

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° :.....



DOMAINE : Génie électrique

FILIERE : Electrotechnique

OPTION : Energie renouvelable en
électrotechnique

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Intitulé

**Etude de faisabilité d'une installation solaire
photovoltaïque autonome par PVSyst pour
établissement scolaire**

Proposé et dirigé par :

Dr. BOUCHELAGHEM Ahmed

Présenté par:

MERABET Houssam

SILEM Mouhssin

Soutenu devant le jury composé de:

DR. SAIGAA. K	Université Mohamed BOUDIAF - M'Sila	Président
DR. BOUCHELAGHEM. A	Université Mohamed BOUDIAF - M'Sila	Rapporteur
DR.DRIF .M	Université Mohamed BOUDIAF - M'Sila	Examineur

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah, et tous ceux qui nos données la force et la patience pour accomplir cette tâche modeste

*A la fin de ce travail, nous remercions sincèrement monsieur **Dr. BOUCHLAGHEM AHMED** pour ses remarques, ses conseils considérables et ces critiques constructives.*

*Nous remercions de tous nos cœurs **Dr. DRIF MAHMOUD** pour sa volonté.*

Nous remercions également tous les membres du jury qui nous ont fait l'honneur en acceptant d'examiner ce travail.

Nous remercions tous les enseignants qui ont encadré durant notre cursus universitaire.

Nous remercions tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont toujours soutenus par leur respect et leur gentillesse.



Dédicace

*Je dédie mon travail
À mes parents, mes frères, ma sœur ainsi que
toute La famille 'MERABET' pour leurs
encouragements et prières qui m'ont permis de
finaliser ce travail. Et n'oublier pas le grand
merci à mes amies.*

*A tous mes amis qui ont toujours été présents et
qui n'ont ménagé aucun effort pour me
bénéficier avec leur aide et leurs suggestions.*

A tous mes collègues de promotion.

Houssam



Dédicace

*Je dédie mon travail
À mes parents, mes frères, ma sœur ainsi que
toute La famille 'SILEM' pour leurs
encouragements et prières qui m'ont permis
de finaliser ce travail. Et n'oublier pas le
grand merci à mes amies.*

*A tous mes amis qui ont toujours été présents
et qui n'ont ménagé aucun effort pour me
bénéficier avec leur aide et leurs suggestions.*

A tous mes collègues de promotion.

Mouhssin

Sommaire
Liste des Figures
Liste des Tableaux
Liste des symboles et des abréviations
Introduction générale1

Chapitre I

Généralités sur les systèmes photovoltaïques autonomes

I.1. Introduction..... 3
I.2. Energie Solaire..... 3
 I.2.1 Gisement solaire..... 3
 I.2.2 L'énergie solaire dans l'espace, hors atmosphère..... 5
 I.2.3 Gisement solaire disponible à la surface de la terre..... 5
 I.2.3.1 Rayonnement solaire sur notre planète..... 5
 I.2.3.2 Composants du rayonnement..... 5
I.3. Composition du système photovoltaïque..... 6
I.4. Le Générateur photovoltaïque GPV 7
 I.4.1 Le générateur PV 7
 I.4.2 La Cellule photovoltaïque..... 7
 I.4.2.1 Définition..... 7
 I.4.2.2 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque..... 8
 I.4.2.3 Différentes types des cellules..... 8
 I.4.2.4 Rendement des cellules photovoltaïques..... 9
 I.4.2.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque..... 10
 I.4.3 Module Photovoltaïque..... 11
 I.4.3.1 Définition..... 11

Sommaire

I.4.3.2 Caractéristiques d'un module.....	12
I.4.4 Constitution d'un générateur PV.....	12
I.5. Système de stockage.....	13
I.5.1 Les Caractéristiques principales d'une batterie.....	13
I.5.2 Batteries d'accumulateurs.....	14
I.6. Régulateur de charge et décharge.....	15
I.6.1 Principe de fonctionnement des régulateurs.....	15
I.6.2 Régulateur parallèle.....	16
I.6.3 Régulateur série.....	17
I.6.4 Choix du régulateur solaire.....	17
I.6.5 Le MPPT.....	18
I.6.6 Le principe de fonctionnement du MPPT d'un générateur PV.....	18
I.7. Convertisseur Continu-Alternatif (Onduleur).....	19
I.7.1 Critères de choix d'un onduleur solaire.....	20
I.8. Charge.....	20
Conclusion.....	20

Chapitre II

Conception et dimensionnement de l'installation PV autonome

II.1. Introduction.....	21
II.2. Etape 1 : Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV.....	22
II.3.1 Orientation et inclinaison des modules.....	22

Sommaire

II.3.Etape 2 : L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité.....	23
II.3.1 Evaluation des besoins.....	24
II.3.2 Choix des appareils électriques et leur adaptation au système PV.....	24
II.3.3 Présentation de l'école.....	24
II.3.4 Description de l'école.....	24
II.3.5 Cahier des charges.....	25
II.4.Etape 3 : Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de module.....	26
II.4.1 Détermination de la tension de fonctionnement de système.....	26
II.4.2 Composition du champ photovoltaïque.....	27
II.4.3 Nombre des panneaux.....	27
II.5. Etape 4: Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie.....	28
II.5.1 Calcule la capacité de stockage.....	28
II.6. Etape 5: Choix de régulateur et de l'onduleur.....	29
II.6.1 Choix du régulateur.....	29
II.6.2 Choix de l'onduleur.....	30
II.7. Etape 6: Dimensionnement des câbles et plan de câblage.....	32
II.8. Choix des composants du système.....	32
II.9. Caractéristiques des composants utilisés pour le dimensionnement des systèmes PV.....	33
II.10. Protection d'un système photovoltaïque.....	34
II.11. Maintenance.....	34
Conclusion.....	35

Chapitre III

Résultats de simulation à l'aide du logiciel
PVsyst

Partie A : Présentation de PVsyst.....	36
III.A.1. Menu principal.....	36
III.A.1.1 Pré-dimensionnement.....	37
III.A.1.2 Conception du projet.....	37
III.A.1.3 Outils.....	38
III.A.2. Présentation de projet.....	38
III.A.2.1 Géographique coordonnée.....	38
III.A.2.2 Données météorologiques.....	40
III.A.3. Conception du projet.....	40
III.A.3.1 Les étapes pour une conception du projet (isole avec batteries).....	41
Partie B : Résultats et discussions de la simulation.....	48
III.B.1. Paramètres du système (Isolé avec batteries)	48
III.B.1.1 Caractéristiques du champ de capteurs.....	48
III.B.1.2 Caractéristiques du Batterie.....	48
III.B.2. Profil de charge.....	48
III.B.3. performance ratio.....	49
III.B.4. Les productions normalisées.....	49
III.B.5. Bilan énergétique.....	50
III.B.6. Etude de rentabilité économique.....	52
III.B.6.1 Tableaux de l'étude économique des systèmes PV.....	52

Sommaire

III.B.6.2 Discussion et analyse des résultats de l'installation dimensionnée.....	53
III.B.6.3 Installation de SPV.....	53
III.B.6.4 Installation mécanique et électrique.....	53
Conclusion.....	56
Conclusion générale.....	57

Chapitre I

Figure (I.1) : Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie.....	4
Figure (I.2) : Composantes du rayonnement solaire.....	6
Figure (I.3) : Systèmes photovoltaïques.....	6
Figure (I.4) : Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.....	7
Figure (I.5) : principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule Photovoltaïque.....	8
Figure (I.6) : Types de cellules photovoltaïque.....	9
Figure (I.7) : Caractéristique puissance - tension & courant- tension de la cellule PV.....	11
Figure (I.8) : Module PV en groupement série - parallèle des cellules.....	11
Figure (I.9) : Représentation d'un Module Photovoltaïque.....	12
Figure (I.10) : Construction d'une batterie monobloc.....	14
Figure (I.11) : Schéma de principe d'un régulateur de charge.....	15
Figure (I.12) : Régulateur parallèle.....	16
Figure (I.13) : Régulateur série.....	17
Figure (I.14) : point de puissance maximum (MPP)	18
Figure (I.15) : Fluctuation du PMM avec : a) Variation de l'éclairement et b) Variation de la charge	18
Figure(I.16): Onduleur.....	19

Liste des Figures

Chapitre II

Figure (II.1) : Structure de l'installation photovoltaïque autonome	21
Figure (II.2) : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau	23
Figure (II.3) : Rendement d'onduleur photovoltaïque en fonction de taux de charge	31
Figure (II.4) : Exemples d'organes de protection	34

Chapitre III

Figure (III.1) : menu principal de logiciel PVsyst	36
Figure (III.2) : site de Boukhmissa.....	38
Figure (III.3) : Coordonnée géographique de 'Boukhmissa' M'sila.....	39
Figure (III.4) : Paramètres climatique de M'sila.....	40
Figure (III.5) : Conception du projet	41
Figure (III.6) : angle d'orientation.....	42
Figure (III.7) : horizon de 'Boukhmissa' M'sila.....	42
Figure (III.8) : la consommation	43
Figure (III.9) : la profile de charge et le temps d'utilisation	43
Figure (III.10) : la définition de système autonome.....	44
Figure (III.11) : les paramètres pour choisir batterie	45
Figure (III.12) : les paramètres de la batterie	45
Figure (III.13) : les paramètres du champ PV.....	45

Liste des Figures

Figure (III.14) : Définition d'un module PV.....	46
Figure (III.15) : le choix du régulateur.....	46
Figure (III.16) : paramètres des pertes	47
Figure (III.17) : Profil de charge.....	48
Figure (III.18) : indice de performance.....	49
Figure (III.19) : Les productions normalisées.....	50

Chapitre I

Tableau (I.1) : Les différents types des cellules avec leur rendement.....9

Chapitre II

Tableau (II.1) : La pièce et L'équipement électrique dans l'école24

Tableau (II.2) : L'équipement électrique et leur puissance dans cette école25

Tableau (II.3) : Consommation d'une école26

Tableau (II.4) : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête.....27

Tableau (II.5) : Caractéristique technique des composants du système PV33

Chapitre III

Tableau (III.1) : Bilan énergétique.....50

Tableau (III.2): Etude économique du système PV alimentant une école autonome.....52

Liste des symboles et des abréviations

Indice	Mot clé	Unité
PV	Photovoltaïque	/
GPV	Générateur photovoltaïque	/
RD	Rayonnement Direct	[W/m ²]
Rd	Rayonnement diffus	[W/m ²]
Rr	Rayonnement réfléchi	[W/m ²]
RG	Rayonnement Global	[W/m ²]
Isc	Courant débité par un module en court-circuit	[A]
Voc	Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant	[V]
Rs	Résistance série	[Ω]
Rsh	Résistance shunt	[Ω]
Si	Silicium	/
MPPT	Maximum Power Point Tracking	/
Pc	Puissance crête	[Wc]
V _{pm}	Tension maximale	[V]
I _{pm}	Intensité maximale	[A]
η	Rendement	[%]
P _m	Puissance maximale	[W]
E	L'éclairement	[W/m ²]
S	Surface	[m ²]
PPM	Point de Puissance Maximale	[W]
Ei	L'énergie journalière consommée d'un équipement	[Wh]
Pi	La puissance crête d'un équipement	[W]
Ti	Le temps d'utilisation	[h]

Liste des symboles et des abréviations

V_{DC}	Tension DC nominal du système	[V]
PR	Performance Ratio	[%]
P_g	La puissance crête de GPV au STC	[W]
H _{gh}	L'irradiation journalière mensuelle moyenne sur la place de GPV	[Wh/m ² /j]
G _t	L'éclairement standard	[1000w/m ²]
E _t	Énergie consommée ramenée au GVP (Wh/j)	[Wh/j]
N_{TM}	Nombre totale des modules PV	/
P_m	la puissance nominale du module	[w]
N_{ms}	Le nombre de module en série	/
V_{sys}	La tension DC nominal du système	[V]
V_m	La tension nominale du module	[V]
N_{mp}	Le nombre de module en parallèle	/
C(Wh)	La capacité du stockage	[Wh]
C(Ah)	La capacité du stockage en Ampère heure	[Ah]
N_{aut}	Nombre de jour d'autonomie de la région	/
DOD_{max}	La profondeur maximale de décharge	[%]
N_{bs}	Nombre d'éléments en série de batterie	/
V_e	Tension de l'élément batterie	[V]
N_{bp}	Nombre de branches d'éléments en parallèle de batterie	/
C_e	Capacité d'un élément batterie	[Ah]
N_{Tb}	Le nombre total d'éléments batterie	/
I_G	Le courant qui produit par le GPV	[A]
I_{br}	Le courant de branche de module parallèle	[A]
1.25	Facteur de sécurité pour éviter l'endommagement de régulateur	/
I_l	Le courant de l'utilisation	[A]
P_{DC}	La puissance de charge DC	[W]

Liste des symboles et des abréviations

P_{AC}	La puissance de charge AC	[W]
I_g	Le courant de régulateur	[A]
P_{on}	La puissance de l'onduleur	[W]
S	la section du conducteur	[mm^2]
l	La longueur du conducteur	[m]
ρ	La résistivité du matériau conducteur	[$\Omega \cdot m$]
R	la résistance	[Ω]
L_f	Facteur des pertes	[%]

Introduction Générale

L'énergie est la complication essentielle pour l'homme dans le monde actuel, ses sources, est la question que le futur va poser à l'homme. Cependant l'histoire réserve parfois des surprises. Avec la diminution du stock mondial d'hydrocarbures d'origine fossile (pétrole, gaz et charbon), la demande énergétique sans cesse croissante, la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante, les énergies renouvelables (solaire, marine, éolienne, etc.) reviennent au premier plan de l'actualité; leur exploitation arrange beaucoup l'environnement.

L'Algérie, de par sa situation géographique, bénéficie des conditions favorables à l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire d'origine photovoltaïque et l'introduction de ces nouvelles énergies pourrait être aisément envisagée sur de nombreux sites.

L'Algérie dispose également d'un important potentiel en énergie solaire et qui n'attend qu'une bonne exploitation.

La conversion du rayonnement en électricité, appelée effet photovoltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839. Il a fallu attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.

La technologie qui permet la conversion de cette forme d'énergie (énergie solaire) en énergie électrique est appelée conversion photovoltaïque.

L'électricité photovoltaïque présente une option technique et économique intéressante pour des sites non raccordés au réseau de distribution centralisée. Lorsque les besoins à couvrir sont faibles où l'absence d'une maintenance lourde (diesel) constitue un avantage évident, les systèmes photovoltaïques trouvent leur pleine justification, en comparaison du service rendu.

Cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz, elle est donc une énergie totalement propre. Par ailleurs, l'absence et le manque en mouvement des pièces mécaniques lui confèrent un niveau de fiabilité inégalable (la durée de vie d'un module photovoltaïque est estimé généralement par les experts à 30 ans).

L'énergie photovoltaïque, source d'énergie propre et renouvelable, s'inscrit parfaitement dans le cadre de la politique écologique actuel des gouvernements industrialisés.

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable.

C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement [1].

L'énergie solaire n'étant pas disponible la nuit, il est nécessaire d'équiper les systèmes photovoltaïques autonomes par des batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'énergie et de la restituer en temps voulu. Pour les systèmes raccordés au réseau de distribution électrique, le stockage de l'énergie est bien évidemment pas indispensable [2].

Introduction Générale

Dans notre travail, nous proposons l'étude du dimensionnement d'un système solaire photovoltaïque pour l'approvisionnement en énergie électrique d'une école primaire située dans la région de Boukhmissa-Msila.

Le premier chapitre est consacré aux installations solaires photovoltaïques. Nous présentons tout d'abord, des généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque et ainsi que les systèmes PV qui sont actuellement établis dans la pratique.

Dans le deuxième chapitre, nous nous intéressons au dimensionnement et de conception de l'installation photovoltaïque pour l'approvisionnement en énergie électrique d'une école primaire située au sein de Boukhmissa - M'sila, à savoir les différents éléments constituant le système PV (module, batterie, régulateur, onduleur...).

Le troisième chapitre est consacré à l'étude par simulation de notre système: nous présentons le logiciel que nous avons utilisé **PVSYST**, ensuite, nous présentons les résultats obtenus de l'installation PV, pour statuer sur la rentabilité économique de l'installation solaire photovoltaïque.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes photovoltaïques autonomes

I.1. Introduction :

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel. Leur association en série/parallèle donne lieu à un module ou panneau photovoltaïque.

En effet le mot " photovoltaïque " vient du grec " photo " qui signifie lumière et de " voltaïque " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la «lumière électricité» [3, 4].

Dans ce premier chapitre, nous allons parler d'une manière générale des systèmes photovoltaïques(PV), les éléments de captage d'un système PV (source d'énergie PV) et le générateur photovoltaïque(GPV).

I.2. Energie Solaire

L'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et de la position du soleil. Pour récupérer un maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur par rapport aux rayons lumineux. La connaissance de la position du soleil en fonction du temps est donc fondamentale.

I.2.1 Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée.

Il est utilisé pour déterminer l'énergie reçue par d'un système énergétique solaire et aide au dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire.

La connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précise :

- ✓ Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données.
- ✓ Selon le nombre d'années de mesures disponibles.
- ✓ Selon le pas de temps des données (mois, jour, heure).
- ✓ Selon la nature des données: durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc.....

A cet effet, concernant la mesure du rayonnement solaire en Algérie, le réseau de mesures est peu dense relativement à la superficie du territoire. En effet, seules sept stations météorologiques sur la soixantaine que compte le réseau de l'office national de la

météorologie assurent la mesure des composantes diffuse et globale du rayonnement solaire reçu sur le plan horizontal.

Pour pallier aux insuffisances des réseaux de mesures, des modèles sont proposés, ils sont basés essentiellement sur l'utilisation des données météorologiques en particulier la durée d'insolation.

Les différentes irradiations solaires utilisées par les concepteurs de systèmes solaires, sont :

- ✓ L'irradiation directe à incidence normale.
- ✓ Les irradiations de base, la composante diffuse et la composante globale mesurées sur plan horizontal.
- ✓ L'irradiation solaire globale reçue sur des plans verticaux orientés Est, Ouest et Sud.
- ✓ L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu et orienté Sud.

La distribution de l'énergie reçue en Algérie, en moyenne annuelle, est donnée par la figure (I.1) ci-dessous. Elle présente les différents niveaux énergétiques qui donnent ainsi un découpage du pays en régions iso énergétiques.

