biomasse, solaire, éolien) et à 6% par le nucléaire. De nombreuses études sur l'appauvrissement des ressources fossiles convergent vers le résultat suivant : la qualité d'énergie fossile disponible diminuera à l'horizon 2020-2030 et sera épuisé avant la fin de ce siècle : donc notre avenir énergétique va dépendre des énergies renouvelables et le nucléaire.

Avec l'émergence d'une conscience collective voulant régler ce déficit et limiter les méfaits des énergies fossiles ainsi que l'impact du nucléaire sur l'environnement, et freiner le réchauffement climatique. L'énergie solaire, qui se caractérise par une absence totale de pollution, et par sa disponibilité, est une alternative très intéressante, et fait l'objet d'un grand intérêt ces dernières années. En effet, les systèmes qui utilisent cette formule d'énergie demande une légère maintenance et présente une bonne fiabilité de fonctionnement, une autonomie de plus en plus accrue, une résistance extrême aux conditions naturelles (température, humidités, vent, corrosion etc.), et donc une grande longévité.

Il apparaît, dès lors que l'énergie solaire peut apporter de réelles solutions aux divers problèmes qui se posent actuellement concernant le changement climatique et les crises énergétique.

L'énergie solaire est la source énergétique la plus abondante sur terre. C'est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement. Elle est à l'origine de la majorité des autres énergies renouvelables.

Le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire soit directement de l'électricité à l'aide d'un semi-conducteur photovoltaïque, soit de la chaleur solaire thermique pour le chauffage ou la production de l'électricité.

L'Algérie se trouve dans une zone géographique caractérisée par un gisement solaire très important surtout dans sa partie saharienne, elle dispose d'un gisement solaire important dans le monde. Plus de 2.000.000 Km² du pays reçoivent un ensoleillement de l'ordre de 2.500KWh/m²/an. Et du fait que cette source présente un intérêt particulier en tant qu'énergie renouvelable, la connaissance de ce gisement solaire est d'une importance capitale pour concevoir, dimensionner et optimiser les systèmes énergétiques solaires.

Les applications basées sur l'énergie solaire sont plus coûteuses que leurs équivalents utilisant les énergies fossiles qui sont vouées à l'épuisement en raison de leur forte consommation. Un dimensionnement optimum réduisant le coût global de ses installations photovoltaïques est recommandé afin d'éviter tout surdimensionnement inutile.

Pour dimensionner un système basé sur l'énergie solaire photovoltaïque, il est nécessaire de connaître la quantité d'énergie que reçoit le système de conversion. C'est à partir de cette donnée et de la demande d'énergie, que la taille de chaque élément du système puisse être optimisée.

Parmi les différents systèmes utilisant des sources d'énergie renouvelables, le photovoltaïque s'avère prometteur en raison de ses qualités intrinsèques : ses frais de fonctionnement sont très réduits, ses exigences d'entretien sont limitées, il est fiable, silencieux et est relativement facile à installer. De plus, dans certaines applications autonomes, le photovoltaïque est très pratique

comparée à d'autres sources d'énergie, en particulier dans les endroits difficiles d'accès et peu rentables pour l'installation de lignes électriques traditionnelles.

L'installation d'un système photovoltaïque, nécessite tout d'abord son dimensionnement, pour lequel il faut calculer à combien s'élève les besoins énergétique que nous comptons satisfaire et calculer par la suite, la puissance du champ photovoltaïque, satisfaisant ces besoins énergétiques. Lors du dimensionnement, on tiendra compte de l'ensoleillement le plus défavorable pour l'obtention d'un résultat concluant. Un système de batterie se chargera d'alimenter la charge pendant les périodes de faible ensoleillement ou dans l'obscurité.

L'étude qui nous a été proposée dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude, est axée sur la conception d'une application software à base de matlab, qui consiste à dimensionner les systèmes photovoltaïques autonomes.

Notre travail s'inscrit alors dans cette démarche à la compréhension de la technique de conversion de l'énergie solaire photovoltaïque par un semi-conducteur, puis s'imprégner des éléments qui constitue une installation autonome, en passant par quelques exemple sur l'état de l'art des logiciels de dimensionnement en photovoltaïque puis intervient notre application qui constitue le cœur de notre travail.

Chapitre I

Introduction

Dans ce chapitre nous allons décrire au premier lieu le rayonnement solaire puis les différentes technologies des cellules solaires et de leur fonctionnement ainsi que de la conversion photovoltaïque (effet photovoltaïque), l'association des cellules jusqu'au modules et des différentes technologies limitant les pertes.

I.1. Le rayonnement solaire :

Le rayonnement direct parvient directement de l'angle solide délimité par le disque solaire. Il est mesuré par un pyréliomètre qui suit la course du soleil et s'y trouve toujours perpendiculaire. Dans ce contexte, un programme de calcul du rayonnement direct sous Excel pour les 48 wilayas d'Algérie a été élaboré.

I.2. Spectre solaire :

Le spectre du soleil c'est sa décomposition en longueurs d'onde ou << couleurs >>. La lumière solaire est en effet composée de tous de rayonnement de couleurs différentes, caractérisées par leur gamme de longueur d'ondes. Les photons, grains de lumière qui composent ce rayonnement électromagnétique, sont porteurs d'une énergie qui est reliée à leur longueur d'onde par la relation (1) [1] :

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (1)$$

h : constante de Planck vaut : $6.62 \cdot 10^{-34}$ J.S

ν : fréquence en Hz

c : vitesse de la lumière dans le vide vaut : $3 \cdot 10^8$ m/s

λ : longueur d'onde en M

C'est cette relation, mise à jour par Louis de Broglie en 1924 qui a confirmé la nature à la fois corpusculaire et ondulatoire de la lumière : présence de corpuscules << photons >> et propagation d'ondes avec une fréquence de vibration et une longueur d'onde.

Une courbe standard de la répartition spectrale du rayonnement solaire extraterrestre, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom d'AM0.

Sa distribution en énergie est répartie dans le tableau suivant [1].

Ultraviolet UV	$0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$	6.4%
Visible	$0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$	48.0%
Infrarouge IR	$0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$	45.6%

Tableau n°1 : répartition spectral du rayonnement solaire.

On représente le rayonnement par un spectre donnant l'irradiance en fonction de longueur d'onde (Figure 1). Pour le soleil, ce spectre est comparable à celui d'un corps noir à température d'environ 5800 K.

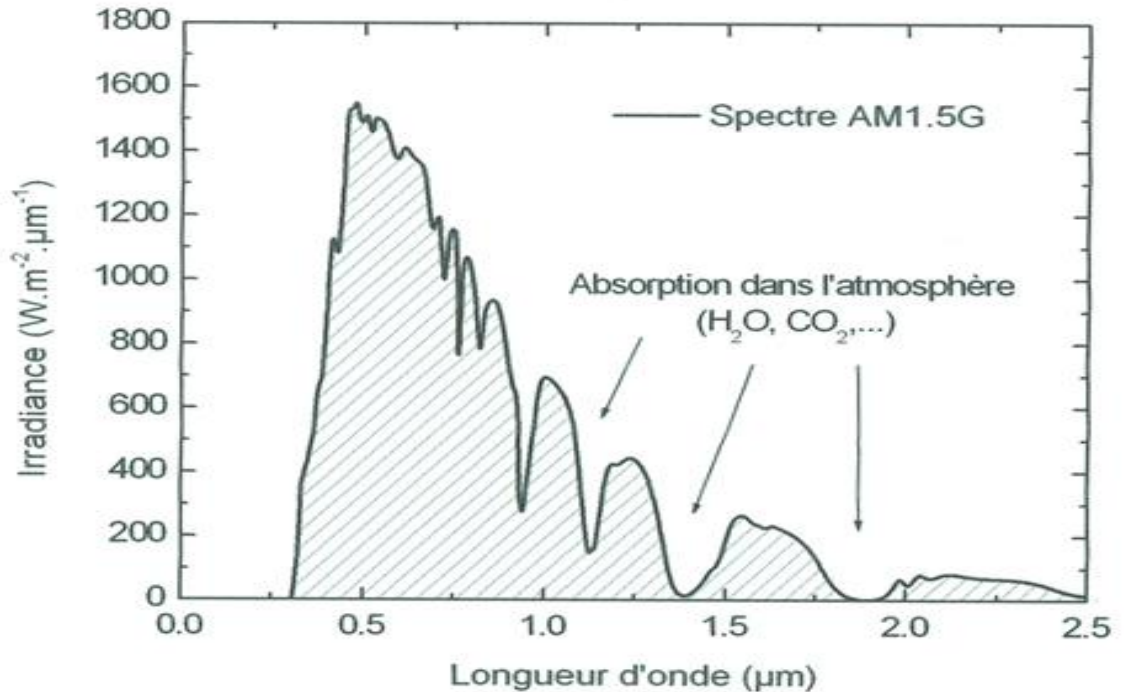


Figure 1 : spectre représentant l'irradiance sur terre (AM 1.5G).

L'absorption d'un rayonnement dans un matériau s'explique en effet simplement par l'échange d'énergie entre les atomes du matériau et corpuscules de la lumière, le coefficient d'absorption α (en m⁻¹) dépend de la longueur d'onde des photons incidents, ainsi que du coefficient d'extinction K , selon la relation (2).

$$\alpha = 4\pi k / \lambda \quad (1)$$

$$E = h\nu = hc / \lambda \quad (1)$$

Les photons les plus énergétiques sont donc absorbés en totalité à proximité immédiate de la surface éclairée. Une partie des photons moins énergétiques peut traverser la cellule sans être absorbée [1.2].

I.3L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique qui permet la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique, il a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel et son fils Edmond Becquerel. L'effet photovoltaïque (photoélectrique) provoque sur certains matériaux l'émission d'une petite quantité d'électricité lorsque qu'ils sont exposés à la lumière, pour cela il faut que l'énergie des photons incidents soit transmise à des porteurs de charge (électrons ou trous) dans le matériau[2].

I.4 Les différentes technologies des cellules solaires :

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque (plusieurs types de cellules solaires). L'organigramme figure I-6 résume les principales technologies.

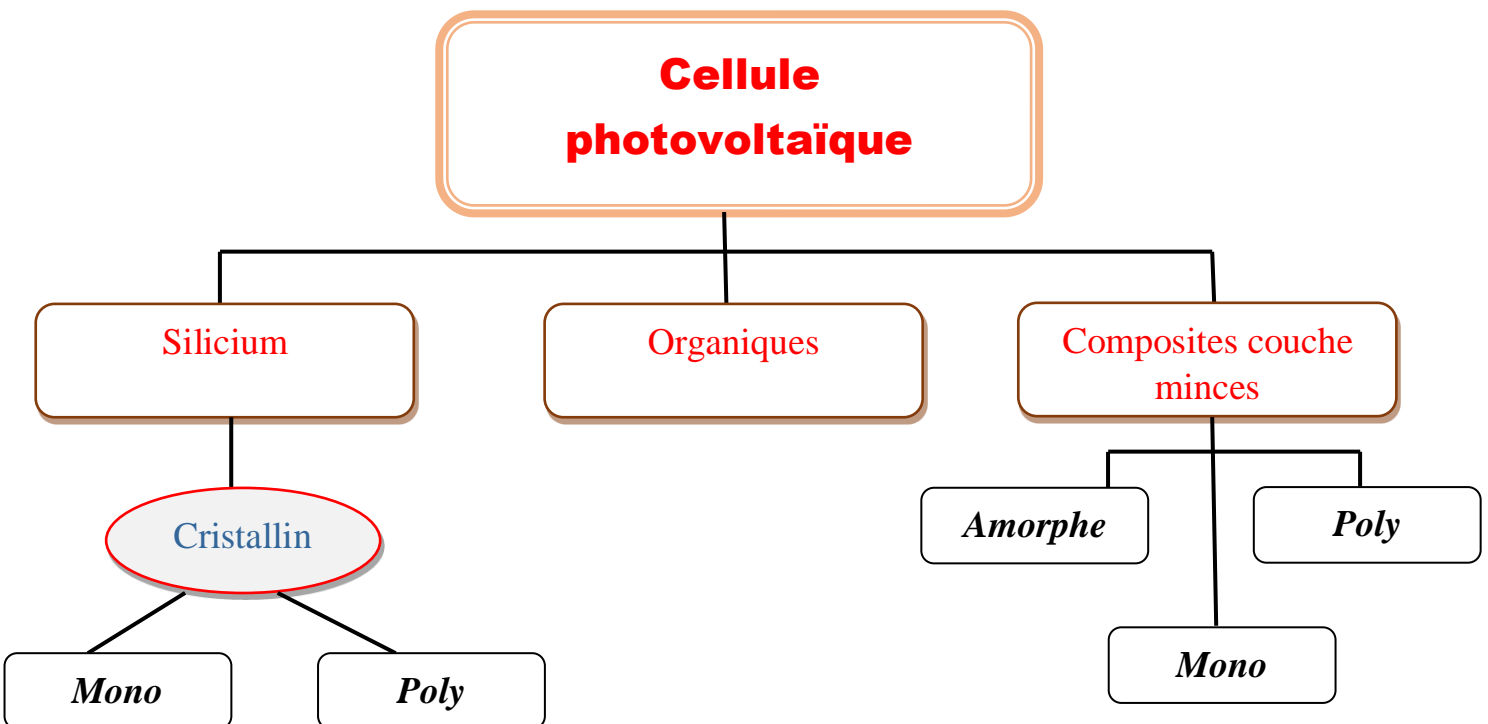


Figure 2 . Organigramme des différentes technologies

Plus de 80% de la production mondiale basé sur la technologie du silicium comparé aux différentes technologies, elle reste toujours la mieux maitrisée jusqu'à nos jours.

I.5 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par un matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électron-trou dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement de courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.

Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électron/trous créés est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN.

D'autres structures, comme la hétérojonction et les Schottky peuvent également être utilisées.

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure (3)

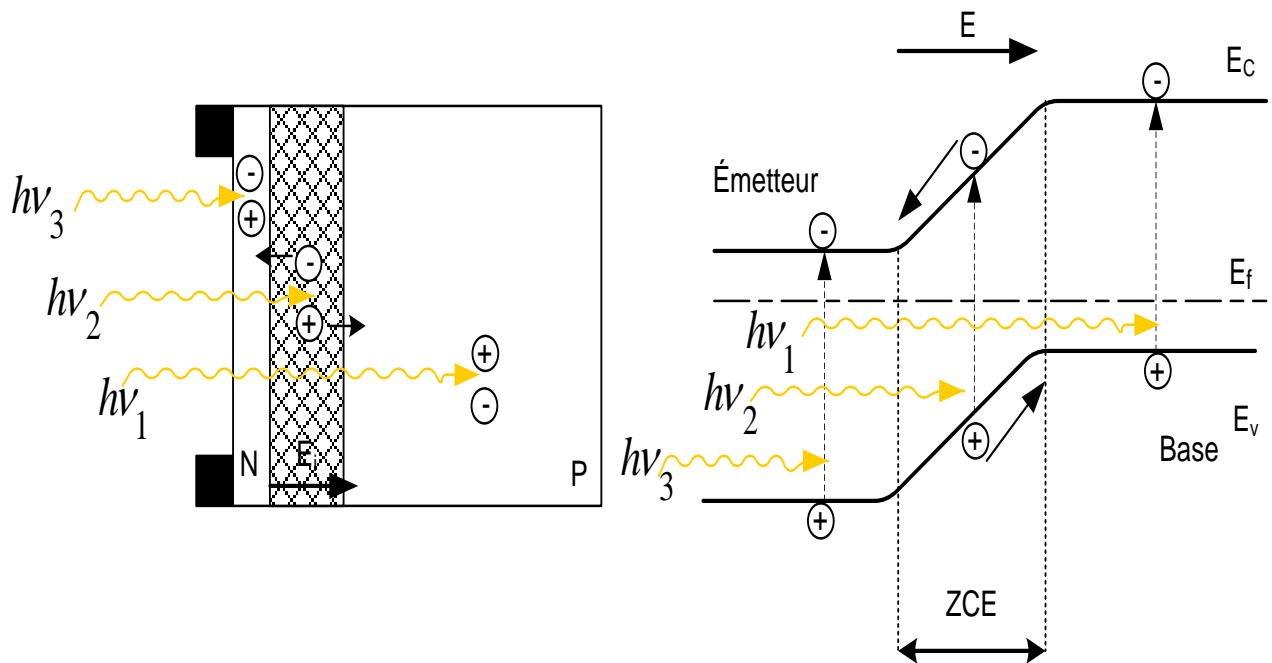


Figure 3 : structure (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque.

Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P, et dans les zones de charge d'espace. Les photo-porteurs auront un comportement différent suivant la région :

- ✓ Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espèce sont envoyés par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) ou ils seront majoritaires. On aura un photocourant de diffusion.
- ✓ Dans la zone de charge d'espèce, les paires électron/trou créées par les photons incident sont dissociées par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P, on aura un photocourant de génération [3].

