

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE ÉLECTRIQUE



Mémoire de Master

Spécialité : Energies Renouvelables en Electrotechnique

THEME

**Etude de faisabilité d'une
installation solaire photovoltaïque
autonome par PVSyst pour une
ferme agricole**

Proposé et dirigé par :
Dr. BOUCHELAGHEM Ahmed

Présenté par :
GHERABI yasser

Année Universitaire 2019-2020

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah, et tous ceux qui me donnée la force et la patience pour accomplir cette tâche modeste

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

Je remercie de tous me coeurs Dr. DRIF MAHMOUD pour sa volonté.

Je remercie également tous les membres du jury qui me ont fait l'honneur en acceptant d'examiner ce travail.

je remercie tous les enseignants qui ont encadré durant notre cursus universitaire.

je remercie tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, me ont toujours soutenus par leur respect et leur gentillesse.

Dédicace

Je dédie mon travail

*À mes parents, mon frères, ma soeur ainsi que
toute La famille 'GH'ERABI ' 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.

YASSER

Chapitre I

Introduction.....	Error!
Bookmark not defined.	
I.1. Description des systèmes photovoltaïques :	Error! Bookmark not defined.
I.2. Générateur photovoltaïque GPV	Error! Bookmark not defined.
I.2.1. Effet photovoltaïque	Error! Bookmark not defined.
I.2.2. Cellule photovoltaïque	Error! Bookmark not defined.
I.2.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	Error! Bookmark not defined.
I.2.4. Type des cellules photovoltaïques	Error! Bookmark not defined.
I.2.5. Rendement des cellules photovoltaïques :	Error! Bookmark not defined.
I.2.6 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	Error! Bookmark not defined.
I.2.7 Modules photovoltaïques :	Error! Bookmark not defined.
I.2.8. Caractéristiques d'un module [12]	Error! Bookmark not defined.
I.3. L'unité de stockage :	Error! Bookmark not defined.
I.3.1. Batteries d'accumulateurs :	Error! Bookmark not defined.
I.4. Régulateurs	Error! Bookmark not defined.
I.4.1 Principe de fonctionnement des régulateurs	Error! Bookmark not defined.
I.4.2 Régulateur parallèle	Error! Bookmark not defined.
I.4.3 Régulateur série	Error! Bookmark not defined.
I.4.4 Choix du régulateur solaire	Error! Bookmark not defined.
I.5. Convertisseur Continu-Alternatif (Onduleur).....	Error! Bookmark not defined.
I.6. Convertisseur DC/DC	Error! Bookmark not defined.
I.7. Charge (utilisateurs) :	Error! Bookmark not defined.
I.8. Protection d'un système photovoltaïque :	Error! Bookmark not defined.
I.8.1 Le GPV:.....	Error! Bookmark not defined.
I.8.2 Les batteries :	Error! Bookmark not defined.
I.8.3 Le régulateur de charge :	Error! Bookmark not defined.
I.8.4 L'onduleur :	Error! Bookmark not defined.
I.8.5 Le câblage dans les deux cas (DC et AC) :	Error! Bookmark not defined.
I.9. Maintenance.....	Error! Bookmark not defined.
I.9.1 Module photovoltaïque:	Error! Bookmark not defined.
I.9.2 Régulateur :	Error! Bookmark not defined.
I.9.3 Les Batteries :	Error! Bookmark not defined.
I.9.4 onduleur :	Error! Bookmark not defined.
I.10. avantages et inconvénients d'une installation Photovoltaïque	Error! Bookmark not defined.

Sommaire

I.10.1 les avantages[21].....	Error! Bookmark not defined.
I.10.2 les inconvenients[21].	Error! Bookmark not defined.
I. 11. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes :	Error! Bookmark not defined.
I.11.1. Systèmes autonomes sans stockage électrochimique :	Error! Bookmark not defined.
I.11.2. Systèmes autonomes avec stockage électrochimique :	Error! Bookmark not defined.
Conclusion.....	Error!
Bookmark not defined.	

Chapitre II

Introduction.....	Error!
Bookmark not defined.	
II.1: Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV.....	Error! Bookmark not defined.
II.1.1 Orientation et inclinaison des modules :.....	Error! Bookmark not defined.
II.2 :L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité.....	Error! Bookmark not defined.
II.2.1 Evaluation des besoins :.....	Error! Bookmark not defined.
II.2.2 Choix des appareils électriques et leur adaptation au système PV :.....	Error! Bookmark not defined.
II.2.3 Présentation de la ferme :.....	Error! Bookmark not defined.
II.2.4 Description de la ferme :.....	Error! Bookmark not defined.
II.2.5. Cahier des charges.....	Error! Bookmark not defined.
II.3: Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules)	Error! Bookmark not defined.
II.3.1 Détermination de la tension de fonctionnement de système.....	Error! Bookmark not defined.
II.3.2 Composition du champ photovoltaïque.....	Error! Bookmark not defined.
II.3.3 Nombre des panneaux.....	Error! Bookmark not defined.
II.4: Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie.....	Error! Bookmark not defined.
II.4.1 Calcule la capacité de stockage.....	Error! Bookmark not defined.

Sommaire

II.5 : Choix de régulateur et de l'onduleur :	Error! Bookmark not defined.
II.5.1 Choix du régulateur	Error! Bookmark not defined.
II.5.2 Choix de l'onduleur	Error! Bookmark not defined.
II.6 : Dimensionnement des câbles et plan de câblage :	Error! Bookmark not defined.
II.7. Choix des composants du système	Error! Bookmark not defined.
Conclusion	Error! Bookmark not defined.

Chapitre III

Spécialité : Energies Renouvelables en Electrotechnique.....	1
Proposé et dirigé par : Présenté par :	1
Introduction générale	14
Chapitre I :	1
Introduction.....	1
I.1. Description des systèmes photovoltaïques :	1
I.2. Générateur photovoltaïque GPV.....	2
I.3. L'unité de stockage :	8
I.4. Régulateurs	9
I.5. Convertisseur Continu-Alternatif (Onduleur).....	11
I.6. Convertisseur DC/DC	12
I.7. Charge (utilisateurs) :.....	13
I.8. Protection d'un système photovoltaïque :	13
I.9. Maintenance	14
I.10. avantages et inconvénients d'une installation Photovoltaïque.....	15
I. 11. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes :.....	16
Conclusion	18
Chapitre II	19

Sommaire

Introduction.....	19
II. 1: Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV	20
II.2 :L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité	21
II.3: Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules)	24
II. 4: Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie.....	26
II.5: Choix de régulateur et de l'onduleur :	27
II.6 : Dimensionnement des câbles et plan de câblage :	30
II.7. Choix des composants du système	31
Conclusion	31
Chapitre III :.....	32
Où :	41
Où :	41
Avec :	42
Chapitre IV:.....	46
IV.1. Présentation de Pvsyst	46
IV.3. Présentation de projet:.....	47
IV.4. Conception du projet:.....	50
IV.4.1. Les étapes de conception d'un système PV autonome et un system de pompage PV51	
IV.4.1. 1. Simulation d'un système Isolé avec batteries avec le logiciel PVsyst :	53
IV.4.1.2. Simulation d'un system de pompage PV avec le logiciel PVsyst :.....	58
III.4.2. : Résultats et discussions de la simulation	62
IV.4.2.1. Résultats du système de pompage PV	68
Conclusion générale.....	73
Bibliographies	75

Chapitre IV

IV.1. Présentation de Pvsys.....	45
IV.2.1. La conception préliminaire:.....	Error! Bookmark not defined.
IV.2.2. Conception du projet:	Error! Bookmark not defined.
IV.2.3. Outils:	Error! Bookmark not defined.
IV.3. Présentation de projet:	Error! Bookmark not defined.
IV.3.1.Données géographique	Error! Bookmark not defined.
IV.3.2. Coordonnée géographique.....	Error! Bookmark not defined.
IV.3.3. Données météorologiques	Error! Bookmark not defined.
IV.4. Conception du projet:.....	Error! Bookmark not defined.
IV.4.1. Les étapes de conception d'un système PV autonome et un system de pompage PV..Error!	Bookmark not defined.
III.4.2.: Résultats et discussions de la simulation	Error! Bookmark not defined.

Sommaire

IV.4.2.1. Résultats du système de pompage PV	Error! Bookmark not defined.
Conclusion.....	Error!
Bookmark not defined.	

Liste des figures

- Figure I.1:** Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.2:** Schéma équivalent de cellule PV. **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.3 :** Principe de fonctionnement Dune cellule photovoltaïque **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.4 :** Type des cellules photovoltaïques **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.5 :** Caractéristique puissance - tension & courant- tension de la cellule PV **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.6 :** Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.7 :** Caractéristiques résultant d'un groupement de N_p cellules en parallèle **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.8:** Schéma de principe d'un régulateur de charge. **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.9 :** Régulateur parallèle..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.10 :** Régulateur série..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.11:** Onduleur **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.12 :** Convertisseur DC/DC..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.13** Schématisation dun GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.14 :** Systèmes autonomes sans stockage électrochimique **Error! Bookmark not defined.**
- Figure I.15 :** Systèmes autonomes avec stockage électrochimique **Error! Bookmark not defined.**
- Figure II.1 :** structure de l'installation photovoltaïque autonome..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure II.2 :** Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure II.3 :** Rendement d'onduleur photovoltaïque en fonction de taux de charge **Error! Bookmark not defined.**
- Figure III. 1 :** Schéma synoptique simplifié de Pompage PV..... 33
- Figure III. 2 :** Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie..... 33
- Figure III.3 :** Hauteur manométrique total..... 34
- Figure III.4:** Schéma synoptique simplifié de Pompage PV..... 35
- Figure III.5:** Groupe motopompe..... 37
- Figure III.6:** Moteur électrique..... 37
- Figure III.7 :** Diagramme du pompage PV par motopompe à CC 38
- Figure III.8 :** Diagramme du pompage PV par motopompe à AC..... 39
- Figure III.9 :** Courbe typique des performances d'une pompe en conditions d'utilisation. ... 43
- Figure IV.1:** menu principal de logiciel PVsyst **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.2:** coordonnées géographiques de M'cif **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.3:** Paramètres climatique de M'cif **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.4:** Conception du projet **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.5 :** angle d'orientation..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.6 :** horizon de 'M'cif' M'sila..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.7:** la consommation d'une maison..... **Error! Bookmark not defined.**

Liste des figures

- Figure IV.8:** la profile de charge et le temps d'utilisation..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.9:** la définition de système autonome **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.10:** le choix du régulateur..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.11:** paramètres des pertes **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.12:** Simulation d'un system de pompage PV **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.13:** paramètres de système de pompage..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.14:** l'énergie hydraulique annuelle **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.15:** l'énergie hydraulique mensuelle **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.16 :** Résultats de dimensionnement **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.17:** Profil de charge **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.18:** indice de performance **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.19:** Les productions normalisées **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.20 :**La production d'eau journalière selon l'irradiation**Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.21:** L'energie incident de référence..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure IV.22:** Les productions normalisées **Error! Bookmark not defined.**

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les différents types des cellules avec leur rendement.Error! Bookmark not defined.

Tableau II-1: La pièce et l'équipement électrique dans la maison.Error! Bookmark not defined.

Tableau II-2: L'équipement électrique et leur puissance dans cette maisonError! Bookmark not defined.

Tableau II-3: Consommation d'une maison.....Error! Bookmark not defined.

Tableau II.4 : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance Crête.....Error! Bookmark not defined.

Tableau IV .1 : Tableau des données géographique du site de M'cifError! Bookmark not defined.

Liste des symboles et des abreviations

Indice	Mot clé	Unité
<i>PV</i>	Photovoltaïque	/
<i>GPV</i>	Générateur photovoltaïque	/
<i>RD</i>	Rayonnement Direct	[WW/mm^2]
<i>Rd</i>	Rayonnement diffus	[WW/mm^2]
<i>Rr</i>	Rayonnement réfléchi	[WW/mm^2]
<i>RG</i>	Rayonnement Global	[WW/mm^2]
<i>Icc</i>	Courant débité par un module en court-circuit	[A]
<i>Voc</i>	Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant	[V]
<i>Rs</i>	Résistance série	[Ω]
<i>Rsh</i>	Résistance shunt	[Ω]
<i>Si</i>	Silicium	/
<i>MPPT</i>	Maximum Power Point Tracking	/
<i>Pc</i>	Puissance crête	[Wc]
$V_{V_{pppp}}$	Tension maximale	[V]
$I_{I_{pppp}}$	Intensité maximale	[A]
η	Rendement	[%]
$P_{P_{pp}}$	Puissance maximale	[W]
<i>E</i>	L'éclairement	[WW/mm^2]
<i>S</i>	Surface	[mm^2]
<i>PPM</i>	Point de Puissance Maximale	[W]
<i>Ei</i>	L'énergie journalière consommée d'un équipement	[Wh]
<i>Pi</i>	La puissance crête d'un équipement	[W]
<i>Ti</i>	Le temps d'utilisation	[h]
<i>VDC</i>	Tension DC nominal du système	[V]
<i>PR</i>	Performance Ratio	[%]
<i>Pg</i>	La puissance crête de GPV au STC	[W]
<i>Hgh</i>	L'irradiation journalière mensuelle moyenne sur la place de GPV	Wh/ mm^2 /jj
<i>Gt</i>	L'éclairement standard	1000w/ mm^2
<i>Et</i>	Énergie consommée ramenée au GVP (Wh/j)	[Wh/j]
NN_{TTTT}	Nombre totale des modules PV	/
PP_{pp}	la puissance nominale du module	[w]

Liste des symboles et des abbreviations

NN_{PPnn}	Le nombre de module en série	/
W_{msnn}	La tension DC nominal du système	[V]
VV_{PP}	La tension nominale du module	[V]
NN_{PPmm}	Le nombre de module en parallèle	/
$C(Wh)$	La capacité du stockage	[Wh]
$C(Ah)$	La capacité du stockage en Ampère heure	[Ah]
NN_{aaaaa}	Nombre de jour d'autonomie de la région	/
$DDDDDD_{PPaamm}$	La profondeur maximale de décharge	[%]
NN_{bbmm}	Nombre d'éléments en série de batterie	/
HMT	Hauteur manométrique totale,	[m]
H	Hauteur totale du pompage	[m]
$HHHH$	Hauteur statique	[m]
Q	Volume d'eau	[$mm^3/jjjjjjjj$]
CSM	éclairage	1000w/m2

Introduction générale

Introduction générale

Dans nos jours, il nous semble que personne ne peut s'en douter sur l'importance de l'eau et de l'énergie pour les besoins humains. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie ne cesse d'augmenter. Ce problème d'énergie est encore plus sensible dans les sites isolés où l'utilisation des ressources classiques s'avère souvent très coûteuse. En effet, plusieurs contraintes, comme le transport du combustible et les entretiens périodiques des moteurs diesels, rendent la recherche d'une source d'énergie alternative indispensable pour ce type de sites.

Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposer comme moyen de conversion de l'énergie photovoltaïque en énergie électrique. Un tel système se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

L'énergie photovoltaïque issue de la conversion de l'énergie solaire souffre d'un problème d'optimisation, dû aux caractéristiques électriques non linéaires (courant - tension) des cellules photovoltaïques, Ces caractéristiques dépendent essentiellement des conditions climatiques de rayonnement et de température.

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.

Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à l'épuisement total de ces réserves. En plus, tout le monde est mondialement convaincu par le danger de ce processus sur l'environnement.

A partir de ce constat, il est nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie « verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles.

Introduction générale

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 et bien évidemment pas indispensable [37].

C'est une énergie décentralisée et peut être utilisée au moment même où elle est produite. Elle permet de couvrir les besoins d'une habitation en électricité tels que l'éclairage, le pompage de l'eau et la production du froid.

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

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'énergie solaire. Nous présentons tout d'abord, un état de l'art l'énergie solaire photovoltaïque qui nous présentons les systèmes qui sont actuellement établis dans la pratique.

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

Le troisième chapitre a été entièrement consacré à une étude pratique de la Pompage PV d'eau sur la région de M'cif. Nous avons dimensionné un système de pompage PV fonctionnant par la méthode dite « au fil de soleil » afin d'irriguer dans cette ferme.

Le quatrième 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

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, en effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique.

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 Volt (1754.1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la «*lumière électricité* » [1, 2].

I.1. Description des systèmes photovoltaïques :

Le système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composantes qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. La figure suivante représente le schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome [3].

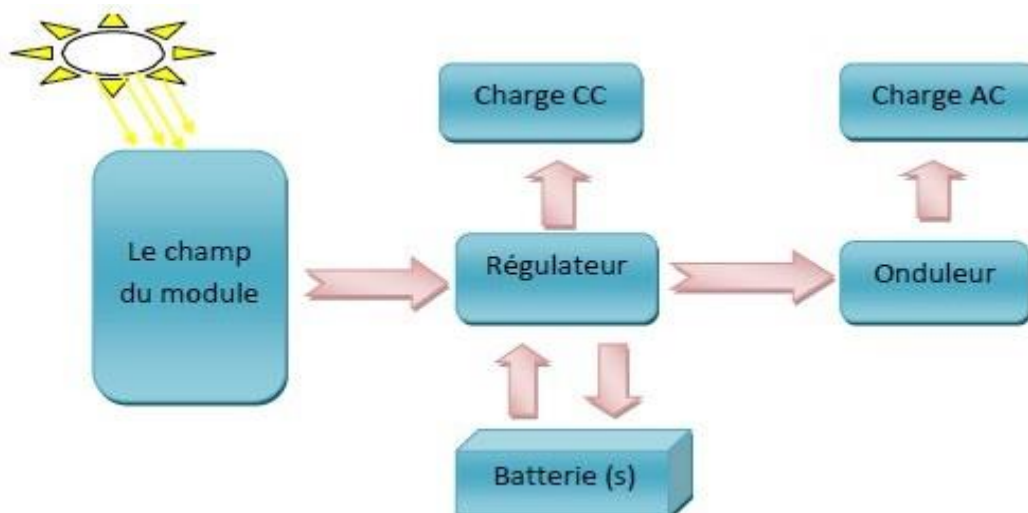


Figure I.1: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome

I.2. Générateur photovoltaïque GPV

I.2.1. Effet photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque (PV) est la transformation directe de la lumière en électricité. A l'encontre de l'énergie solaire passive, qui utilise les éléments structuraux d'un bâtiment pour mieux le chauffer (ou le refroidir), et de l'énergie solaire active, qui utilise un caloporteur (liquide ou gazeux) pour transporter et stocker la chaleur du soleil (on pense au chauffe-eau), l'énergie photovoltaïque n'est pas une forme d'énergie thermique. Elle utilise une cellule PV pour transformer directement l'énergie solaire en électricité.

L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell Téléphone, aux États-Unis, parvinrent à fabriquer la première photopile, l'élément primaire d'un système photovoltaïque [4].

I.2.2. Cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaires sont des composants qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque » [5].

Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu'à 100 cm² ou plus sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries.

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.2) suivante représente le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque [6].

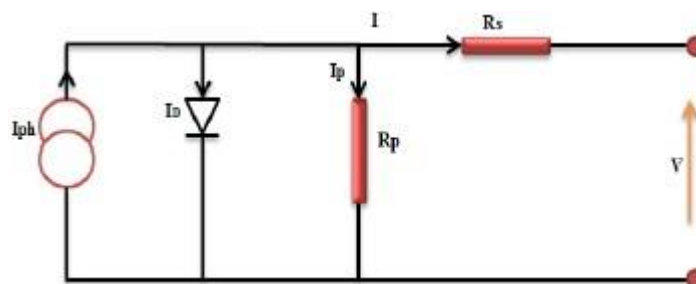


Figure I.2: Schéma équivalent de cellule PV.

La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles. La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction [7].

I.2.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La cellule solaire à semi-conducteur est un dispositif permettant de débiter un courant électrique dans une charge externe lorsque celui-ci est exposé à la lumière. Son fonctionnement se résume comme suit: Lorsque la cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons d'énergie pénétrant dans la cellule solaire transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Si cette énergie est suffisamment élevée, elle peut faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur ce gain d'énergie libère des électrons de ces atomes, et créer ainsi des paires «électron-trou». Les électrons (charges N) et les trous (charges P), sont alors maintenus séparés par un champ électrique qui constitue une barrière de potentiel Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N [8].

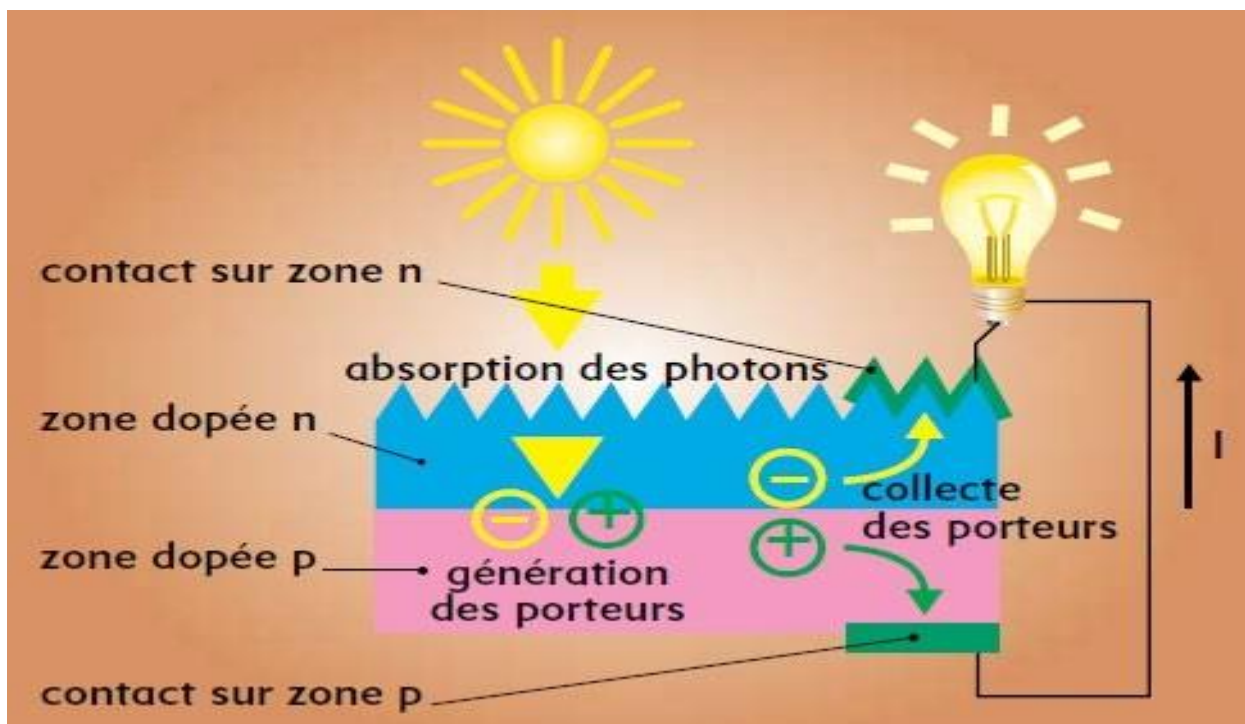


Figure I.3 : Principe de fonctionnement Dune cellule photovoltaïque

I.2.4. Type des cellules photovoltaïques

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[9].

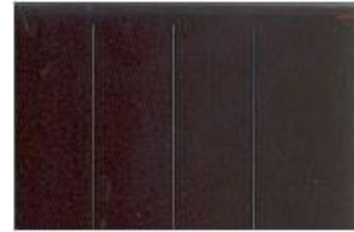
- **Les cellules monocristallines:** Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.
- **Les cellules polycristallines:** Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur 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.



silicium monocristallin



silicium polycristallin



silicium amorphe

Figure I.4 : Type des cellules photovoltaïques

I.2.5. Rendement des cellules photovoltaïques :

Le tableau suivant (I.1) présente 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

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

I.2.6 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

I.2.6.1 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 [10].

I.2.6.2 Courant de court-circuit I_{CC} :

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_{CC} .

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 [10].

I.2.6.3 Puissance :

Le but recherché par tous les utilisateurs de générateur photovoltaïque est que l'énergie produite soit la plus optimale possible. La Figure (I.5) 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_{pppp} et à une intensité maximale I_{pppp} . 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) [10].

I.2.6.4 Rendement :

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

$$\eta = \frac{PPpp}{EE.SS} \quad (I.1)$$

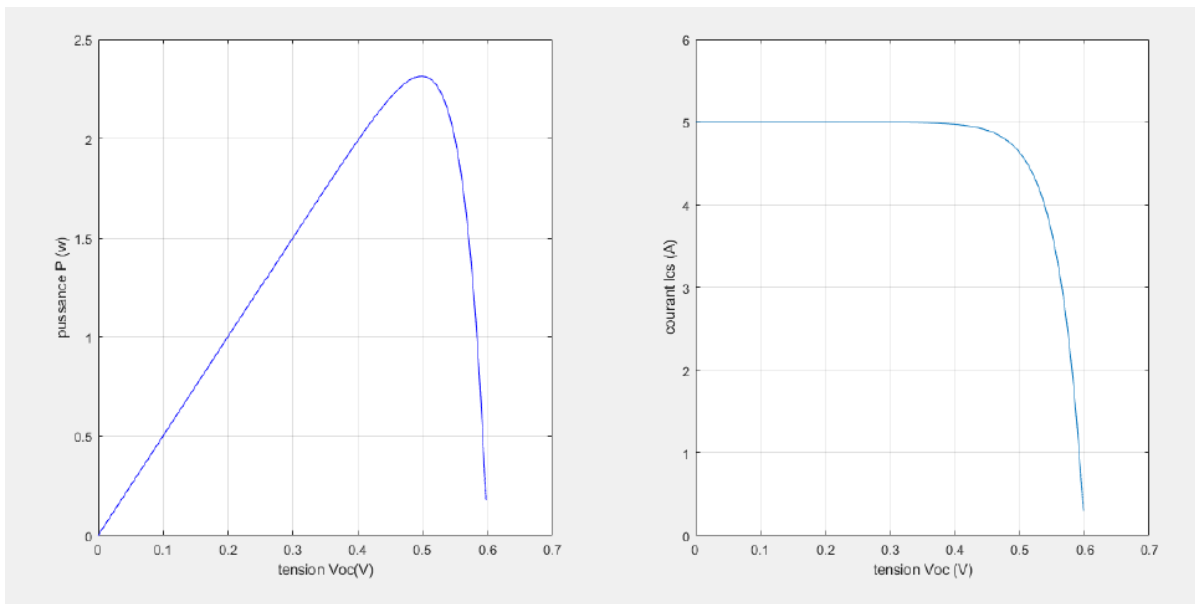


Figure I.5 : Caractéristique puissance - tension & courant- tension de la cellule PV