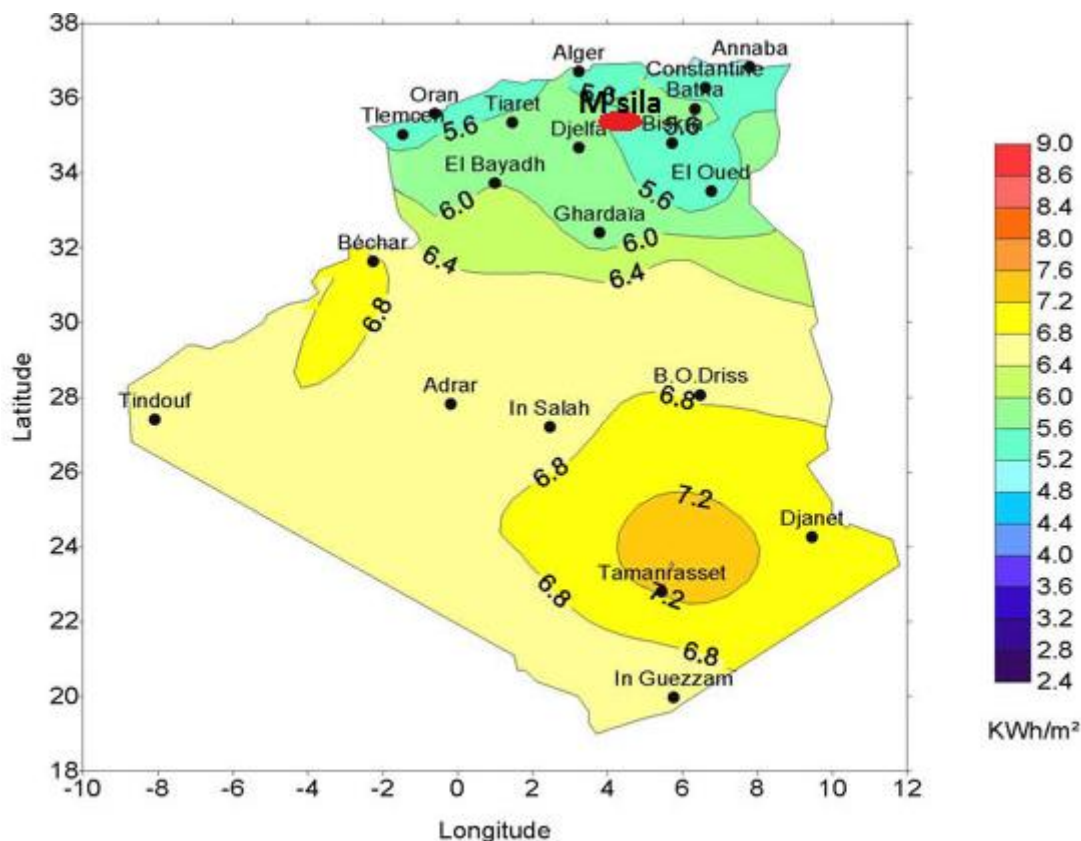


Figure (I.1) : Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie [5]

I.2.2 L'énergie solaire dans l'espace, hors atmosphère :

Le Soleil est une étoile autour de laquelle gravite la Terre. Son énergie provient des réactions thermonucléaires de fusion de l'hydrogène en hélium. Sa température superficielle moyenne est estimée à 5.800 K.

L'énergie véhiculée par le rayonnement solaire dans l'espace a été précisément évaluée grâce aux mesures effectuées par des satellites. Un mètre carré exposé face au soleil en dehors de l'atmosphère reçoit tant qu'il le voit 1.353 KW/m², ce qui représente, en 24 heures, 32.5 KWh.

I.2.3 Gisement solaire disponible à la surface de la terre :

L'atmosphère terrestre absorbe une partie de l'énergie reçue du soleil et modifie la nature du rayonnement

I.2.3.1 Rayonnement solaire sur notre planète :

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire, c'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et 4.10⁻⁶m, sans la nécessité d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbent.

I.2.3.2 Composants du rayonnement :

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

- ❖ **Le Rayonnement Direct RD**: est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux. Il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs
- ❖ **Le Rayonnement diffus Rd** : est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle et une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, et les gouttelettes d'eau et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.
- ❖ **Le Rayonnement réfléchi Rr** : est la partie réfléchi par le soleil et dépend de l'environnement du site.
- ❖ **Le Rayonnement Global RG** : est tout simplement la somme de ces diverses contributions comme le montre la figure (I.2).

$$\mathbf{RG = RD + Rd + Rr} \quad \text{(I.1)}$$

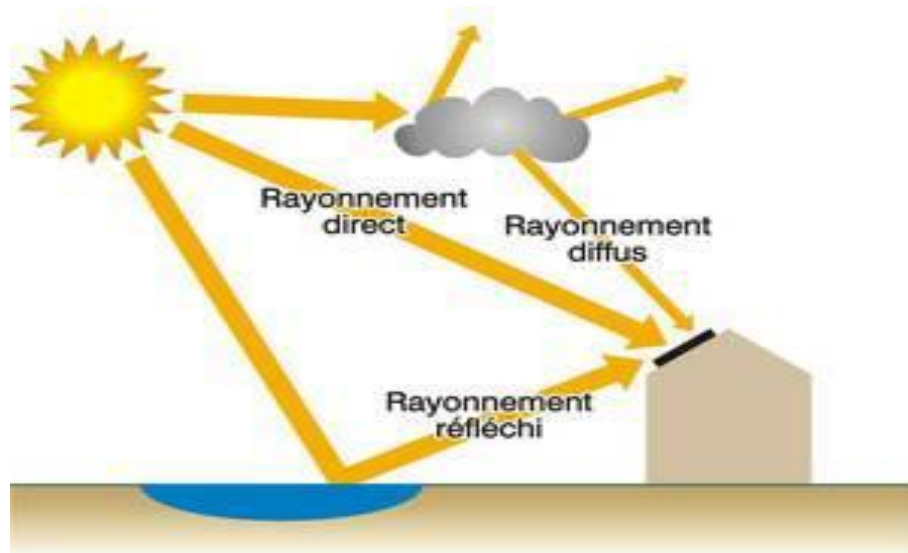


Figure (I.2) : Composantes du rayonnement solaire [6].

I.3. Composition du système photovoltaïque

Le système photovoltaïque est constitué par une source d'énergie (générateur photovoltaïque), une interface de puissance (les convertisseurs statiques DC-DC et DC-AC avec un système de commande) et une charge. Le rôle principal du convertisseur statique est de faire une adaptation d'impédance de sorte que le générateur délivre le maximum d'énergie [7].

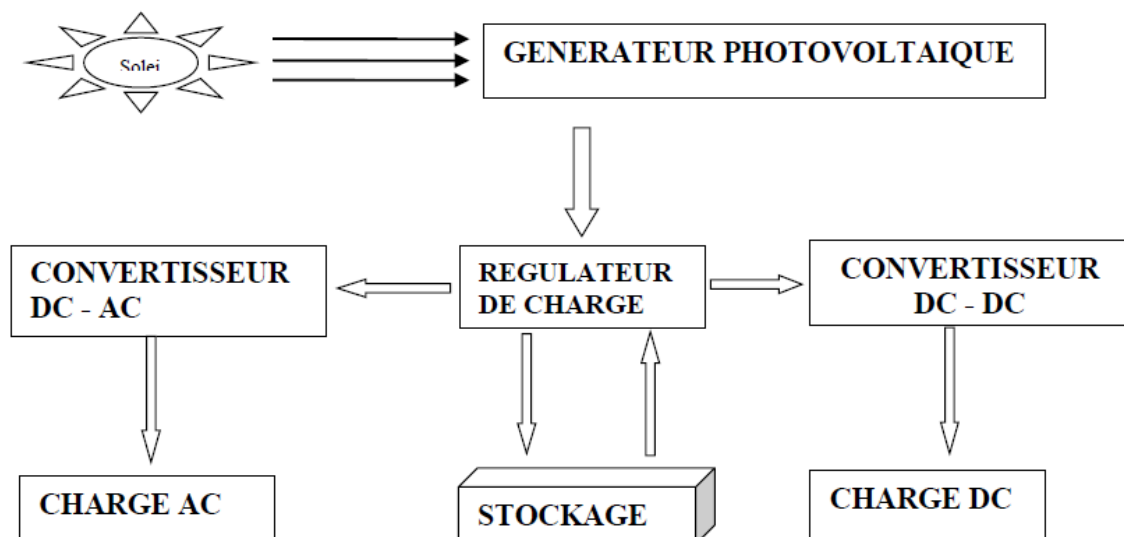


Figure (I.3) : Systèmes photovoltaïques

I.4. Le Générateur photovoltaïque GPV :

I.4.1 Le générateur PV

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque".

Pour un certain nombre d'applications, le courant continu produit, par le générateur photovoltaïque, est convertit à l'aide d'un onduleur en courant alternatif.

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou en parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que: la puissance, le courant de court-circuit I_{sc} ou la tension en circuit ouvert V_{oc} .

Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ou plusieurs modules PV en série et / ou en parallèle pour obtenir une puissance, un I_{sc} et un V_{oc} désirés [8].

I.4.2 La Cellule photovoltaïque :

I.4.2.1 Définition

La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Les cellules se branchent en série, ce qui permet aux électrons générés par une cellule d'être repris par la suivante. Le but est d'avoir une différence de potentiel normalement entre 6 et 24 V. la figure (I.4) suivante représente le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque [9].

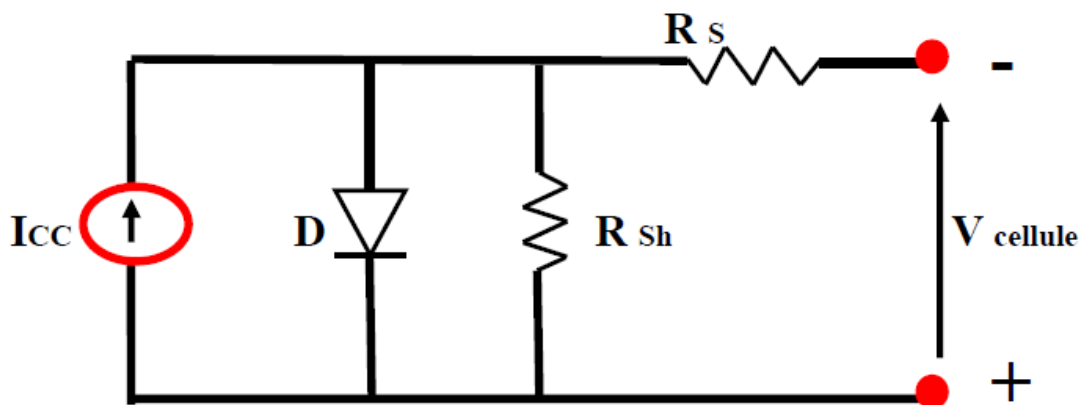


Figure (I.4) : Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque

Les résistances R_s et R_{sh} permettent de tenir en compte des pertes liées aux défauts de fabrication.

R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que R_{sh} caractérise les courants de fuite dus à diode et aux effets de bord de la jonction [10].

I.4.2.2 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet Photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [11].

La figure (I.5) illustre une cellule PV typique.

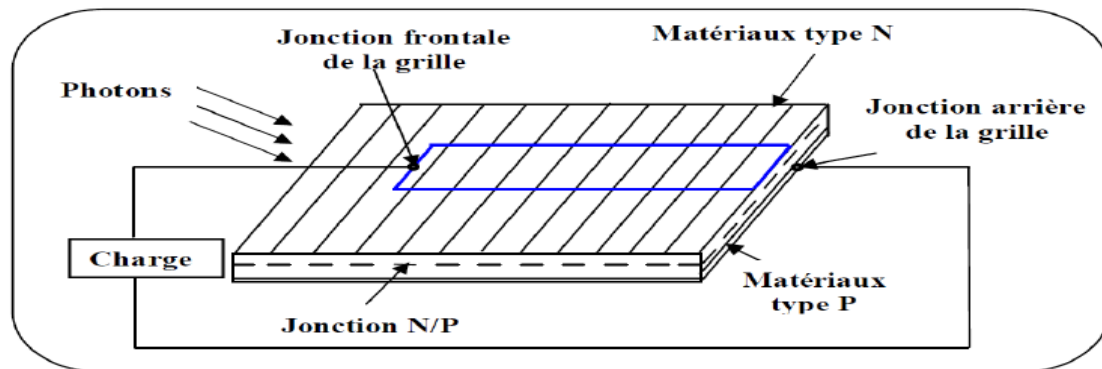


Figure (I.5) : principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule Photovoltaïque.

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore), créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par les semi-conducteurs, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons (charges N) et des trous (charges P) créent alors une différence de potentiel entre les deux couches [12].

Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positive et négative de la cellule.

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert V_{oc} . Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit I_{sc} et dépend fortement du niveau d'éclairement [13].

I.4.2.3 Différentes types des cellules :

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible: de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [14].

- ✓ **Les cellules monocristallines:** Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.

- ✓ **Les cellules polycristallines:** Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible.
- ✓ **Les cellules amorphes:** Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.



Figure (I.6) : Types de cellules photovoltaïque

I.4.2.4 Rendement des cellules photovoltaïques :

Le tableau suivant (I.1) présente les différents types des cellules avec leur rendement.

Tableau (I.1) : Les différents types des cellules avec leur rendement.

Technologie de cellules	Rendement en laboratoire (%)	Rendement production (%)
Silicium amorphe (a-Si)	13	5 à 9
Silicium polycristallin (p-Si)	19.8	11 à 15
Silicium monocristallin (m-Si)	24.7	13 à 17

I.4.2.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

✓ Tension de circuit ouvert V_{oc}

Si on place une cellule sous une source lumineuse constante, sans aucun récepteur à ses bornes, celle-ci va produire une tension continue d'environ 0,6 V, appelée tension en circuit ouvert V_{oc} (elle varie légèrement avec l'éclairement). Cette valeur correspond à la tension de coupure d'une diode, ce qui confirme le fait qu'on puisse assimiler une cellule solaire à une jonction P-N. Pour obtenir une tension plus élevée à la sortie du module, il va falloir associer les cellules en série [15].

✓ Courant de court-circuit I_{sc}

A l'inverse du cas précédent, si l'on place une cellule en court-circuit, elle va débiter un courant maximal à tension nulle. Ce courant est dit courant de court-circuit I_{sc} .

De même que pour la tension, il faudra associer les cellules en parallèle pour augmenter significativement la valeur de l'intensité en sortie du module [15].

✓ Puissance

Le but recherché par tous les utilisateurs de générateur photovoltaïque est que l'énergie produite soit la plus optimale possible. La Figure (I.7) représente la caractéristique courant tension d'une cellule sous illumination ainsi qu'une courbe théorique de puissance constante (puissance = tension \times intensité).

Pour l'éclairement considéré, le point de puissance maximale MPPT représente le point où la puissance de la cellule est maximale. Ce point, est associé à une tension maximale V_{pm} et à une intensité maximale I_{pm} . C'est cette puissance qui sera toujours recherchée par des régulateurs de charge afin d'optimiser la charge de la batterie et le fonctionnement du générateur. Par ailleurs, lorsqu'il est question de puissance maximale dans les conditions normalisées d'ensoleillement, on parle alors de puissance crête, mesurée en watts-crête (Wc) [15].

✓ Rendement

Le rendement énergétique est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale produite P_m et la puissance du rayonnement solaire parvenant au module. Soit (S) la surface du module et (E) l'éclairement, ce rendement a pour expression :

$$\eta = \frac{P_m}{E * S} \quad (I.2)$$

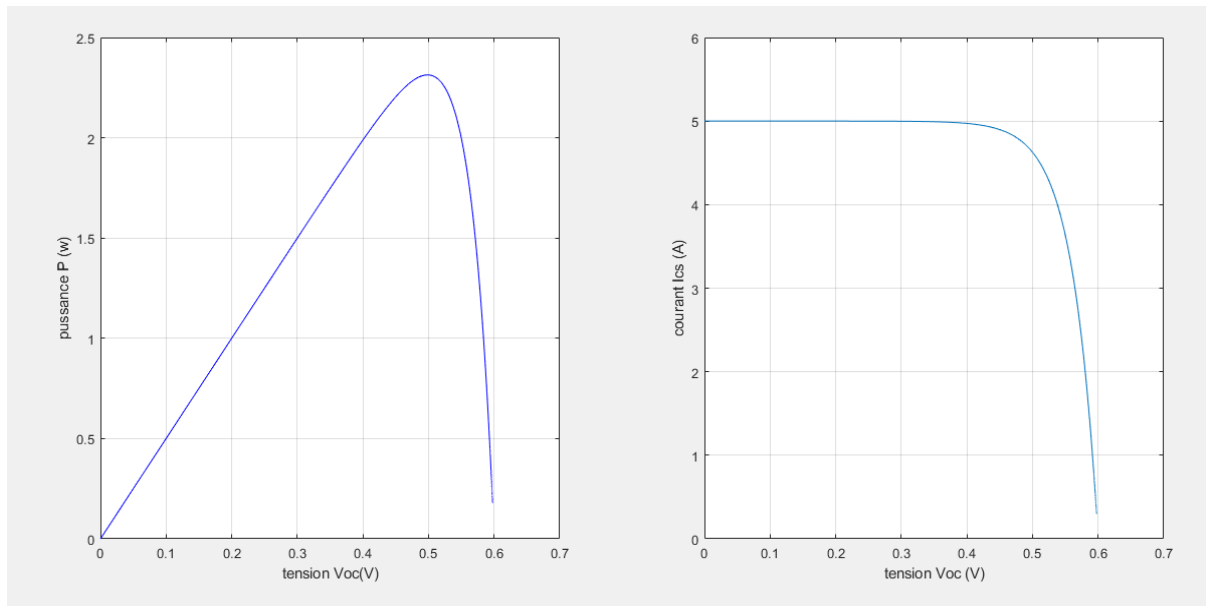


Figure (I.7) : Caractéristique puissance - tension & courant- tension de la cellule PV

I.4.3 Module Photovoltaïque

I.4.3.1 Définition

La tension générée par une cellule étant très faible, pour avoir des tensions compatibles avec des charges à alimenter, il faudra associer en série-parallel plusieurs cellules.

Celles-ci sont encapsulées dans une même structure pour former un module Figure (I.8).

L'encapsulation ainsi réalisée va avoir deux rôles principaux :

- Protection des cellules contre les agressions extérieures (chocs, humidité, etc. ...).
- Contrôle de température des cellules qui va permettre une bonne dissipation vers l'extérieur de la partie de l'énergie incidente qui n'est pas transformée en énergie électrique.