I.6 Paramètres Photovoltaïques :

I.6.1 Le courant de court-circuit I_{cc} :

On définit par η_Q le rendement quantique ou réponse spectrale qui peut être exprimé par la relation suivante :

$$\eta_Q = \frac{J_{ph}}{qF(\lambda)[1 - R(\lambda)]}$$

J_{ph} : Densité du photocourant fournie par la cellule

$F(\lambda)$: Le flux de photons reçu par la cellule

$F(\lambda)[1 - R(\lambda)]$: Le flux de photons qui participent à l'effet photovoltaïque

$R(\lambda)$: Le coefficient de réflexion de la surface

On appelle courant de court-circuit le courant qui circule dans une cellule solaire soumise à un flux de photons $F(\lambda)$ sans application de tension. Il est donné par la relation suivante :

$$J_{SC} = q \int_0^{\infty} F(\lambda)[1 - R(\lambda)] \eta_Q \cdot d\lambda$$

Et On le mesure en branchant les bornes de la cellule directement à un ampèremètre.

I.6.2 Tension du circuit ouvert V_{co} :

Elle est obtenue en mesurant la tension aux bornes de la photopile placée sous une source lumineuse sans aucun récepteur. Elle est de l'ordre de 0.5 à 0.7 V pour une cellule élémentaire et elle dépend des matériaux, des structures et des technologies d'élaboration de la cellule et

varie avec l'éclairement et la température. On obtient cette tension en annulant le courant I dans l'expression de la caractéristique $I(V)$, soit :

$$I = 0 \Rightarrow I_S - I_{ph} = 0 \Rightarrow V_{co} = \frac{KT}{q} \text{Ln} \left(\frac{I_{ph}}{I_S} - 1 \right)$$

Pour

$$I_{ph} \square I_S \text{ (Fort éclairement)}$$

$$V_{CO} = \frac{KT}{q} \text{Ln} \left(\frac{I_{ph}}{I_S} \right)$$

En dessinant la caractéristique courant-tension d'une cellule dans l'obscurité et sous éclairement, il est possible d'évaluer les performances et le comportement électrique des cellules photovoltaïques : la densité du courant de court-circuit J_{sc} , est obtenue sur la caractéristique pour une tension de 0V. Elle est proportionnelle à l'éclairement incident.

I.6.3 Le facteur de forme <<FF>> :

Le Facteur de remplissage, ou facteur de forme (FF) est le rapport des aires de ces deux rectangles.

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{OC} \cdot J_{SC}} = \frac{V_{\max} \cdot J_{\max}}{V_{OC} \cdot J_{SC}}$$

J_{\max} et V_{\max} désignent les coordonnées du courant et de la tension qui maximisent la puissance délivrée par la cellule, soit $P_{\max} = J_{\max} V_{\max}$ (rectangle gris foncé sur la figure 4). Plus cette zone rectangulaire est grande, plus la caractéristique ressemble à un rectangle d'aire $V_{oc} \times I_{sc}$

Le rendement de conversion photovoltaïque η s'exprime par le rapport :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_i} = \frac{J_{SC} \cdot V_{CO}}{P_i} \cdot FF$$

Où P_i est la puissance lumineuse incidente (W/cm^2). Le rendement, souvent exprimé en pourcent, est un paramètre clef de productivité des cellules [4]. ,

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit, la tension de circuit ouvert. Ces derniers dépendent de :

- propriétés spécifique du semi-conducteur, tels que : le gap, les coefficients d'absorption et réflexion, la longueur de diffusion des porteurs et la vitesse de recombinaison en surface.
- Paramètre technologiques, tels que : la largeur de la ZCE, la profondeur de la jonction ou la présence d'une résistance parasite.

I.6.4 caractéristique courant- tension, puissance-tension de la cellule solaire :

La caractéristique courant-tension, puissance-tension de la cellule solaire à l'obscurité et sous éclairément est montrée sur la figure ci-dessous [5].

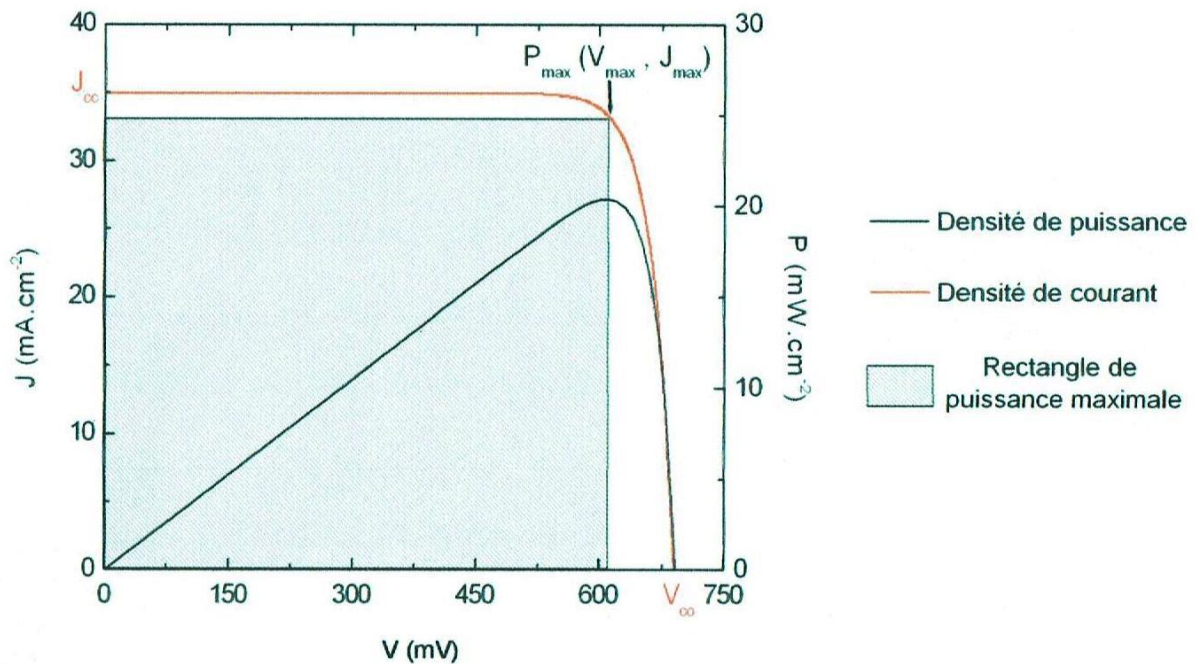


Figure 4: le rendement théorique maximal en fonction de la de bande interdite

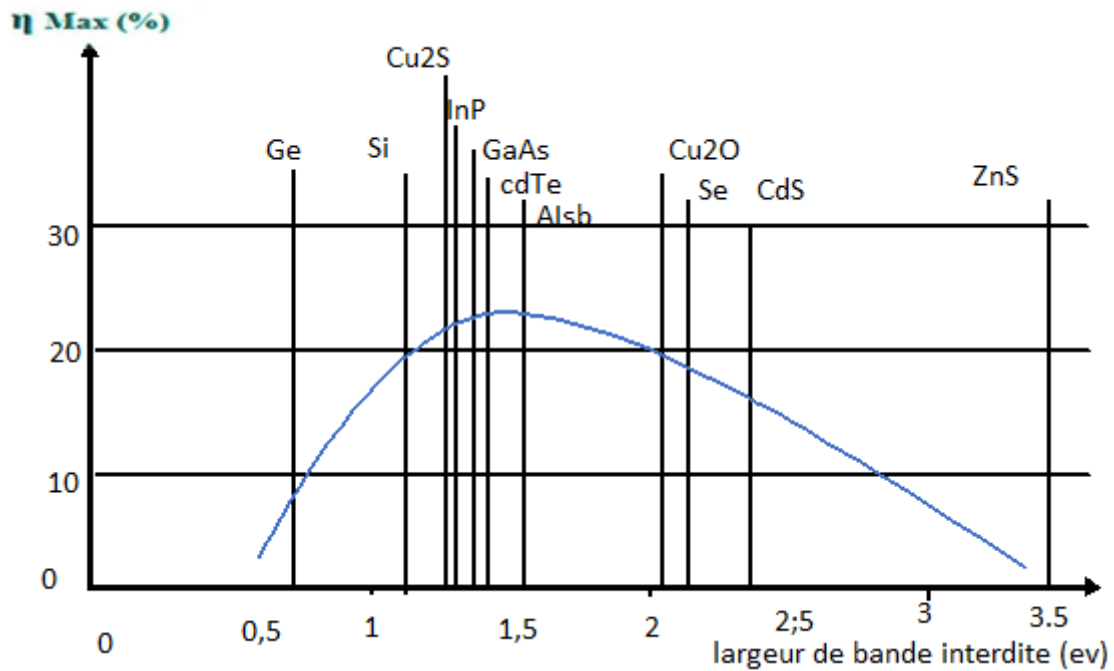


Figure 5 : Rendement théorique maximal des matériaux photovoltaïques en fonction du gap

I.7 schéma équivalent d'une cellule PV sous éclairnement :

I.7.1 Cas d'une cellule PV idéale :

Un schéma équivalent de la cellule photovoltaïque idéale est composé d'une source de courant I_{ph} associée à une diode en parallèle représentant la jonction PN comme le montre la figure 5 [5].

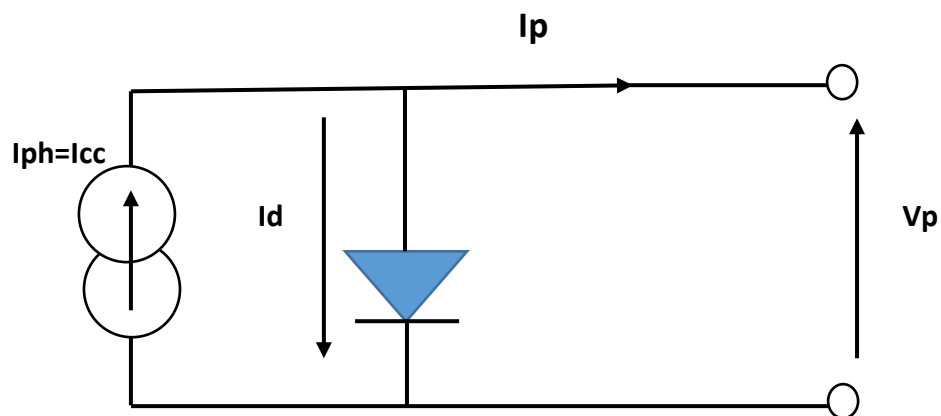


Figure 6: schémas équivalent d'une cellule idéal

I_d : courant de la diode

I_p : courant de charge

V_p := tension de la charge

I.7.2 cas d'une cellule PV réelle :

Dans la pratique le phénomène de conversion photovoltaïque observe différentes pertes qui réduisent considérablement le rendement de la conversion. On peut citer ; l'énergie perdue lors de recombinaison des porteurs, les pertes par conduction, l'énergie excédante des photons ($E > E_g$) , énergie perdue ($E < E_g$) et l'énergie des photons réfléchis par les capteurs.

On tiendra compte des pertes internes de puissance en ajoutant au modèle de la cellule idéale deux éléments dissipatifs (figure 6) ; [5].

- Une résistance série R_s représentant les diverses résistances de contacts et de connexions
- Une résistance shunt R_{sh} en parallèle caractérisant les divers courants de fuites

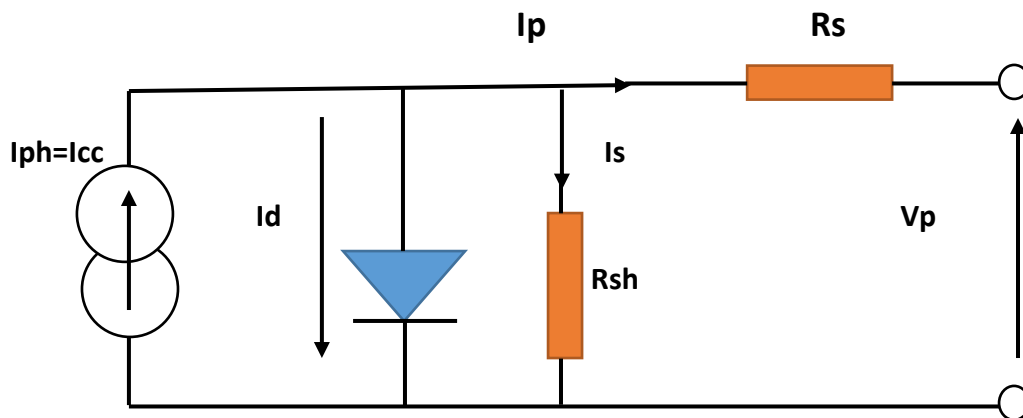


Figure 7 : schéma équivalent d'une cellule solaire réelle.

I.8 association des cellules photovoltaïques :

I.8.1 Association en série :

Le regroupement en série permet d'augmenter la tension de sortie. Les cellules se voient traverser par le même courant et la caractéristique résultante est obtenue par l'addition des tensions (figure 7). Pour un groupement de n cellules montées en série (figure 9), la tension U_s a pour expression générale [5].

$$U_s = n \cdot U_c$$

Avec U_c : tension fournie par une cellule.

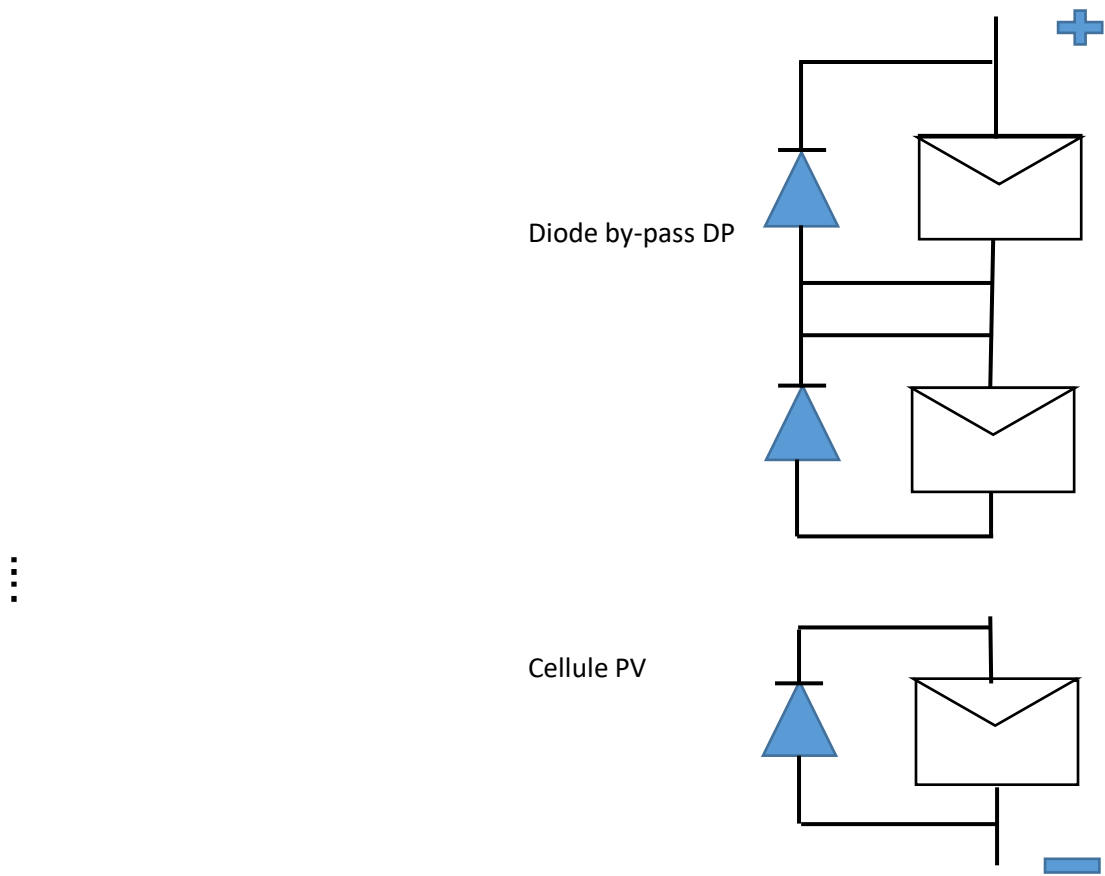


Figure 8 : mise en série des cellules ; protection par diode by-pass.

Le rôle de ces diode by-pass est le maintien de la tension inverse appliquée à la cellule ombrée à moins de 10v cette dernier est câbler en parallèle par groupe de cellules [5].

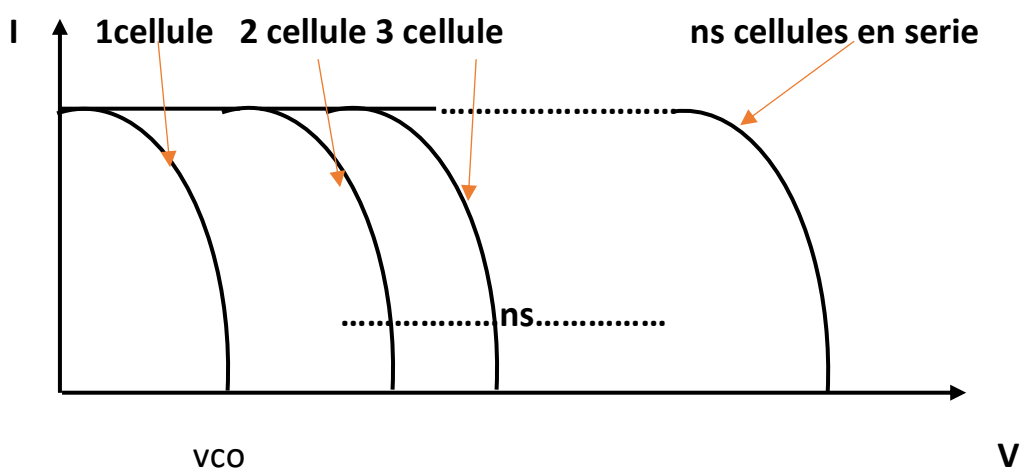


Figure9 : caractéristique électrique d'une n cellules (en série)

I.8.2 Association en parallèle : Le regroupement en parallèle (figure 9) permet d'augmenter le courant de sortie. Pour un regroupement de n cellules montées en parallèle (figure 10), le courant de sortie I_s a pour expression générale : [5].

$$I_s = n \cdot I_c$$

Avec I_c : le courant fourni par la cellule.