I.2.7 Modules photovoltaïques :

La cellule solaire, unité de base d'un panneau solaire photovoltaïque, produit typiquement au maximum une puissance de 1,3 W pour une surface de 100 cm². Pour produire plus de puissance. Donc un générateur électrique de faible puissance insuffisante en tant que telle pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont, de ce fait réalisés par association, en série et/ou en parallèle, d'un grand nombre de cellules ou des modules élémentaires. Une association de (Ns cellules) en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules ou modules sont alors traversés par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule (Figure I.6). L'équation (I.2) résume les caractéristiques électriques d'une association série de ns cellules[11].

$$V_{co}(N_s) = N_s * V_{co} ; I_{cc} = I_{cc} N_s \quad (I.2)$$

$V_{co}(N_s)$: La somme des tension en circuit ouvert de Ns cellules en série

I_{cc} : Courant de court-circuit de Ns cellule en série

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

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

Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont habituellement réalisés en associant 36 cellules en série[11].

$$V_{co}(ns) = Ns * V_{co} = 0.6 V * 36 = 21.6V$$

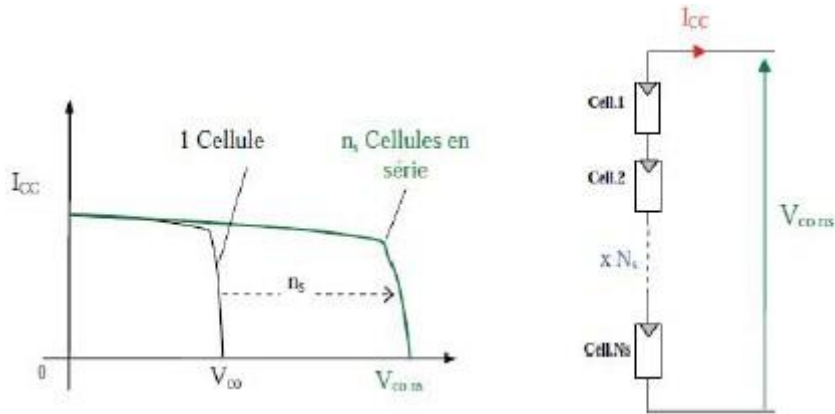


Figure I.6 : Caractéristiques résultantes d’ un groupement de N_s cellules en série

D'autre part, une association parallèle de N_p cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé (Figure I. 6). L'équation (I.3) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de N_p cellules. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants [11].

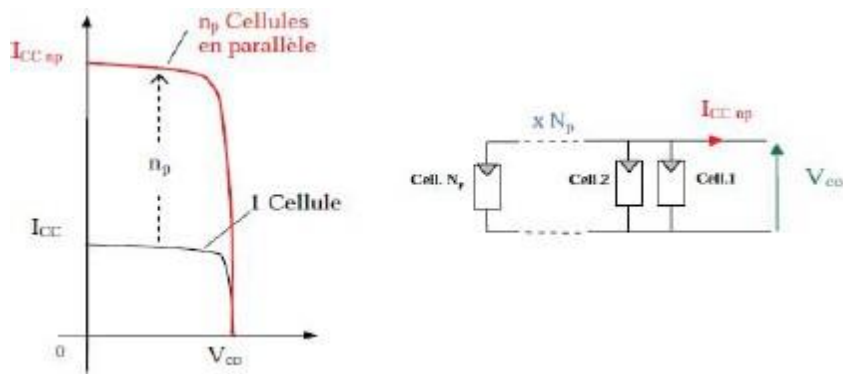


Figure I.7 :Caractéristiques résultant d’ un groupement de N_p cellules en parallèle

$$I_{cc}(N_p) = N_p * I_{cc} ; V_{co} = V_{co}N_p \tag{I.3}$$

$I_{cc}(N_p)$: La somme des courants de court-circuit de N_p cellules en parallèle

$V_{co}(N_p)$: Tension du circuit ouvert de N_p cellules en parallèle.

L’association mixte (série et parallèle) des panneaux solaire permet d’augmenter la tension et le courant du générateur photovoltaïque (GPV) [11].

I.2.6. Caractéristiques d'un module [12]

- 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/m²).
- 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_{cc} : 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 incident.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{oc} * I_{cc}$.

I.3. L'unité de stockage :

Dans un système photovoltaïque, la puissance délivrée par le GPV est imprévisible et varie indépendamment de la demande. Ainsi, pour une installation PV autonome, l'unité de stockage est requise pour assurer un approvisionnement continu en énergie électrique. Parmi les nombreuses technologies de stockage, la batterie au plomb est la plus utilisée dans les installations PV autonomes. Ce type de batterie est connu pour son coût faible, son rendement (environ 85%), ses performances en température (fonctionnement en températures extrêmes), sa longue vie et sa grande disponibilité. Dans ce qui suit, certaines notions sur les batteries seront définies [13].

I.3.1. 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

I.4. Régulateurs

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes, afin de maximiser sa durée de vie. Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation [14].

I.4.1 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.

Finalemnt 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.8) représente un schéma électronique de principe qui traduit le fonctionnement d'un régulateur basé sur un comparateur de tension [15].

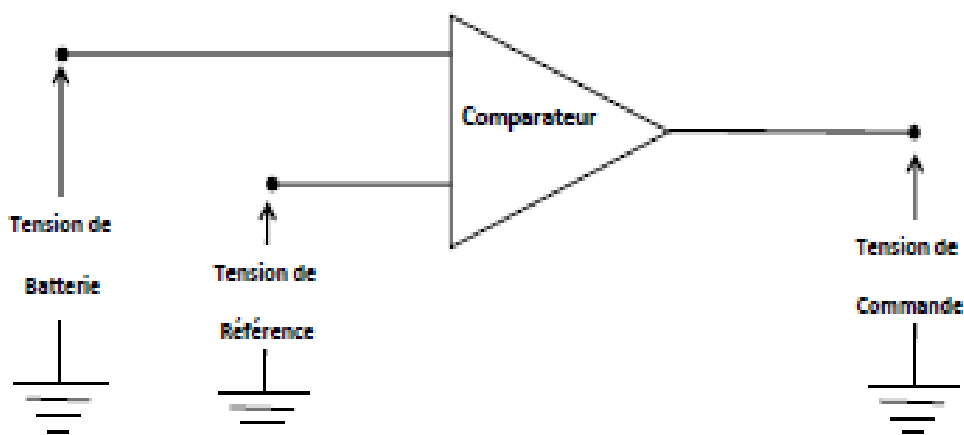


Figure I.8: Schéma de principe d'un régulateur de charge.

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.4.2 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.9), 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

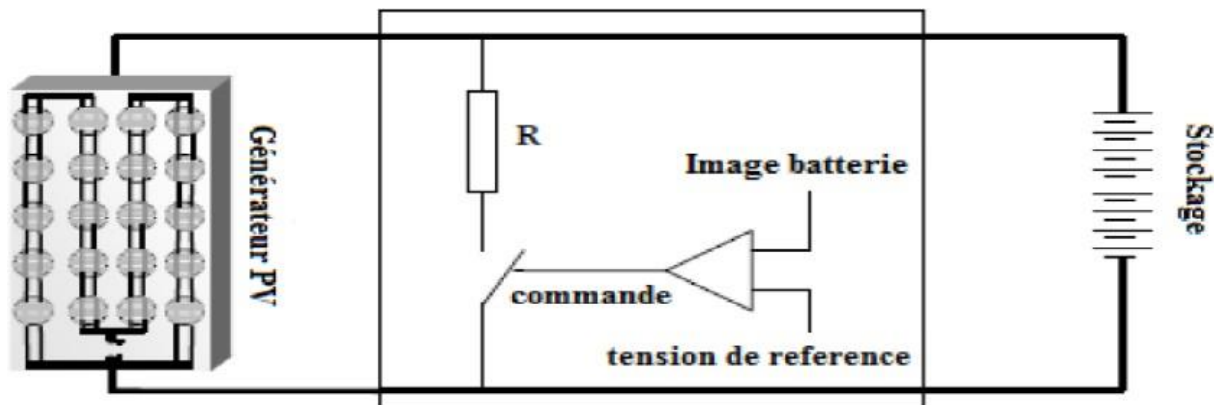


Figure I.9 : Régulateur parallèle

I.4.3 Régulateur série

Le principe de la régulation série est décrit sur la figure (I.10) 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

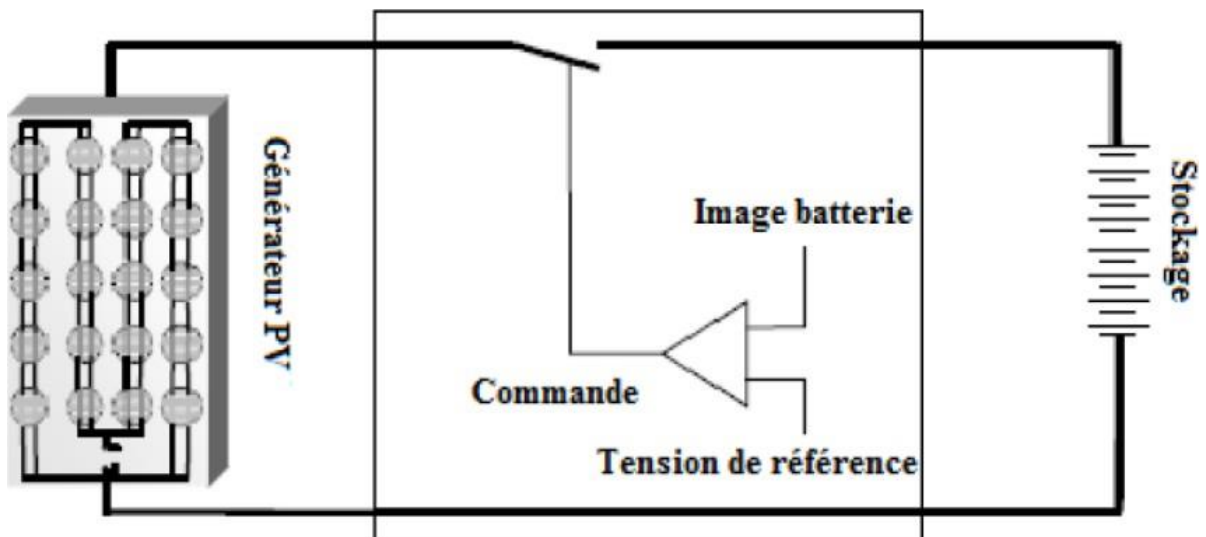


Figure I.10 : Régulateur série

I.4.4 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.5. 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.11), présentent généralement deux inconvénients majeurs [16] :

- ✚ 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.

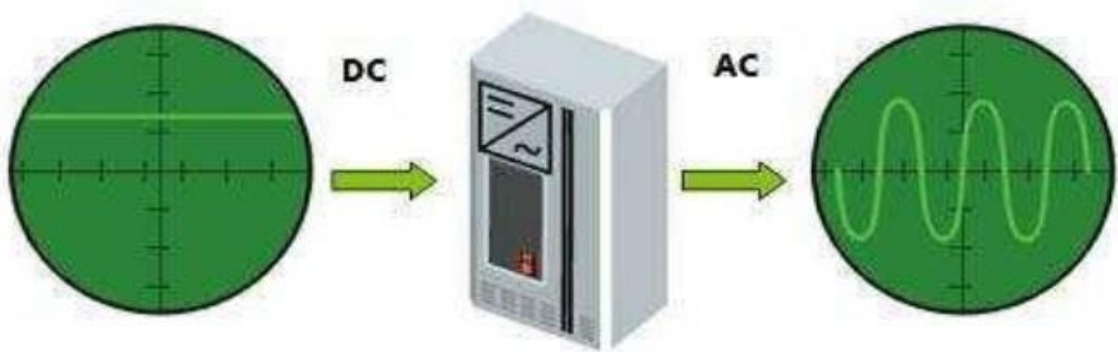


Figure I.11: Onduleur

I.6. Convertisseur DC/DC

La figure I.11 montre la représentation d'un convertisseur DC/DC, qui peut être utilisé comme interface entre la source et la charge [17].

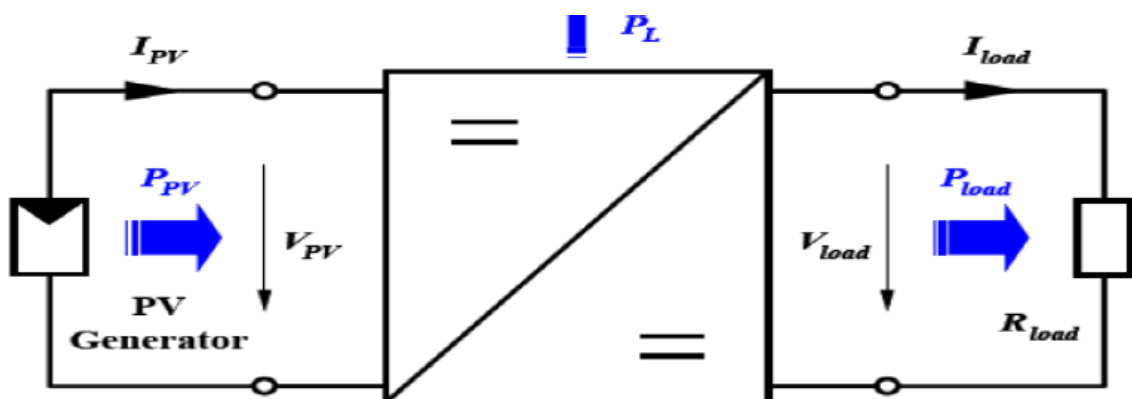


Figure I.12 : Convertisseur DC/DC

Le rôle du convertisseur DC/DC (dans le cadre du PV) est de faire l'adaptation entre la source (GPV) et la charge pour un transfert de puissance maximal. Ceci est fait en maintenant le PF sur ou assez proche du MPP pour n'importe quelles conditions de fonctionnement (rayonnement, température, caractéristique de charge, etc.).