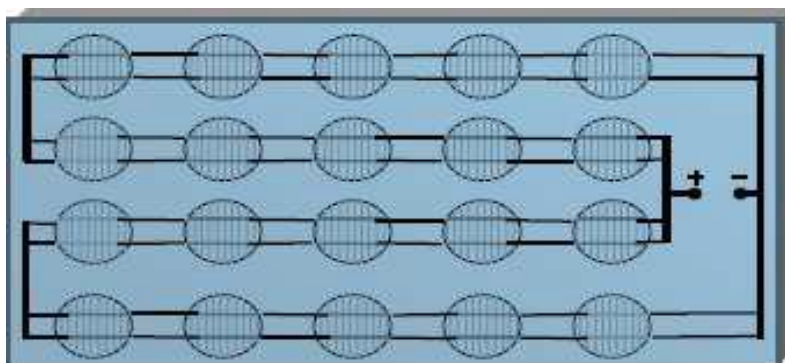


Figure (I.8) : Module PV en groupement série - parallèle des cellules

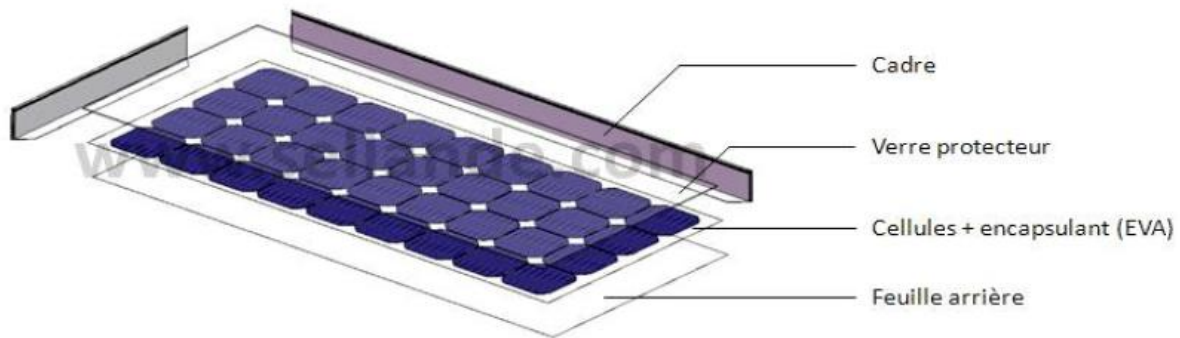


Figure (I.9) : Représentation d'un Module Photovoltaïque

I.4.3.2 Caractéristiques d'un module

- La puissance de crête, P_c : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m^2).
- La caractéristique I/V : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- Tension à vide, V_{oc} : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- Courant de court-circuit, I_{sc} : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".
- Point de fonctionnement optimum, (U_m, I_m) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m * I_m$.
- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{oc} * I_{sc}$.

I.4.4 Constitution d'un générateur PV

Actuellement la puissance d'un module est de quelques watts crêtes à quelques dizaines de watts crêtes. Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série parallèle des modules Figure (I.10) pour avoir un générateur PV. Pour des déséquilibres importants dus à l'occultation d'une ou plusieurs cellules, les modules peuvent être amenés à travailler en récepteur. Pour remédier à ces problèmes, des diodes peuvent être placées en parallèle et en série avec les modules [16, 17, 18, 19].

- **Les diodes en série :**

Pour empêcher la batterie de se décharger la nuit dans les cellules PV ou pour empêcher une série de modules contenant un module défaillant ou masqué de devenir réceptrice du courant fourni par les autres séries, qui ont alors une tension plus élevée qu'elle, une diode est intégrée dans chaque série. On l'appelle aussi diode anti-retour et elle est située en série avec les modules.

- **Les diodes en parallèles :**

Au sein d'une série un module qui ne peut plus produire d'énergie (masque, défaillance), doit être protégé pour ne pas devenir récepteur et s'endommager irrémédiablement ; des diodes sont donc placées en parallèle sur chacun des modules du générateur. Elles permettent de dévier le courant produit par les autres modules de la série et sont placées en parallèle avec les modules [17, 20, 21].

I.5. Système de stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite s'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales [22] :

-Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple)

-Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

I.5.1 Les Caractéristiques principales d'une batterie

- Capacité en Ampère heure : Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant.

Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures.

Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que : [22]

- Rapports de chargement et déchargement : Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer.

Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

- Température : Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie [23].
- La durée de vie : Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) [24].
- Profondeur de décharge : La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.

Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel- Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages.

- La profondeur de décharge : Cependant, affecte même les batteries de cycle profond. Plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.
- La tension d'utilisation : C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.
- Le rendement : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.
- Le taux d'autodécharge : L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

I.5.2 Batteries d'accumulateurs

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

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement:

- Les batteries au plomb: Elles constituent l'écrasante majorité du marché des accumulateurs. Sa bonne maîtrise technologique, son bas coût de revient, son bon rendement énergétique de charge/décharge. Ses conditions d'utilisation non difficiles à satisfaire militent en faveur de sa large utilisation.
- Les batteries au Nickel Cadmium: Elles sont les plus chers, mais aussi très résistant aux surcharges et aux décharges, et résistent bien aux basses températures.

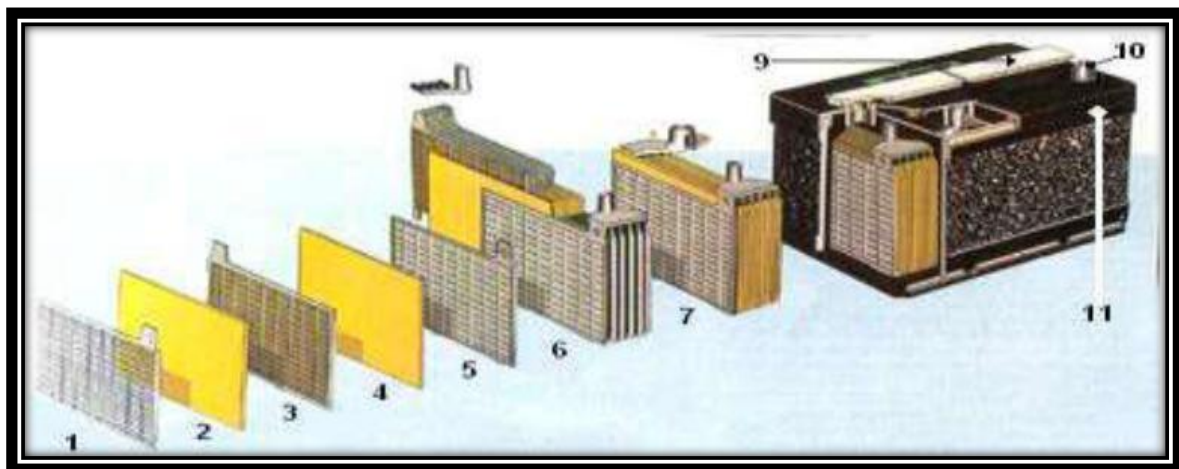


Figure (I.10) : Construction d'une batterie monobloc

1 : Grille.	7 : Élément complet
2 : Séparateur.	8 : Pont
3 : Plaque positive.	9 : Rampe de bouchons.
4 : Plaque négative.	10 : Borne.
5 : Barrette.	11 : Bac.
6 : Faisceau négatif.	

I.6. Régulateur de charge et décharge

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes, afin de maximiser sa durée de vie.

Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation [23].

I.6.1 Principe de fonctionnement des régulateurs

Information sur l'état de charge: La densité de l'électrolyte de la batterie est théoriquement un excellent indicateur d'état de charge, mais souvent cet indicateur ne prend sa valeur caractéristique que plusieurs jours après sa charge. De plus, il faudrait agiter l'électrolyte pour faire une bonne mesure. Enfin, cette mesure est difficile à automatiser.

Finalement l'indicateur utilisé est la tension aux bornes de la batterie. Cette grandeur est la seule facilement mesurable capable de donner une estimation de l'état de charge.

La figure (I.12) représente un schéma électronique de principe qui traduit le fonctionnement d'un régulateur basé sur un comparateur de tension [25].

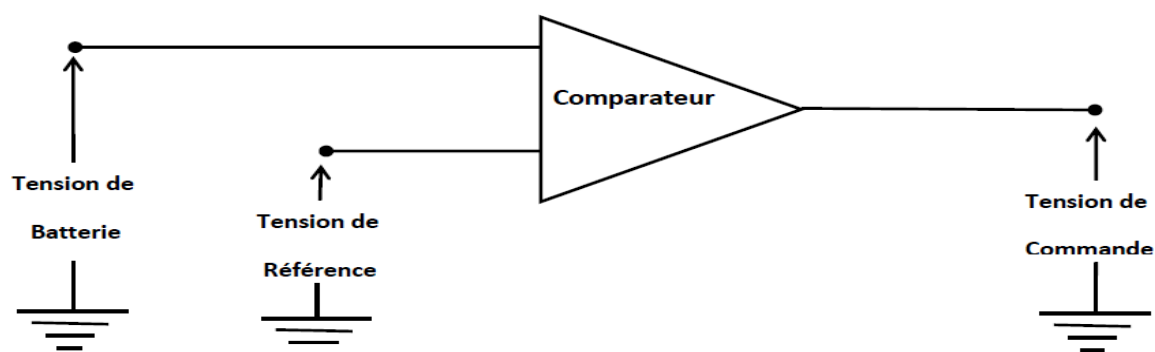


Figure (I.11) : Schéma de principe d'un régulateur de charge.

Le régulateur doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils, un seuil haut et un seuil bas. Pour éviter tout phénomène de battement de la régulation, ces deux seuils sont doublés de seuils de réenclenchement qui peuvent être ou non confondus. Le choix des seuils

de régulation dépend des caractéristiques des batteries et des conditions d'utilisation (régime de charge, décharge, température,...).

Il existe plusieurs types de régulateur, on peut citer deux types, le régulateur série et le régulateur parallèle.

I.6.2 Régulateur parallèle

Le circuit de débordement est connecté en parallèle sur le générateur pour dissiper l'énergie en excès. Le principe est décrit sur la figure (I.13), où la tension de fin de charge est ajustable par la tension de référence appliquée à l'entrée d'un amplificateur opérationnel.

Les principaux avantages de ce type de régulateur sont :

- La régulation de type proportionnel
- L'absence de la chute de tension dans le circuit série
- La consommation du régulateur négligeable
- Un défaut du régulateur n'interrompt pas la charge

Le principal inconvénient est le suivant :

- Les composants doivent dissiper la puissance totale du générateur

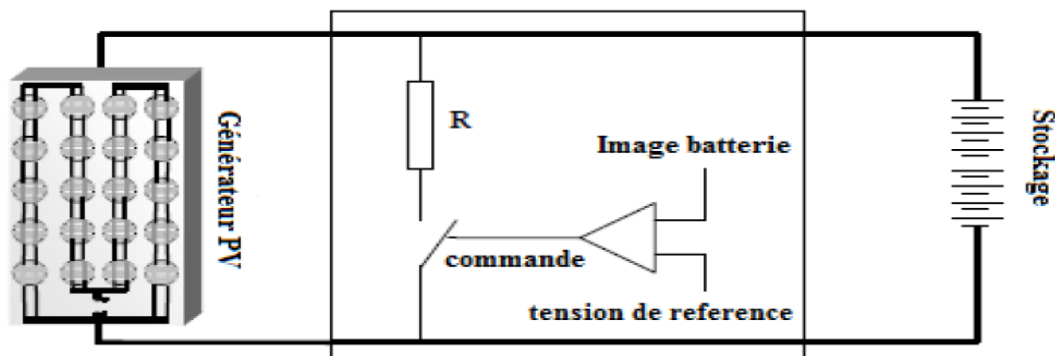


Figure (I.12) : Régulateur parallèle

I.6.3 Régulateur série

Le principe de la régulation série est décrit sur la figure (I.14) C'est un composant électronique de puissance en série dans le circuit de charge dont la commande est assurée par une tension de référence. Le schéma ci-dessous donne un exemple possible de circuit série. Le composant électronique série (par exemple : un transistor de puissance) se comporte comme une résistance dont la valeur augmente au fur et à mesure qu'augmente l'état de charge de la batterie.

Les principaux avantages en sont :

- La régulation de type proportionnel
- La puissance faible dissipée dans le circuit série comparée à la puissance du générateur PV

Les principaux inconvénients en sont

- Le circuit série introduit une chute de tension

- La défaillance du circuit série entraîne l'arrêt de la charge

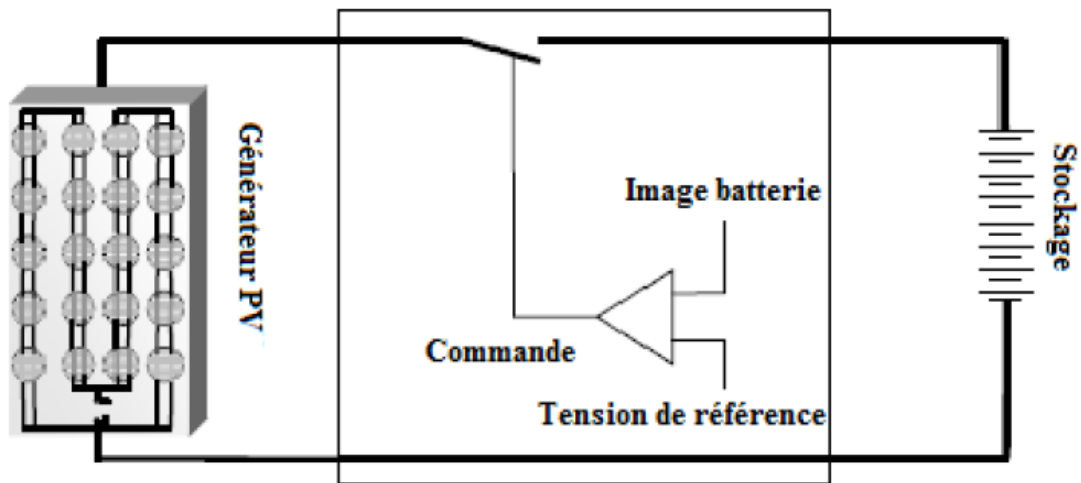


Figure (I.13) : Régulateur série

I.6.4 Choix du régulateur solaire

Une fois la technologie la plus adaptée identifiée, il faut s'attacher au dimensionnement du régulateur photovoltaïque. Celui-ci dépend de 2 critères principaux :

- **La tension nominale** doit correspondre à celle qui existe entre les panneaux et la batterie photovoltaïque : 12, 24 ou 48 Volts.
- **L'intensité maximale admissible** par le circuit d'entrée du régulateur doit être supérieure à l'intensité du courant produit par les panneaux solaires. Cela vaut également pour le circuit de sortie.

I.6.5 Le MPPT

La recherche du point de puissance maximum (MPPT) est intégralement réalisée de façon électronique, sans aucun dispositif ou système mécanique.

Le contrôleur ou régulateur MPPT mesure et compare en permanence, la tension délivrée par le panneau avec celle du dispositif batterie.

Il calcule alors le niveau de puissance maximum que :

- ✓ le panneau peut délivrer à la batterie
- ✓ la batterie est capable de recevoir

A partir de cette valeur de puissance, il détermine la tension la plus adaptée afin de fournir une intensité optimum pour la batterie.

Ainsi le système adapte en permanence la tension aux bornes du générateur photovoltaïque afin de se rapprocher du point de puissance maximum, sans jamais l'atteindre précisément.

La plupart des régulateurs MPPT modernes permettent d'obtenir des rendements situés entre 92% et 97%.

L'emploi d'un régulateur MPPT permet d'obtenir généralement de 20% à 45% de puissance supplémentaire en hiver et de 10% à 15% en été (par rapport à un régulateur classique).

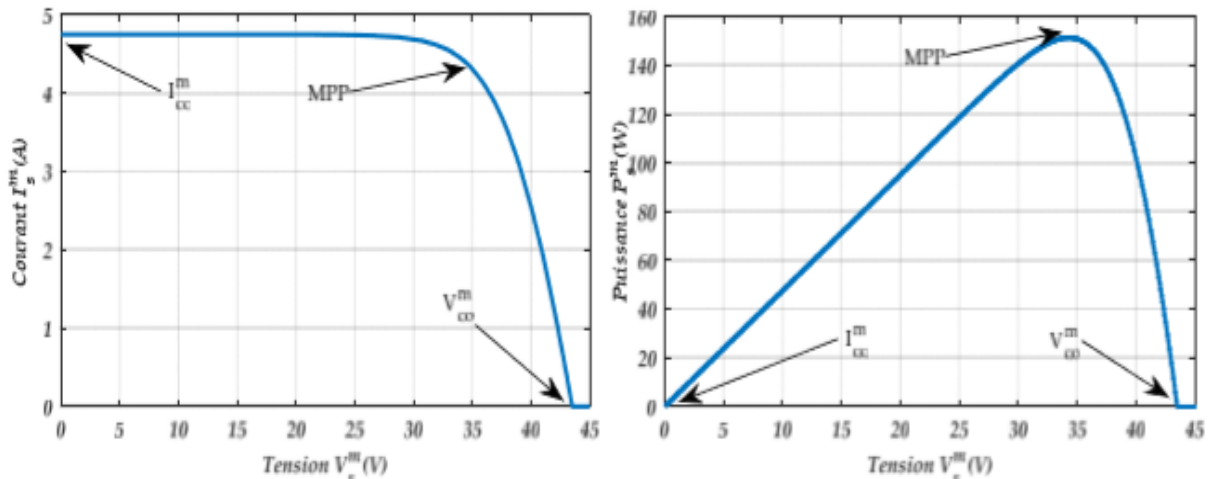


Figure (I.14) : point de puissance maximum (MPP)

1.6.6 Le principe de fonctionnement du MPPT d'un générateur PV

La commande MPPT permet de chercher le point de fonctionnement optimal du module photovoltaïque dans les conditions météorologiques variables. Ceci est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α du signal qui commande le convertisseur d'énergie, à une valeur adéquate de manière à maximiser la puissance à la sortie du module.

Comme le montre la Figure (I.16), pour une puissance incidente W_1 , la puissance optimale transférée à la charge est obtenue pour un rapport cyclique α_{opt1} (point PPM1). Si la puissance incidente change (W_2), alors ce point de puissance maximale est le point PPM2 et le point de fonctionnement du générateur PV est le point Pf (Figure I.16 a). Pour converger vers le nouveau point PPM2, il faut ajuster le rapport cyclique α à la valeur α_{opt2} . Il en sera de même que lorsque la charge R_c change (Figure I.16 b): Le point de puissance maximale dévie de sa position optimale (PPM1); pour converger vers ce PPM1, il faut agir sur le rapport cyclique(α)

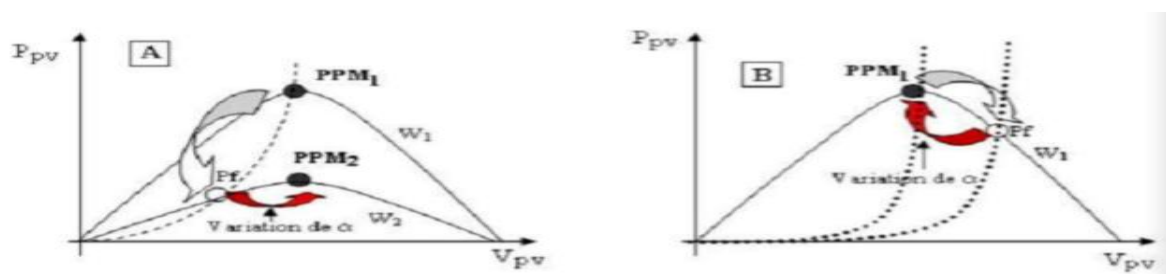


Figure (I.15) : Fluctuation du PPM avec : a) Variation de l'éclairement et b) Variation de la charge

I.7. Convertisseur Continu-Alternatif (Onduleur)

Son rôle est de transformer l'énergie électrique continue délivrée par le générateur photovoltaïque en énergie électrique alternative. De tels appareils doivent délivrer un signal le plus proche possible du signal sinusoïdal et avec une fréquence précise. En effet, pour les fonctionnements de la plupart des charges, la présence d'harmoniques est néfaste.