Pour ce regroupement, la tension est commune à toutes les cellules.

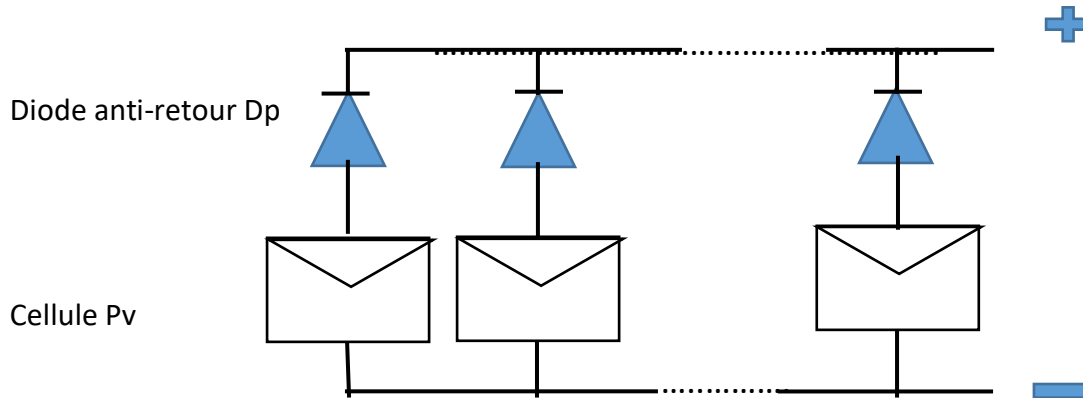


Figure10 : Mise en parallèle des cellules et protection par diode anti-retour.

Ces diodes jouent également le rôle de blocage du courant pouvant s'écouler de la batterie vers les cellules. [5].

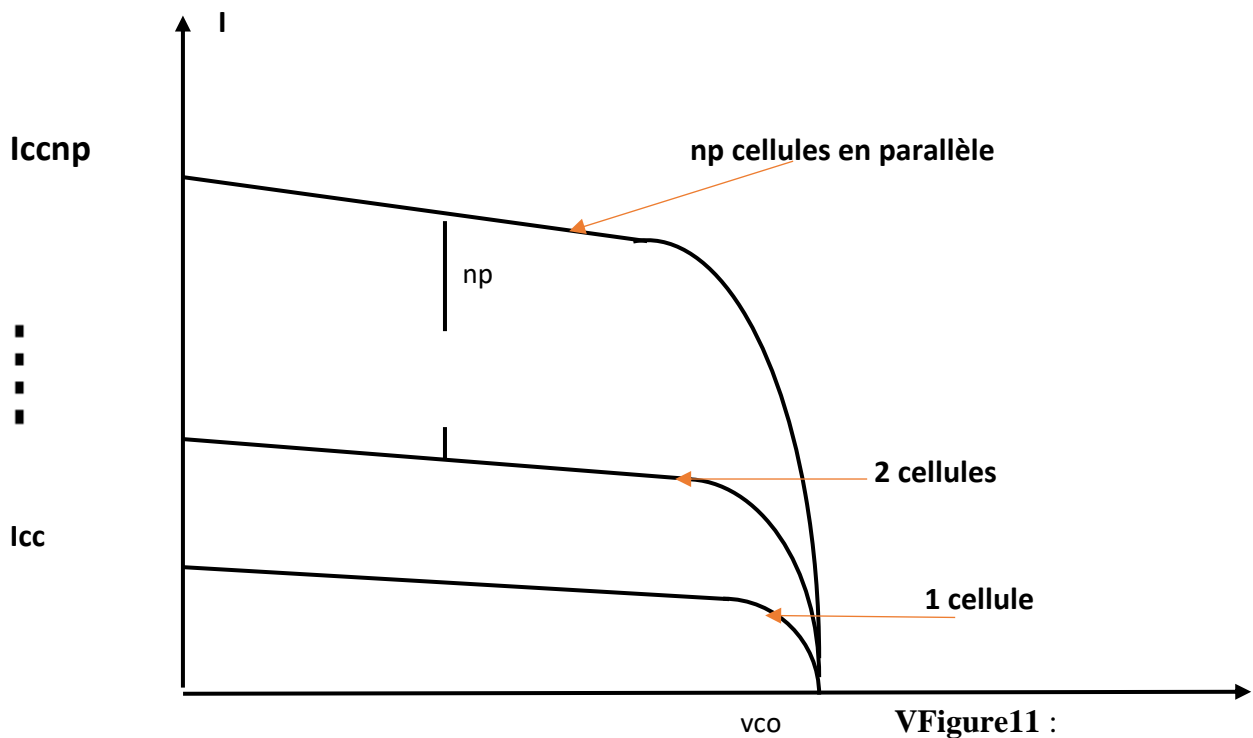


Figure11 : caractéristique résultante d'un groupement np cellules en parallèle

I.8.3 Association en série/ parallèle :

Le regroupement en série/parallèle de cellules photovoltaïques (figure 11) permet d'obtenir les courants et tensions désirés [5]. .

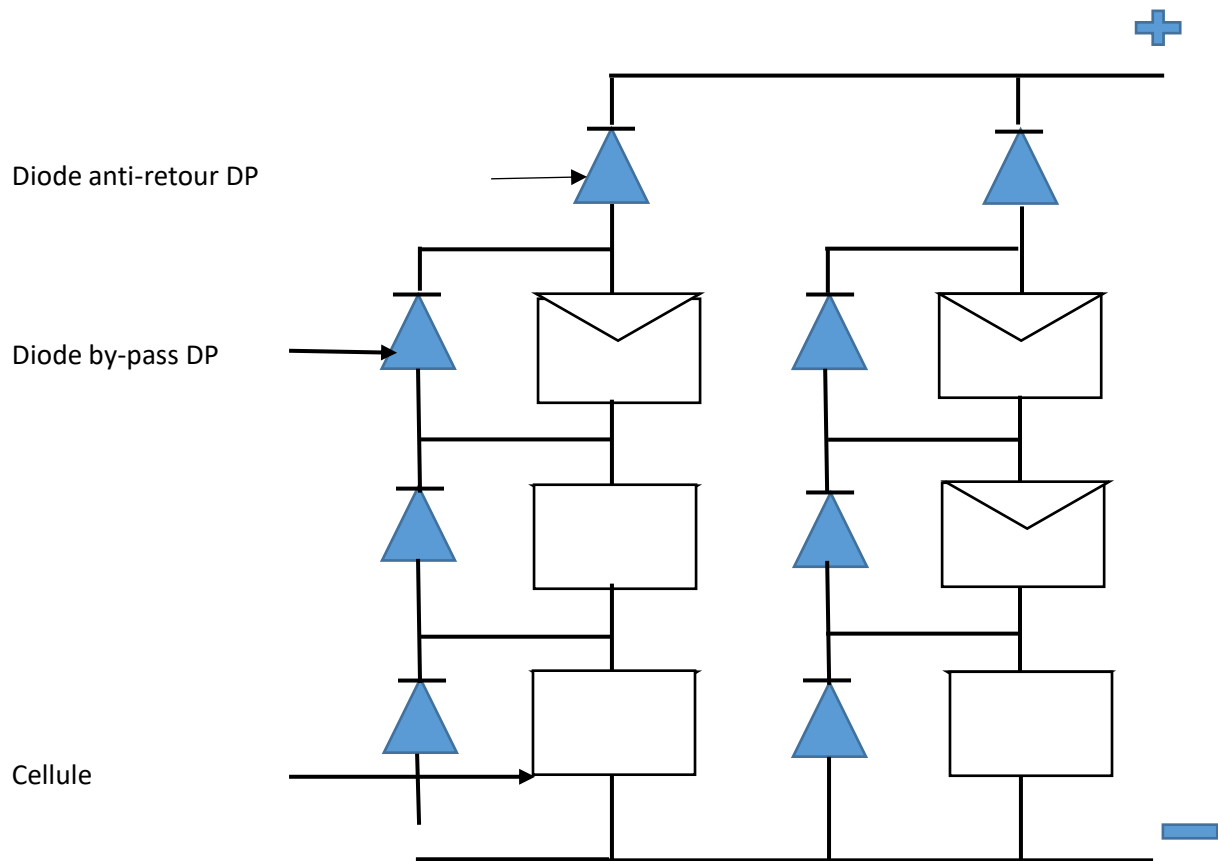


Figure 12 : Mise en série / parallèle

I.9 technologies pour la réduction des pertes

Comme nous l'avons vu précédemment le fonctionnement des cellules Pv est basé sur 03 mécanismes :

- L'absorption des photons
- la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique
- collecte de cette énergie à un circuit extérieur

Chacun de ces mécanismes engendre des pertes, et la partie suivante présente les principaux composant utilisés à ce jour pour améliorer le rendement des cellules.

I.9.1 couche anti reflet

Pour minimiser la réflexion de la lumière lors de l'absorption, une couche anti reflet est utilisée. Le principe d'action des couches anti reflet est basé sur l'interférence des faisceaux lumineux dans les couches diélectrique minces [6].

I.9.2 texturisation de la surface

La texturisation du silicium est utilisée pour diminuer la réflectivité de la surface de la cellule. Cette opération vise à développer en surface un relief micrométrique, généralement de forme pyramidale.

La longueur d'onde de la lumière incidente étant inférieure aux dimensions des structures ainsi réalisées, les rayons incidents suivants les lois de l'optique géométrique.

Le relief de la surface entraine une baisse de la réflexion en face avant :

Un rayon arrivant a incidence normale par rapport au plan de la cellule sur une pyramide, sera réfléchi sur la face d'une pyramide adjacente, cette double réflexion sur les pyramide diminue le coefficient de réflexion totale, d'autre part, un rayon d'incidence normale sera transmis dans la cellule avec un angle de réfraction Θ différent de 0° , le trajet de ce rayon au sein de silicium sera donc augmenter d'un facteur $\frac{1}{\sin \Theta}$ par rapport au cas d'une surface plane est perpendiculaire à l'éclairement, ce qui aura pour effet d'augmenter la part de photon absorbé par le matériau .Pour finir, la texturisation, entraine un piégeage plus important de la lumière pénétrant dans la cellule, sur la face arrière de la cellule, il existe un angle d'incidence critique Θ_c a partir duquel le rayon est totalement réfléchi et prolonge son trajet au sein de semi-conducteur, augmentant la aussi l'absorption des photons, ce phénomène est particulièrement important dans le cas des cellules de faibles épaisseurs, et pour être renforcer une texturisation de la face arrière ou une couche anti reflet sur cette même face[6].

I.9.3 Passivation des faces avant et arrière

La surface des semi-conducteurs contient une densité importante de défauts (liaison pendantes, impuretés, etc.) Entraînant des pertes non négligeable lié à la recombinaison en surface, la passivation consiste à améliorer les qualités électronique de la surface et de volume de matériau en neutralisant l'effet de ces défauts électriquement actifs, différentes couches de passivation sont utilisées en photovoltaïque mais la principales est l'oxyde de silicium [6]. .

I.10 modules solaires

Le module photovoltaïque est par définition un ensemble de photopile assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière, en effet une photopile élémentaire ne génère pas suffisamment de tension (entre 0,5V et 1,5V) Selon les technologies, il faut presque toujours plusieurs photopiles en séries pour générer une tension utilisable.

I.10.1.assemblage des modules solaires

Pour disposer de plusieurs centaines de watts, voir kilo watts et même méga watts, il est nécessaire d'assembler les modules PV.Pour l'obtention d'une grande tension. Le montage ce fait en série pour l'augmentation de la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. L'interconnexion des modules entres eux série-parallèle nous permet d'obtenir une puissance encore plus grande.

Conclusion

Dans ce chapitre ; nous avons rappelé quelques notions sur le rayonnement solaire, et son application dans le domaine photovoltaïque. Nous avons ensuite explique le fonctionnement des cellules photovoltaïque et leurs caractéristiques ainsi que les paramètres limitant leur rendement et leur cout. Puis nous avons abordé les différentes technologies des cellules photovoltaïques. Dans le chapitre suivant, nous présenterons les Système photovoltaïque autonome.

Chapitre II

II Système photovoltaïque autonome :

Introduction :

Dans la plupart des installations photovoltaïque on distingue deux type de système, l'un est connecté au réseau, et l'autre est un système autonome, car on a besoin de l'énergie durant les périodes où il n'y a pas de soleil (nuit ou jour sombre) c'est pourquoi on a recours dans la plupart des cas à un accumulateur d'énergie (batteries), il existe aussi un système autonome sans accumulateur ou système autonome au fil du soleil , ce dernier produit de l'énergie électrique par les modules solaires qui est directement utilisée par le récepteur, mais ils sont beaucoup plus rares, par exemple des pompes à eau, systèmes utilisés dans les pays arides ou désertiques ou des systèmes de ventilation ou séchage, ou les relais de télécommunication, on a également alimenter des tunnels en ventilation et éclairage , fonctionnant au fil du soleil .

Le photovoltaïque autonome est un choix de vie: il est particulièrement agréable de pouvoir s'éclairer, écouter de la musique, utiliser un portable ou consulter internet dans des lieux éloignés, loin de tout réseau électrique ou groupe électrogène.

Dans ce chapitre nous intéresserons principalement à des systèmes PV autonomes, et on analysera plus en détail les différentes composante et domaines d'application de ces systèmes ainsi que leurs avantages et inconvénients.

II.1 définition

Une installation photovoltaïque est dite autonome- ou isolée quand elle n'est pas reliée à un réseau de distribution. Le système PV autonome permet de fournir du courant électrique a des endroits où il n'y a pas de réseau, elle est composées de panneaux PV et dont le système de stockage garantit une énergie électrique même en cas de faible éclairage ou d'obscurité, étant donné que le courant fourni par le générateur PV est un courant DC, si l'installation de l'utilisateur requiert du courant AC, un onduleur est donc nécessaire, un système PV autonome se révèle particulièrement adapté pour des applications comme une pompe dans le jardin, éclairage en zones isolées, l'alimentation de bornes téléphonique le long de l'autoroute, le pompage de l'eau, etc... Pour ses applications il n'est pas toujours possible de mettre un réseau d'alimentation classique, soit à cause de contraintes techniques, soit pour des raisons économiques [11]. En pareil cas un raccordement au réseau serait très chère et même couterait plus que l'installation elle-même. Le système autonome doit être capable de fournir du courant aux consommateurs pendant la période de l'année la plus défavorable en irradiation solaire. Par ailleurs, dans une configuration autonome, le champ PV est surdimensionné de sorte que pendant les heures d'ensoleillement, l'alimentation de charge ainsi que la recharge des batteries de stockage puissent être garanties avec une certaine marge de sécurité en tenant compte des jours de faible ensoleillement.

II.2 Les différents composants d'une installation PV autonome :

D'une manière générale, un tel montage peut se schématiser comme suit :

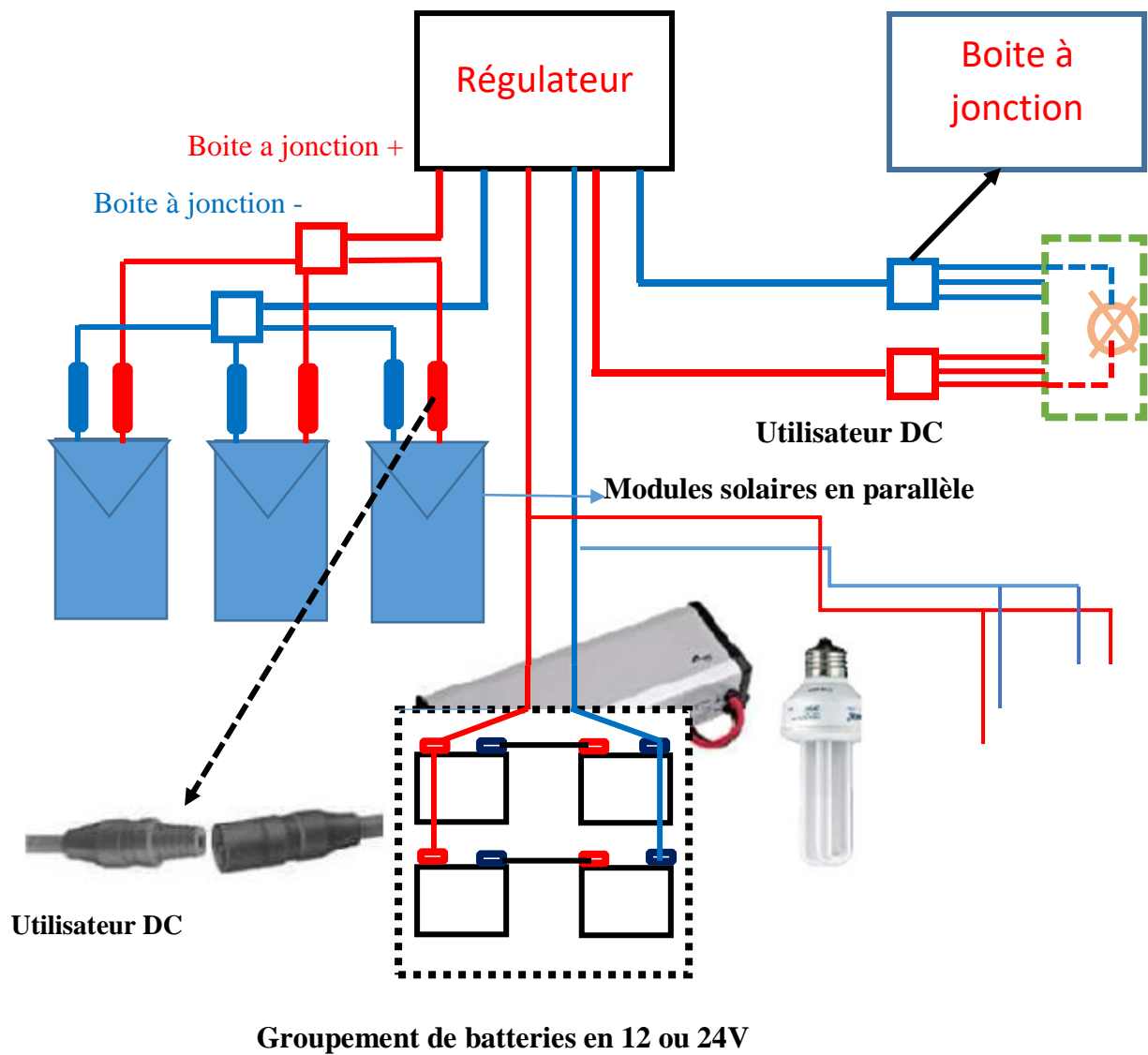


Figure 13 : Les différents composants d'une installation de base.