I.7. Charge (utilisateurs) :

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

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque doit être pensée en termes d'économie de l'énergie. Il est donc plus avantageux de chercher des consommateurs fonctionnant en courant continu plutôt que d'ajouter un onduleur et un consommateur en $220 V_{ac}$ [18].

I.8. Protection d'un système photovoltaïque :

I.8.1 Le GPV:

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage. Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisées dans les installations actuelles:

- la protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour)
- la protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds.

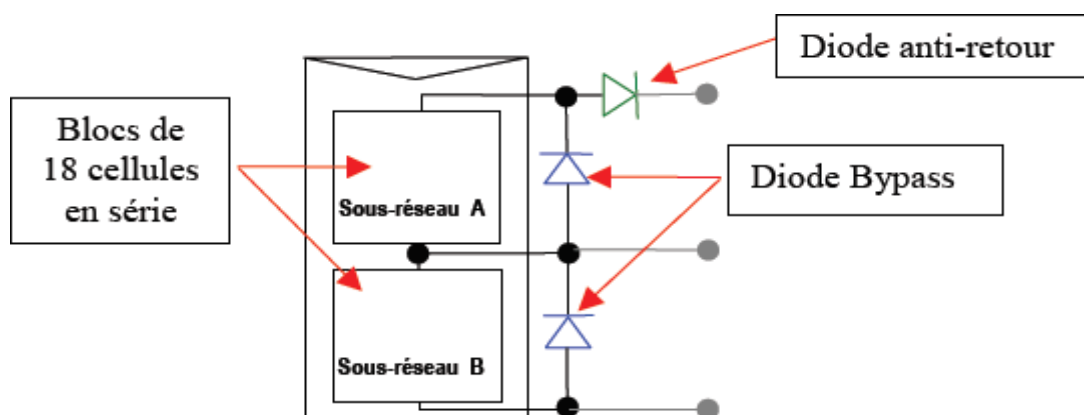


Figure I.13 Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour

I.8.2 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.

I.8.3 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.

I.8.4 L'onduleur :

généralement les onduleurs solaires sont protégés eu même contre les surcharges, cour 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.

I.8.5 Le câblage dans les deux cas (DC et AC) :

on choisit la section et le chemin de câble convenable de point vue température ambiante, chute de tension. [19].

I.9. Maintenance

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

I.9.1 Module photovoltaïque:

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

I.9.2 Régulateur :

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

I.9.3 Les Batteries :

- Mesure de la tension.
- Contrôle de l'aspect.
- Contrôle de la connexion.
- Niveau d'électrolyte [20].

I.9.4 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 .

I.10. avantages et inconvénients d'une installation Photovoltaïque

En tant que source d'énergie électrique, un système photovoltaïque offre des avantages mais aussi des inconvénients.

I.10.1 les avantages[21].

- Les installations photovoltaïques sont en général de haute fiabilité, peu sujettes à l'usure, elles demandent peu d'entretien.
- Le montage des installations photovoltaïques est simple et les installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- Il s'agit d'une source d'énergie inépuisable.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.

I.10.2 les inconvénients[21].

- La fabrication développement et donc des investissements coûteux. Cela se traduit dans le prix de l'installation qui, aujourd'hui, reste chère. des panneaux solaires photovoltaïques relèvent de la haute technologie demandant énormément de recherche et
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20 %.L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple.
- Dans le cas d'une installation photovoltaïque autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé.

- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus, il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit.
- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par an.

I. 11. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes :

I.11.1. Systèmes autonomes sans stockage électrochimique :

Dans ce cas, l'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence d'un éclairage solaire suffisant pour son démarrage. C'est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, et pour lesquelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de l'éclairage solaire. Mais il faut bien dimensionner le générateur photovoltaïque de sorte qu'il ait assez de puissance pour alimenter l'appareil à l'éclairage le plus faible. Le pompage photovoltaïque est un exemple de cette catégorie de systèmes autonome .

La pompe solaire est branchée directement sur le générateur photovoltaïque par l'intermédiaire d'un convertisseur DC/DC ou DC/AC selon que nous utilisons respectivement un moteur à courant continu ou un moteur à courant alternatif. Le débit d'arrivée d'eau dans le réservoir est donc variable en fonction du rayonnement solaire.

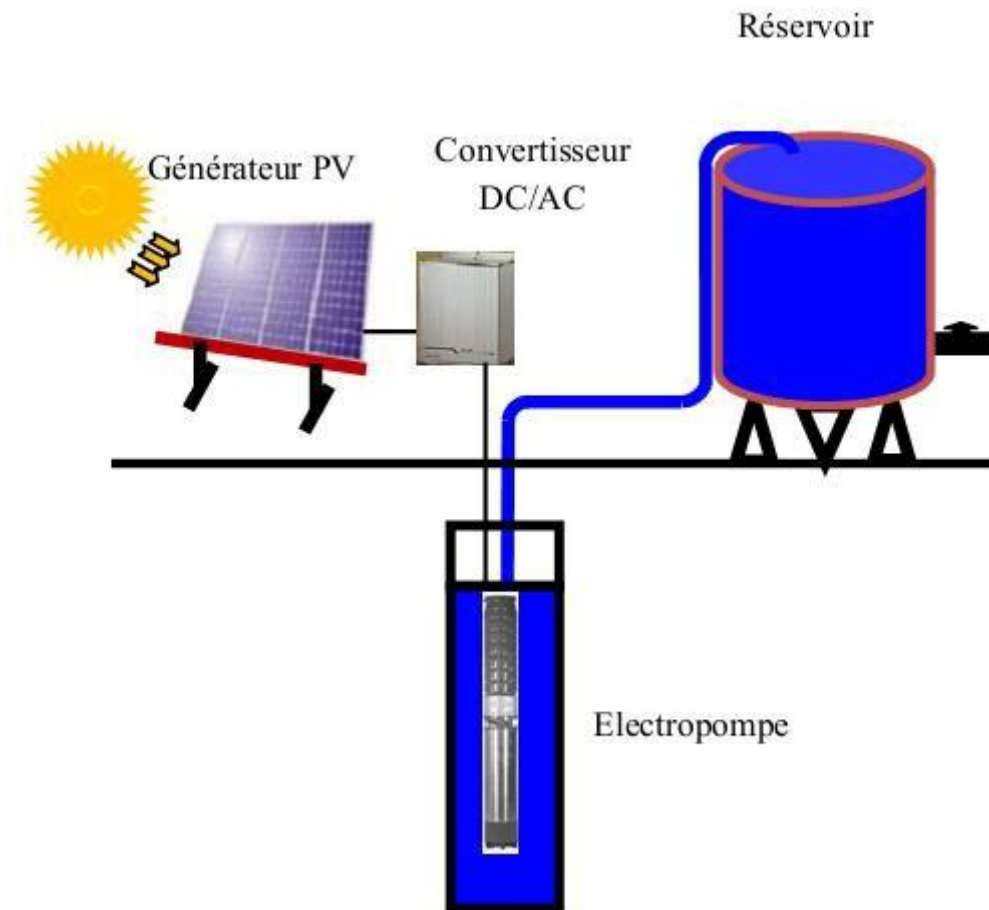


Figure I.14 : Systèmes autonomes sans stockage électrochimique

I.11.2. Systèmes autonomes avec stockage électrochimique :

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes, elle comporte des batteries qui emmagasinent l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque au cours de la journée. Donc, le stockage électrochimique dans les batteries est indispensable pour assurer le fonctionnement nocturne ou durant un nombre de jours prédéfinis dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.



Figure I.15 : Systèmes autonomes avec stockage électrochimique

Conclusion

Nous avons présenté dans ce présent chapitre 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 ,et Les différents types de d'un système photovoltaïque autonome.

Chapitre II

Conception et dimensionnement de l'installation PV autonome

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.

II.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 [23].

II.1.1 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 [29].

- ✓ Cette inclinaison va être fixée par la latitude et la périodicité de l'inclinaison.

Dans le site à l'étude (M'cif-M'sila) la position des modules sera comme suit

- ✓ Orientation des panneaux : plein sud.
- ✓ L'inclinaison (30°).

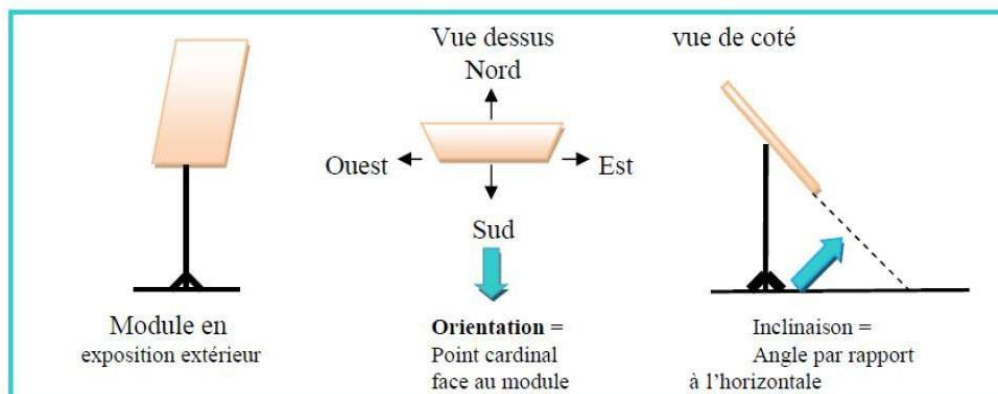


Figure II.2 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

II.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 [25]:

$$EE = \sum PEE \quad (II.1)$$

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 [31]:

$$EE = PEE \times TEE$$

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

II.2.1 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.2.2 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.2.3 Présentation de la ferme :

La ferme est située dans « M'cif » qui se trouve dans la willaya de M'sila.

II.2.4 Description de la ferme :

Cette ferme est constituée à une maison et un système de pompage photovoltaïque

Nombre de pièce de la maison : cette maison est constituée à 2 chambres est un salon et la cuisine et salle de bain, hall avec l'éclairage extérieur

La pièce	L'équipement électrique
Salon	- TV - Dèmo - 2 lampes (20 w)
Chamber 01	- TV - Dèmo - Une lampe (20 w)
Chamber 02	- Une lampe (20 w) - PC
Cuisine	- Une lampe (20 w) - Refrigerateur
Hall	- 2 lampes (20 w)
Salle de bain	- Une lampe (8 w) - Machine a laver - Pompe d'eau
l'éclairage extérieur	5 lampes (20 w)

Tableau II-1: La pièce et L'équipement électrique dans la maison.

Type d' Equipments	Equipments	Puissance (w)
Eclairage	2 lampes (8w)	16
	12 lampes (20 w)	240
Electroménager	Machine à lave	700
	Refrigerateur	200
	Télévision	120
Electroniques	Démo	30
	PC	130
Divers	Pompe d'eau	600

Tableau II-2: L'équipement électrique et leur puissance dans cette maison

II.2.5. Cahier des charges

Bilan des puissances de notre maison (tableau II-1) ci-dessous pour optimiser la consommation journalière, nous prenons par compte toutes les pertes de system (les rendements des composants) pour présenté 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.

Equipments	Puissance (w)	Nombres	Durée /Jour (h)	Rendement de B.O.S	Consommation journalière (wh/j)
Lampe (20 w)	20	12	8	0.8	1920
Lampe (8 w)	8	2	5	0.8	80
Machine à laver	700	1	1/2	0.8	350
Réfrigérateur	200	1	6	0.8	1200
Télévision	120	2	2	0.8	480
Démo	30	2	2	0.8	120
PC	130	1	2	0.8	260
Pompe d'eau	600	1	1	0.8	600
Consommation journalière moyen (Wh/j)					5010

Tableau II-3: Consommation d'une maison

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

II.3.1 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. [26]

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

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

II.3.2 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 [27].

II.3.3 Nombre des panneaux

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

$$PPPP = \frac{E_{err}}{G_{gr} \times AA} \times PPHH$$

Alors :

$$PPPP = \frac{E_{err} (HHHHH \times AA)}{PPHH (GGrr \times AA)} \tag{II.3}$$

$$PPPP = \frac{E_{err}}{GGrr \times PPHH} \tag{II.4}$$

Pg: La puissance crête de GPV au STC.

Gt: 1000 w/m².

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

Et: 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 Pm)

On a:

$$PPHH = NN_{TTTT} \times PPrr \tag{II.5}$$

NN_{TTTT}: Nombre totale des modules PV.