Ces appareils appelés couramment onduleurs Figure (I.13), présentent généralement deux inconvénients majeurs [26] :

- pertes à vide très élevées,
- rendement acceptable uniquement pour la charge nominale.

Pour les systèmes PV, leur utilisation représente un gaspillage d'énergie important, surtout lorsque la charge est variable au cours du temps et est bien inférieure à sa valeur nominale.

Il convient de choisir un onduleur dont les pertes à vide doivent être réduites et le rendement doit être moins sensible au pourcentage de la puissance appelée.



Figure (I.16): Onduleur

I.7.1 Critères de choix d'un onduleur solaire

On a plusieurs critères pour choisir un onduleur solaire certains sont indispensables et d'autres sont optionnelles

Les critères indispensables sont :

- Puissance électrique.
- Tension d'entrée.
- Tension de sortie.
- Forme d'onde.

Les critères optionnels sont généralement :

- Puissance de pic.
- Plage de tension d'entrée.
- Protection contre le court – circuit.
- Protection contre la surcharge.
- Protection contre la baisse tension d'entrée.
- Protection contre la température élevée.
- Incorporation d'un régulateur de charge (pompage photovoltaïque).

I.8. Charge

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

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque doit être pensée en termes d'économie de l'énergie. Il est donc plus avantageux de chercher des consommateurs fonctionnant en courant continu plutôt que d'ajouter un onduleur et un consommateur en 220 V_{ac} [27].

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques et les éléments de base d'un système photovoltaïque autonome.

Chapitre II

Conception et dimensionnement de l'installation PV autonome

II.1. Introduction

La conception et le dimensionnement d'un champ photovoltaïque précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, une certaine dose d'impondérable (la météorologie), et surtout de multiples interactions entre les choix. Par exemple, la consommation du régulateur de charge, de l'onduleur, de la batterie, doivent être ajoutés à celle des récepteurs pour définir la consommation totale du système. Or, le choix de ces paramètres dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation... Donc la conception d'un système photovoltaïque est le résultat d'une optimisation réalisée par itérations.

La structure principale de l'installation photovoltaïque autonome est donnée par la figure suivante :



Figure (II.1) : structure de l'installation photovoltaïque autonome [28].

- Etape 1 : L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité(en Wh/j)
- Etape 2 : Evaluation du gisement solaire local
- Etape 3 : Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules)
- Etape 4: Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie
- Etape 5: Dimensionnement des câbles et plan de câblage
- Etape 6 : Choix du régulateur et de l'onduleur

II.2. Etape 1 : Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV

Les données de l'ensoleillement (exprimé en KWh /m²/j) peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone.

Pour avoir une autonomie complète et éviter une variation saisonnière de la consommation, il faut prendre comme référence l'ensoleillement du mois ensoleillé [29].

II.2.1 Orientation et inclinaison des modules :

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité. On appelle orientation, le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (Sud, Nord, Sud-ouest...). L'inclinaison indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés. L'orientation idéale d'un panneau photovoltaïque obéit à une règle qui consiste à l'orienter vers l'équateur.

Ce qui donne l'orientation vers :

- ✓ Le sud dans l'hémisphère nord.
- ✓ Le nord dans l'hémisphère sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, on tiendra compte de la période de l'année le mois ensoleillé pour optimiser la production de l'énergie. Les panneaux doivent donc récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible [28].

- ✓ Cette inclinaison va être fixée par la latitude et la périodicité de l'inclinaison.
- Dans le site à l'étudie (Boukhmissa-M'sila) la position des modules sera comme suit :
- ✓ Orientation des panneaux : plein sud.
- ✓ L'inclinaison (30°).

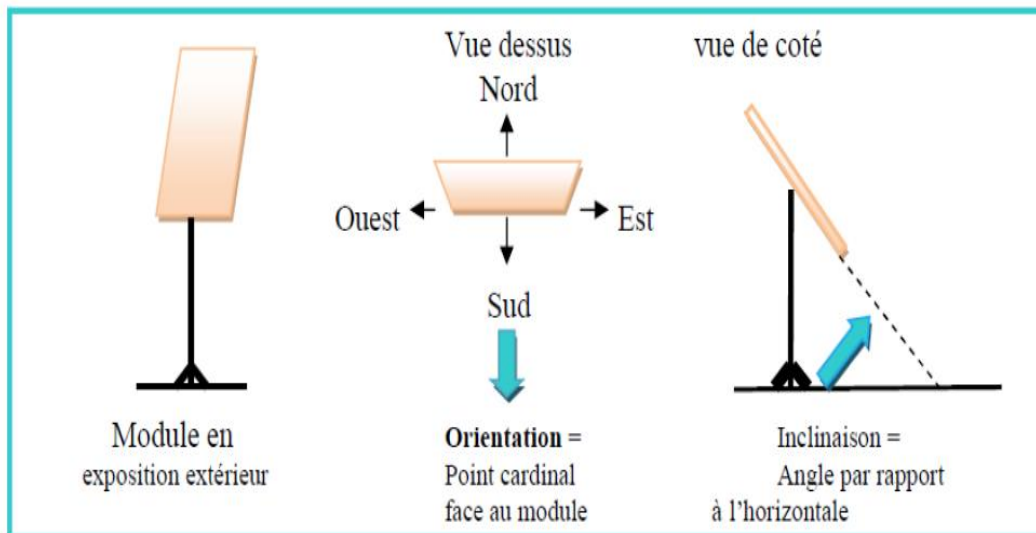


Figure (II.2) : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

II.3. Etape 2 : L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

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

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

Elle est donnée par la loi suivante [31]:

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

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

- ✓ La saison ;
- ✓ Le nombre d'occupants ;
- ✓ Le mode d'utilisation.

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [30]:

$$E = P_i * T_i \quad (\text{II.2})$$

L'énergie journalière consommée d'un équipement (Wh/j) = la puissance de cet équipement (W) × le temps d'utilisation (h)

II.3.1 Evaluation des besoins :

Le kWh solaire est cher, il faut procéder à une économie d'énergie au niveau des récepteurs par une technologie de basse consommation ou remplacer le parc existant par un autre sous tension continue. Même s'ils sont onéreux à l'achat, le coût global sera bien moindre car il faudra moins de modules photovoltaïques et de batteries pour les alimenter.

II.3.2 Choix des appareils électriques et leur adaptation au système PV :

Le système PV peut s'adapter à tout, mais il sera souvent rentable d'y adapter des appareils qui consomment particulièrement peu ou qui sont capables de fonctionner directement en basse tension. Par exemple: les sources lumineuses les plus adéquates sont des luminaires à tubes fluorescents de petite puissance, 8 à 20W. Leur efficacité est très bonne et leur utilisation très satisfaisante.

II.3.3 Présentation de l'école :

L'école « Boudrissa abd elmajid » est située dans « Boukhmissa » qui se trouve dans la wilaya de M'sila.

II.3.4 Description de l'école :

Nombre de pièce: cette école est constituée à 8 classes et 2 bureaux et un restaurant et W.C.

Tableau (II.1) : La pièce et L'équipement électrique dans l'école

La pièce	L'équipement électrique
8 classes	<ul style="list-style-type: none"> • 32 Lampes (18w)
2 Bureau	<ul style="list-style-type: none"> • 4 Lampes (18w) • 2 PC
Restaurant	<ul style="list-style-type: none"> • 12 lampes (18w) • Réfrigérateur
W.C.	<ul style="list-style-type: none"> • 6 Lampes (18w) • Pompe d'eau
Eclairage extérieur	<ul style="list-style-type: none"> • 6 Lampe (25w)

Tableau (II.2) : L'équipement électrique et leur puissance dans cette école.

Type d'Equipements	Equipements	Puissance (w)
Eclairage	• 54 Lampes (18w)	972
	• 6 Lampes (25w)	150
Electroniques	• 2 PC	800
Electroménager	• Réfrigérateur	400
Divers	• Pompe d'eau	700

II.3.5 Cahier des charges

Bilan des puissances de notre école (tableau II-3) ci-dessous pour optimiser la consommation journalière, nous prenons par compte toutes les pertes de système (les rendements des composants) pour présenter le cahier des charges. Les récepteurs seront alimentés par un onduleur. On considère que l'onduleur est bien utilisé (rendement de conversion est alors de 95%, le rendement de régulateur est 98%, le rendement de batterie est 90%). Ainsi la puissance à fournir à l'onduleur pour disposer à sa sortie de l'énergie nécessaire aux récepteurs AC.

Estimation de la consommation d'énergie électrique :

Tableau (II.3) : Consommation d'une école

Equipement	Puissance(w)	Nombres	Durée /Jour (h)	Rendement de B.O.S	Consommation journalière (wh/j)
Lampes LED	18	54	5	0.8	4860
Eclairage extérieur	25	6	12	0.8	1800
PC	400	2	6	0.8	4800
Réfrigérateur	400	1	12	0.8	4800
Pompe d'eau	700	1	3	0.8	2100
Consommation journalière moyen (Wh/j)					18360

Dans notre cas :

- L'énergie totale installée est égale à 18360Wh
- La puissance totale installée est égale à 3022 W

II.4. Etape 3 : Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules)

II.4.1 Détermination de la tension de fonctionnement de système

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

Il faut déterminer la tension de fonctionnement de système : 12v, 24v, 48v. La règle du jeu pour cela est assez simple : plus on utilise une tension élevée. [31]

Tableau (II.4) : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance Crête

Puissance crête (Wc)	<500w	500w-2kw	>2kw
Tension du système (V)	12 VDC	24 VDC	48 VDC

II.4.2 Composition du champ photovoltaïque

Puisque notre puissance photovoltaïque nécessaire est bien établie, on compose un champ de modules en série/ parallèle. Bien entendu, il faut arrondir le nombre de modules à la valeur entière supérieure, et parfois au nombre pair supérieur quand il faut les câbler deux à deux [32].

II.4.3 Nombre des panneaux

On utilisant l'indice de performance (**Performance Ration**) est le rendement de globale du système défini par le rapport de rendement réel du système par le rendement nominale du système tel que :

$$PR = \frac{\text{rendement réel du système}}{\text{rendement nominale du système}}$$

Alors :

$$PR = \frac{Et / (Hgh * A)}{Pg / (Gt * A)} \quad (II.3)$$

$$PR = \frac{Et}{\frac{Hgh}{Gt} * Pg} \quad (II.4)$$

P_g : La puissance crête de GPV au STC.

G_t : 1000 w/m².

Hgh : L'irradiation journalière mensuelle moyenne sur le place de GPV (Wh/m²/j).

E_t : Énergie consommée ramenée au GVP (Wh/j).

On peut calculer le nombre total des modules PV à installer (on se base sur la puissance nominale du module P_m)

On a:

$$P_g = N_{TM} * P_m \quad (II.5)$$

N_{TM} : Nombre totale des modules PV.

Alors :

$$N_{TM} = \frac{Et}{\frac{Hgh}{Gt} * PR * Pm} \quad (\text{II.6})$$

- **Détermination du nombre de module en série :**

Le nombre de module en série peut calculer par la formule suivante :

$$N_{ms} = \frac{V_{sys}}{V_m} \quad (\text{II.7})$$

N_{ms} : Le nombre de module en série.

V_{sys} : La tension DC nominal du système.

V_m : La tension nominale du module.

- **Détermination du nombre de module en parallèle :**

Le nombre de module en parallèle peut calculer par la formule suivant :

$$N_{mp} = \frac{N_{TM}}{N_{ms}} \quad (\text{II.8})$$

II.5. Etape 4: Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie

La détermination du parc batterie est réalisée à partir de la prise en compte d'un certain nombre de jours d'autonomie à assurer à production nulle. Ce nombre de jours varie suivant les applications et la situation géographique.

Il est de plus possible d'apporter les corrections suivantes :

- ✓ Correction due à la profondeur de décharge limitée entre 50 % et 75 % selon le constructeur.
- ✓ Correction due au rendement énergétique de la batterie (~ 80 %).
- ✓ La profondeur maximale de décharge **DODmax** : le niveau de décharge à atteindre avant la déconnexion de l'utilisation par la régulateur pour protéger la batterie.

II.5.1 Calcule la capacité de stockage

La capacité du stockage en (Wh) est égale à :

$$C (wh) = \frac{E_t * N_{aut}}{DOD_{max}} \quad (\text{II.9})$$

DOD_{max} : La profondeur maximale de décharge.

N_{aut} : Nombre de jour d'autonomie de la région.

La capacité du stockage en (Ah) est égale à :

$$C (Ah) = \frac{C(wh)}{V_{dc}} \quad (II.10)$$

Calcul de nombre d'éléments en série :

Nombre d'éléments en série est égal à :

$$N_{bs} = V_{dc} / V_e \quad (II.11)$$

V_{dc} : Tension dc nominal du système.

V_e : Tension de l'élément batterie (V), donnée par le constructeur.

Calcul de nombre de branches en parallèle :

Nombre de branches d'éléments en parallèle est égal à

$$N_{bp} = C(Ah) / C_e \quad (II.12)$$

$C(Ah)$: La capacité du stockage en (Ah).

C_e : Capacité d'un élément batterie (Ah), donnée par le constructeur.

Calcul de nombre total d'éléments batterie :

Le nombre total d'éléments batterie est décrit par la relation suivante :

$$N_{Tb} = N_{bp} * N_{bs} \quad (II.13)$$

II.6. Etape 5: Choix de régulateur et de l'onduleur :

II.6.1 Choix du régulateur

Le régulateur photovoltaïque, pièce centrale de l'installation, doit être compatible avec les autres éléments (champ photovoltaïque et parc de batteries), que contrôle la charge et décharge pour protégé les batteries.

Pour dimensionné un régulateur de charge en doit calculer le courant maximal qui circuler d'un l'installation de système PV.

Coté GPV / Batterie :

Le courant qui produit par le GPV est égale la somme des courant de branche de module parallèle

Alors :

$$I_G = (I_{br} * N_p) * 1.25 \quad (II.14)$$

I_G : Le courant qui produit par le GPV (A).

I_{br} : Le courant de branche de module parallèle (A).

N_p : Le nombre branche de module parallèle.

1.25 : Facteur de sécurité pour éviter l'endommagement de régulateur.

Coté Batterie / utilisation :

Le courant de l'utilisation déterminé en prendre par compte tous les puissances en même temps

$$I_l = \left(\frac{P_{DC}}{V_{dc}} + \frac{P_{AC}}{V_{AC}} \right) * 1.25 \quad (II.15)$$

I_l : Le courant de l'utilisation (A).

P_{DC} : La puissance de charge DC (W).

V_{dc} : La tension DC nominale de système (V).

P_{AC} : La puissance de charge AC (W).

V_{AC} : La tension AC à la sortie de l'onduleur (V).

Donc :

Le courant de régulateur :

$$I_g = MAX(I_G, I_l) \quad (II.16)$$

II.6.2 Choix de l'onduleur

Pour choisir un onduleur on doit se référés aux paramètres suivants :

- La puissance nominale (kW) :

Elle est largement inférieure à PAC, (il est conseillé de surdimensionné d'onduleur pour s'assurer qu'il fonctionne as ses rendement élevées).

- Tension nominal d'entrée (VDC) :

C'est la tension de la batterie plus une certaine marge (en recevoir de la variante de la tension de batterie).

- Tension nominal de sorties (VAC) : c'est la tension efficace.
- Fréquence de fonctionnement (HZ) =50 HZ
- Rendement : c'est la courbe donnant le rendement en fonction de taux de charge [33].

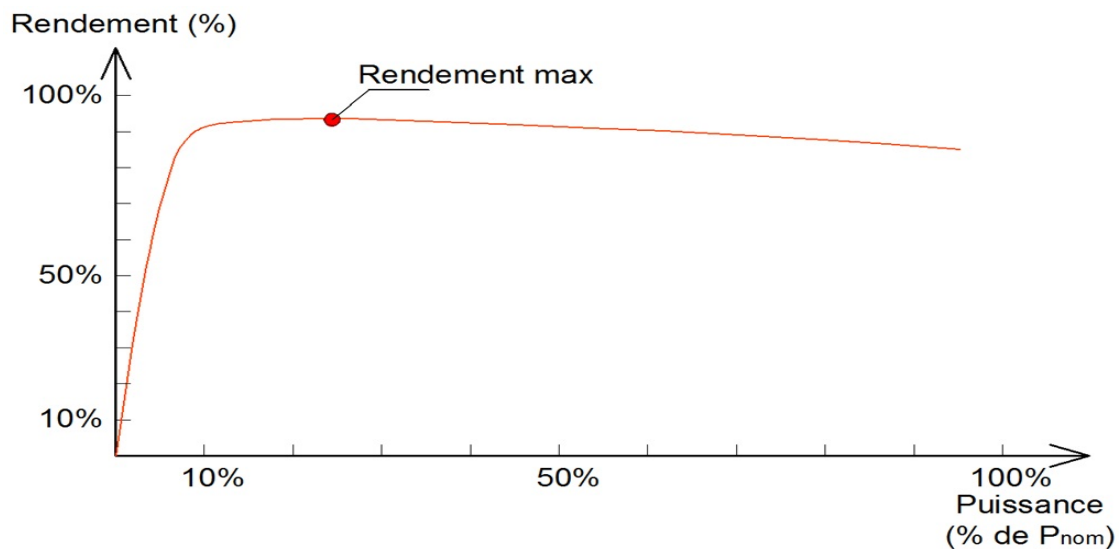


Figure (II.3) : Rendement d'onduleur photovoltaïque en fonction de taux de charge

Donc pour le choix de notre onduleur nous devons respecter les étapes suivant :

Etape 01 :

Calcule La puissance totale de toutes les charges à courant alternatif.

Etape 02 :

On distingue 3 cas :

- ✓ Si toutes les charges AC ne fonctionnent pas le même temps :

$$P_{on} = 0.75P_{AC}$$

- ✓ Si toutes les charges AC fonctionnent le même temps :

$$P_{on} \geq P_{AC}$$

- ✓ Si toutes les charges AC à une durée important :

$$P_{on} \geq P_{AC} \text{ (Pointe)}$$

Alors :

L'onduleur utilisé dans notre système est supérieur ou égale la puissance de point

$$P_{on} \geq 3022w \text{ (Pointe)}$$

II.7. Etape 6: Dimensionnement des câbles et plan de câblage :

Une fois le système constitué, il reste à envisager son installation pratique, mais dès cette phase de définition du système, on doit se préoccuper du câblage, afin d'assurer la cohérence de l'ensemble. Les chutes de tension dans les câbles peuvent être très pénalisantes.