II-2-1-les modules ou générateur photovoltaïque

Le champ solaire se compose de module photovoltaïque interconnecté en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise (figure2-1). Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique. Pour chaque champ on peut avoir autant de sorties que de modules, ce qui fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous ; les boîte de dérivations fixée sur une structure de montage a pour rôle d'effectuer les connections entre modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.

Un module photovoltaïque se caractérise par sa puissance crête P_c (puissance en condition STC). Il produit pendant une journée d'ensoleillement une énergie solaire intégrée en Wh/m^2 si le module est exposé dans les conditions STC. Il va donc produire a un instant donné une puissance électrique égale à cette puissance crête, si cela dure N heures donc il aura produit pendant ce laps de temps une énergie électrique E égale au produit de la puissance crête par le temps écoulé[2].

STC : conditions standard d'essai ($1000w/m^2$ a $25\text{ }^\circ C$, avec un spectre solaire AM 1,5).

	Modules très peu ventilés	Modules peu ventilés	Modules bien ventilés	Modules bien ventilés
Ratio de performance PR	0.55	0.60	0.65	0.70

Tableau 2 : les valeurs du ratio de performances Pr d'une installation photovoltaïque en fonction de la ventilation des modules.

La tension nominale d'un système photovoltaïque est proportionnelle à sa puissance crête, le tableau 2 : nous renseigne sur les tensions recommandées pour chaque puissance fournie.

Puissance du champ photovoltaïque	0-500Wc	500Wc-2KWc	2KWc-10KWc	>10KWc
Tension recommandée	12VDC	24VDC	48VDC	>48VDC

Tableau 3 : tension conseillée en fonction de la puissance du système photovoltaïque.

Ce choix des panneaux pour un projet PV devrait si possible se faire directement auprès du

Fabricant afin de négocier des conditions particulières telles que la garantie des puissances Fournies c'est à dire une tolérance positive sur ce paramètre (puissance minimale garantie par panneau).



Figure 14 : champs photovoltaïque

Les cellules formant le module sont encapsulées dans un système d'assemblage qui :

- Isole électriquement les cellules de l'extérieur ;
- Protège les cellules contre les agents atmosphériques et les contraintes mécaniques ;
- Résiste aux rayons ultraviolets, aux basses températures, aux variations soudaines de températures et à l'abrasion ;
- Evacue facilement la chaleur afin d'éviter que la hausse température ne réduise l'énergie par le module. Ces propriétés doivent être conservées pendant toute la durée de vie du module la figure15 montre la vue en coupe d'un module standard en silicium cristallin

Cadre en aluminium

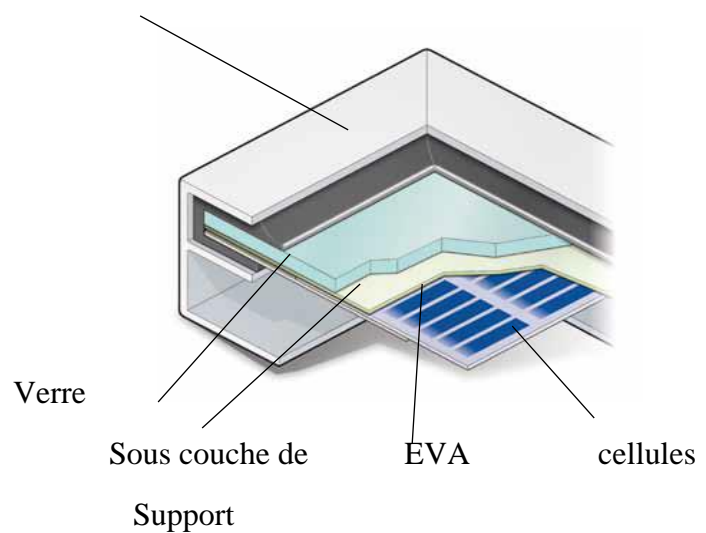


Figure 15 :encapsulations des cellules

II-2-2- le régulateur ou système de régulation de charge

Dans un système photovoltaïque autonome, le régulateur représente en général moins de 5% du cout total du système, ce qui tout d'abord laisse à penser que ce composant n'est pas important. Au contraire sa fonction est primordiale et ses qualités vont profondément influencer le cout final de l'énergie produite. La batterie reste l'élément le plus délicat du système et la qualité de son contrôle et son entretien influencent grandement sa durée de vie et donc le prix du kWh final.

Le régulateur est l'élément central d'un système photovoltaïque autonome : il contrôle les flux d'énergie. Il doit protéger la batterie contre les surcharges (solaires) et décharges profondes

Le contrôle de la charge est la fonction la plus critique déterminant la durée de vie de la batterie. La difficulté de ce travail provient de la nature de l'énergie à disposition qui n'est pas toujours disponible. Pour garantir une durée de vie élevée d'une batterie, il faudrait après chaque décharge pouvoir la recharger à 100%. Or, avec la nature aléatoire de l'ensoleillement, il n'est pas toujours possible d'effectuer une recharge complète et la batterie va souvent rester plusieurs jours dans un état de charge « moyen », ce qui à long terme peut réduire la durée de vie de ce composant. Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes
- L'optimisation du transfert d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation.



Figure 16 : Régulateurs solaires

Plusieurs gammes et qualités de régulateurs sont disponibles, les modèles comportant un système de compensation en température sont recommandés. De même, un affichage, même sommaire, de l'état de charge de la batterie est fortement souhaitable. La batterie solaire doit avoir une bonne tenue au cyclage. Elle doit pouvoir être chargée et déchargée fréquemment, ce qui n'est pas dans le cas d'une batterie d'automobile.

Les professionnels du domaine installent quasiment tous des régulateurs Steca, marque reconnue pour la qualité de ses produits. La durée de vie constatée de ces régulateurs est de 5 à 6 ans environ.

II-3 les batteries

Les batteries utilisées pour les applications solaires sont au plomb-acide comme une batterie de voiture. Mais très différentes dans la composition interne et les caractéristiques.

Une batterie de voiture va toujours être chargée à la même tension et devra donner un courant très fort pendant un très court, quelques secondes, au moment du démarrage. Une batterie solaire fera exactement le contraire. Elle devra donner un courant plutôt faible pendant un temps très long, et aura sa tension qui sera variable en fonction de son état de charge/

Les caractéristiques principales :

- Le type de batterie
- La tension en volts(V)
- La capacité, définissant la taille du « réservoir » en ampère- heure(Ah)
- La tenue au cyclage, en nombre de cycle en fonction de la profondeur de la décharge.

II-3-1 Batteries solaire ouverte ou liquide en 12V ou 2V



Figure 17 : Batteries solaire ouverte ou liquide

Il s'agit de la plus ancienne technologie. L'électrolyte est liquide et accessible via des bouchons de remplissage, en usage normal, le bain d'électrolyte est mis en ébullition pendant la charge afin d'être brassé et homogénéisé. Un gaz s'échappe des batteries, il est dangereux s'il est respiré en permanence ou explosif s'il est en forte concentration (mauvaise aération). Le niveau d'eau baisse et un entretien régulier doit être fait par remplissage avec une eau adaptée. Ses batteries sont robustes, mais les dangers d'utilisation liés au dégazage et au risque de fuite de l'acide sont nombreux d'une part et la contrainte d'avoir un entretien régulier font qu'elles ne sont quasiment plus utilisées de nos jours.

II-3-2 Batteries solaires AGM et GEL à plaque en 12V :



Figure 18 : Batteries solaires AGM

Ces batteries sont étanches et sans entretien, l'électrolyte est emprisonné soit dans une sorte de buvard (batterie AGM) ou dans une pâte gélifiée (batterie GEL). Elle reste homogène et n'a pas besoin d'être mise en ébullition, ce type de batterie sont beaucoup plus simple d'emploi, plus facile à transporter et moins contraignantes en matière de sécurité, c'est ce type de batterie qui est recommander en site isolé pour les petit systèmes, on les trouve généralement en batterie de 12 V.

II-3-3 Batteries solaires tubulaires OPzV en élément de 2V :



Figure 19 :Batteries solaires tubulaires OPzV

Ce sont toujours des batteries étanches et sans entretien l'électrolyte est gélifiée. Les plaques planes sont remplacées par des électrodes tubulaires, ces batteries ont une excellente tenue au cyclage et une durée de vie beaucoup plus longue que les batteries à plaques, elles sont plus chères à fabriquer. Sur les petits systèmes il est rarement rentable de mettre des batteries OPzV par rapport à des batteries AGM ou GEL classique.

Le cout du parc batterie devenant important, l'électronique de régulation de la charge et son bon paramétrage est primordial pour conserver une bonne durée de vie.

II-5- l'onduleur

Le système de conditionnement d'énergie et de contrôle est constitué d'un onduleur convertissant le courant continu en courant alternatif et contrôlant la qualité de la puissance de sortie fournie au réseau au moyen d'un filtre LC situé à l'intérieur de l'onduleur la figure 4-2 montre le schéma de principe d'un onduleur. Les transistors, utilise comme commutateurs statique, sont contrôlés par un signal d'ouverture fermeture qui se traduit en mode simple par une forme d'onde de sortie carrée. Pour obtenir une forme d'onde aussi sinusoïdale que possible, une technique plus sophistiquée, la modulation de largeur d'impulsion(MLI).

L'énergie fournie par un générateur PV dépend de son point de fonctionnement .afin de maximiser la production d'énergie de l'installation, le générateur doit s'adapter à la charge, afin que le point de fonctionnement correspond toujours au maximum power point(MPP). A cette fin, un hacheur contrôlé Maximum Power Point Tracker (MPPT). Est utiliser à l'intérieur de l'onduleur. Le MPPT calcule régulièrement la paire de valeurs « courant-tension » du générateur à laquelle la puissance maximale disponible est produite.

En raison de caractéristique de performances requises, les onduleurs des installations autonomes et des installations raccordées au réseau doivent présenter des caractéristiques différentes :

- Dans les installations autonomes, les onduleurs doivent être capables de fournir une tension coté AC aussi constante que possible lors de la variation de la production de générateur et de la demande de charge ;
- Dans les installations raccordées au réseau, les onduleurs doivent reproduire le plus fidèlement possible la tension du réseau et en même temps tenter d'optimiser et de maximiser la production d'énergie des panneaux PV

La performance d'une installation PV dépend en grande partie de celle de son onduleur. L'onduleur est en effet le gestionnaire de l'installation est donc un élément clé pour obtenir des rendements électrique élevés.



Figure 20 : un onduleur solaire

II.4 domaine d'applications des systèmes PV autonome :

II.4.1 pompages

On utilise des batteries de modules PV pour alimenter des pompes équipant des puits ou des forages, L'électricité solaire est également utilisée pour purifier l'eau

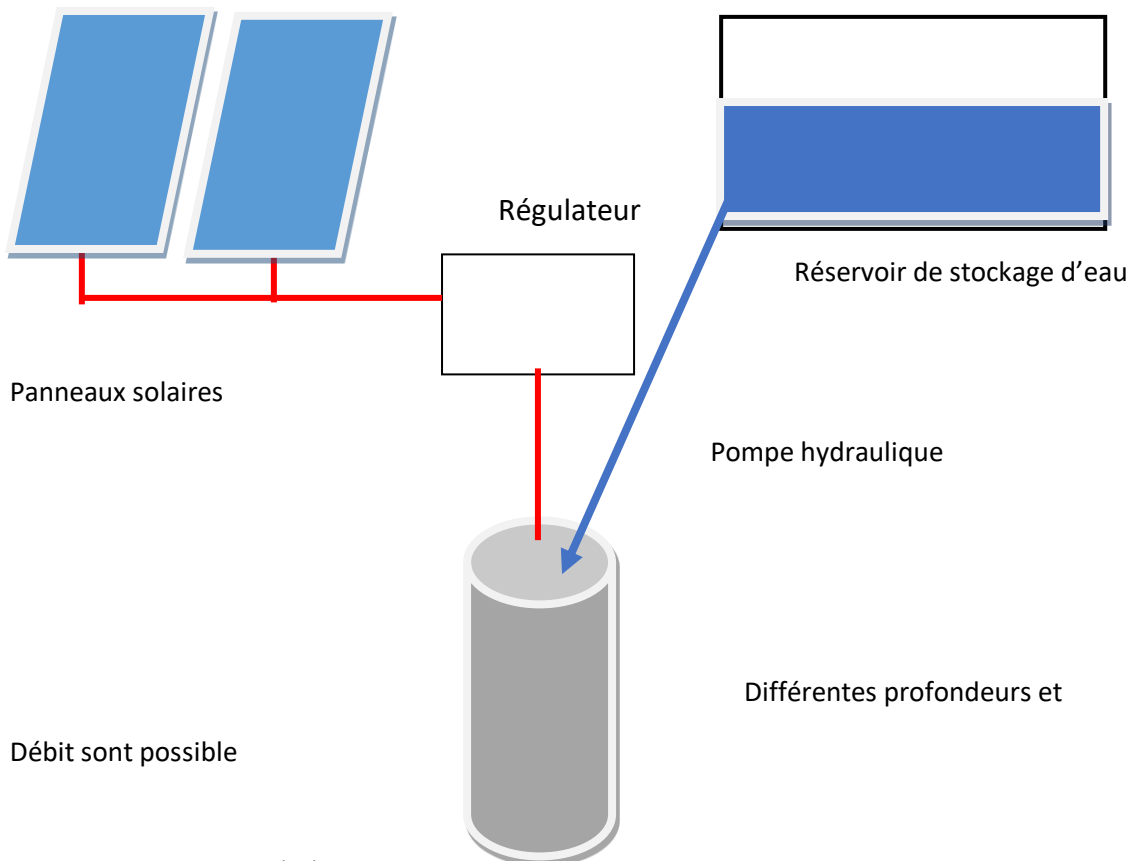


Figure 21 pompages de l'eau

II.4.2 conservation de vaccins et éclairage des centres de santé

L'électricité solaire PV est fréquemment utilisée pour réfrigérer les vaccins et les plasmas et refroidir les paquets de glace dans les centres de santé ruraux. L'OMS soutient des programmes d'installation de réfrigérateurs électriques et des systèmes d'éclairage solaire dans des centres de santé dans le monde entier.

II.4.3 télécommunications

Les systèmes de télécommunications étant souvent installés dans des lieux isolés, sans accès à l'énergie, il est fréquent que les radios, les répéteurs distants, les relais de réseaux de téléphonie mobile et les stations météo soient alimentés par des installations solaires PV autonomes.

II.4.4 entreprises et institutions

Les écoles et les petites entreprises en milieu rural ont besoin d'électricité pour alimenter soit l'éclairages, les outils et équipements.

II.4.5 électricité domestique

Souvent appelées « systèmes solaires individuels »(SSI), les petites installations solaires PV assurent l'éclairage et le fonctionnement des petits appareils électrique.

II.5 Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques autonomes :

Au moment de choisir un système, il faut peser les avantages et inconvénients à la lumière des contraintes, besoins et spécification du projet (tableau4)[12].