Alors :

$$NN_{TTTT} = \frac{E_{err}}{GGrr \times PPHH \times PPPP} \tag{II.6}$$

- Détermination du nombre de module en série :

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

$$NNrrss = \frac{VVsssss}{VVrr} \quad (II.7)$$

$NNqqp$: Le nombre de module en série.

$VVsssss$: La tension DC nominal du système.

$VVqq$: La tension nominale du module.

• Détermination du nombre de module en parallèle :

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

$$NNrrnN = \frac{NNTTTT}{VVsssss} \quad (II.8)$$

II.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.4.1 Calcule la capacité de stockage

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

$$CC(wwHH) = \frac{EErr \times NNnddr}{DDDDDrnnn} \quad (II.9)$$

$DDDDDrnnn$: La profondeur maximale de décharge.

$NNnddr$: Nombre de jour d'autonomie de la région.

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

$$CC(AAHH) = \frac{CC(wWHH)}{VV_{rrdd}} \quad (\text{II.10})$$

Calcul de nombre d'éléments en série :

Nombre d'éléments en série est égal à :

$$NN_{bbss} = \frac{VV_{rrdd}}{VV_{rr}} \quad (\text{II.11})$$

W_{rrdd} : Tension dc nominal du système.

V_{rr} : 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

$$NN_{bbNN} = \frac{CC(AAHH)}{CC_r} \quad (\text{II.12})$$

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

CC_r : 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 :

$$NN_{TTbb} = NN_{bbNN} \times NN_{bbss} \quad (\text{II.13})$$

II.5: Choix de régulateur et de l'onduleur :**II.5.1 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 :

$$I_{GG} = (I_{brr} \times NN_{pp}) \times 11,2222 \quad (\text{II.14})$$

I_{GG} : Le courant qui produit par le GPV (A).

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

NN_{pp} : Le nombre branche de module parallèle.

11,2222: 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 meme temps

$$I_{rr} = \frac{PP_{DCC}}{VV_{DCC}} + \frac{PP_{AACC}}{VV_{AACC}} \times 11,2222 \quad (\text{II.15})$$

I_{rr} : Le courant de l'utilisation (A).

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

VV_{DCC} : La tension DC nominale de système (V).

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

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

Donc :

Le courant de régulateur :

$$I_{HH} = TTAAMM(I_{GG} \times I_{rr}) \quad (\text{II.16})$$

II.5.2 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 surdimensionner d'onduleur pour s'assurer qu'il fonctionne à ses rendements élevés).

- Tension nominale 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 nominale 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 [34].

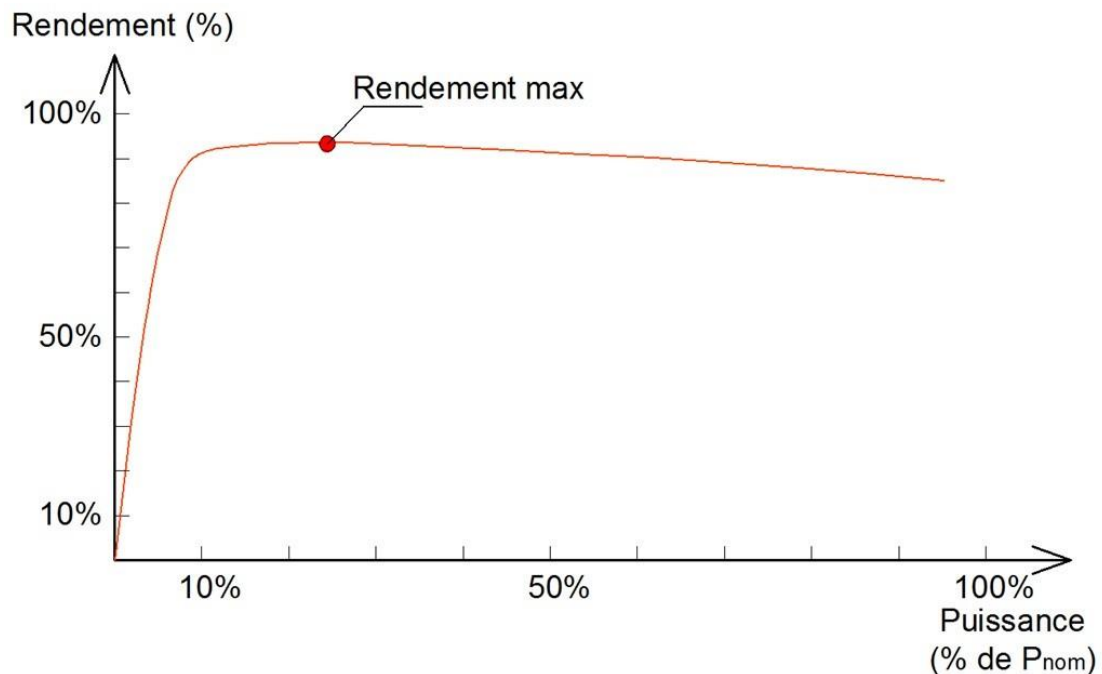


Figure II.3 : Rendement d'onduleur photovoltaïque en fonction de taux de charge

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

Etape 01 :

Calculer 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 :

$$PP_{nrr} = 0.7722 PP_{ACC}$$

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

$$PP_{nrr} \geq PP_{ACC}$$

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

$$PP_{nrr} \geq PP_{ACC} (PP_{uuuuuuuu})$$

Alors :

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

$$PP_{nrr} \geq 3300222ww (PP_{uuuuuuuu})$$

II.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.

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 :

$$SS = \frac{I_{rrnnnn}^2}{\Delta U_{rrnnnn}} \cdot \rho \rho \cdot rr \quad (\text{II.17})$$

Où :

$$PP = \rho \rho \frac{rr}{SS} \quad (\text{II.18})$$

Avec : R : la résistance (Ω)

l : La longueur du conducteur (m)

S : la section du conducteur (qqq)

$\rho\rho$: La résistivité du matériau conducteur valant environ $\rho\rho = 11.88 \times 1100^{-88} \Omega\Omega rr$ 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.7. Choix des composants du système

En tenant compte des caractéristiques des différents éléments dimensionnés pour chaque système PV et des catalogues des constructeurs, nous pourrions choisir aisément de manière spécifique les équipements adéquats à utiliser en tenant compte des couts et de la qualité [29].

Conclusion

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

Chapitre III :

Conception et dimensionnement de l'installation de pompage photovoltaïque

Introduction

Dans nos jours, la demande d'eau est de plus en plus très importante, en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile voir pratiquement impossible. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie. La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier, dans les régions désertiques. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer, avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

Ce chapitre traite plus particulièrement les éléments théoriques permettant de dimensionner les stations de pompage courantes.

III.1 Méthodes de pompages

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux techniques sont possibles:

Dans la première technique, l'énergie solaire est consommée en « temps réel » ; On parle alors d'un « pompage au fil du soleil ». Cette solution nécessite un stockage de l'eau dans un réservoir (l'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée plus tard, le soir par exemple).

La deuxième méthode consiste à utiliser un stockage de l'énergie, cette fois-ci, via des batteries. L'énergie stockée la journée peut être utilisée plus tard pour pomper l'eau [30].

III.1.1 Pompage « au fil du soleil »

Comme on va le constater, la méthode de pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système utilisant des batteries pour stocker de l'énergie d'abord. En effet, dans cette première technique, c'est l'eau elle-même qui est pompée et stockée lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau est stockée dans un réservoir à une hauteur audessus du sol pour qu'elle soit, au besoin

ensuite, distribuée par gravité. Il faut bien signaler ici que le réservoir d'eau peut souvent être construit localement. En plus, il ne requiert pas un entretien complexe et peut être réparé localement. La capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours selon les modèles.

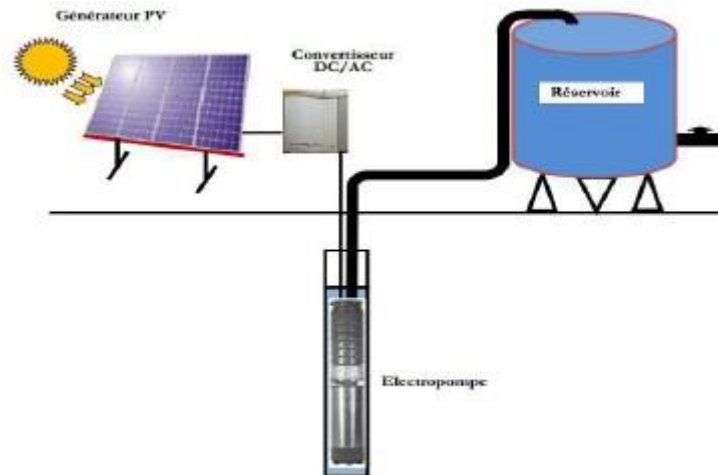


Figure III. 1 : Schéma synoptique simplifié de Pompage PV

III.1.2 Pompage avec batteries

La méthode de pompage d'eau en utilisant l'énergie stockée sur des batteries peut avoir l'avantage de garantir une stabilité d'alimentation des équipements (système présente l'avantage d'un débit régulier, la possibilité de pomper lorsque le soleil est absent). L'énergie emmagasinée peut être utilisée aussi pour d'autres besoins ultérieurs. L'inconvénient majeur, voire handicapant, de cette technique est qu'elle comporte plusieurs composants qui influent négativement sur la fiabilité et le coût global du système. En effet, les batteries sont fragiles et sont souvent les premiers éléments qui auront besoin d'être changés. Elles nécessitent, en outre, un entretien constant et un contrôle rigoureux de leur charge et décharge. Les contrôleurs utilisés pour régulariser la charge et la décharge des batteries vieillissent rapidement et peuvent s'avérer non fiables. Les batteries introduisent également un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie.

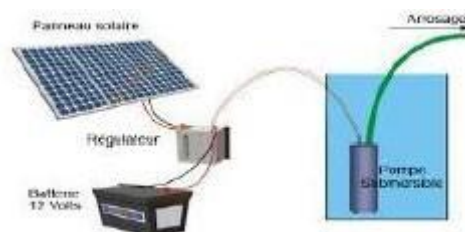


Figure III. 2 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

III.2. Notions hydrauliques

Les stations de pompage sont constituées d'une ou plusieurs pompes qui aspirent des volumes d'eau et les refoulent sous une certaine pression dans les canalisations du réseau. Les paramètres nécessaires pour dimensionner la pompe solaire sont le débit d'exploitation et la hauteur à laquelle la pompe devra refouler. Celle-ci est majorée par des pertes de charges et de la pression de refoulement dans la conduite [16].

Le débit Q :

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau qu'elle refoule durant un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit est souvent exprimé en m³ par jour.

La hauteur manométrique totale HH_{MMM} :

C'est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

$$HH_{MMM} = HH_{gg} + PP_{cc} \quad (3.1)$$

Avec :

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (voir Figure 3.1). Elle est calculée par la formule suivante :

$$HH_g = AA + BB + CC \quad (3.2)$$

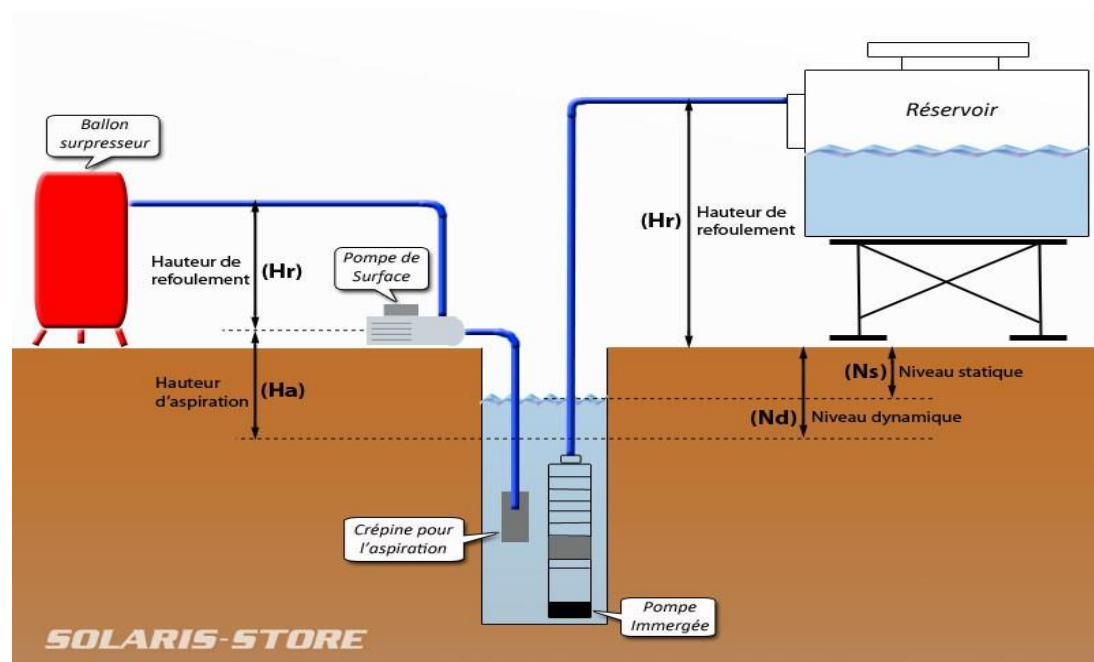


Figure III.3 : Hauteur manométrique total.

P_c : Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Elles s'expriment en mètres d'eau et elles sont fonction de la distance des conduites (D), de leur diamètre et du débit de la pompe.