Il est important également de vérifier que les diamètres de câbles choisis sont compatibles avec les borniers des composants retenus : modules et régulateur surtout. Il arrive qu'ils n'acceptent pas la section de câble que l'on souhaite y mettre, il faut alors une boîte de jonction intermédiaire ou un bornier supplémentaire pour y remédier.

Avant de calculer toutes les sections de câbles, on fait un plan électrique global de l'installation. Il faut également prévoir l'emplacement des composants aussi précisément que possible pour déduire les distances modules - boîtier de raccordement, boîtier de raccordement batterie, batterie onduleur.

Pour une bonne mesure de la tension batterie par le régulateur, celui-ci doit être placé le plus près possible de la batterie.

Choix des sections de câble

Les pertes en puissance se produisant lors du fonctionnement dans un conducteur reliant deux composants, est égale au produit de la résistance du conducteur par le courant au carré traversant le conducteur :

$$S = \frac{I_{max}}{\Delta U_{max}} \cdot \rho \cdot l \quad (II.17)$$

$$\text{Où :} \quad R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (II.18)$$

Avec : **R** : la résistance (Ω)

l : La longueur du conducteur (m)

S : la section du conducteur (mm^2)

ρ : La résistivité du matériau conducteur valant environ $\rho = 1.8 * 10^{-8} \Omega \cdot m$ pour le cuivre.

Il est donc important au vu de cette équation de bien choisir et de bien dimensionner la section des conducteurs électriques de façon à limiter la baisse de tension entre les différents composants à moins de 5%. De manière générale, on estime les pertes réelles entre les liaisons des divers composants dans un système avec batterie de manière suivante :

Les Câbles sont monophasés.

II.8. Choix des composants du système

En tenant compte des caractéristiques des différents éléments dimensionnées pour chaque système PV et des catalogues des constructeurs, nous pourrons choisir aisément de manière spécifique les équipements adéquats à utiliser en tenant compte des couts et de la qualité [3].

II.9. Caractéristiques des composants utilisés pour le dimensionnement des systèmes PV

Les caractéristiques des composants de base utilisés pour la conception des systèmes photovoltaïques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau (II.5) : Caractéristique technique des composants du système PV

Désignation du composant	Caractéristiques techniques	Puissance Installée (KW)	Quantité
Module	Module Si-mono, Puissance 270Wc ; U nominal= 30V ; Rendement = 15 % ; $V_{mpp} = 36$ V ; $I_{mpp} = 7,5$ A ; $I_{nom} = 7,72$ A ; Le courant de court-circuit $I_{cc} = 8,4$ A ; La tension de circuit ouvert $V_{oc} = 42, 48$ V.	3.022	18
Onduleur	Type monophasé, tension d'entrée 38 - 66 VCC Tension de sortie: 230 VAC +/-2% ; Fréquence: 50 Hz +/- 0,1% (1) ; Puissance du convertisseur : 3500 / 3250 W ; Rendement =0.95.	3.022	1
Régulateur	Type de régulateur: MPPT ; Tension de batterie: 12V/ 24V / 48V ; Courant de charge nominale: 80 A ; La puissance PV (max) en 48V : 4000 W ; La tension PV max: 100 V.	3.022	1
Batterie	Tension =2V ; Capacité= 650 Ah.	3.022	48

II.10. Protection d'un système photovoltaïque :

Chaque élément de ce système doit être protégé par des organes convenables à sa nature et principe de fonctionnement sans oublier le raccordement de cet élément avec des câbles qui remplissent les conditions d'utilisation de point de vue section ou construction et pour cela on va mettre chaque élément avec la protection qui correspond :

Les panneaux solaire : on met des disjoncteurs DC ou fusible plus la mise à la terre. Aussitôt que le parafoudre

Les batteries : il faut les protéger contre la surcharge ou le court-circuit dans les deux cotés (coté batteries –régulateur) et (coté batteries-onduleur) avec des disjoncteurs DC ou fusibles.

Le régulateur de charge : il est déjà équipé d'une protection interne représenté par les deux éléments qui sont raccordé avec lui (les panneaux et les batteries) et qui sont équipés avec cette propre protection indiquée.

L'onduleur : généralement les onduleurs solaires sont protégés eu même contre les surcharges, court circuit ou autre défaut mais malgré ça il est indispensable de mettre un disjoncteur différentiel à la sortie de l'onduleur pour éviter les défauts de la charge tel que court-circuit ou surcharge sans oublier la mise à la terre de tout le système afin d'obtenir une bonne protection.

Le câblage dans les deux cas (DC et AC) : on choisit la section et le chemin de câble convenable de point de vue température ambiante, chute de tension ...etc. [34].



Figure (II.4) : Exemples d'organes de protection.

II.11. Maintenance

Les composants photovoltaïques nécessitent des opérations de maintenance et surtout des contrôles pour s'assurer du bon fonctionnement du système :

a) Module photovoltaïque:

- ✓ Nettoyage de la face avant à l'eau.
- ✓ Vérification de l'aspect des modules.
- ✓ Vérification des supports.
- ✓ Vérification des connexions.

b) Régulateur :

- ✓ Vérification de la fixation du régulateur.
- ✓ Vérification de l'état de charge.

c) Les Batteries :

- ✓ Mesure de la tension.
- ✓ Contrôle de l'aspect.
- ✓ Contrôle de la connexion.
- ✓ Niveau d'électrolyte [35].

d) onduleur :

Faire les contrôles sur l'onduleur, c'est s'assurer que : les récepteurs tolèrent la distorsion de l'onduleur et acceptent les variations de la tension de sortie, l'onduleur protège contre la surcharge et coupe l'utilisateur en cas basse tension pour la protection de la batterie [36].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté Les étapes nécessaires pour concevoir un système photovoltaïque autonome. Ainsi, le dimensionnement de chaque élément de la chaîne photovoltaïque.

Chapitre III

Résultats de simulation à l'aide du logiciel PVsyst

Partie A : Présentation de PVsyst :

PVSYST est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet. PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles [34].

PVsyst V5.20 propose 3 niveaux d'étude du système PV, Ce qui correspond à peu près aux différentes étapes du développement du projet réel:

III.A.1. Menu principal

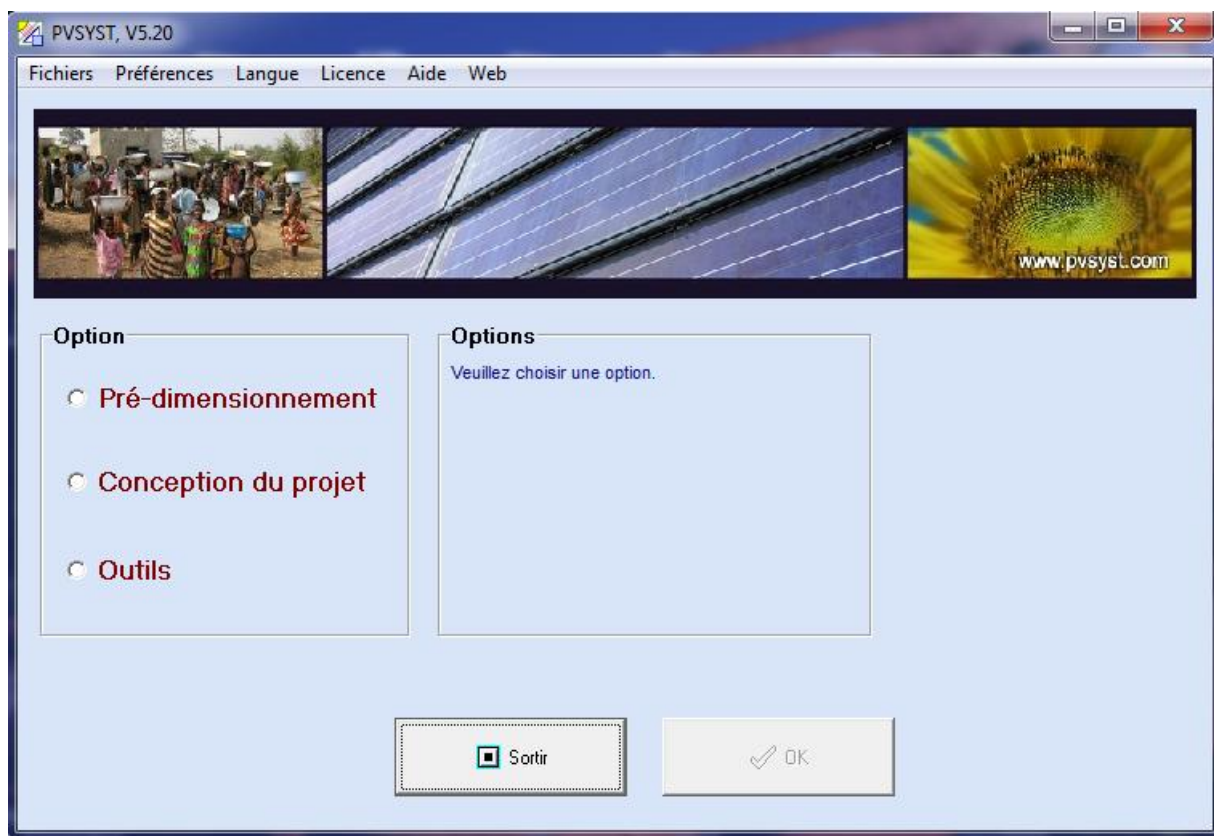


Figure (III.1) : menu principal de logiciel PVsyst

III.A.1.1 Pré-dimensionnement

C'est l'étape qui préside d'un projet.

Dans ce mode, les évaluations de rendement du système sont effectuées très rapidement dans les valeurs mensuelles, en utilisant seulement un très peu de caractéristiques ou de paramètres généraux du système, sans spécifier les composants du système réel. Une estimation approximative du coût du système est également disponible.

Pour les systèmes connectés au réseau, et en particulier pour la construction de l'intégration, ce niveau sera l'architecte orienté, ce qui nécessite des informations sur la surface disponible, la technologie photovoltaïque (couleurs, transparence, etc.), la puissance requise ou investissement souhaité.

Pour les systèmes autonomes cet outil permet à la taille de la capacité de puissance de PV et la batterie nécessaire, compte tenu du profil de charge et la probabilité que l'utilisateur ne sera pas satisfaite ((« perte de charge" LOL probabilité, ou de manière équivalente la "fraction solaire" souhaitée).

Pour les systèmes, les besoins en eau donnés et une profondeur de pompage pour le pompage, et en précisant certaines options techniques générales, cet outil évalue la puissance de la pompe et PV taille du tableau nécessaire. Comme pour les systèmes autonomes, ce dimensionnement peut être effectué selon une probabilité donnée que les besoins en eau ne sont pas respectés au cours de l'année.

III.A.1.2 Conception du projet

Il vise à réaliser une conception approfondie du système en utilisant des simulations horaires détaillées.

Dans le cadre d'un « projet », l'utilisateur peut effectuer différents essais de simulation du système et de les comparer. Il doit définir l'orientation du plan (avec la possibilité de suivre des plans ou un hangar de montage), et de choisir les composants spécifiques du système. Il est assisté dans la conception du réseau de PV (nombre de modules PV en série et parallèle), étant donné un modèle d'onduleur choisi, la batterie ou de la pompe.

Dans une deuxième étape, l'utilisateur peut spécifier des paramètres plus détaillés et analyser les effets fins comme comportement thermique, le câblage, la qualité du module, inadéquation et l'angle d'incidence des pertes, l'horizon (loin ombrage), ou ombrages partiels d'objets près de la baie, un etc...

Pour les systèmes de pompage, plusieurs conceptions de système peuvent être testés et comparés les uns aux autres, avec une analyse détaillée des comportements et de l'efficacité.

Les résultats comprennent plusieurs dizaines de variables de simulation, qui peuvent être affichées dans les valeurs mensuelles, quotidiennes ou horaires, et même transférés à d'autres logiciels. La "perte Diagramme" est particulièrement utile pour identifier les faiblesses de la conception du système. Un rapport d'ingénieur peut être imprimé pour chaque exécution de la

simulation, y compris tous les paramètres utilisés pour la simulation, et les principaux résultats.

Une évaluation économique détaillée peut être effectuée en utilisant les prix des composants réels, les coûts supplémentaires et les conditions d'investissement.

III.A.1.3 Outils

Permet de modifier les bases de données et d'utiliser des outils du programme sans pour autant créer un projet complet.

III.A.2. Présentation de projet

Dans ce projet, nous avons présenté une installation PV autonome pour alimenter une école primaire « Boudrissa abd elmajid ». Le site étudié est situé au niveau de la cité de Boukhmissa, wilaya de M'sila.

Ces coordonnées géographiques sont : latitude 35.31N, longitude 4.23E et d'altitude 450m fuseau horaire (gmt+1).



Figure (III.2) : site de Boukhmissa

III.A.2.1 Géographique coordonnée

Un site géographique est défini par :

- Son nom, pays et région du monde.
- Ses coordonnées géographiques : latitude, longitude, altitude et fuseau horaire.
- Données météorologiques mensuelles.

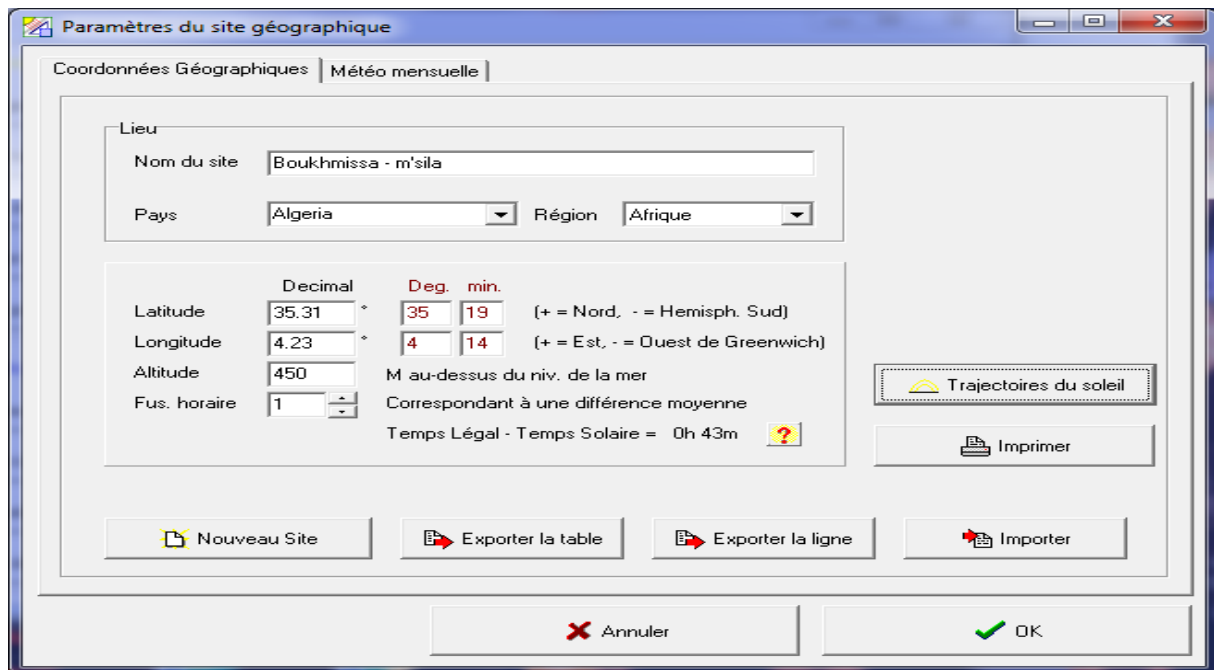


Figure (III.3) : Coordonnée géographique de 'Boukhmissa' M'sila

- **La latitude : φ**

La latitude permet de repérer la distance angulaire d'un point quelque par rapport à l'équateur.

- **La longitude : λ**

La longitude d'un lieu (ou méridien) est valeur angulaire, expriment le positionnement Est-Ouest d'un lieu par apport au méridien d'origine (méridien de Greenwich)

Alors si :

- ✓ $\lambda > 0$, vert l'Est.
- ✓ $\lambda < 0$, vert l'Ouest.

D'une façon plus complète, on dit aussi que c'est la mesure de l'arc compris entre le méridien du lieu et le méridien de Greenwich.

- **L'altitude :**

L'altitude exprime un écart entre un point donné et le niveau de la mer (ou niveau 0).

- **Le Fuseau horaire :**

C'est une bande de 15° de large s'étendant du pôle nord au pôle sud permettant de décomposer le globe terrestre en 24 tranches horaire.

III.A.2.2 Données météorologiques

Paramètres du site géographique

Coordonnées Géographiques | Météo mensuelle

Site: **Boukhmissa-M'sila (Algeria)**

Source des données: PVGIS

	Irrad. Glob. kWh/m ² .jr	Diffus kWh/m ² .jr	Tempér. °C	Vit. vent m/s
Janvier	2.41	1.00	8.4	
Février	3.41	1.20	9.2	
Mars	4.70	1.92	11.4	
Avril	5.68	1.78	13.8	
Mai	6.61	2.08	17.0	
Juin	7.16	1.70	21.9	
Juillet	7.21	1.76	26.5	
Août	6.54	1.60	26.9	
Septembre	5.20	1.58	21.4	
Octobre	3.90	1.37	17.1	
Novembre	2.83	1.05	12.7	
Décembre	2.40	0.85	9.7	
Année	4.85	1.49	16.3	

Données requises:

- Irradiation globale horizontale
- Température ext. Moyenne

Données supplémentaires:

- Irradiation diffuse horizontale
- Vitesse du vent

Unités d'irradiation:

- kWh/m².jr
- kWh/m².ms
- MJ/m².jr
- MJ/m².ms
- W/m²
- Indice de clarté Kt

☀ Par défaut (de NASA-SEE)

Annuler OK

Figure (III.4) : Paramètres climatique de M'sila

Ces données résument les caractéristiques climatiques (l'irradiation et la température) du site de Boukhmissa, Il est conseillé de définir soigneusement la source des données:

PVGIS: (Photovoltaic Geographical Information System) Fournit un accès sur l'Internet aux données sur le rayonnement solaire et la température et aux outils d'évaluation de la performance PV pour n'importe quel endroit en Europe et en Afrique, ainsi que dans une grande partie de l'Asie.

III.A.3. Conception du projet

On retrouve ici le même fonctionnement que dans "preliminary design" mais avec beaucoup plus de paramètres. Encore une fois, on choisit le type d'installation : connecté au réseau, déconnecté du réseau, système de pompe solaire ou connecté à un réseau continu.

On aura plusieurs néanmoins plus d'étapes : choix du projet et de ses variables, orientation du panneau solaire, définition de l'horizon (ombre lointaines), définitions des ombres proches, définition du système et enfin résultats. Les étapes définitions des ombres lointaines et proches sont facultatives, mais si on utilise la définition des ombres proche, il n'est pas très important de s'attarder sur le positionnement (inclinaison et azimuth) du panneau car on pourra le modifier dans la définition des ombres proches.