Avantages	inconvénients
<p>-conversion directe de l'énergie solaire gratuite et inépuisable en électricité.</p> <p>-Absence de bruit, de pollution et d'émissions. Maintenance réduite (pas de pièces en mouvement ; durée de vie des modules =20ans).</p> <p>-Rentabilité assurée pour les applications de faible puissance (moins de 3-5KWh/jours).</p> <p>-Possibilité d'adaptation de la taille de l'installation aux besoins existants, avec possibilité d'extension à la demande, grâce à sa conception modulaire, au fur et à mesure que le besoin énergétique augmente.</p> <p>-Sécurité absolue si l'installation est conforme. Le risque de choc électrique est réduit en 12 ou 24 Vcc et les risque d'incendie est moindre qu'avec les groupes électrogènes alimentés au kérosène ou fuel.</p> <p>-esthétique en architecture.</p> <p>-ne plus dépendre de l'alimentation publique en courant.</p>	<p>-Le cout initial des systèmes PV est élevé, même si la rentabilité à long terme est assuré ». ils sont donc parfois hors de portée des personnes à faibles revenus.</p> <p>-Dans la plupart des installations, l'électricité doit être stockée dans des batteries. Or, les batteries :</p> <ol style="list-style-type: none">1-requieren une maintenance régulière2-doivent être remplacées périodiquement3-peuvent avoir un impact sur la performance du système (lorsque les produits locaux sont de mauvaise qualité ou ne peuvent pas être remplacés). <p>-Les systèmes PV de faible puissance requieren souvent des équipement à courant continu dont l'efficacité énergétique est supérieure à celle des équipements à courant alternatif, mais dont le cout est souvent plus élevé.</p> <p>-Les systèmes PV doivent être conçus et installés par des techniciens car toute erreur de conception ou de réalisation conduirait à créer une installation d'un rendement inférieur à celui des solutions alternatives.</p>

Tableau n°4 avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques autonomes :

II.5 Les étapes d'un projet photovoltaïque

II.5.1 L'étude

A l'entame de chaque projet photovoltaïque, une étude est indispensable afin d'analyser vos désirs et besoins en solution solaire. Une première étude de terrain de votre environnement permettra de prévoir au mieux les solutions les plus adaptées au projet voulu. Beaucoup d'éléments sont à considérer pour la préparation d'un projet photovoltaïque solaire : les aspects techniques, économiques, réglementaires, choix à faire pour la vente ou à l'autoconsommation, ou les deux avec vente du surplus si possibles

Une étude bien détaillée d'un projet PV, nous permet d'optimiser sa production en énergie à des coûts raisonnables, pour réussir son étude, elle doit préalablement prendre en considération tous les détails qui interviennent dans ce projet, le dimensionnement est une étape primordiale dans l'étude d'une installation photovoltaïque, il permet de déterminer le nombre de panneaux à installer, la capacité des batteries à mettre en œuvre, en fonction de la consommation et de l'autonomie désirées, du lieu d'implantation et de la période d'utilisation.

A l'inverse, le calcul du dimensionnement permet de connaître la consommation quotidienne autorisée en fonction du nombre de panneaux, sur les installations où le dimensionnement n'a pas été effectué correctement, les batteries sont souvent trop sollicitées et du coup elles s'usent prématurément, une installation autonome représente un investissement relativement important, et si les panneaux solaires ont des durées de vies assez longues, les batteries faudra optimiser leur durée de vie en dimensionnant correctement l'installation, en respectant la consommation quotidienne autorisée et en effectuant un entretien rigoureux

II.5.2 l'Installation :

Lors de cette deuxième étape de processus nous allons nous pencher sur l'installation d'un futur système (mesure sur site, dispositif de raccordement électrique...etc.), De grands projets ont été réalisés au cours de ses dernières années dans l'intégration architecturale des panneaux solaires à la structure des bâtiments grâce à la fabrication de panneaux dont les dimensions et les caractéristiques peuvent entièrement remplacer certains composants.

Trois types d'intégration architecturale des installations PV peuvent être définis :

- 1 installation avec une intégration au bâti ;
- 2 installations avec une intégration simplifiée au bâti ;
- 3 installations non intégrées.

Les installations non intégrées sont des installations composées de modules montés au sol, autrement dit les modules sont placés sur les éléments du mobilier urbain, la surface extérieure des enveloppes de bâtiments,

Les installations partiellement intégrées sont des installations dont les modules sont placés conformément.

Avant toute intervention sur les modules solaires à installer il faut prendre en considération ce qui suit :

- Couvrir les modules d'un tissu sombre ou d'un carton
- Eviter d'intervenir par grand soleil ; réaliser les connexions et raccordements de préférence le matin ou le soir
- Etre solidement fixé à la structure toit
- Ne jamais être à l'ombre quelle que soit l'heure et la période de l'année
- (attention aux arbres, aux poteaux, aux maisons voisines, aux collines, surtout en hiver ou le soleil est bas)
- Etre facile d'accès pour permettre son nettoyage
- Etre le plus près possible de la batterie et des appareils d'utilisation pour éviter les pertes électriques dans les câbles
- Etre à l'abri des enfants et des animaux
- Etre installé dans un endroit où la structure sera bien horizontale

Lors de l'intervention sur la batterie

Il est recommandé ce qui suit :

- La batterie dégage des gaz explosifs lorsqu'elle est en charge, donc le locale qui devra recevoir la batterie doit être aérer
- Ne jamais approcher une flamme ou une cigarette allumée
- Toujours avoir une bassine remplie d'eau à proximité pour se rincer en cas de contact avec l'électrolyte.
- Porter si possible des gants adaptés
- Eviter de renverser de l'électrolyte
- Maintenir la batterie horizontale et ne jamais l'incliner
- Utiliser toujours un entonnoir pour mettre l'eau distillée
- Ne pas laisser la batterie à la portée des enfants
- En cas de court-circuit, la batterie peut produire un courant très élevé donc avant toute intervention, débrancher impérativement les câbles des bornes de la batterie, et éviter tout contact électrique entre 2 fils de couleur différente, faire attention lors du montage ou du démontage des cosse sur les bornes de la batterie à ne pas faire de court-circuit entre les bornes de la batterie avec la clé de serrage
- Utiliser si possible des outils isolés
- La boîte de jonction doit être installée en hauteur minimum 2 mètres au-dessus du sol, et sa place sera choisie pour respecter les longueurs maximales de câblage autorisées, préparer les câbles à raccorder dans la boîte de jonction, les câbles doivent être dénudés sur une longueur un peu plus courte que celle de la barrette de raccordement.

II.5.3 maintenance Fin de vie des éléments PV, remplacement et recyclage :

Fin de vie des modules :

Lorsque vous êtes producteur d'énergie solaire, votre contrat d'achat dure 20 ans et la durée de vie moyenne des panneaux solaire photovoltaïque se situe entre 30 et 35 ans en général, après 25 ans de vie les panneaux solaires produisent environ 80% de leur capacité initiale. Après cela il est impératif de les enlever, ses derniers seront recyclés pour être réutilisé.

En 2014 ce sont quelques 10500 tonnes qui ont été recyclés et ce volume ne cesse de grandir, à ce rythme, ce sont plus de 130 000 tonnes de panneaux solaires qui devront être recyclés par ans d'ici 2030. Concernant son cout, les statistiques montrent qu'en 2020 le cout du recyclage s'élèvera à 10€ par tonnes.



Figure 22cimetière des modules photovoltaïques

Compte tenu des chiffres impressionnant, vous pouvez donc constater que cette phase de recyclage répond à des enjeux environnementaux et vise à maîtriser les déchets toxiques ou non lié au traitement de fin de vie des panneaux solaire.

De plus il est bon de savoir qu'avec D3E- directive européenne relative aux déchets d'équipements électrique et électronique qui stipule que les entreprise fabricants d'onduleur ont l'obligation de récupérer et recycler leurs matériels et les fabricants photovoltaïque ont l'obligation de prendre en charge la collecte et le recyclage des panneaux solaires.

Une fois démontés et démantelés c'est-à-dire une fois que les panneaux solaires, les câbles électrique et les structures supports sont détachés, les propriétaires des panneaux solaires peuvent les déposer dans les points de collecte destinés au recyclage des panneaux photovoltaïques. Ce recyclage permet de valoriser chaque partie du panneau et de récupérer des matériaux précieux tels que le silicium purifié et les terres rares

Il est intéressant de noter que les principaux composants des panneaux solaires sont du verre, de l'aluminium, du cuivre ou encore de l'argent, il est donc très facile de les recycler et les valoriser.

La technique de recyclage utilisée dépend du type de cellule des panneaux solaires, par exemple pour les cellules au silicium cristallin, des traitements thermiques sont utilisés pour dissocier les cellules du verre. Grâce au recyclage, le silicium peut être réutilisé jusqu'à 4 fois. Concernant les cellules en couches minces, différentes techniques sont utilisées comme des procédés mécanique, hydrométallurgique .etc...

Dans l'hypothèse d'un service de fourniture d'énergie et non de fourniture d'un système photovoltaïque, la durée de vie d'une installation peut être prolonger par le renouvellement des modules afin de revenir à un niveau de production d'énergie équivalent ou supérieur à celui de l'année de mise en service.

Fin de vie des onduleurs :

Le panneau solaire a une durée de vie de 25 ans, cependant l'onduleur n'a seulement qu'une durée de vie de 5 ans en moyenne, cette courte durée de vie de l'onduleur est due à un de ses composants qui est à la fois le plus important et le plus vulnérable : il s'agit du condensateur placé sur son bus CC. il existe un circuit qui contribue à l'amélioration de la durée de vie du condensateur placé sur le bus CC de l'onduleur.

Un système photovoltaïque est un investissement à long terme puisque sa durée de vie est généralement supérieure à 25 ans et peut même atteindre 40 ans, les fabricants eux-mêmes garantissent généralement qu'après 20-25 ans le module atteindra encore 80% de sa puissance crête initiale. Un onduleur a par contre une durée de vie plus limitée (10-15ans).

Fin de vie des batteries :

Avec le développement du marché du photovoltaïque, le nombre de batteries usagées est croissant au cours des prochaines années, sachant que la durée de vie d'une batterie est de 5 à 10 ans, or le coût financier et environnemental de leurs recyclage est important, c'est pourquoi plusieurs acteurs développent des projet pour donner une seconde vie à ses batterie.

Lorsqu'une batterie arrive en fin de vie, elle doit être recyclée au minimum à hauteur de 50% de son poids, certaines entreprises sont spécialisées dans le recyclage, ces entreprises récupèrent les batteries pour produire des lingots de plomb et des billes de polypropylène. Mais recycler coûte encore cher...et reste polluant.[12]

Le nombre de cycle maximal et la durée de vie sont fortement dépendants de la technologie de fabrication et des conditions d'utilisation. Par exemple, en utilisant en pays très chaud (température ambiante >35 °C), si on fait l'hypothèse que les phénomènes de corrosion seront les premiers à limiter la durée de la batterie et que le nombre maximal de cycles ne sera pas atteint, on aura tendance à limiter la capacité et ainsi l'investissement matériel au départ et on choisira des cycles journaliers de charge/décharge de l'ordre de 80%. Par contre en pays tempérés, en utilisant un régulateur de qualité, les phénomènes de corrosion peuvent être limités et le choix du dimensionnement de la batterie et de la profondeur de décharge dépendra de nombreux critères comme :

-l'autonomie désirée en tenant compte des variations d'ensoleillement ;

-des capacités d'investissements au départ et les frais financiers d'amortissement ; L'aspect environnemental, comme recycler localement les batteries.

La durée de vie en année est exprimée dans les fiches techniques durée de vie en floating » c'est-à-dire en conditions idéales, avec un maintien permanent en plein charge. Les batteries solaires de type AGM ou GEL ont généralement une durée de vie maxi de 10 à 12 ans dans ces conditions, plutôt de 8 à 10 ans en conditions réelles, les batteries OPzV ont une durée de vie en floating de 15 à 18 ans.

Cette durée de vie est très impactée par la température externe .tous le dix degrés supplémentaire de température moyenne, la durée de vie en cyclage est divisée par deux, une batterie AGM utilisée en permanence à 30-35°C ne dépasse pas 5 ans de durée de vie

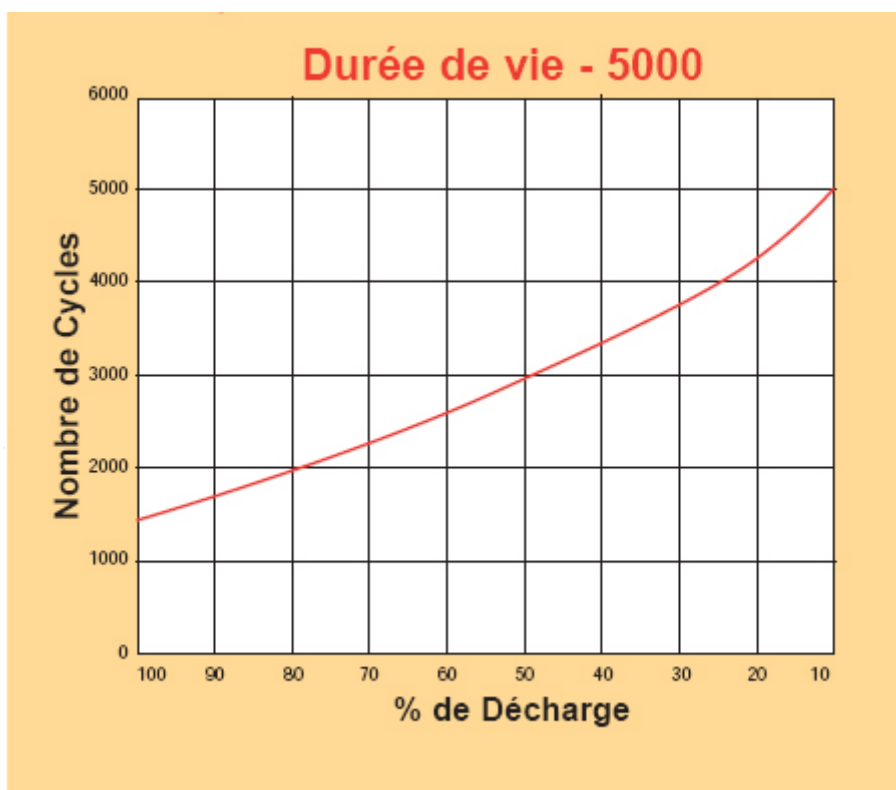


Figure 23 :nombre de cycle de charge supporté par une batterie

Conclusion

Les systèmes photovoltaïques autonomes sont utilisés généralement pour l'alimentation des sites isolés, qui sont loin des réseaux électriques, et comme l'amortissement du capital investi dans l'équipement de production avoisine les 25 ans, en tenant en compte la fin de vie,le remplacement et le recyclage des éléments et pour une meilleure utilisation de l'énergie solaire, un dimensionnement de l'installation est plus que nécessaire, cela revient à connaître le nombre et le type de composant, sujet qui fera l'objet du chapitre

Chapitre III Le Dimensionnement

Introduction :

Dans ce présent chapitre on va présenter les étapes de dimensionnement des éléments d'un système photovoltaïque autonome.

Le dimensionnement et la gestion optimale des systèmes énergétiques passent impérativement par la connaissance des conditions météorologique auxquelles des études sont effectuées dans plusieurs régions du monde pour évaluer et modéliser le potentiel solaire.

La première étape consiste en la détermination des différents paramètres astronomiques, et plus précisément la position exacte du soleil quel que soit le moment de l'année. Avant toute chose, il est nécessaire de définir les deux concepts indispensables afin de situer un lieu dans le monde : la latitude et la longitude.

Pour dimensionner un système autonome et déterminer le nombre de modules photovoltaïques nécessaires, on se base sur la consommation pendant la période de moindre irradiation au cours de laquelle on veut faire fonctionner les applications.

Dans la conception d'un système photovoltaïque autonome, il y a lieu de respecter les étapes suivantes dans le but de bien dimensionner les équipements à utiliser.

- Détermination des besoins de l'utilisateur : tension, puissance des appareils et durées d'utilisation.
- Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique
- Définition des modules photovoltaïques : tension de fonctionnement, technologie, puissance totale à installer
- Définition de la capacité de la batterie et choix de la technologie
- Définition du type d'onduleur à utiliser

On évalue la consommation électrique de l'application sur 24h qui est égale à la puissance consommée multiplié par la durée de fonctionnement sur 24 heures.

Le rayonnement lumineux solaire n'étant pas uniforme sur la surface du globe, il est primordial de chiffrer les données d'ensoleillement relatives à la région où nous voulons installer notre système photovoltaïque.

III. Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome :

III.1 Définition :

Le dimensionnement d'un système PV est un procédé qui définit le nombre et la technologie du matériel à utiliser afin d'optimiser au maximum le rapport qualité et coût du projet, aussi il est indispensable de connaître précisément le besoin en énergie d'une installation, afin de concevoir un système PV adapté. Au vu du coût encore élevé du watt solaire, il est souhaitable d'éviter de surdimensionner le système PV en privilégiant l'économie d'énergie au niveau des récepteurs [13].

Quel que soit le mode d'utilisation de l'énergie photovoltaïque étudiée, les critères de dimensionnement à respecter sont sensiblement identiques. Seule la réflexion diffère.

- pour une installation autonome, il faut trouver le meilleur compromis entre les besoins en électricité et le coût de l'investissement.

- Pour une installation raccordée au réseau, du type centrale destinée à la vente, le dimensionnement consiste à produire le plus d'énergie possible en fonction de la surface disponible et la capacité d'investissement du maître de l'ouvrage.

Un dimensionnement précis, est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, par exemple, la consommation du régulateur de charge doit être ajoutée à celle des récepteurs pour définir la consommation totale du système. Or le choix du régulateur dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation globale, donc la conception d'un système PV est le résultat d'une optimisation réalisée par itérations [14].