N_s : Le niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance entre le sol et la surface de l'eau avant pompage.

N_d : Le niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance le sol et la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen.

Rabatement : La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique.

Rabatement maximal : est le rabatement maximal acceptable avant de stopper la pompe.

III.3. Les composants d'un système de pompage PV

Un système de pompage solaire est généralement constitué de [17]:

- le générateur photovoltaïque,
- le groupe électropompe,
- l'électronique de commande et de contrôle,
- la partie stockage,

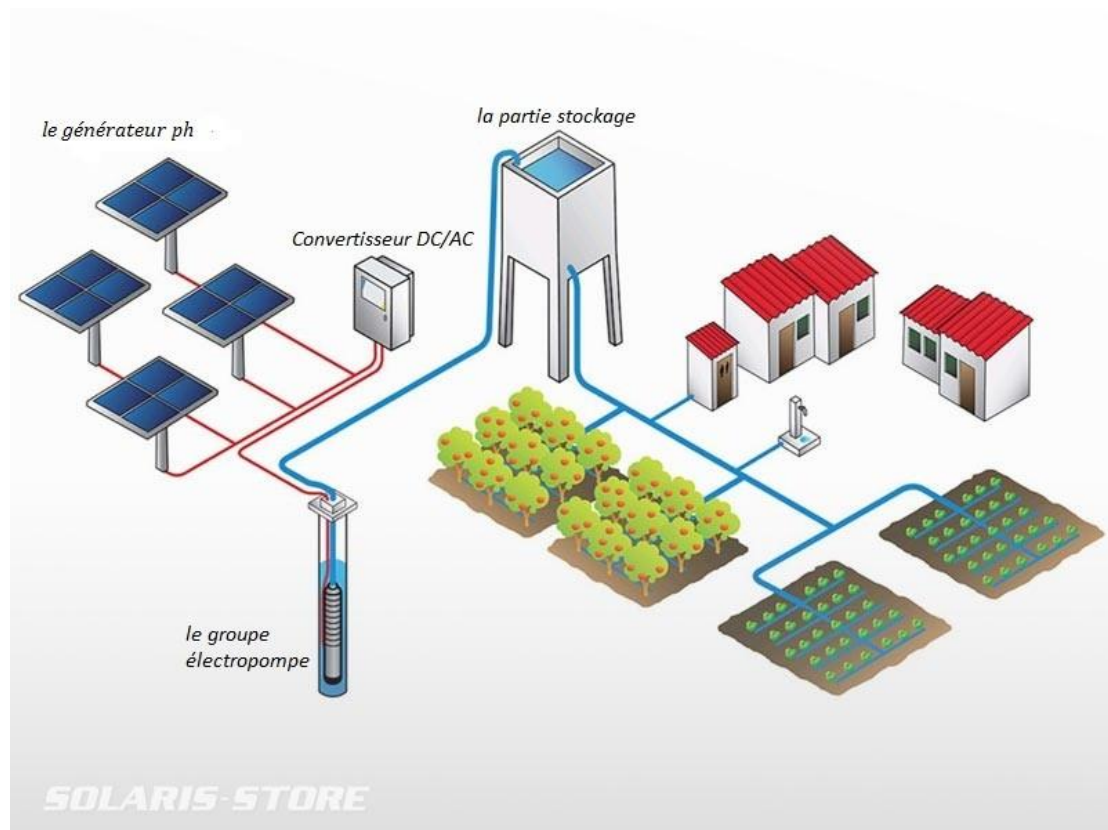


Figure III.4: Schéma synoptique simplifié de Pompage PV

III.3.1 Le générateur photovoltaïque

Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série et en parallèle plusieurs modules. Dans certaines applications, il est possible d'utiliser un ou plusieurs modules de quelques dizaines de cellules. Pour des utilisations plus importantes, les générateurs PV sont groupés dans un champ de plusieurs modules (quelques centaines).

III.3.2 Le groupe électropompe

1) Les pompes

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux grands types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétriques. Ces dernières conviennent pour élever des faibles débits d'eau à des pressions élevées [33].

La pompe centrifuge

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou à ailettes. L'eau qui rentre au centre de la pompe sera poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages.

Caractéristiques d'une pompe centrifuge

- Les pompes centrifuges sont très utilisées pour les applications avec énergie photovoltaïque parce que le couple d'entraînement de la pompe est pratiquement nul au démarrage
- La pompe tourne par très faibles ensoleillement, le moteur peut fournir une vitesse de rotation rapide à peu près constante
- Utiliser pour des débits importants.

La pompe volumétrique :

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse.

Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions. Mais elles ne conviennent que pour des débits faibles, ce qui rend leur emploi très limité pour l'alimentation en eau des cultures.

Caractéristiques d'une pompe volumétrique :

Le couple de démarrage est pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HH_{MMM} (3 à 5 fois le couple nominale). La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau inférieure à 5 [m³/h].



Figure III.5: Groupe motopompe

2) Les moteurs électriques

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. La plupart des machines électriques fonctionnent grâce au magnétisme, il existe deux types de moteurs : à courants continu et alternatif [34].



Figure III.6: Moteur électrique

Moteur à courant continu avec balais:

les moteurs à courant continu utilisés pour des applications de pompage solaire sont les moteurs série, avoir un couple de démarrage suffisant pour vaincre la résistance de démarrage d'une pompe et bien répondre à un courant variable. Le couplage est direct ou avec optimisation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance commandé par son rapport cyclique (Figure 3.4). L'installation ainsi définie nécessite une électronique relativement simple mais présente l'inconvénient du moteur à courant continu qui demande un entretien régulier. Les balais doivent être changés périodiquement. Ceci est particulièrement problématique dans le cas des pompes à moteur immergé où la pompe doit être retirée du forage pour changer les balais. , il est utilisé particulièrement pour le pompage dans les puits ouverts.

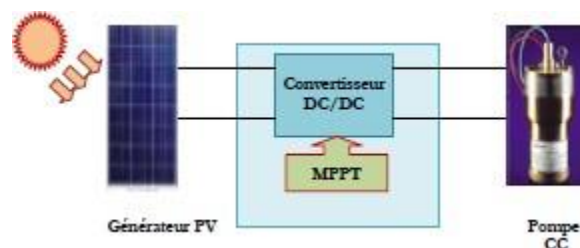


Figure III.7 : Diagramme du pompage PV par motopompe à CC

Moteur à courant continu, sans balais (Brushless) :

Ce type de moteur électrique comporte non seulement les avantages des moteurs à courant continu mais également ceux des moteurs à courant alternatif : fort couple au démarrage et durée de vie élevée (due à l'absence des paliers et des balais) mais leur utilisation reste limitée à des faibles puissances.

Moteur à courant alternatif :

Les moteurs alternatifs asynchrones (rotor à cage) sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Par exemple, les pompes sur réseau utilisent depuis longtemps ce type de moteur. Il est utilisé particulièrement pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts. L'arrivée d'onduleurs efficaces a permis l'utilisation de ce type de moteurs dans les applications de pompage solaire. L'utilisation d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé) plus robuste et moins cher (aussi faible besoin de maintenance) devient une solution plus économique et plus pratique même au prix d'un circuit électronique de commande plus complexe. L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de l'installation. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur PV voir figure 3.5.

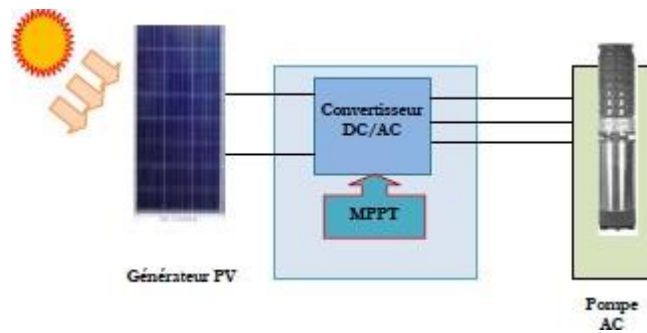


Figure III.8 : Diagramme du pompage PV par motopompe à AC

III.3.3 L'électronique de commande et de contrôle

- Le convertisseur DC/DC (hacheur) :

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur PV et de la transférer à la charge (pompe alimentée par moteur à courant continu), la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge comme décrit dans la figure 3.4. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle commandé par son rapport cyclique, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible.

- Le convertisseur DC/AC (onduleur) :

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par les panneaux solaires en un courant alternatif triphasé pour actionner le groupe moteur pompe.

L'onduleur fonctionne évidemment avec un circuit de génération des signaux PWM commandé par un circuit de régulation et de protection. Le convertisseur DC/AC

assure le transfert optimal de puissance du générateur solaire vers le groupe moteur pompe et protège la pompe contre le fonctionnement à vide lorsque il n'y a pas d'eau dans le puits. Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur. Il est de l'ordre de 95 % au point de fonctionnement nominal.

III.3.4 La partie stockage

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons: stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds, coûteux et fragiles. Aussi, le système de stockage avec batterie génère un coût additionnel, des problèmes de maintenance de la batterie et de l'obligation de la remplacer après 3 à 5 ans d'usage. De plus, le rendement énergétique est meilleur quand il n'y a pas d'accumulateurs. Le réservoir peut souvent être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours. Ce réservoir ne requiert pas un entretien complexe et est facile à réparer localement.

III.4. Dimensionnement complet de l'installation

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont :

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants.

III.4.1 Estimations des besoins en eau

Chaque jour nous avons besoin de 20 mètres cubes .

III.4.2 Calcul de l'énergie hydraulique quotidienne requise

Une fois les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits sont définis, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation [32]

$$E_{hh} = C_{hh} \cdot Q \cdot H_{moy} \quad (3.3)$$

Avec :

E_{hh} : Énergie hydraulique [kWh/j].

C_{hh} : Constante hydraulique [ss. h/mm^2].

Q : Volume d'eau [$m^3/jjjjjjj$].

H_{M} : Hauteur manométrique total [m].

Où :

$$C_{ch} = g \cdot \rho / 33333333$$

g : La gravité terrestre [9.81 m/s^2].

ρ : Densité de l'eau [1000 kg/m^3].

Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise :

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivante :

$$E_{ee} = E_{ch} / (\eta_{\text{M}} \cdot \eta_{\text{O}}) \quad (3.4)$$

Où :

E_{ee} : Energie électrique exprimé en [kWh/j]

η_{M} : Le rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 60%.

η_{O} : Le rendement d'onduleur.

III.4.3 Détermination de l'énergie solaire disponible

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible à l'inclinaison β des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal. Ce dernier doit se faire de manière à optimiser la conversion de l'énergie solaire en électrique. Les méthodes du calcul ont été expliquées dans le premier chapitre.

III.5. Taille du générateur photovoltaïque

Deux méthodes sont utilisées pour le dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque : une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée.

III.6.1 Méthode analytique

Une fois connus le volume journalier $Q [mm^3/jjjjjjj]$, la hauteur manométrique totale HH_{MMMM} et l'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale correspondante du générateur photovoltaïque P_{cc} est calculée par l'expression suivante [36] :

La puissance fournie par le générateur PV dans les conditions standards de mesure CSM, (éclairage de $[1000kk/mm^2]$ la température $25^\circ C$).

$$P_{cc} = \eta_{gg} \cdot A \cdot G \quad (3.5)$$

Avec :

P_{cc} : La puissance de sortie du générateur (w) sous CSM (puissance crête).

η_g : Le rendement du générateur à la température de référence ($25^\circ C$).

A : La surface active du générateur (mm^2).

G : L'éclairement dans les conditions CSM.

L'énergie électrique journalière est donnée par l'équation :

$$E_{ee} = \eta_{MPP} \cdot A \cdot G_{00}(\beta) \quad (3.6)$$

Où :

η_{MPP} : Le rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_{00}(\beta)$: L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison $\beta [kkkkh/mm^2/jj]$.

Le rendement η_{MPP} est calculé par la formule suivante :

$$\eta_{MPP} = FF_{mm} [1 - \gamma(T - T_{rr})] \eta_{gg} \quad (3.7)$$

Où :

FF_{mm} : Facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximale.

γ : Coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0,005 $^\circ C$ pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

T : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

Calcul de la puissance, en watts crêtes, que doit avoir le champ.

En substituant les équations (3.5), (3.7) et (3.8) dans (3.6), nous obtenons la puissance crête du générateur :

$$PP_{cc} = \frac{GG}{\eta_{mm} [1 - \gamma \gamma (MM - MM_{rr}) GG_{oo} (\beta \beta)]} \cdot \frac{EE_{hh}}{\eta_{MMPP} \times \eta_{000000}} \quad (3.8)$$

III.6.2 Méthode graphique

Le calcul de la puissance du générateur photovoltaïque peut être effectuée de deux manières : soit par des expressions analytiques comme celle donnée ci-dessus, ou bien en utilisant les abaques de rendement des pompes fournis par le constructeur qui donne en fonction de l'irradiation globale la puissance nécessaire développée PP_{cc} par les panneaux pour faire fonctionner la pompe dans cette gamme de débit, et de HMT. Ces dernières sont assez pratiques (voir Figure 3.5) et résument les performances des différentes pompes en fonction des conditions de leur utilisation [37].