Figure (III.5) : Conception du projet

III.A.3.1 Les étapes pour une conception du projet (isole avec batteries)

Cela donne une procédure étape par étape lors de la définition d'un système autonome en PVsyst

A-Première étape :

- ✓ **Orientation des modules PV:** Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie. Pour la simulation en technologie de silicium Mono cristallin, nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison 30° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure (III.6) c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

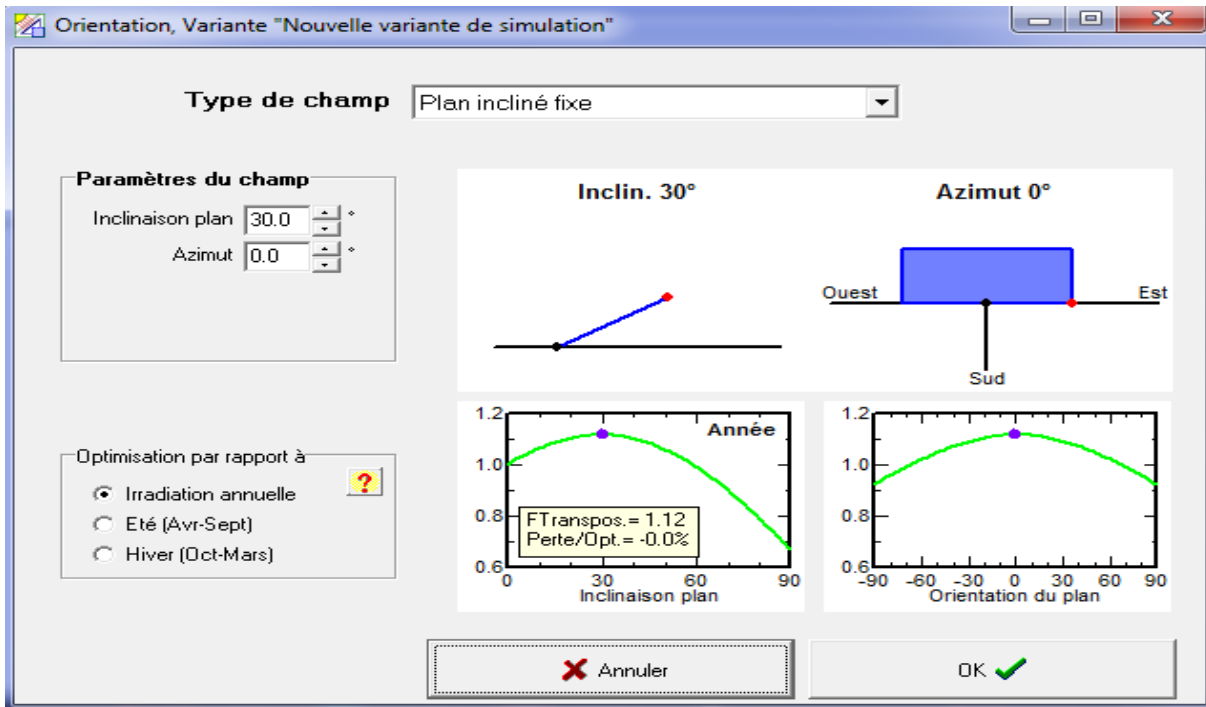


Figure (III.6) : angle d'orientation

- **Plan incliné fixe** : Vous avez juste à définir l'inclinaison de l'avion et de l'azimut.
- **Le facteur Transposition** : est le rapport de l'irradiation incidente (GlobInc) sur le plan, à l'irradiation horizontale (GlobHor). C'est à dire. Ce que vous gagnez (ou en vrac) lors de l'inclinaison du plan du capteur.
- ✓ **Définition d'un profil de l'horizon**: est une opération très simple avec l'outil graphique PVsyst. L'horizon est une ligne brisée superposée sur le diagramme de trajectoire du soleil, qui peut contenir un nombre quelconque de hauteur / points d'azimut.

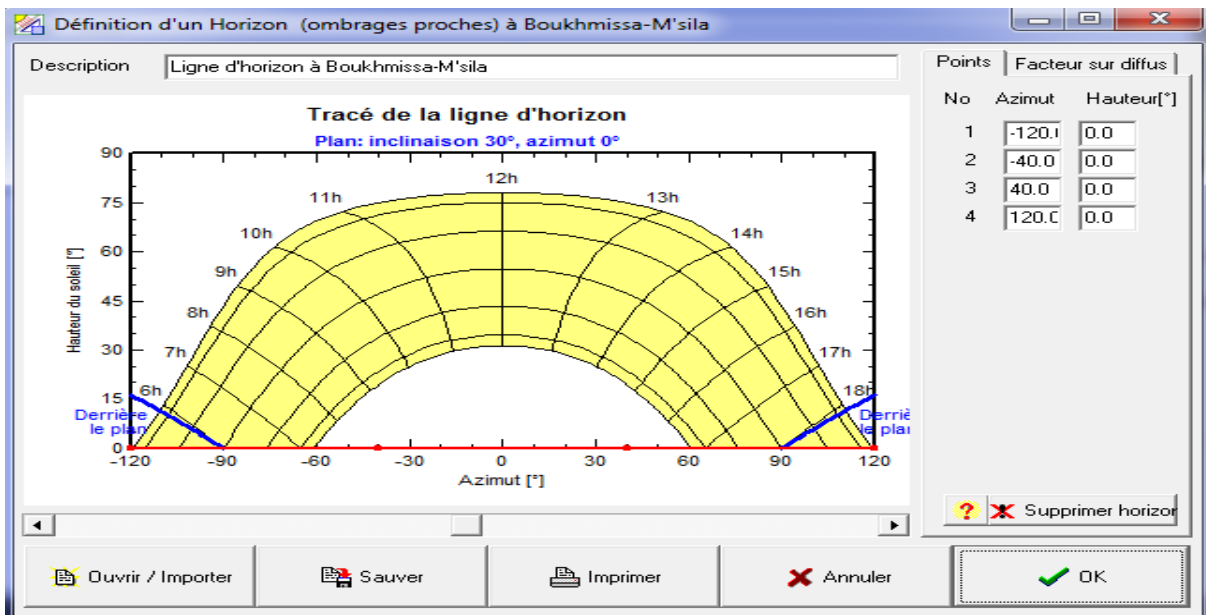


Figure (III.7) : horizon de 'Boukhmissa' M'sila

B-Deuxième étape :

- ✓ **La définition des besoins de l'utilisateur:** par défaut pour les petits systèmes, cela est proposé comme une liste des appareils ménagers et les détails de leur utilisation (peut être saisonnière ou mensuelle). Pour les systèmes industriels ou plus grands, vous avez de nombreuses possibilités de définir un profil de charge (compris par une liste de valeurs horaires).

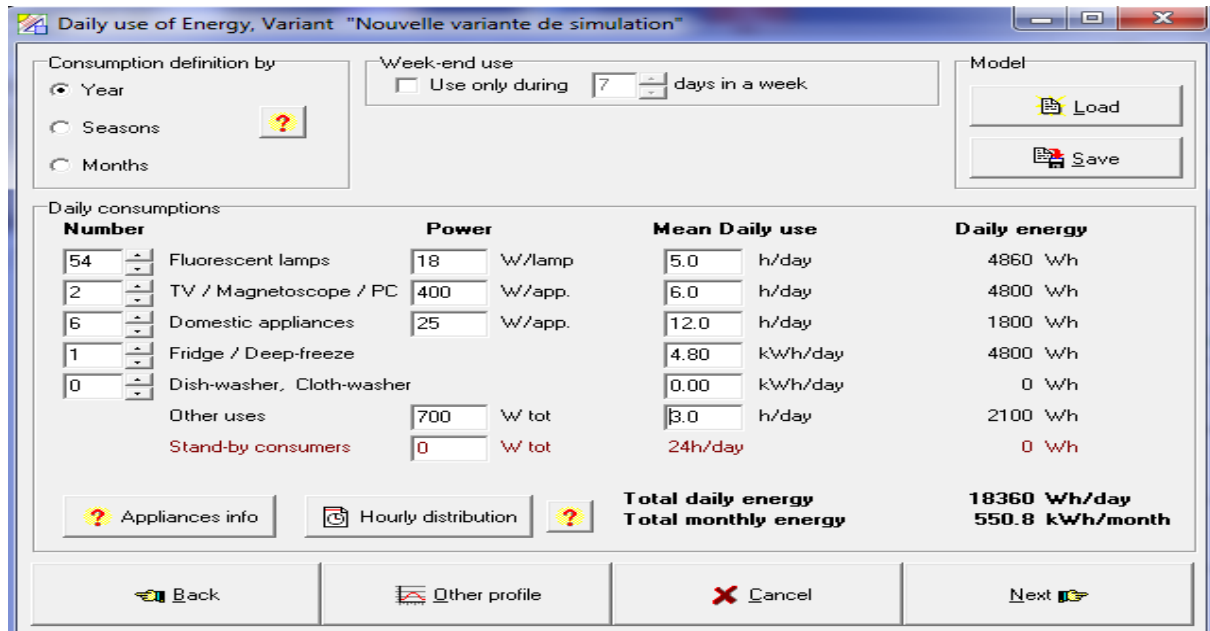


Figure (III.8) : la consommation

- ✓ **Profil horaire :** Définit un profil horaire au cours de la journée, afin de mieux correspondre le comportement de la batterie (et donc de mieux calculer son usure), Donc l'énergie moyenne journalière consommée par cette école est de 24.768 kWh/jr et On remarque que le max consommation d'électricité enter 8h-17h avec 3232 w crêtes.

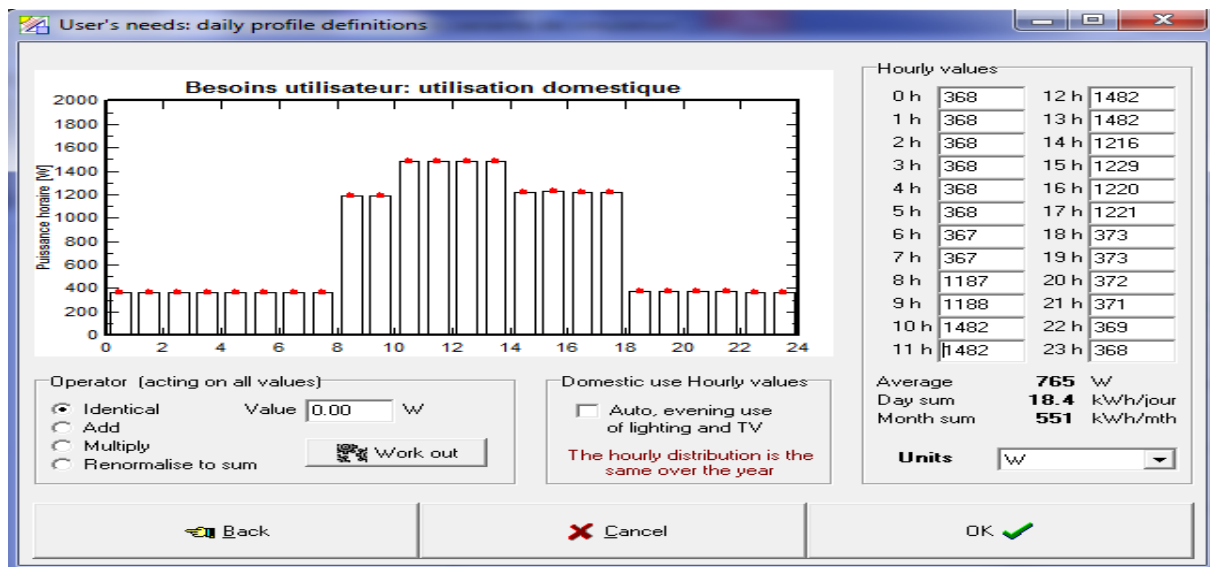


Figure (III.9) : le profil de charge et le temps d'utilisation

C. Troisième étape :

- ✓ **La définition du système autonome:** La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple :
 - Le système de stockage dans la base de données interne;
 - Choisir les modules PV dans la base de données interne.

Cette étape est divisée en 3 sous parties : " presizing help ", " select batterie " et "select modules".

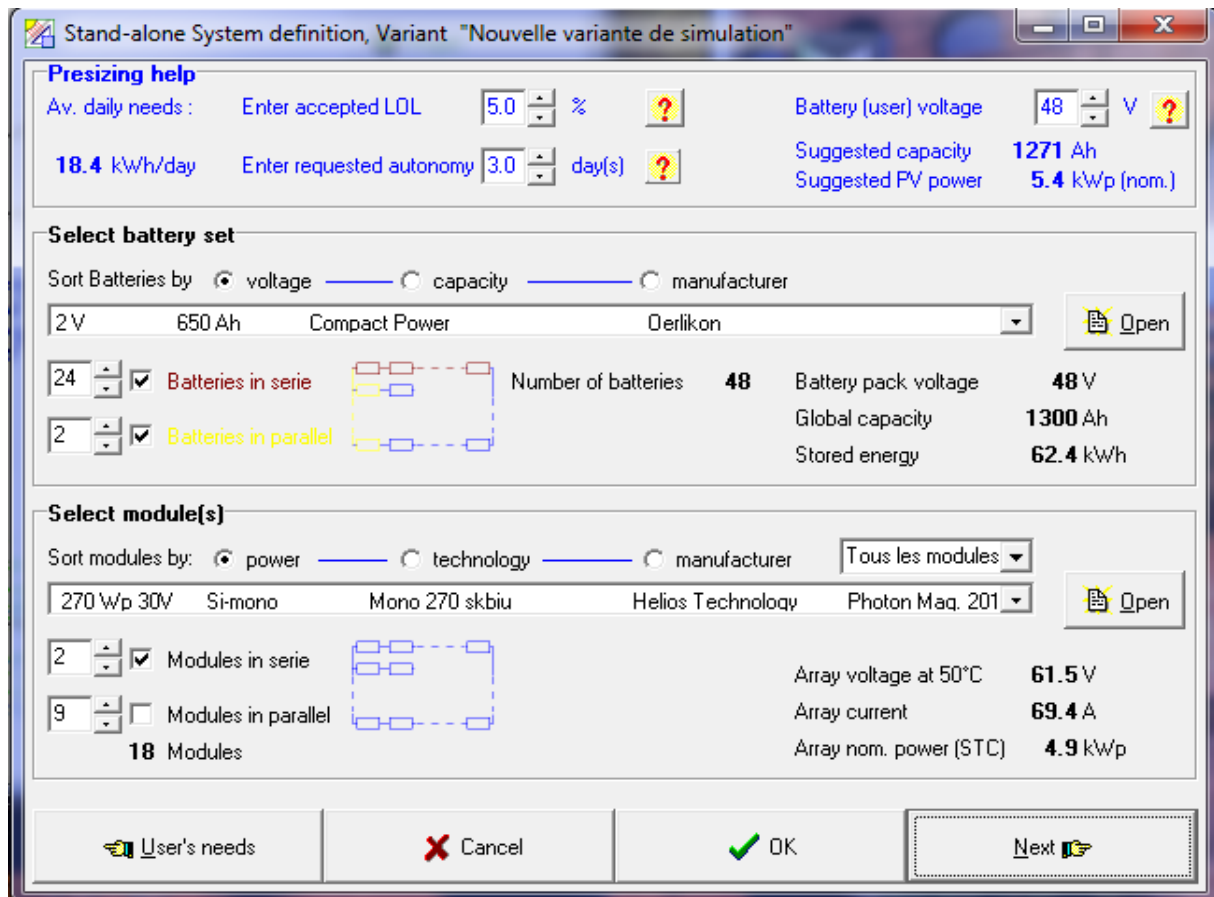


Figure (III.10) : la définition de système autonome

- ✓ **Presizing help:** (en haut) Les paramètres pour choisir le type du batterie donne des conseils au sujet de la banque de batterie requise et PV puissance de tableau.

Le calcul est basé sur vos fichiers et définitions ci-dessus météo. Vous devez définir :

- l'autonomie nécessaire (habituellement environ 2 jours),
- La probabilité acceptable que les besoins ne sont pas couverts par le système (PLOL pour "probabilité de perte de charge),
- La tension nominale de la banque de la batterie.

Le programme va alors effectuer un dimensionnement du système, de la même manière que dans la section "pré dimensionnement".

Vous avez également un bouton pour une étude de dimensionnement plus raffiné, pour différentes distributions météo, ou en fonction du paramètre PLOL.

Presizing help			
Av. daily needs :	Enter accepted LOL	5.0 %	Battery (user) voltage
18.4 kWh/day	Enter requested autonomy	3.0 day(s)	Suggested capacity
			Suggested PV power
			1271 Ah
			5.4 kWp (nom.)

Figure (III.11) : les paramètres pour choisir batterie

PLOL (probabilité loss of load) perte de charge : Cette valeur est la probabilité que les besoins de l'utilisateur ne peuvent pas être fournis (à savoir la fraction de temps lorsque la batterie est déconnectée en raison de la sécurité du régulateur "Low de charge »). Il peut être compris comme le complément de la « fraction solaire » (bien qu'elle soit décrite en termes de temps plutôt que de l'énergie).

L'autonomie : C'est le nombre de jours consécutifs qu'en absence du soleil, le système doit être capable pour subvenir aux besoins énergétique.

- ✓ **Définition de système de stockage:** en choisissant un modèle de batterie (page "Storage").
- ⇒ Le programme proposera le nombre de batteries en série et en parallèle, selon les suggestions obtenues dans l'outil de pré-dimensionnement précédent.

Vous devez également définir les conditions de température de fonctionnement pour les batteries, en fonction de votre mise en œuvre du système.

Select battery set					
Sort Batteries by <input checked="" type="radio"/> voltage <input type="radio"/> capacity <input type="radio"/> manufacturer					
2 V	650 Ah	Compact Power	Oerlikon	<input type="button" value="Open"/>	
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Batteries in serie		Number of batteries	48
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Batteries in parallel		Battery pack voltage	48 V
				Global capacity	1300 Ah
				Stored energy	62.4 kWh

Figure (III.12) : les paramètres de la batterie

- ✓ **Définition du champ photovoltaïque:** Choisir le type de module PV dans la base des données,
- ⇒ Le programme détermine le nombre de modules en série ou en parallèle, selon les conditions MPPT de batterie et voltage. Ou puissance PV nécessaire.