III.1.1 Choix du site :

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

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

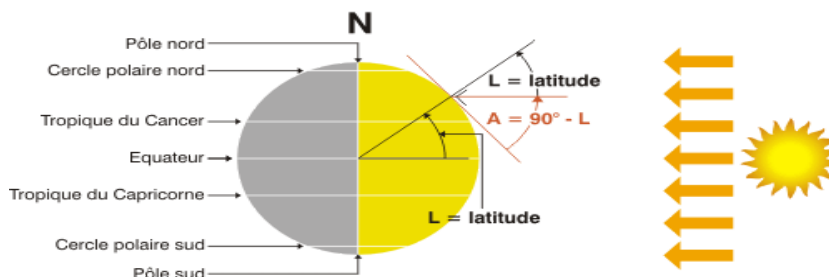


Figure 24 : calcul de La latitude Θ

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

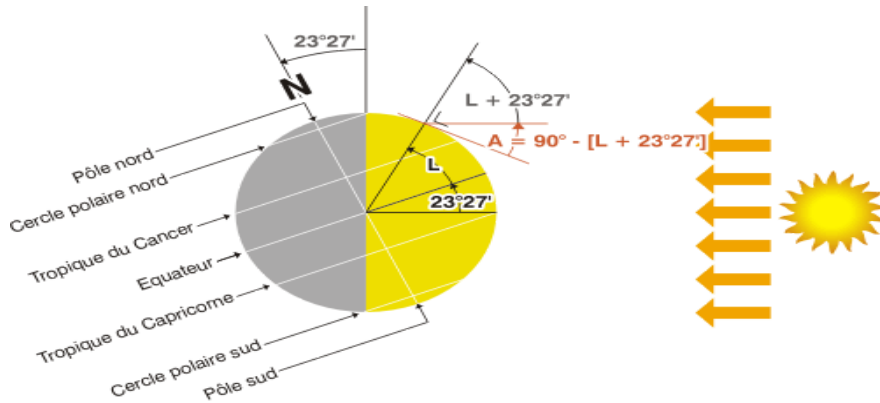


Figure 25 : calcul de la longitude ϕ

- c) **L'altitude** : c'est la distance verticale exprimée en mètre, séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence.

III .2 le Dimensionnement des éléments d'un système PV autonome :

La puissance photovoltaïque requise est la puissance que doit fournir l'ensemble des panneaux PV pour couvrir le besoin en énergie électrique de l'application. Elle est calculée sur la base de la consommation électrique totale.

III .2.1 calcul du besoin en énergie d'une installation autonome :

Il est indispensable de connaître précisément le besoin en énergie d'une installation autonome afin de concevoir un système PV adapté. La consommation totale journalière d'énergie de l'application est calculée soit en additionnant l'énergie électrique consommée en 24h par chaque appareil (lampes, radio, téléviseurs, réfrigérateur, ordinateur, etc.) précisant leurs tension, leurs puissance, ou en se référant directement à la facture SONELGAZ. Pour avoir des informations sur la consommation totale journalière d'énergie [15].

$$E_{\text{total}} = [(P_1 \cdot t_1) \cdot n_1] + [(P_2 \cdot t_2) \cdot n_2] + [(P_3 \cdot t_3 \cdot 100 / \eta_{\text{ond}}) \cdot n_3] + \dots [(P_m \cdot t_m) \cdot n_m] \quad (1)$$

Avec :

E_{total} : consommation totale journalière

P_1 : puissance de l'appareil n°1(w).

t_1 : temps d'utilisation de l'appareil n°1 par jour (h/j).

n_1 : nombre d'appareils n°1.

η_{ond} :rendement de l'onduleur.

Remarque : Pour les appareilles qui fonctionnant en AC il faudrait ajouter la consommation de l'onduleur (dans notre formule E_3 représente un appareil fonctionnant en AC).

III.2.2 calcul de la puissance des modules photovoltaïques :

Le calcul de la puissance des modules PV nécessite la maitrise des principaux paramètres suivants : nombre d'heures équivalentes, période d'ensoleillement, pertes électriques, technologies des modules. Pour une installation autonome, la puissance du générateur PV définie est ensuite comparée aux besoins énergétiques afin de vérifier leurs adéquations [16].

III 2.2.1 Puissance crête d'un champ photovoltaïque :

La puissance crête d'un champ PV est donnée par la formule :

$$P_c = \frac{E_j \max * P_i}{E_i \min * P_r} \quad (2)$$

- P_c : puissance crête d'un champ photovoltaïque (KWc).
- E_j : énergie journalière consommée maximale (KWj).
- E_i : énergie solaire journalière la plus faible de l'année (KW/m²/j).
- P_r : ratio de performance (sans unité), (voir tableau 1).
- P_i : puissance d'éclairement (1KWh/m²).

III 2.2.2 Notion du nombre d'heures équivalentes :

Le module PV est caractérisé par sa puissance-crête P_c dans des conditions STC spécifique : sous un ensoleillement de 1000W/m² a la température de 25°C sous un spectre AM 1,5. Le module ainsi exposer à un ensoleillement maximal produit une énergie (Wh) égale à la puissance crête durant un certain temps. Or, dans les conditions réels de fonctionnement ; cet ensoleillement maximal ne se produit que durant quelques heures de la journée, en raison de la fluctuation journalière du rayonnement solaire, ces heures optimales sont appelées heures équivalentes.[17]

C'est ainsi que l'illumination solaire reçue E_{sol} équivaut au produit du rayonnement de 1000W/m² par le nombre d'heures équivalentes N_e :

$$E_{\text{sol}} = N_e \cdot 1000 \text{ (soit } N = N_e / 1000) \quad (3)$$

Avec :

E_{sol} : illumination solaire reçue ($Wh/m^2/j$),

N_e : nombre d'heures équivalentes (h/j).

Il est possible de connaître le nombre d'heures équivalentes N_e en divisant le rayonnement solaire par 1000. Il est donc possible de connaître la production électrique d'un panneau pendant une journée en multipliant le nombre d'heure équivalente N_e par sa puissance crête P_c du champ photovoltaïque.

$$P_{total} = N_e \cdot P_c \quad (4)$$

III .2.3 les pertes en énergie :

Les pertes inhérentes à tout processus de conversion d'énergie sont nombreuses et doivent être réduites au minimum. Les systèmes photovoltaïques doivent fournir l'énergie nécessaire et compenser les pertes prévisibles. Ces pertes ont plusieurs origines et affectant certains paramètres du système. Le calcul de la puissance à installer doit donc intégrer l'ensemble des pertes qui sont résumées dans le tableau suivant [18] :

Nature de perte		Pertes en %	Observation
Pertes par salissure		5-10	Pertes dépendant de l'inclinaison des panneaux et de la fréquence d'entretien
Pertes liées aux Composants électriques	Régulateur	2	Pertes dépendant des caractéristiques interne des Composants et de la technologie utilisée (en série, MPT...)
	Onduleur	10	
	Diode en série (par branche de modules)	3-6	Pertes en fonction de nombre de branches
Pertes ohmiques liées aux câbles		< 3 voire 1	Pertes à réduire au minimum en réalisant un dimensionnement du câblage adéquat
Pertes thermiques		0,5% °C	Pertes à minimiser par une ventilation adaptée Pertes affectant surtout les systèmes en pays chauds
Pertes de dispersion de puissance nominale d'un module		3-10	Pertes selon les fabricants, difficiles à vérifier
Pertes d'appairage(en série)		3	Pertes à réduire au minimum en réalisant le bon tri des modules
Pertes liées à la batterie		10	Pertes dépendant des caractéristiques internes et de la technologie utilisée (tubulaire, plaque, etc...)
Pertes liées au faible éclaircissement		Faible	Pertes à minimiser en fonction de la technologie des modules
Coefficient global de perte		compris entre 0,65 et 0,90	

Tableau n°5 récapitulatif des principales pertes énergétiques [IV.1x]

Donc la formule (3) devient en considérant les pertes comme suite[19]:

$$P_{\text{total}} = N_e \cdot P_c \cdot C_p \quad (5)$$

Avec C_p : coefficient de perte.

III .2.4 calcul du nombre de modules nécessaires

Le nombre de modules à installer est régi par la formule suivante [20]

$$N_m = \frac{P_{\text{total}}}{P_{cm}} \quad (6)$$

Avec P_{cm} : puissance crête d'un seul module

III .2.4.1 nombre de module en série

$$N_s = \frac{U}{U_n} \quad (7)$$

Avec

N_s : nombre de panneaux en série

U : tension du champ PV

U_n : tension d'un seul panneau

III .2.4.2 nombre de module en parallèle

$$N_{bp} = \frac{N}{N_s} \quad (8)$$

Avec

N_{bp} : nombre de panneaux en parallèle

N : nombre total de panneaux

N_s : nombre de panneaux en série

III .2.5 Dimensionnement de système de stockage (batteries) :

III .2.5.1 Détermination de la capacité de stockage :

La capacité de stockage en (Ah) est donnée par [21] :

$$C = \frac{(N_j * E)}{(U * P_D * R_T)} \quad (9)$$

Avec :

C : capacité nominale de stockage (Ah)

N_j : nombre de jours d'autonomie (jour)

E : besoin énergétique journalier (wh)

U : tension continue du système (V)

P_D : profondeur de décharge (compris entre 0 et 1)

R_T : coefficient réducteur de température (compris entre 0 et 1)

III .2.5.2 Détermination du nombre d'élément batterie en série :

On donne le nombre d'élément batterie en série par la relation [22]

$$N_{bs} = U / U_b \quad (10)$$

Avec :

U_b : tension de l'élément batterie donnée par le constructeur en V

III .2.5.3 Détermination du nombre de branche d'élément en parallèle :

Le nombre de branche d'élément en parallèle [22] :

$$N_{bp} = C / C_e \quad (11)$$

Avec :

C_e : capacité d'un élément batterie donnée par le constructeur exprimé en (Ah)

III .2.5.4 Détermination du nombre total d'élément batterie :

Le nombre total d'élément batterie est donné par [22]

$$N_b = N_{bp} * N_{bs} \quad (12)$$

III .4 .Dimensionnement du régulateur :

Pour dimensionner un régulateur, il faut prendre en considération trois éléments principaux :

- la tension nominale entre les panneaux et les batteries :

Le régulateur doit pouvoir accepter cette tension.

- Courant d'entrée : l'intensité du régulateur doit être supérieure à l'intensité de court-circuit des panneaux, il est recommandé de prendre 1,5 fois le I_{cc} total des panneaux
- Courant de sortie : elle ne concerne que les régulateurs charge- décharge qui doivent accepter le courant maximal fourni simultanément par les récepteurs, cette intensité maximal doit prendre en compte les courants transitoire élevés produits lors des démarrages de certains appareils électriques [23].

$$N_b = (P_c / U_m) * 1.5 \quad (13)$$

Avec :

N_b : nombre de branche en parallèle

P_c : puissance crête d'un seul module

U_m : tension maximale des modules

III .5 Dimensionnement de l'onduleur :

On prendra un $\cos \phi = 0.8$ et $\sin \phi = 0.6$ pour le dimensionnement.

La puissance réactive est donc égale [24]. :

$$Q = P * (0.6/0.8) \quad (14)$$

III .5.1 La puissance apparente :

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \quad (15)$$

III .6 Dimensionnement des câbles :

Pour assurer le bon fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome, il reste des derniers éléments à prendre en considération lors de la phase de son dimensionnement, il s'agit du câblage qui assure les liaisons entre les différents éléments de centrale et leurs protections.

III .6.1 Propriétés des câbles

Tout câble électrique a une résistance qui est donnée par la formule suivante [25] :

$$R = \frac{\rho L}{S} \quad (16)$$

Avec :

L : la longueur du câble

S : la section du câble

ρ : la résistivité du matériau conducteur

- les pertes en tension et en courant se produisant lors du fonctionnement dans un câble reliant deux composants sont données respectivement : au produit de la résistance du câble par le courant qui le traverse ($V_{\text{pertes}} = R \cdot I$), le rapport de la tension résistance [IV.14].

$$(I_{\text{pertes}} = V/R) \quad (17)$$

Il est donc important de bien choisir et dimensionner la section des câbles électriques de façon à limiter la baisse de tension entre composants (à moins de 5 %) et les forts courants traversant ces câbles.

De manière générale, on peut résumer les liaisons existantes entre des divers composants dans un système avec batterie par :

- liaison charge électrique – onduleur
- liaison batterie- onduleur
- liaison régulateur-batterie
- liaison champ PV-batterie

Conclusion

Le dimensionnement d'un système PV est une démarche indispensable si on veut réduire au maximum le nombre de modules et de batterie et on se basant sur l'apport solaire journalier et notre demande en énergie, dans le but d'avoir une installation fiable et moins coûteuse, mais un dimensionnement classique est un peu épuisant, pour cela les acteurs du domaine du photovoltaïque ont développé des logiciels performants qui réduisent la durée du dimensionnement, il suffit de faire entrer quelques données à la machine pour qu'un dimensionnement fiable et précis soit réalisé.

IVEtat de l'art des logiciels de dimensionnement

Introduction :

Les logiciels photovoltaïques professionnels sont indispensables pour les bureaux d'études, architectes, installateurs, qui souhaitent estimer précisément la production photovoltaïque d'un générateur et dimensionner l'ensemble des composants du système : panneaux, onduleurs, câblage, batteries... pour cela et dans ce chapitre on va essayer de toucher et parler sur les logiciels les plus utilisés en photovoltaïque.

IV.1 Le logiciel du dimensionnement photovoltaïque RETScreen :

RETScreen : est un logiciel de gestion d'énergies propres développé et maintenu par une équipe principale au centre de recherche Canmet ÉNERGIE situé à Varennes, avec un large réseau d'experts de l'industrie, du gouvernement et du milieu académique procurant un support technique sur une base contractuelle ou à tâches partagées. Cette approche donne à RETScreen International un accès à un large éventail d'expertises nécessaires pour accomplir des tâches spécialisées. L'équipe principale de RETScreen à Canmet ÉNERGIE inclut actuellement 12 personnes à temps plein, Son utilité est d'évaluer et optimiser de façon rapide la viabilité technique et financière de projets en matière d'énergies propres et aussi mesurer et vérifier facilement la performance réelles de l'installation, ainsi que trouver des possibilités supplémentaires d'économie et de production d'énergies. Ce logiciel a été utilisé pour la mise en œuvre de plusieurs projets d'énergies en Canada en citant L'évaluation pluriannuelle de rendement photovoltaïque à Toronto.

IV.2 Aperçu sur le logiciel :RETScreen est un système Logiciel de gestion d'énergies propres pour l'analyse de faisabilité de projets d'efficacité énergétique, d'énergies renouvelables et de cogénération ainsi que pour l'analyse de la performance énergétique en continu.

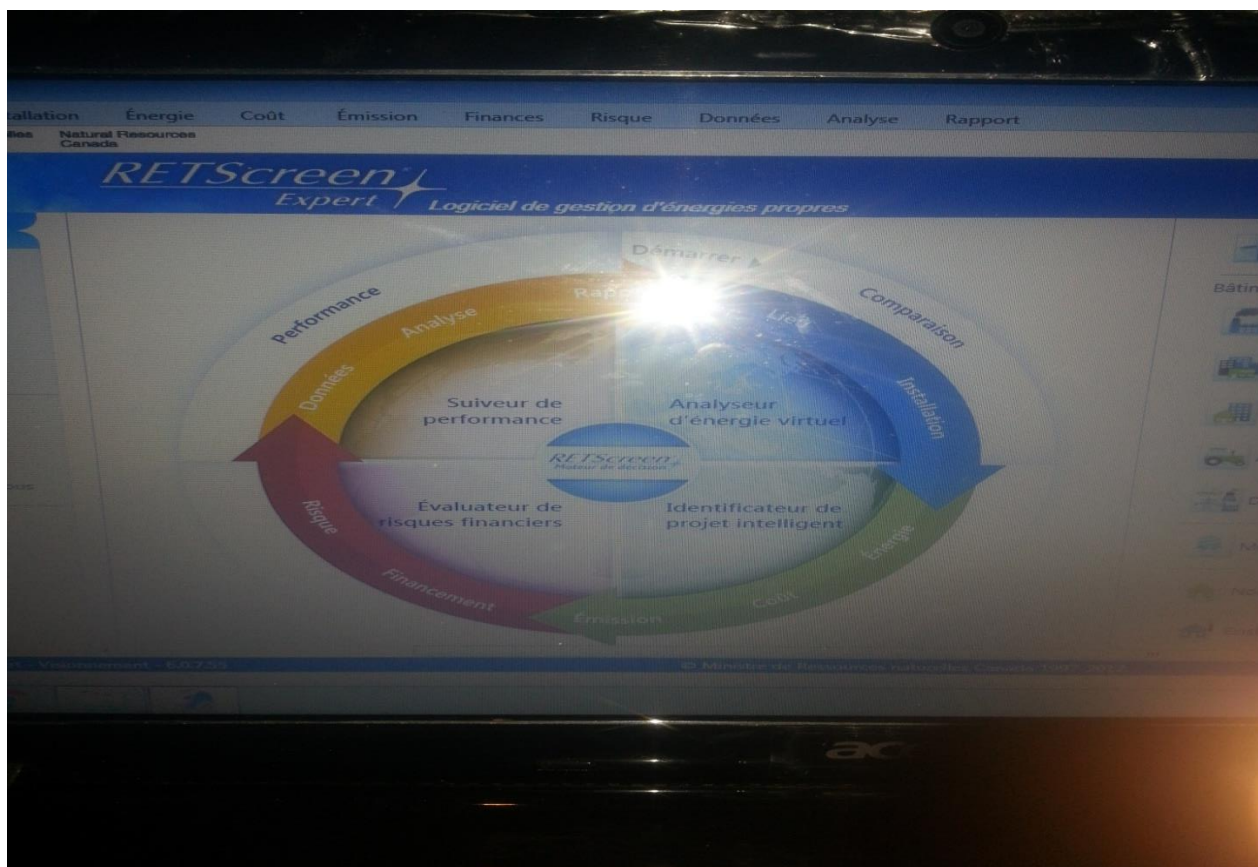


Figure 26 : Aperçu sur le logiciel RETScreen

IV.3 Moteur de décision RETScreen :

RETScreen permet aux professionnels et aux décideurs d'identifier, d'évaluer et d'optimiser de façon rapide la viabilité technique et financière de projets potentiels en matière d'énergies propres. Cette plate-forme logicielle d'intelligence décisionnelle permet aussi aux gestionnaires de mesurer et de vérifier facilement les performances réelles de leurs installations, ainsi que de trouver des possibilités supplémentaires d'économies et de production d'énergie.