Les abaques :

Ce sont des graphiques à lecture directe facilitant les calculs numériques. Graphiques servant à déterminer spontanément des résultats obtenus par des calculs dans un système de lignes prédéfinies et préparées d'avance. Les abaques s'exploitent par une lecture directe sans avoir à effectuer de tracés complémentaires en lisant directement les données se situant à l'intersection des droites correspondantes par la lecture du point concourant en relation avec les besoins de l'intervenant.

Les constructeurs d'équipement élaborent de tels diagrammes sur la base des données calculées ou mesurées. Ce genre de graphes donne la configuration possible d'une électropompe. A titre d'exemple, la figure 3.6 montre les caractéristiques de l'électropompe SP14A-3 donnée par le constructeur GRANDFOS.

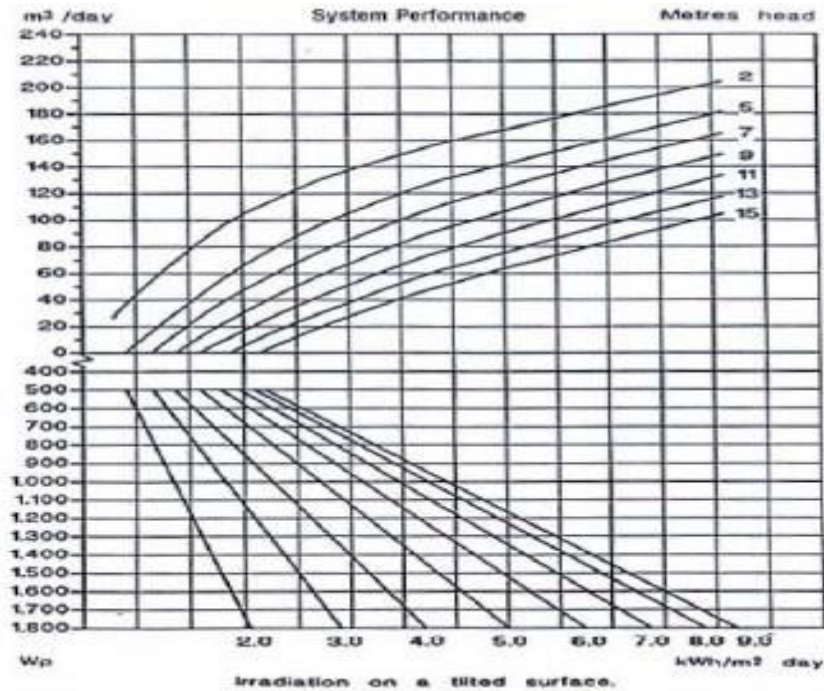


Figure III.9 : Courbe typique des performances d'une pompe en conditions d'utilisation.

III.7 Dimensionnement de la pompe

Le choix de la pompe est basé sur les deux facteurs suivants :

- La hauteur manométrique totale HMT .
- Le débit horaire Q_h .

$$Q_{hh} = \frac{Q [mm^3 / j]}{h} \quad (3.9)$$

h : est le nombre heures d'ensoleillement maximal à $[1000 \text{ k/m}^2]$.

III.8 Dimensionnement des stations de pompage solaire

Pour définir la puissance utile au fonctionnement de la pompe développée par les panneaux solaires, les données minimums sont :

- La situation géographique pour déterminer l'irradiation solaire globale.
- Le débit pour déterminer les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal.
- La hauteur manométrique totale pour mesurer le niveau statique, le rabattement maximal, la hauteur du réservoir et les pertes de charge dues à la tuyauterie.

On procèdera comme

1. Définir l'irradiation globale journalière mensuelle en $[kWh/mm^2/J]$ par rapport à la latitude de la zone de travail.
2. Choisir une pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale, (utiliser les abaques de rendement des pompes fournis par le constructeur).
3. Choisir l'onduleur adapté à la pompe (tension et puissance).
4. Déterminer la puissance crête PP_{cr} nécessaire au fonctionnement de la pompe par la méthode analytique ou graphique.
5. Choisir le type de panneau solaire (définir leur puissance nominale PP_0)
6. Déterminer le nombre de panneaux par la relation n_{cc}/n_0
7. Vérifier la tension nominale pour le fonctionnement de l'onduleur (selon les modèles).
8. Déterminer le nombre de module série / parallèle (la forme de connexion).

Conclusion

Dans ce chapitre, deux techniques de pompage PV ont été présentées : pompage au fil de soleil et pompage avec batterie. Nous avons montré l'intérêt du pompage dit « au fil du soleil ». Nous avons également pu conclure que les systèmes de pompage photovoltaïque les plus courants, selon l'état de l'art actuel, sont constitués d'une pompe centrifuge menée d'un moteur à induction triphasé. Le moteur est alimenté par un générateur photovoltaïque sans batteries, via un onduleur triphasé à fréquence variable conçu spécifiquement pour cette application .

Chapitre IV:

Simulation par Pvsyst les deux installation photovoltaïque autonome

IV.1. 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.

PVsynt V5.2 propose 3 niveaux d'étude du système PV, Ce qui correspond à peu près aux différentes étapes du développement du projet réel:

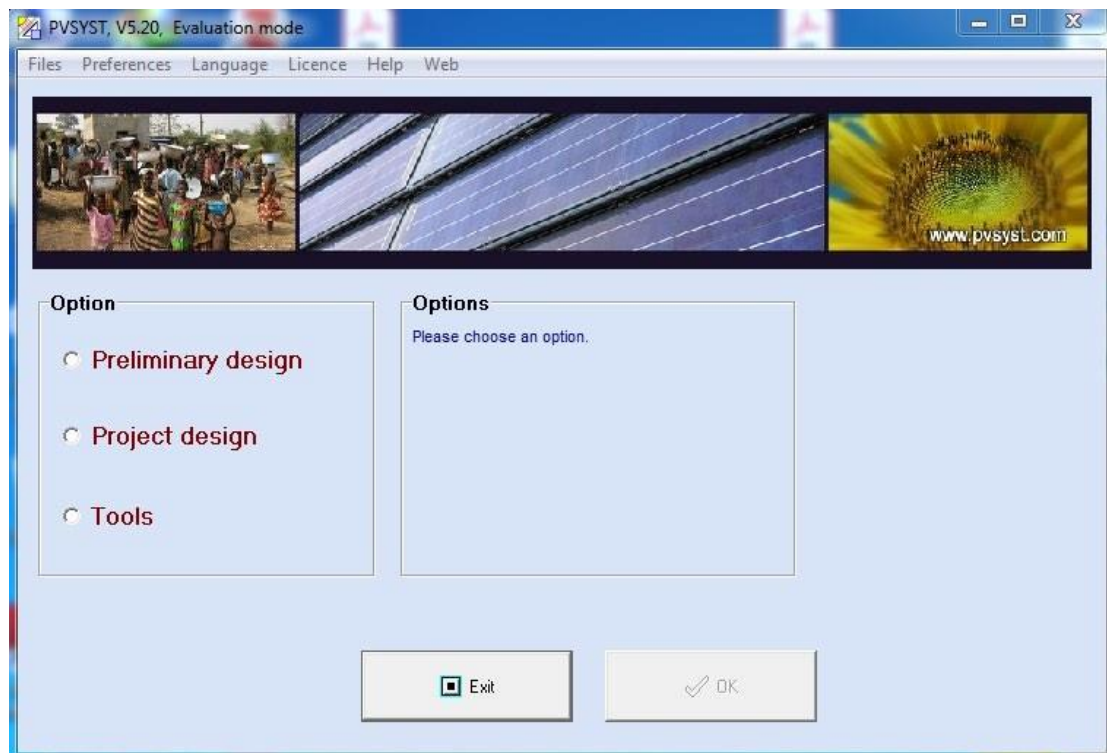


Figure IV.1: menu principal de logiciel PVsynt

IV.2.1. La conception préliminaire:

C'est l'étape qui préside d'un projet (pré-dimensionnement) pour une étude rapide et simple: on donne une location et un système puis le logiciel calcul quelques paramètres de pré dimensionnement ainsi qu'un graphe de production énergétique annuelle, un graphe d'irradiation par mois, un tableau récapitulatif et une étude de coût.

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).

IV.2.2. 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.

IV.2.3. Outils:

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

IV.3. Présentation de projet:

Dans ce projet, nous avons présenté une installation PV autonome pour alimenter une ferme. Le site étudié est situé au niveau de la commune de M'cif, wilaya de M'sila.

IV.3.1. Données géographique

Caractéristiques	Latitude en degré °	Longitude en degré °	Altitude en m
M'cif	35.33	4.79	412

Tableau IV .1 : Tableau des données géographique du site de M'cif

IV.3.2. Coordonnée géographique

Un site géographique est défini par:

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

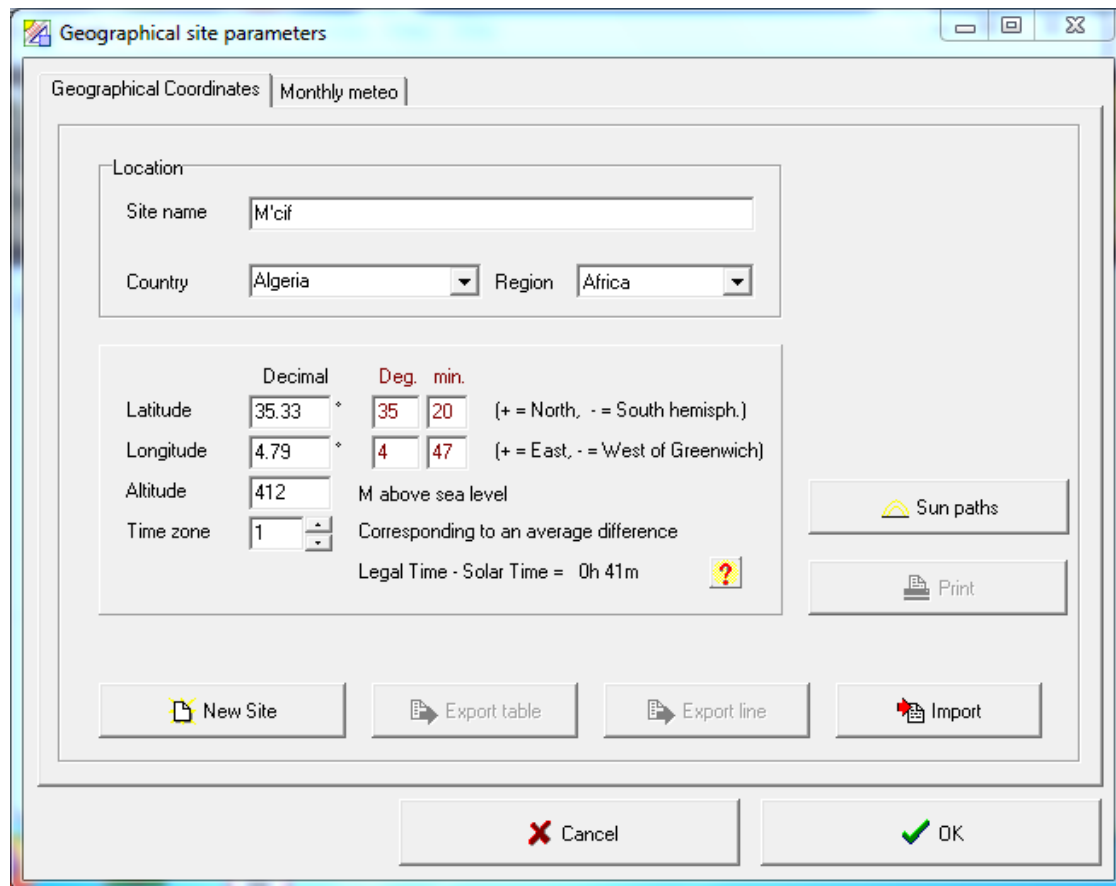


Figure IV.2: coordonnée géographique de M'cif

IV.3.3. Données météorologiques

Geographical site parameters

Geographical Coordinates: Monthly meteo

Site: **M'cif (Algeria)**

Data source: [Empty text box]

	Global Irrad. kWh/m ² .day	Diffuse kWh/m ² .day	Temper. °C	Wind Vel. m/s
January	3.17	1.05	9.2	
February	3.95	1.36	10.3	
March	5.19	1.81	14.5	
April	6.43	2.16	19.5	
May	7.29	2.30	24.2	
June	7.84	2.30	29.7	
July	7.91	2.06	33.8	
August	7.18	1.99	38.4	
September	5.90	1.98	26.8	
October	4.50	1.52	21.5	
November	3.34	1.17	14.2	
December	2.79	1.00	9.7	
Year	5.47	1.73	21.0	

Required Data:

- Horizontal global irradiation
- Average Ext. Temperature

Extra data:

- Horizontal diffuse irradiation
- Wind velocity

Irradiation units:

- kWh/m².day
- kWh/m².mth
- MJ/m².day
- MJ/m².mth
- W/m²
- Clearness Index Kt

Default (from NASA-SEE)

Buttons: Cancel, OK

Figure IV.3: Paramètres climatique de M'cif

Ces données résument les caractéristiques climatiques (l'irradiation et la température) du site d'Ouled sidi brahim, 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.

IV.4. 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 azimut) du panneau car on pourra le modifier dans la définition des ombres proches.