Select module(s)					
Sort modules by: <input checked="" type="radio"/> power <input type="radio"/> technology <input type="radio"/> manufacturer					
Tous les modules					
270 Wp 30V	Si-mono	Mono 270 skbiu	Helios Technology	Photon Maq. 201	<input type="button" value="Open"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Modules in serie		Array voltage at 50°C	61.5 V
9	<input type="checkbox"/>	Modules in parallel		Array current	69.4 A
18 Modules				Array nom. power (STC)	4.9 kWp

Figure (III.13) : les paramètres du champ PV

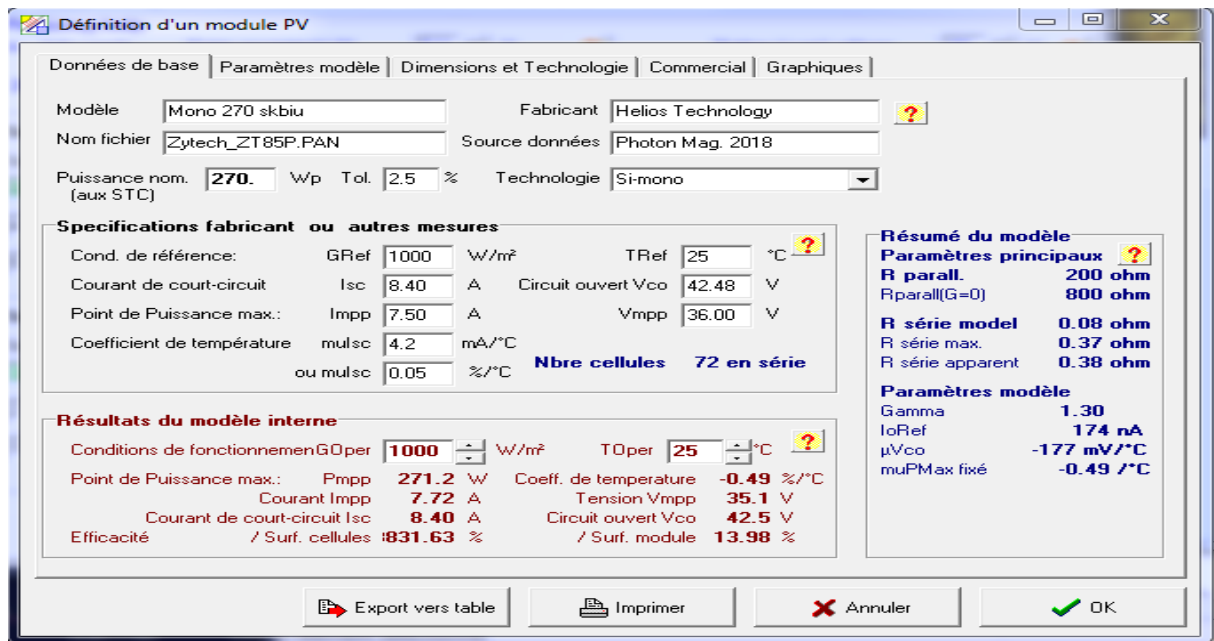


Figure (III.14) : Définition d'un module PV

D-Quatrième étape :

- ✓ **Le choix de stratégie de contrôle :** Dans le (couplage direct, MPPT ou convertisseur DCDC), il est conseillé de choisir le " Convertisseur MPPT ".

Le convertisseur MPPT est un système de conversion de puissance muni d'un algorithme de contrôle approprié permettant d'extraire le maximum de puissance que le GPV peut fournir.

NB : Avec la stratégie "de couplage direct", la tension du module photovoltaïque doit correspondre à la tension de la batterie en fonctionnement. Toute disparité se traduira par "pertes Pmpp".

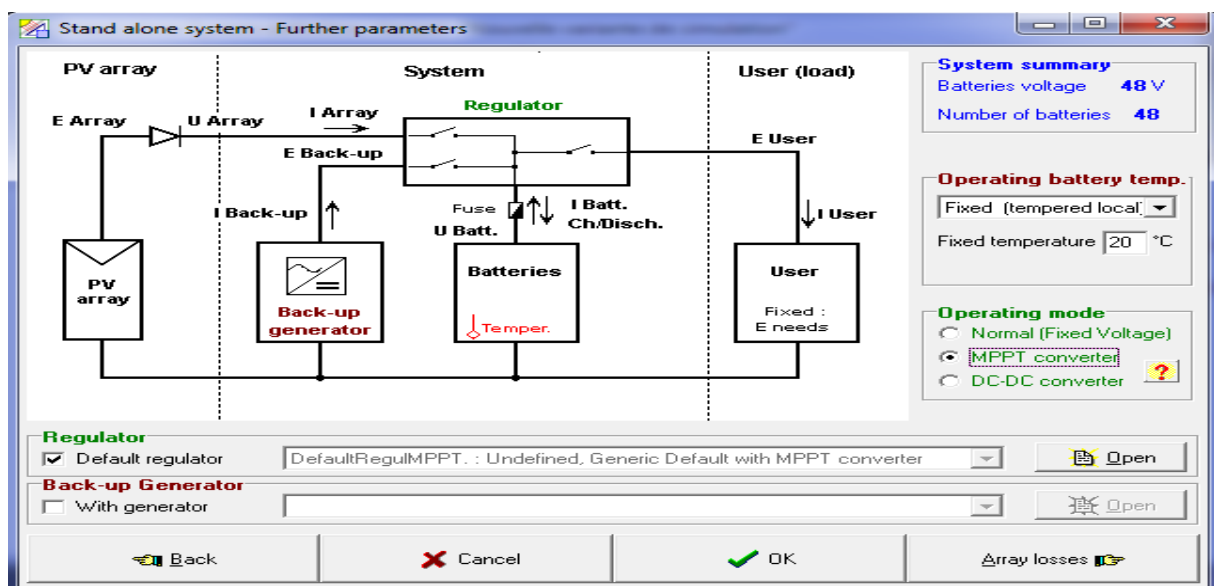


Figure (III.15) : le choix du régulateur

E-Cinquième étape :

NB : Dans l'heure actuelle, vous ne pouvez pas définir un onduleur avec des systèmes autonomes:

Les besoins de l'utilisateur sont exprimés en termes d'énergie, quelle que soit l'utilisation courant continue ou alternative. Si vous avez un onduleur, vous devez augmenter les besoins de l'utilisateur, afin de rendre compte de son efficacité. Onduleurs autonomes seront bientôt disponibles, dans une version future.

F-Sixième étape :

Passez sur le bouton « Pertes détaillées » pour la définition de toutes les pertes du système, qui ont été définis à des valeurs par défaut raisonnables pour vos premières simulations.

Finalemment : Vous pouvez maintenant jouer avec ces paramètres, et récupérer les valeurs automatiques proposées en cliquant sur la case à cocher par défaut associée à tout moment.

Des avertissements seront affichés s'il y a des incompatibilités entre les paramètres choisis.

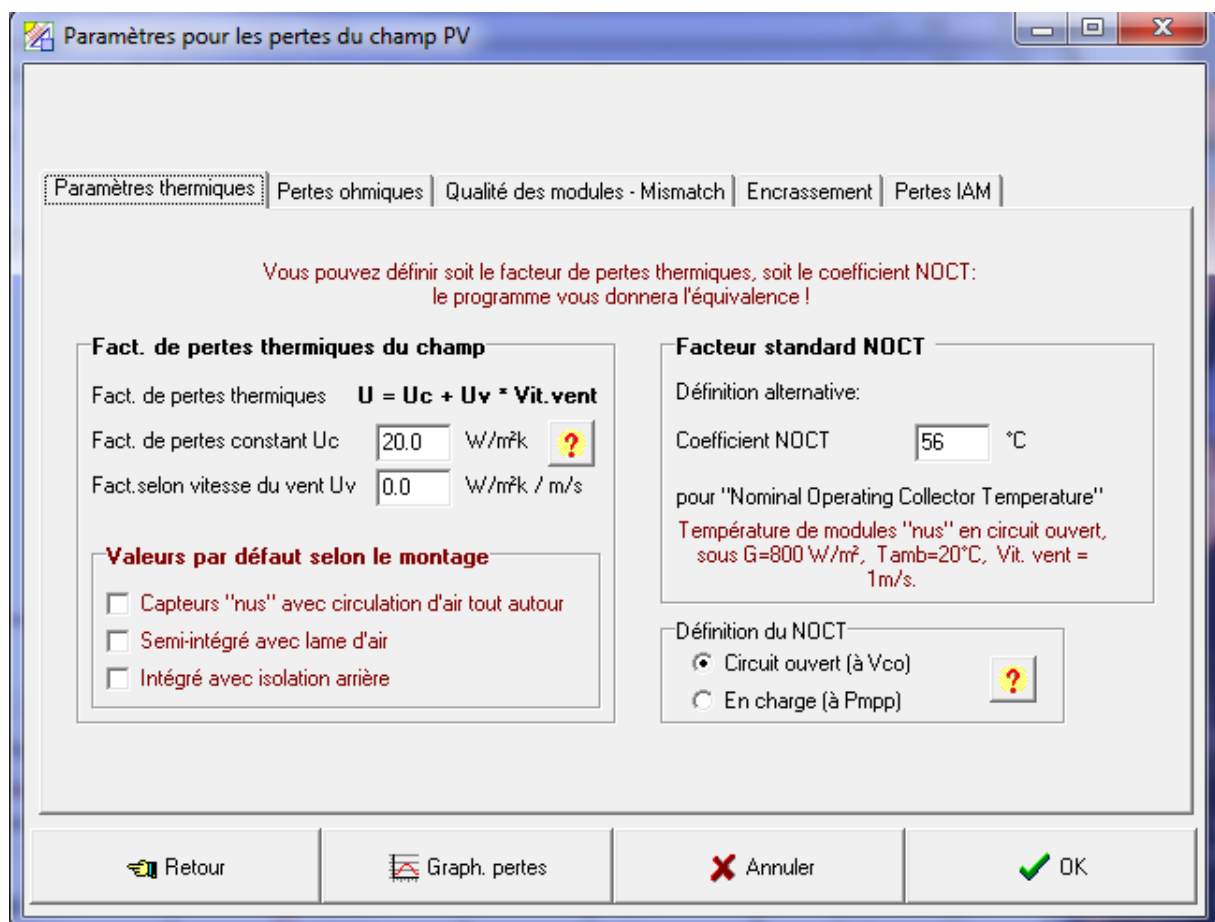


Figure (III.16) : paramètres des pertes

Partie B : Résultats et discussions de la simulation

III.B.1. Paramètres du système (Isolé avec batteries)

Orientation plan capteurs Inclinaison 30° Azimut 0°

III.B.1.1 Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV	Si-mono		
Nombre de modules PV	En série 2 modules	En parallèle	9 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules 18	Puissance unitaire	270 Wc
Puissance globale du champ	Nominal(STC) 4.9 kWc	Aux cond. de fonct.	4.3 kWc
Caractéristiques de fonct. à 50°C	U mpp 61V	I mpp	69 A
Surface totale	Surface modules 34.9 m²		

III.B.1.2 Caractéristiques du Batterie

Caractéristiques du banc de batteries	Tension	48 V	Capacité nominale	1300Ah
	Nombre d'unités	24	en séries x 2 en parallèles	

III.B.2. Profil de charge

Besoins de l'utilisateur : consomm. domestique Constants sur l'année
moyenne **18.4 Kwh/Jour**

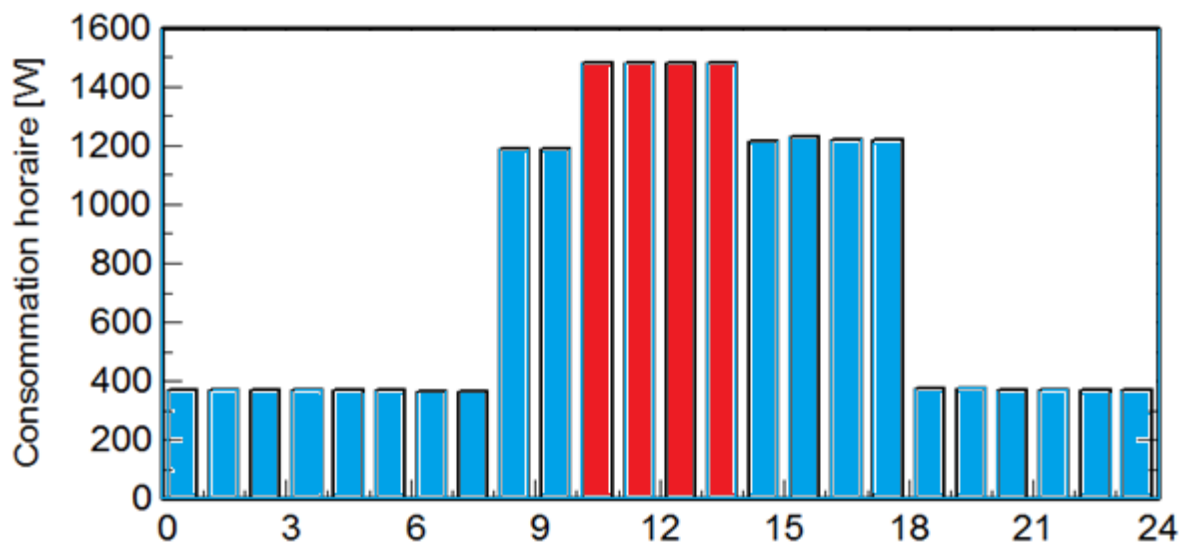


Figure (III.17) : Profil de charge

L'énergie moyenne journalière consommée par la maison est de 18,4 kWh/jr et On remarque que le max consommation d'électricité enter 10h-14h avec 1482 Wc.

III.B.3. performance ratio

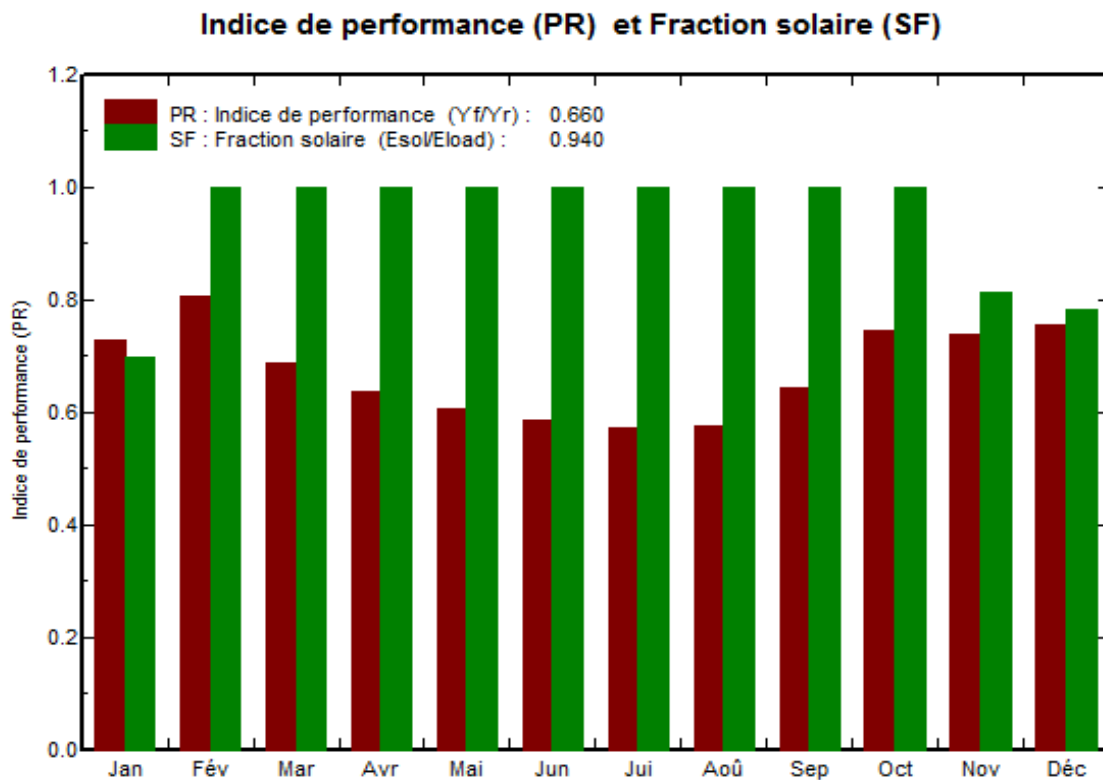


Figure (III.18) : indice de performance

La figure (III.18) représente l'indice de performance (**Performance Ration**) est le rendement de globale du système défini par le rapport de rendement réel du système par le rendement nominale du système tel que :

$$PR = \frac{\text{rendement réel du système}}{\text{rendement nominale du système}}$$

Dans ce cas l'indice de performance est : 66.0 %

La valeur typique de PR est 0,65 à 0,9 Alors Le système qui a été installé fonctionne très bien. Autrement les pertes dans le système peuvent être données par la relation suivant :

$L_f = 1 - PR$. Les pertes de cette système est : 34 %

L_f : Facteur des pertes due dans le système peut sont aux (câblage, diodes, Mismatch, non suivre du PMM, etc.).

III.B.4. Les productions normalisées

La prédiction du système (à la sortie du stockage : Yf) est représentée sur la figure (III.19). Les pertes L_c , L_s et L_u sont les pertes correspondantes au champ PV, les pertes de système de stockage et l'énergie non utilisée, respectivement.

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 4.9 kWc

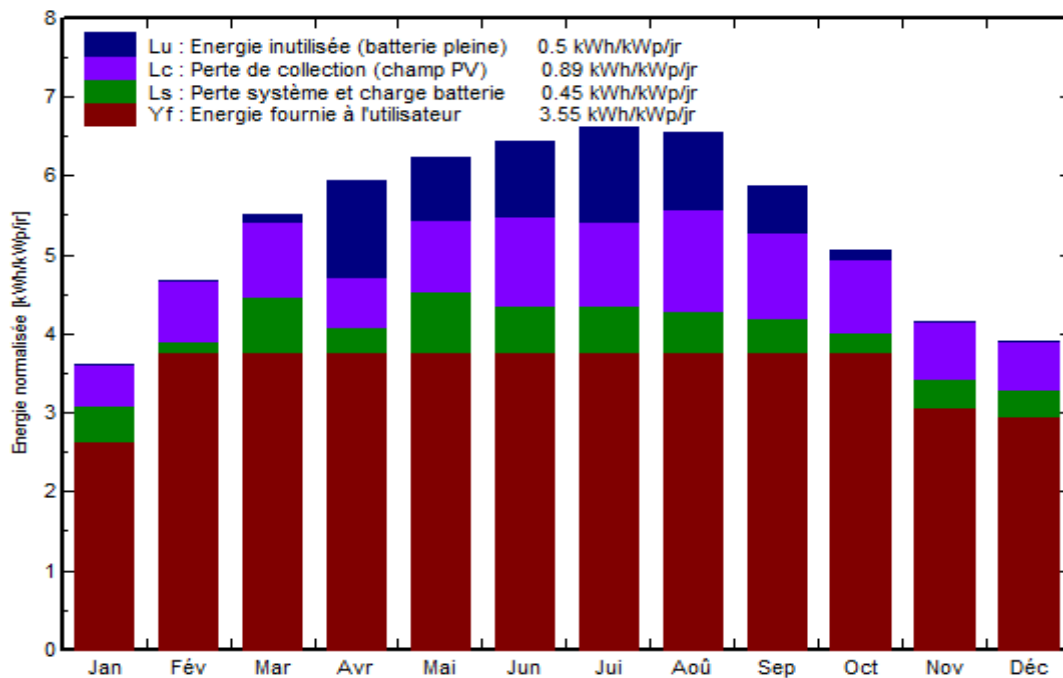


Figure (III.19) : Les productions normalisées

III.B.5. Bilan énergétique

Tableau (III.1) : Bilan énergétique

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	EUused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Janvier	74.7	108.9	431.1	0.5	172.9	396.2	569.2	0.696
Février	95.5	127.4	494.5	0.0	0.0	514.1	514.1	1.000
Mars	145.7	165.7	635.9	12.5	0.0	569.2	569.2	1.000
Avril	170.4	173.1	730.9	180.0	0.0	550.8	550.8	1.000
Mai	204.9	187.4	751.8	122.5	0.0	569.2	569.2	1.000
Juin	214.8	187.3	724.5	138.6	0.0	550.8	550.8	1.000
Juillet	223.5	198.6	787.7	180.1	0.0	569.2	569.2	1.000
Août	202.8	197.1	742.2	145.1	0.0	569.2	569.2	1.000
Septembre	156.0	171.0	652.9	85.2	0.0	550.8	550.8	1.000
Octobre	120.9	152.8	577.6	17.1	0.0	569.2	569.2	1.000
Novembre	84.9	121.5	463.4	0.1	102.3	448.5	550.8	0.814
Décembre	74.4	117.7	462.2	0.2	124.5	444.6	569.2	0.781
Année	1768.5	1908.5	7454.5	882.0	399.8	6301.6	6701.4	0.940

Légendes: GlobHor Irradiation globale horizontale E Miss Energie manquante
 GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages E User Energie fournie à l'utilisateur
 E Avail Energie solaire disponible E Load Besoin d'énergie de l'utilisateur
 EUused Energie inutilisée (batterie chargée) SolFrac Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

GlobHor : Rayonnement global horizontal : une combinaison du rayonnement diffuse global et du rayonnement direct global pour une surface horizontale.