IV.4 Analyseur d'énergie virtuel :

Détermine rapidement la production et les économies d'énergie potentielles n'importe où dans le monde en utilisant un système de classement à 5 étoiles basé sur des données de référence sans visiter les lieux.

IV.5 Identificateur de projet intelligent :

Identifie avec précision les meilleurs projets à mettre en œuvre dans l'établissement et complète intelligemment une analyse de préfaisabilité qui pourra être peaufinée sur place.

IV.6 Évaluateur de risques financiers :

Évalue automatiquement le risque financier de l'investissement proposé et détermine systématiquement la sensibilité des paramètres clés sur la viabilité du projet.

IV.7 Suiveur de performance :

Mesure et vérifie de façon exhaustive les performances réelles des projets mis en œuvre et permet d'identifier d'autres possibilités d'amélioration énergétique dans l'établissement.

IV.8 Analyse de comparaison :

Le module d'analyse de comparaison RETScreen permet à l'utilisateur de comparer le rendement énergétique de différents types de référence (valeur pour comparaison) des établissements à travers le monde avec la consommation d'énergie annuelle estimée (modélisée) ou contrôlée (réelle) pour un établissement cible. L'évaluation énergétique peut aider les concepteurs, les opérateurs d'établissement, les gestionnaires et les décideurs seniors à mieux évaluer le rendement énergétique d'un établissement, c.-à-d. les possibilités d'amélioration.

IV.9 Analyse de faisabilité :

RETScreen est le produit le plus complet en son genre et permet aux ingénieurs, aux architectes et aux planificateurs financiers de modéliser et d'analyser tout projet d'énergie propre. Les décideurs peuvent réaliser une analyse standard en cinq étapes : modèle énergétique, analyse des coûts, analyse des émissions, analyse financière et de risques. Ces outils d'analyse comprennent des bases de données de valeur de référence, de produits, de projets, hydrologiques et climatiques (cette dernière contient les données de 6 700 stations météorologiques de surveillance au sol et des données par satellites de la NASA couvrant la terre entière), ainsi que des liens vers des cartes mondiales des ressources énergétiques. De plus, pour aider les utilisateurs à commencer rapidement une analyse, RETScreen comprend une base de données de projets détaillés contenant des modèles prédéfinis de projets d'énergie propre.

IV.10 Analyse du rendement :

Le Logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen comprend un Module sur l'analyse du rendement qui aide l'utilisateur à surveiller, à analyser des données clés en matière de rendement énergétique et à les présenter aux opérateurs d'établissement, aux gestionnaires et aux décideurs seniors.

Mettre en œuvre un système de surveillance, de ciblage et de préparation de rapports peut être un moyen efficace de mieux gérer les investissements dans les projets d'énergie et d'identifier d'autres occasions de projets. De plus, la mesure et la vérification (M et V) des économies actuelles (ou de la production) réalisées grâce à un projet d'énergie propre représente une dernière étape importante dans le processus décisionnel en matière d'énergie.

En vue de contribuer à répondre à ce besoin à l'échelle mondiale, RETScreen International a élaboré, en collaboration avec le Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership (REEEP) et le Langley Research Centre de la NASA, le Module sur l'Analyse du rendement

deRETScreen. Cet outil logiciel, qui intègre des données climatiques obtenues par satellite en temps quasi réel de la NASA pour la surface entière de la Terre, peut être utilisé partout dans le monde afin de surveiller le rendement énergétique réel d'une installation par rapport au rendement prévu.

IV.11 Analyse de portefeuille :

Le module Analyse de portefeuille RETScreen permet aux professionnels de gérer l'énergie à travers un grand nombre d'installations. Pour plusieurs mesures d'efficacité énergétique dans une seule propriété résidentielle jusqu'à un portefeuille comprenant des milliers de bâtiments, d'usines et centrales électriques à travers le monde, cet outil complet aide les entreprises à atteindre leurs objectifs d'investissement liés à l'énergie.

Dans le logiciel, l'utilisateur peut créer un nouveau portefeuille ou ouvrir un fichier existant. Ce fichier de base de données « Mon portefeuille » est constitué d'installations individuelles analysées avec RETScreen. Des installations supplémentaires peuvent facilement être ajoutées à la base de données de portefeuilles. Des « sous-portefeuilles » peuvent être créés pour permettre une comparaison entre les différents types d'installations et les régions géographiques, de même qu'un outil de cartographie permet à l'utilisateur de visualiser les actifs à travers le monde.

Avec une base de données peuplée, l'utilisateur peut exécuter une analyse du tableau de bord pour l'ensemble du portefeuille. Le tableau de bord peut être configuré pour y inclure les résultats de comparaison, de faisabilité et de l'analyse de performance pour chacune des installations du portefeuille. Le tableau de bord permet à l'utilisateur de consolider les résultats pour suivre facilement la consommation et/ou la production d'énergie, ainsi que les coûts et les émissions de gaz à effet de serre, qui peuvent tous être triés par type d'installation, type de combustible, pays, etc. Ces résultats peuvent ensuite être utilisés pour signaler les indicateurs clés aux divers intervenants.

IV.12 Données : Le flux de travail du Logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen se compose d'une série de feuilles de calcul (onglets situés dans le haut de la fenêtre du logiciel) et de bases de données. En général, l'utilisateur travaille de gauche à droite, complétant la feuille de calcul *Lieu* en premier, suivi de la feuille de calcul *Installation*, etc. Sur chaque feuille de calcul, l'utilisateur doit suivre les étapes décrites dans le ruban (dans le haut de la fenêtre du logiciel) et compléter chaque feuille de calcul de haut en bas.

IV.12.1 Feuilles de calcul Fichier :

Dans cette section du logiciel RETScreen de gestion d'énergies propres, la feuille de calcul *Fichier* permet à l'utilisateur de voir une vue d'ensemble du logiciel, d'ouvrir, de sauvegarder et de fermer des fichiers, de fixer les préférences, de trouver de l'aide et de se procurer un abonnement annuel au logiciel en mode professionnel.

IV.12.2 Feuilles de calcul Lieu :

Dans cette section du logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen, la feuille de calcul *Lieu* est utilisée pour rapidement établir les conditions climatiques de référence à l'endroit où se situe l'installation, et ce pour des sites partout à travers le monde.

IV.12.3 Feuilles de calcul Installation :

Dans cette section du logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen, la feuille de calcul *Installation* est utilisée pour entrer l'information générale à propos de l'installation. L'utilisateur a également l'option de préparer une analyse de comparaison pour l'installation.

IV.12.4 Feuilles de calcul Modèle énergétique :

Dans cette section du logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen, la feuille de calcul *Modèle énergétique* est utilisée pour simuler la consommation et/ou la production d'énergie de divers types d'installations, y compris des systèmes et mesures individuels.

IV.12.5 Feuilles de calcul Analyse des coûts :

Dans cette section du logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen, la feuille de calcul *Analyse des coûts* aide l'utilisateur à estimer les coûts (et les crédits) relatifs au cas proposé. Le modèle considère les coûts d'investissement initiaux et les frais annuels récurrents. L'utilisateur peut aussi consulter la base de données de produits RETScreen pour contacter des fabricants et ainsi obtenir des prix ou toute autre information nécessaire.

C'est normalement avec de nouveaux projets que l'on pourra réaliser les installations de technologies d'énergie renouvelable, de cogénération ou d'efficacité énergétique les plus rentables. En second lieu, les projets de remise à niveau ou réparation d'un système ou un équipement existant peuvent être les plus rentables. Des coûts particulièrement élevés de l'électricité, de la chaleur et/ou du froid, ou encore des programmes d'incitatifs financiers peuvent rendre un système du cas proposé avantageux, même dans le cas d'un projet de mise à niveau qui ne bénéficie pas de conditions favorables.

Lors de l'évaluation des coûts d'un projet, il ne faut pas oublier que si ce projet ne se réalise pas, il y aura de toute façon fort probablement un autre projet à mettre en œuvre, le projet « conventionnel » de référence. Cela signifie que plusieurs éléments de la liste de coûts du projet du cas proposé devront être « crédités » des coûts des éléments équivalents du projet de référence, au niveau du matériel comme celui de la main-d'œuvre. L'utilisateur veillera donc à dresser un bilan détaillé des coûts d'investissement qui peuvent être crédités. Il est fort probable que des coûts d'ingénierie et de conception et d'autres coûts de développement puissent aussi être crédités, étant donné qu'une partie du temps consacré à ces activités aurait été consacrée de toute façon au projet de référence. Des cellules « Défini par l'utilisateur », identifiées d'une couleur grise, dans lesquelles on peut ajouter du texte, ont été prévues dans la feuille de calcul pour permettre aux analystes de l'étude de pré faisabilité de bien identifier comment on a tenu compte de ces déductions de coûts dans l'analyse financière du projet. Ces « crédits » peuvent avoir un impact significatif sur la rentabilité du projet proposé.

Il est important de noter que les plages de coûts possibles indiquées dans le manuel de l'utilisateur RETScreen n'incluent pas les taxes de vente. Dans certains cas, les coûts liés aux projets d'énergie propre ne sont pas assujettis aux taxes de vente. L'utilisateur doit établir ce qu'il en est dans la localité au moment de préparer l'évaluation des coûts du projet. Par exemple, si dans une région donnée, le coût d'un projet d'énergie propre est assujetti à la taxe de vente, l'utilisateur doit ajouter le montant de cette taxe aux différents coûts du projet.

IV.12.6 Feuilles de calcul Analyse des émissions :

Dans cette section du logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen, la feuille de calcul *Analyse des Émissions* permet d'estimer le potentiel de réduction d'émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'installation analysée.

La première étape est de sélectionner le type d'analyse désiré dans le ruban. On y trouve également le potentiel de réchauffement planétaire des GES, c'est-à-dire leur faculté de contribuer à l'effet de serre en comparaison d'une tonne de CO₂. Pour le niveau 1, cette feuille de calcul comprend trois sections principales : Réseau électrique de référence (Niveau de référence), Analyse des émissions et Revenu pour réduction de GES. Pour les niveaux 2 et 3, elle comprend cinq sections principales : Réseau électrique de référence (Niveau de référence), Sommaire des GES du cas de référence (Niveau de référence), Sommaire des GES du cas proposé (Plan), Sommaire des réductions d'émissions de GES et Revenu pour réduction de GES. Les sections Réseau électrique de référence et Sommaire des GES du cas de référence dressent un bilan des émissions de GES du système de référence. La section Sommaire des GES du cas proposé expose le bilan des émissions de GES du système proposé. La section Sommaire des réductions d'émissions de GES estime les réductions d'émissions de GES d'après les données entrées par l'utilisateur dans les sections précédentes. Les résultats sont calculés en tonnes équivalentes de

CO₂ évitées par année. Les valeurs entrées dans cette feuille n'affecteront pas les résultats présentés dans les autres feuilles de calcul, sauf pour les rubriques reliées aux GES qui apparaissent dans les feuilles de calcul *Analyse financière* et *Analyse de risque*.

IV.12.7 Feuilles de calcul Analyse financière :

Dans le logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen, chaque installation évaluée dispose d'une feuille de calcul *Analyse financière*.

Pour les décideurs, l'un des principaux avantages du logiciel RETScreen est qu'il simplifie le processus d'évaluation des projets. Grâce aux données d'entrée des paramètres financiers (taux d'actualisation, ratio d'endettement, etc.) et aux données résultant de l'analyse de viabilité financière (taux de rendement interne (TRI), retour simple, Valeur Actualisée Nette (VAN), etc.), la feuille de calcul *Analyse financière* offre aux décideurs les paramètres financiers utiles à leur analyse. Les différentes rubriques, avec des commentaires sur leur importance dans l'analyse préliminaire de faisabilité, sont décrites ci-dessous.

IV.12.8 Feuilles de calcul Analyse de sensibilité et de risque :

La feuille de calcul *Analyse de sensibilité et de risque* du logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen permet à l'utilisateur d'évaluer la sensibilité des indicateurs financiers importants aux variations des paramètres techniques et financiers clés. Cette feuille de calcul standard contient deux sections principales : l'analyse de sensibilité et l'analyse de risque. Chaque section fournit des renseignements sur les relations entre les paramètres clés et les indicateurs financiers importants, illustrant quels paramètres ont le plus d'impact sur les indicateurs financiers. L'analyse de sensibilité est prévue pour un usage général alors que l'analyse de risque, qui s'appuie sur une simulation de type Monte-Carlo, s'adresse à des utilisateurs qui possèdent des connaissances en statistiques.

Les deux analyses sont optionnelles. Les données entrées sur cette feuille de calcul n'affecteront pas les résultats des autres feuilles de calcul.

IV.12.9 feuille de calcul Analyse du rendement

Le Logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen comprend un Module sur l'analyse du rendement qui aide l'utilisateur à surveiller, à analyser des données clés en matière de rendement énergétique et à les présenter aux opérateurs d'établissement, aux gestionnaires et aux décideurs séniors.

Mettre en œuvre un système de surveillance, de ciblage et de préparation de rapports peut être un moyen efficace de mieux gérer les investissements dans les projets d'énergie et d'identifier d'autres occasions de projets. De plus, la mesure et la vérification (M et V) des économies actuelles (ou de la production) réalisées grâce à un projet d'énergie propre représente une dernière étape importante dans le processus décisionnel en matière d'énergie.

En vue de contribuer à répondre à ce besoin à l'échelle mondiale, RETScreen International a élaboré, en collaboration avec le Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership (REEEP) et le Langley Research Centre de la NASA, le Module sur l'Analyse du rendement de RETScreen. Cet outil logiciel, qui intègre des données climatiques obtenues par satellite en temps quasi réel de la NASA pour la surface entière de la Terre, peut être utilisé partout dans le monde afin de surveiller le rendement énergétique réel d'une installation par rapport au rendement prévu.

Fondamentalement, la surveillance, le ciblage et la préparation de rapports passent par la détermination des facteurs susceptibles d'influencer la consommation (ou la production) d'énergie, typiquement mesurée au compteur. Ces facteurs sont parfois appelés « facteurs déterminants » ou « facteurs d'influence » (p. ex. la météo, le niveau de production, le taux d'occupation). Dans un bâtiment doté d'une chaudière au gaz naturel, le facteur déterminant sera le plus souvent les besoins en chauffage, exprimés en nombre de degrés-jours de chauffage. En présence de charges de climatisation et de refroidisseurs électriques, le facteur déterminant prendra plutôt la forme de degrés-jours de climatisation. Pour ce qui est d'une installation industrielle, le facteur déterminant sera probablement le niveau de production, tandis que pour un système de production d'électricité photovoltaïque, il s'agira de la quantité de rayons solaires que reçoivent les capteurs solaires chaque jour.

Le Module sur l'Analyse du rendement de RETScreen comporte une Feuille de calcul *Données* qui permet à l'utilisateur de créer, d'importer, de calculer, de filtrer, de fusionner et de stocker une variété d'ensembles de données en vue de préparer l'analyse du projet.

La réussite de l'application de la surveillance, du ciblage et de la préparation de rapports repose principalement sur la disponibilité d'un ensemble cohérent de données environnementales historiques et actuelles précises. Le Langley Research Centre de la NASA a établi, pour la surface entière de la Terre, une base de données automatisée de valeurs quotidiennes de paramètres météorologiques satellites de surface pour une période de plus de 30 ans et en temps quasi réel. Les paramètres comprennent, par exemple, la température quotidienne de juillet 1983 à aujourd'hui, avec un retard maximal d'une semaine relativement au temps réel. L'utilisateur du logiciel RETScreen est en mesure de télécharger automatiquement des données en temps quasi réel des serveurs Web de la NASA directement dans la section sur les données du Module sur l'Analyse du rendement. Ainsi, la collecte de

données climatiques devient une tâche simple dans le cadre des projets réalisés n'importe où dans le monde.

IV.12.10 feuille de calcul de l'Analyse de perfection de régression

Une fois les facteurs d'influence déterminés, leur relation avec la consommation (ou la production) peut être établie au moyen d'une équation mathématique qualifiée d'analyse de régression. L'analyse de régression tente de décrire la relation qui existe entre la consommation/production et ses facteurs déterminants à l'aide d'une équation mathématique (c.-à-d. le modèle). Un modèle perfectionné de régression est directement intégré au Module sur l'Analyse du rendement de RETScreen

La première étape est de déterminer quels graphiques devraient faire partie du tableau de bord afin de préparer l'analyse du rendement. L'étape suivante consiste à établir une période de référence pour l'analyse. Souvent, un Graphique de Séries chronologiques est utilisé afin d'aider à déterminer la période de référence. Lorsque la période de référence est établie, on peut l'utiliser pour prédire la consommation ou la production future d'énergie pour une période donnée en fonction de conditions particulières décrites par les facteurs déterminants. La consommation (ou la production) future peut ensuite être comparée avec les prévisions afin de déterminer si la consommation (ou la production) d'énergie est plus ou moins élevée que ce qui est prévu. Les écarts entre les valeurs réelles et les valeurs visées/prévues sont alors calculés pour chaque période et additionnés pour obtenir une somme cumulée des différences (CUSUM); on l'appelle aussi « total des économies cumulatives ». Cette somme cumulée ainsi que d'autres capacités, telles que des Diagrammes de Contrôle visant à suivre le rendement réel d'un projet en comparaison avec le rendement ciblé, sont également incorporées au Module sur l'Analyse du rendement.

IV.12.11 Feuille de calcul du Rapport :

La feuille de calcul *Rapport* du logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen permet à l'utilisateur de créer, éditer et extraire une variété d'ensemble de données et figures nécessaires à la présentation adéquate de l'analyse du projet. La section sur la préparation de rapports offre à l'utilisateur une sélection de rapports normalisés de haut niveau, de même que des rapports d'un niveau détaillé pouvant être personnalisés.

L'utilisateur peut préparer des rapports personnalisés qui comprennent des renseignements beaucoup plus détaillés, y compris des graphiques de séries chronologiques, des analyses de régression, des diagrammes représentant les sommes cumulées ainsi que des diagrammes de contrôle du projet. L'utilisateur est également en mesure de sélectionner, de sauvegarder, d'imprimer et d'exporter ces rapports dans une variété de formats (p. ex. PDF, png, csv, etc.).

IV.2 Le logiciel du dimensionnement photovoltaïque PVsyst :

PVsyst est un logiciel de simulation et de dimensionnement d'installation solaires photovoltaïque, ce logiciel a été élaboré par l'université de Genève (suisse), Son concepteur est A. Mermoud

PVSYST est l'un des plus anciens et des plus performants logiciels dédié au photovoltaïque. Il propose des fonctionnalités très poussées telle que son application 3D qui permet de simuler la course du soleil et les ombres portées afin d'optimiser l'implantation des panneaux.

Le logiciel coute environ 700 €, une version d'essai gratuite de 15 jours est téléchargeable sur leur site.

Le logiciel PVsyst dispose de plusieurs entrées : flux solaires moyens mensuels, températures moyennes mensuels, besoins énergétiques, choix de modules PV et de leur inclinaison, choix des batteries, régulateurs de charge, onduleurs , entrée du nombre de jours d'autonomie, du taux du couverture solaire et du cout d'investissement (achat matériel, coût d'installation du système) et coté simulation on obtient les résultat sur la puissance du champ requis, la capacité de stockage , les caractéristique des composants sous des conditions précis et le coût de revient du kilowatt heure (kWh).

IV.2.1 Aperçu sur le logiciel :

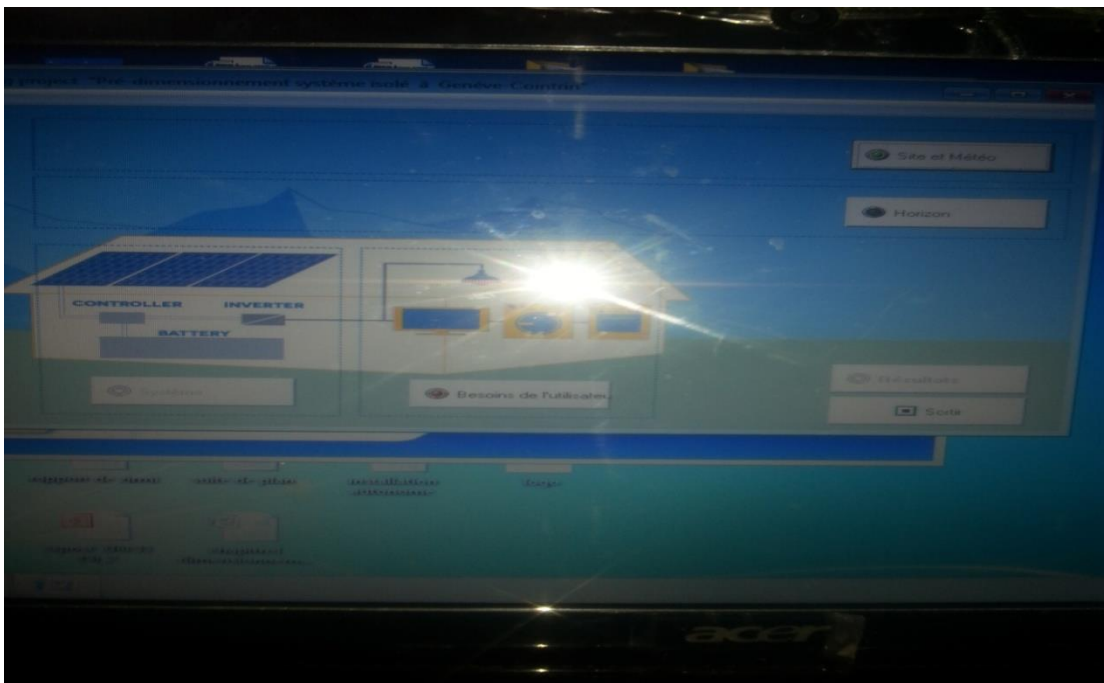


Figure 27 :Aperçu sur le logiciel PVsyst

IV.2.2Pré-dimensionnement :

Dans cette étape on calcule les besoins en énergie du système choisi et l'évaluation des dimensions de ce dernier et de ces composants.

IV.2.3conception du projet :

Dans cette étape on calcule la production à partir des simulations détaillées en valeurs horaires et analysée en détail les pertes du système et aussi les différentes variantes peuvent être simulées et comparées.



Figure 28 :

IV.2.4 Bases de données :

Dans cette étape on trouve la gestion de bases de données météo et composantes.

Pour les données météo on trouve les fichiers mensuels et journaliers, génération horaire synthétique, analyse et vérification de données horaires. Et pour les bases de données composants on trouve différents types de composants (module PV, batteries, pompes, régulateurs, générateurs).

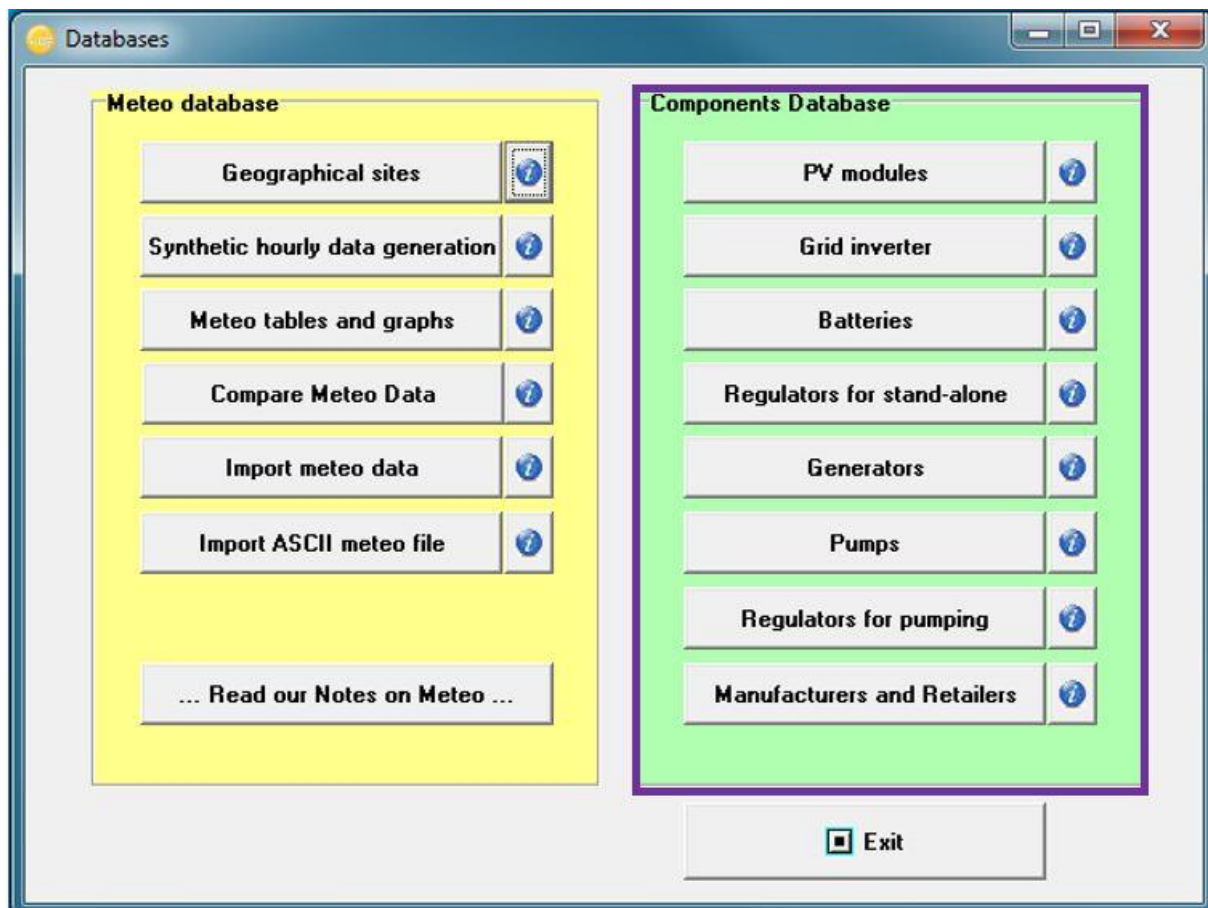


Figure 29 :

IV.2.5 Outils :

Pour cette étape elle ne s'informe sur la géométrie solaire et optimisation de l'orientation et aussi le comportement électrique de champs PV avec ombrages et mismatch.

Conclusion : Dans ce chapitre nous avons donné pour exemple deux logiciels (RETScreen, PVSyst) les plus répondus et les plus utilisés dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Nous avons essayé de donner des aperçus concernant les fonctionnalités de ces derniers. Il existe d'autres logiciels que nous n'avons pas cités, tel que solarcalcet TRITEC le premier est un logiciel développé par des français, il permet de concevoir, de dimensionner et d'optimiser une installation photovoltaïque. Pour le deuxième c'est une application web permettant la sélection rapide du lieu d'implantation par Google maps, le dimensionnement des onduleurs, le calcul prévisionnel de production ainsi que le champ PV.

Dans le chapitre qui va suivre nous allons mettre en œuvre une application software sous matlab qui nous permettra de dimensionner des installations photovoltaïques dont le principe est inspiré des logiciels illustrés précédemment.

Conclusion générale

L'objectif du travail que nous avons effectué dans le cadre de ce mémoire était de dimensionner et d'optimiser un système photovoltaïque autonome avec batteries. Pour ce faire, nous avons développé une application software sous matlab qui permet de déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques, d'onduleurs et régulateurs ainsi que la capacité de stockage des batteries et leur nombre. Ceci dans le but de satisfaire le profil de consommation électrique en fonction des gisements solaire du site.

Dans une première partie nous nous sommes intéressés à l'étude du rayonnement solaire, et présentés la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, des semi conducteurs et de l'effet photovoltaïque. nous avons ensuite présenter les système photovoltaïque autonomes.

Qui consiste en des système de générateurs d'électricité destiné à effectuer une tâche bien déterminée ; à savoir couvrir les besoins énergétiques des maisons isolées. Ces systèmes se composent de plusieurs éléments principalement les modules PV qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique.

Notre application répond efficacement à beaucoup de critères de dimensionnement d'installations photovoltaïques. Par ailleurs nous estimons, en terme de perspective la possibilité d'amélioration de l'application que nous avons conçues, pour adapter des critères et paramètre spécifique au domaine de son application.

Bibliographie

I

[1] Bounouar Malika « étude de la purification du silicium destiné à la réalisation de cellules photovoltaïques », thèse de magister, **p2**. UMMTO

[2] Bounouar Malika « étude de la purification du silicium destiné à la réalisation de cellules photovoltaïques », thèse de magister, **p4**. UMMTO

[3] Bounouar Malika « étude de la purification du silicium destiné à la réalisation de cellules photovoltaïques », thèse de magister, **p4-5**. UMMTO

[4] Hatem djedjiga « cellules solaires » thèse de doctorat, **p 12-13-14** UMMTO

[5] Bounouar Malika « étude de la purification du silicium destiné à la réalisation de cellules photovoltaïques », thèse de magister, **p9-10-11-12-13**. UMMTO

[6] pierre papet « nouveaux concepts pour la réalisation de cellules photovoltaïques à contacts interdigités sur substrats minces en silicium cristallin » thèse de doctorat décembre 2007 ; INSA de Lyon

II

[7] M^{elle} Meziani Fariza « détermination du gisement solaire par traitement d'images MSG » thèse de magister UMMTO. **P 4-5-6-7**.

[8] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques », 2011, ISBN 978-2-281-11497-3

[9] Anis Yaker et al « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome », thèse de master année (2015), p27.

[10] Anis Yaker et al « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome », thèse de master année (2015), p26 ; 27 ; 28 ; 29 ; 30,31 ; 32.

III

[11] [Www.bisol.fr](http://www.bisol.fr), le système photovoltaïque autonome BISOL 1200.

[12] Mark Hankins « installations solaires photovoltaïques autonomes, 2010, ISBN 978-2-10-057299-1 (traduit de l'anglais par Daniel Gouadec).

IV

[13] Anne Labouret et al « énergie solaire photovoltaïque, Dunod, Paris 2003, 2005, 2006 ISBN 2-10-049945-9, **P 223**.

[14] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques », 2011, ISBN 978-2-281-11497-3 **P127**

[15] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques », 2011, ISBN978-2-281-11497-3 **P140**

[16] Anis Yaker et al « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome », thèse de master année (2015), **p41**.

[17] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques », 2011, ISBN978-2-281-11497-3 **P141**

[18] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques », 2011, ISBN978-2-281-11497-3 **P146**

[19] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques », 2011, ISBN978-2-281-11497-3 **P146**

[20] Anis Yaker et al « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome » thèse de master année (2015), **p29**.

[21] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques » 2011, ISBN978-2-281-11497-3 **P150**

[22] Anis Yaker et al « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome », thèse de master année (2015), **p41-42**.

[23] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques », 2011, ISBN978-2-281-11497-3 **P152**

[24] Anis Yaker et al « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome », thèse de master année (2015), **p32**.

[25] Anis Yaker et al « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome », thèse de master année (2015), **p33**.

[26]. Annelabouret et al «énergie solaire photovoltaïque dunod », paris

[27] : [http:// www.tritec_energy.com](http://www.tritec_energy.com), consulté en avril 2017

[28] :[http:// www.retsceen.net](http://www.retsceen.net), consulté en avril 2017

[29] : [http// www.memoireonline.com](http://www.memoireonline.com), consulté en avril 2017

[30] : [http//www.industrie-techno.com](http://www.industrie-techno.com), consulté en avril 2017

Liste des figures

Figure 1 spectre représentant l'irradiance sur terre (AM 1.5G).....	Px
Figure 2 Organigramme des différentes technologies.....	px
Figure 3 structures (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque....	
Figure 4 le rendement théorique maximal en fonction de la de bande interdite.....	
Figure 5 Rendement théorique maximal des matériaux photovoltaïque en fonction du gap..	
Figure 6 schémas équivalents d'une cellule idéale.....	
Figure 7 schémas équivalents d'une cellule solaire réelle.....	
Figure 8 mise en série des cellules ; protection par diode by-pass.....	
Figure 9 caractéristique électrique d'une n cellules (en série).....	
Figure 10 Mise en parallèle des cellules ; protection par diode anti-retour.....	
Figure 11 caractéristique résultante d'un groupement np cellules en parallèle.....	
Figure 12 Mise en série / parallèle des cellules photovoltaïques.....	
Figure 13 Les différents composants d'une l'installation de base.....	
Figure 14 champs photovoltaïque.....	
Figure 15 encapsulations des cellules.....	
Figure 16 Régulateurs solaires	
Figure 17 Batteries solaire ouverte ou liquide.....	
Figure 18 Batteries solaires AGM.....	
Figure 19 Batteries solaires tubulaires OPzV.....	
Figure 20 un onduleur solaire	
Figure 21 : pompes de l'eau	
Figure 22 : Cimetière des modules photovoltaïques	
Figure 23 : nombre de cycle de charge supporté par une batterie	
Figure 24 : Calcul de La latitude Θ	

Figure 25 : Calcul de la longitude φ

Figure 26 : Aperçu sur le logiciel RETScreen

Figure 27 :Aperçu sur le logiciel PVsyst

Figure.27.....

Figure.28.....

Figure.29.....

Figure.30.....

Liste des tableaux

Tableau n°1 répartition spectral du rayonnement solaire3

Tableau n°2 les valeurs du ratio de performances Pr d'une installation photovoltaïque en fonction de la ventilation des modules.....19

Tableau n° 3 tension conseillée en fonction de la puissance du système photovoltaïque.19

Tableau n° 4avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques autonomes26

Tableau n° 5 récapitulatif des principales pertes énergétiques.....38