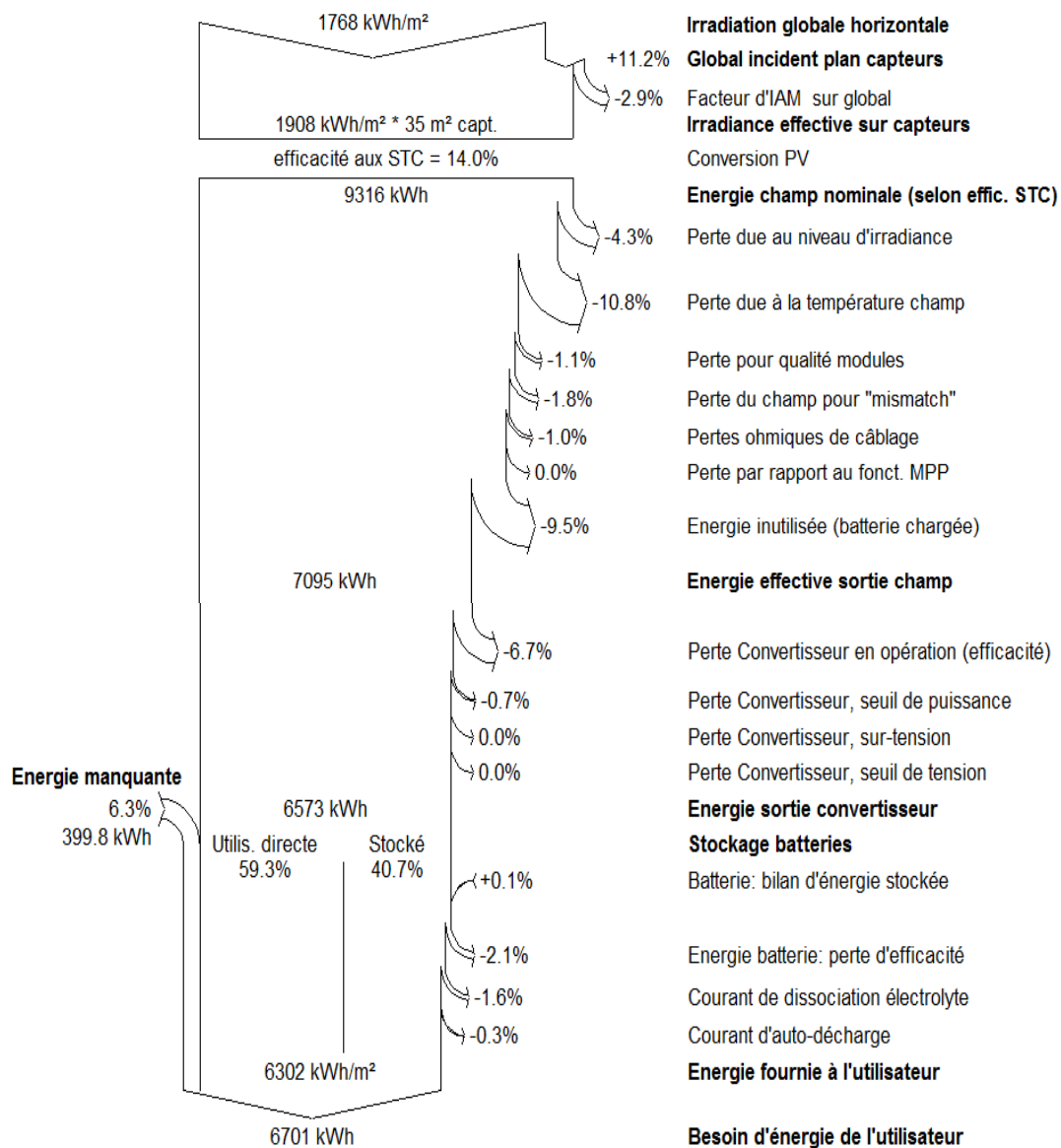
GlobEff : Le rayonnement effectif sur les collecteurs : le rayonnement restant après les pertes détaillées précédemment, multiplié par la surface PV (la surface du module telle que définie dans le fichier *.PAN).

La conversion PV : le rendement du module aux STC (conditions standards de test).

L'énergie nominale du panneau (au rendement STC) : le rendement de la production PV multiplié par le rayonnement efficace sur les collecteurs.

EArray : Energie effective sortie champ (L'énergie nominale du panneau (au rendement STC) – les pertes de modèle PV et les pertes de champ).

Diagramme des pertes sur l'année entière



Le diagramme résume les pertes de la production de système PV à savoir : les pertes ohmiques du câblage, effet d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules,...etc.

En effet, l'énergie produit par le champ PV (énergie sortie du champ) estimée à 9316 KWh et réduite à 6701 KWh à la sortie pour utilisateur.

III.B.6. Etude de rentabilité économique

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

Le choix technique et économique de l'une des formes des énergies renouvelables est tributaire de la connaissance de plusieurs paramètres à savoir : la puissance électrique requise, et le coût d'investissement [38].

III.B.6.1 Tableaux de l'étude économique des systèmes PV

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

Pour éviter les frais de transport.

Tableau (III.2): Etude économique du système PV alimentant une école autonome

<i>Désignation</i>	<i>Caractéristique</i>	<i>Puissance installée</i>	<i>Quantité</i>	<i>Prix unitaire (DA)</i>	<i>Montant (DA)</i>
Module-MONO 270w	270w/30v	3.022	18	25.500,00	459.000,00
batteries	V = 2V ; C=650 Ah.	3.022	48	51.000,00	2.448.000,00
Régulateurs	100 V/80 A	3.022	1	25.000,00	25.000,00
onduleur	V _{AC} =220v p=3500w	3.022	1	170.000,00	170.000,00
Montant des accessoires (Supports, Câble, ...etc.)	/	3.022	/	280.000,00	280.000,00
Montant d'installation	/	3.022	/	350.000 ,00	350.000,00
Coût total de SPV	/	/	/	/	3.732.000,00

III.B.6.2 Discussion et analyse des résultats du l'installation dimensionnée

Le tableau montré que pour une production de 3,022kW, Le coût total du système photovoltaïque est : 3.732.000,00 DA.

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

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

Suite aux résultats trouvés, l'amortissement de l'investissement du projet est estimé de 8 à 10 ans, et la durée de vie des batteries est de 10 ans.

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

Notre utilisateur n'amortit pas son investissement pendant la période de 10 ans, une durée de vie du module photovoltaïque de 8 à 10 ans. Ce n'est pas donc très positif pour son investissement, on conclut que le prix du kWh de Sonelgaz est moins cher que le kWh solaire.

Mais ce système est favorable pour les sites isolé.

III.B.6.3 Installation de SPV

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

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

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

III.B.6.4 Installation mécanique et électrique

A. Installation du générateur PV

- **Orientation et l'inclinaison du générateur PV**

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

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

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

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

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

- **Les masques**

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

- ✓ En provoquant l'éventuelle destruction d'un ou plusieurs module si la protection électrique du générateur est insuffisante ;
- ✓ en occasionnant une perte énergétique en fonction de l'importance et de l'évolution du masque au cours de la journée (et des saisons) et du groupement série parallèle des modules.

- **Montage des modules en rangs parallèles**

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

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

- **Fixation des modules**

La fixation des modules doit assurer correctement les fonctions suivantes :

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

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

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation. Pour tout type de générateur, la structure classique consiste en un châssis avec une base plane pouvant recevoir des écrous de fixation eux-mêmes liés à une armature rigide (exemple : chape de béton).

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

Toute la boulonnerie de fixation est en général en acier inoxydable.

La structure recevant les supports doit :

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

Isoler les modules du sol. Il est conseillé d'adopter une distance minimum de 0,6 à 0,8 m entre le sol et le bas des modules [18].

B. Installation des batteries de stockage

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

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

- **Local des accumulateurs**

Il doit assurer les fonctions suivantes :

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

- **Installation des accumulateurs**

Elle doit assurer les fonctions suivantes :

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

Conclusion

Le logiciel **PVsyst** permet de simuler un système photovoltaïque avec une prise en compte de tous les aspects: pertes, emplacement géographique,...etc. Ceci a permis de faire une meilleure estimation des pertes qui peuvent affecter le rendement global.

Les pertes dues au système de stockage et les jours d'autonomie est très importante pour le dimensionnement de ce système de stockage, d'où la nécessité d'opter pour une technologie de meilleure rendement possible de ce composant qui représente clé et le plus délicat d'une installation photovoltaïque autonome.

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

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

Conclusion générale

L'objectif général de notre étude est l'approvisionnement en énergie électrique de l'école primaire « Boudrissa Abdelmajid » située au niveau de la région de Boukhmissa de la wilaya de M'sila, à partir de l'énergie solaire en utilisant.

Dans le premier chapitre, des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques ont été annoncées ainsi que les différents types de systèmes photovoltaïques existants et le potentiel solaire en Algérie.

Dans le second chapitre, nous avons dimensionné l'installation de notre système PV en fonction des besoins énergétiques.

Pour atteindre ce but, nous avons déterminé la capacité du générateur et celle du stockage, avec le choix du module PV et de l'élément batterie convenables à un bon dimensionnement.

Dans le troisième chapitre nous avons abordé une étude par simulation de l'installation PV de puissance 3.022 KW.

La méthode utilisée pour l'estimation du couple générateur / batterie est simple, basé sur le profil de consommation et l'apport énergétique du lieu. La mise en œuvre de cette méthode a été effectuée à l'aide d'un logiciel PVsyst 5.20.

Le logiciel de simulation que nous avons utilisé PVsyst, répond correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec meilleures perspectives.

Enfin, nous avons établi une étude de la rentabilité économique et nous avons constaté que l'installation PV autonome est intéressante et il est à signaler que notre installation devient rentable de vue de l'économie d'énergie qui actuelle très significatif par rapport le réseau électrique.

Bibliographie

- [1] Pompape photovoltaïque, «guide à l'intention des ingénieurs et techniciens, Institut de L'énergie et de l'environnement de la francophonie », Université d'OTTAWA.
- [2] M. BOUKLI-HACEN, «Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique », thèse de magister ; Université ABOU BAKER BELKAID –Tlemcen , 2011.
- [3] C. Bernard, « station solaire autonome pour l'alimentation station pompape», l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006.
- [4] A. Hammidat Hadj arab et M.T BOUKADOUM, « performance et cout des systèmes de pompape PV en ALGERIE », 2005.
- [5] Laboratoire de recherche des énergies renouvelable <http://www.cder.dz/>.
- [6] <http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/ensoleillement-belgique.html>.
- [7] F . Chekider, «étude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA », mémoire magister en électronique, université de Jijel, 2008.
- [8] W. Boucheritte, « Convertisseurs multi niveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau», Mémoire de Magister en Electrotechnique, Université Mohamed Khider, Biskra, 2013.
- [9] A. Bilbao «Réalisation d'un commande mppt numérique» université de rovira ivirgili, 2006.
- [10] H. BELGHITRI et H. ' Modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien photovoltaïque' mémoire de magister, 2009.
- [11] K.Benlarbi, L. Mokrani, M.S .Nait-Said « Afuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water system », Solar Energy 77 2004.
- [12] J .Royer,T.Djiako, E.SCHILLER «le pompape photovoltaïque» manuel de cour a l'intention des ingénieurs et techniciens bibliothèque national de CANADA 1998.
- [13] Note de cours, « Electricité solaire photovoltaïque » ,2IE, Zacharie KOALAGA.
- [14] Djarallah, Mohamed, "Contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au AU RESEAU ELECTRIQUE," UNIVERSITE DE BATNA Thèse de Doctorat en Science, 2008.
- [15] M. Moulay-Amar et M. Loghouini, «Etude et réalisation d'un système de poursuite de point de puissance maximale à base de microcontrôleur destiné à une installation photovoltaïque », Mémoire d'ingéniorat, université de Ouargla, Algérie, 2005.

Bibliographie

- [16] M. BENGHANEM. Etude de la performance des systèmes photovoltaïque autonomes Travaillant à poste fixe. Thèse de Doctorat, U.S.T.H.B, avril 1999.
- [17] B. EQUER. Energie solaire photovoltaïque. Volume I – Physique et technologie de la conversion photovoltaïque. CNRS. Edition ellipses, 1993.
- [18] M. BURESCH Photovoltaic energy systems. McGraw-Hill U.S.A, 1983.
- [19] F. LASNIER ET TG ANG. Photovoltaic Engineering Handbook – Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand. IOP Publishing Ltd, 1990.
- [20] E. BUCHET, « Etude du dimensionnement et développement d'un logiciel d'aide à la conception de système de production d'énergie utilisant la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire », Thèse de Doctorat, Faculté de Science et Technique de Saint-Jérôme, d'Aix Marseille, juillet 1988.
- [21] A. HADJ ARAB, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque de faible puissance », Thèse de magister, H.C.R, décembre 1989.
- [22] N. Achaïbou ; A.Malek ; N.Bacha, « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV », N. spécial (CHEMSS), pp 61-66,2000.
- [23] E. BUCHET, « Etude du dimensionnement et développement d'un logiciel d'aide à la conception de système de production d'énergie utilisant la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire », Thèse de Doctorat, Faculté de Science et Technique de Saint-Jérôme, d'Aix Marseille, juillet 1988.
- [24] I. Tsuda, K. Kurokawa, K.Nozaki, «Annual simulation results of photovoltaic system with redox flow battery », solar Energy Materials and solar cells 35,pp 503 – 508,1994.
- [25] S. Semaïou, « Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque », Mémoire de magister en Science physique; 2004.
- [26] M. BENGHANEM, « Etude de la performance des systèmes photovoltaïque autonomes Travaillant à poste fixe », Thèse de Doctorat, U.S.T.H.B, avril 1999.
- [27] TRAHY Fatiha, « Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche lampa», Mémoire de magister en électronique ; 2011 ; page (11-12)/ (17-18)].
- [28] <https://www.energienature.fr/stockage-energie-photovoltaïque/>.
- [29] S. Petibon, « nouvelles architectes distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », thèse de doctorat de l'université de toulouse, 2009.

Bibliographie

- [30] FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé », livre édité par: EDISUD, 1983.
- [31] Guesmia Mohamed Takieddine 'Mémoire de fin d'étude master, « Etude et dimensionnement d'un système PV pour une habitation saisonnière isolée », université de Biskra 2017.
- [32] A. BOUZID et M. AZIZI, « Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme Étude de l'onduleur triphasé lié à cette application », Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, 2008.
- [33] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-autonome/cours_photovoltaique-autonome.php.
- [34] Merabti Yousef 'Mémoire de fin d'étude master, « Etude et réalisation d'un système photovoltaïque hybride à trois sources », université de Biskra 2016.
- [35] Anne labouret Michelviloz : énergie solaire photovoltaïque, 2003, 2004, 2005.
- [36] Daifi Mohamed Amine, « Mémoire de fin d'étude master : Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome en site isolé au sud du pays ville de Biskra », université de Biskra 2015.
- [37] H. Yotto « Etude et conception d'une mini centrale PV » mémoire fin d'études Master 2 IE Bénin 2011.

ملخص

هذا العمل لدراسة تثبيت نظام كهروضوئي ذاتي يغذي مدرسة ابتدائية. إذ وبعد اعطاء لمحة وجيزة عن الانظمة الكهروضوئية المستقلة نقوم بتعريف مختلف العناصر التي يتكون بها النظام وكذلك تعريف الحمولة ومدى استهلاك الحمولة المأخوذة بعين الاعتبار في الموقع المدروس نقوم استنادا إلى المعلومات الفعلية لموقع التثبيت وعن طريق برنامج كمبيوتر لحساب أبعاد النظام الكهروضوئي حيث يقوم هذا الأخير بتحديد طاقة النظام وكذا سعة البطاريات اللازمة لتغطية أيام العزلة.

وأخيرا, ننهى عملنا بدراسة الربحية الاقتصادية للمشروع.

كلمات المفتاح: النظام الكهروضوئي, حساب أبعاد النظام الكهروضوئي, دراسة الربحية الاقتصادية.

Résumé

Ce travail a pour l'étude d'une installation photovoltaïque autonome qui alimente une école primaire.

Après une description succincte sur le système photovoltaïque autonome, nous présentons les définitions des différents composants du ce système, et aussi une définition de la charge ainsi que le profil de consommation de la charge adoptée dans un site isolé.

En se basant sur les paramètres réels du site de l'installation, nous proposons une méthode de dimensionnement à travers un programme informatique nous déterminons la dimension des différents composants du système.

Enfin, nous terminons notre travail par une étude de rentabilité économique de notre projet.

Mots clé: *Système photovoltaïque, Dimensionnement du système photovoltaïque, système photovoltaïque autonome, étude de rentabilité économique.*

Abstract

This work has for the study of an stand-alone photovoltaic installation that primary school.

After a brief description of stand-alone photovoltaic systems, we present a definition of the different components, and definition charge, as well as the consumption profile of the load adopted in an isolated site.

Based on the actual parameters of the installation site, we propose a sizing method through a computer program that determines the size of the different components of the system.

Finally, we finish our work with an economic profitability study of our project.