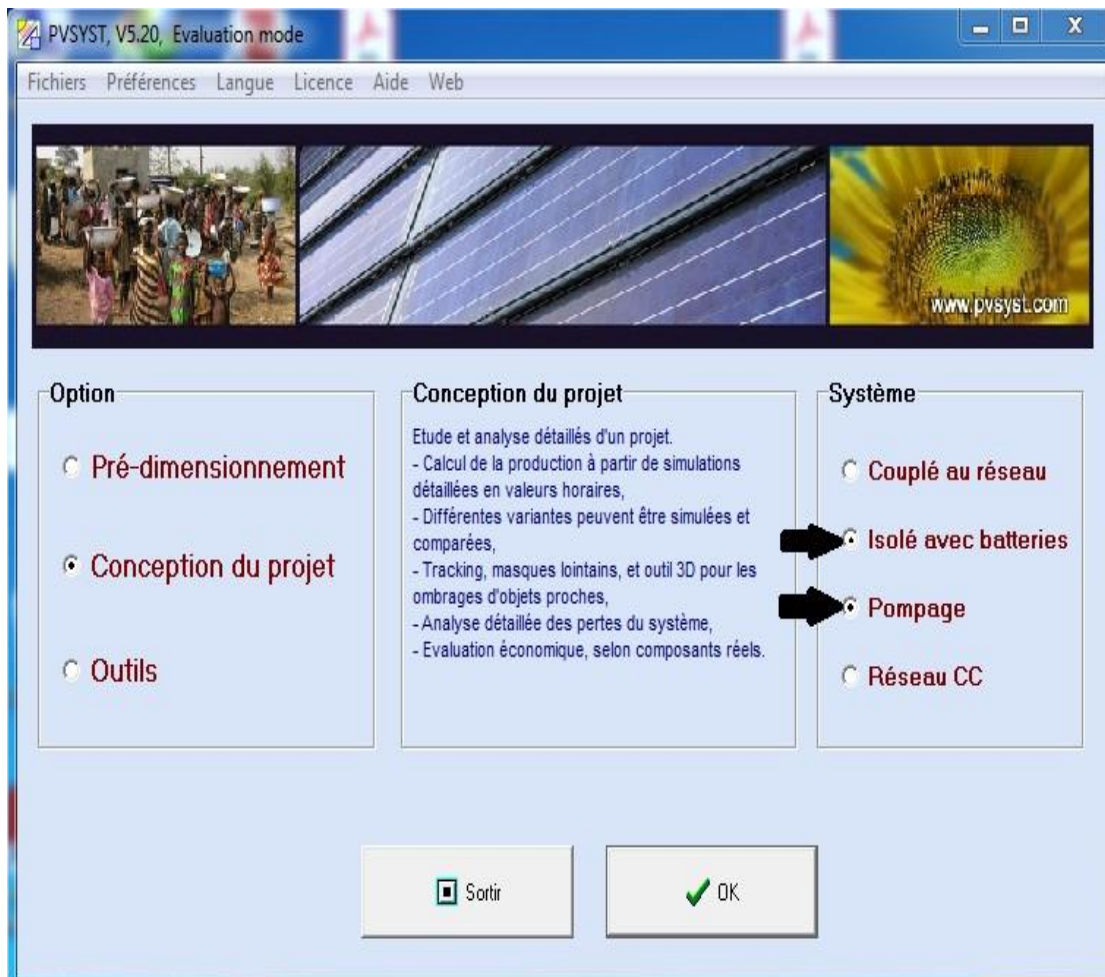


Figure IV.4: Conception du projet

IV.4.1. Les étapes de conception d'un système PV autonome et un system de pompage PV

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

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 30° c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

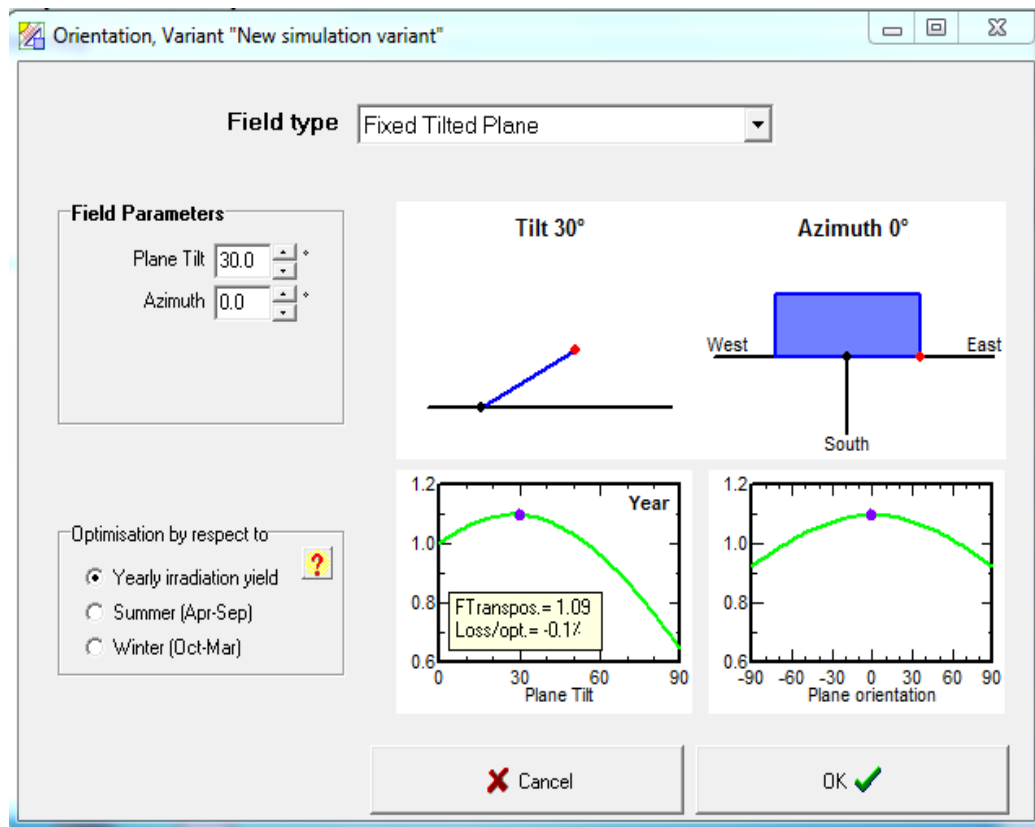


Figure IV.5 : angle d'orientation

- **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.

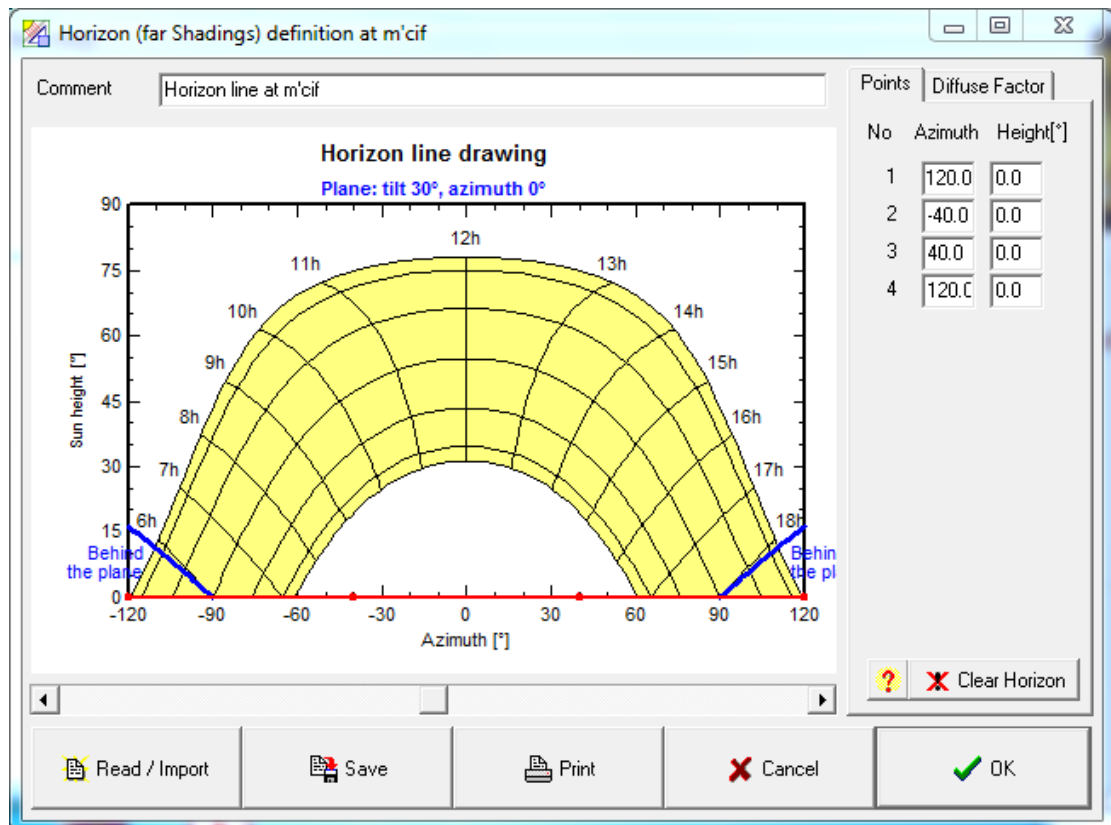


Figure IV.6 : horizon de 'M'cif' M'sila

IV.4.1. 1. Simulation d'un système Isolé avec batteries avec le logiciel PVsyst :

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).

Daily use of Energy, Variant "Nouvelle variante de simulation"

Consumption definition by
 Year
 Seasons
 Months

Week-end use
 Use only during 7 days in a week

Model
 Load
 Save

Daily consumptions

Number		Power		Mean Daily use	Daily energy	
14	Fluorescent lamps	20	W/lamp	8.0	h/day	2240 Wh
2	TV / Magnetoscope / PC	150	W/app.	2.0	h/day	600 Wh
1	Domestic appliances	130	W/app.	2.0	h/day	260 Wh
1	Fridge / Deep-freeze			6.00	kWh/day	6000 Wh
1	Dish-washer, Cloth-washer			0.50	kWh/day	500 Wh
	Other uses	800	W tot	1.0	h/day	800 Wh
	Stand-by consumers	0	W tot	24h/day		0 Wh
					Total daily energy	10400 Wh/day
					Total monthly energy	312.0 kWh/month

Appliances info Hourly distribution

Back Other profile Cancel Next

Figure IV.7: la consommation d'une maison

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 maison est de 10400 kWh/jr et On remarque que le max consommation d'électricité enter 10h-16h avec 766 w crête.

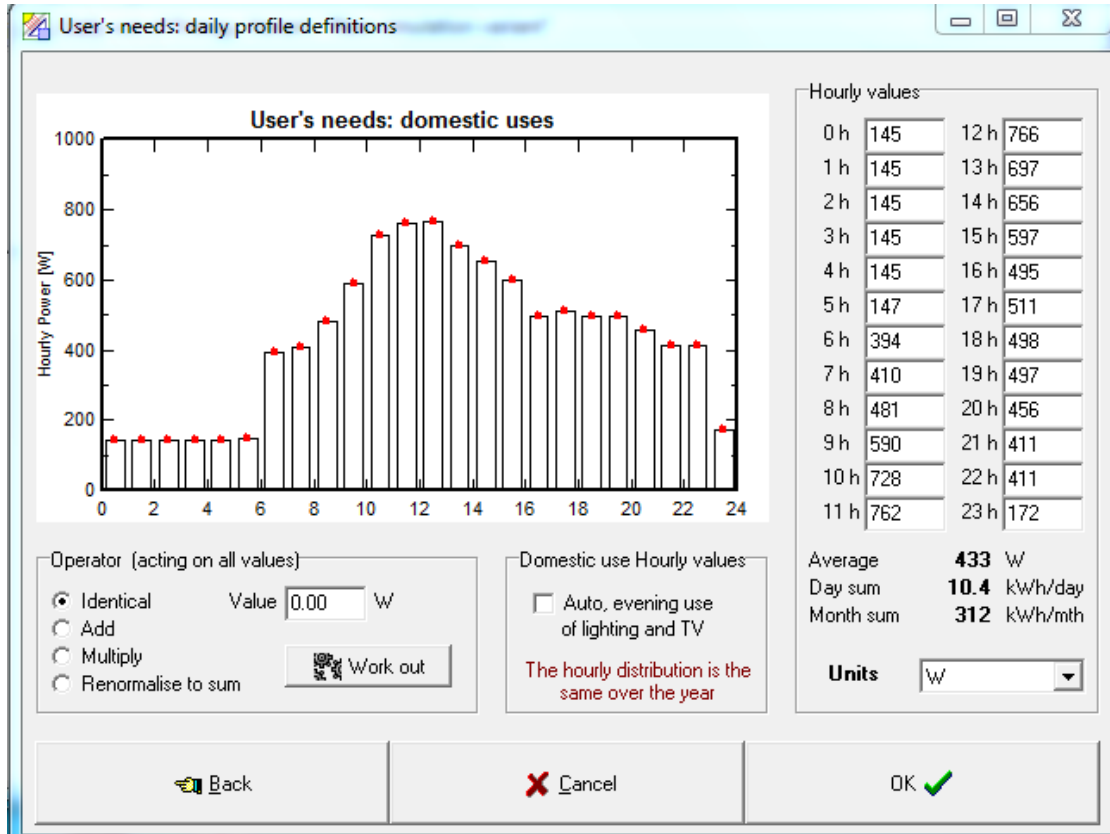


Figure IV.8: la profile de charge et le temps d'utilisation

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 "selectmodules".

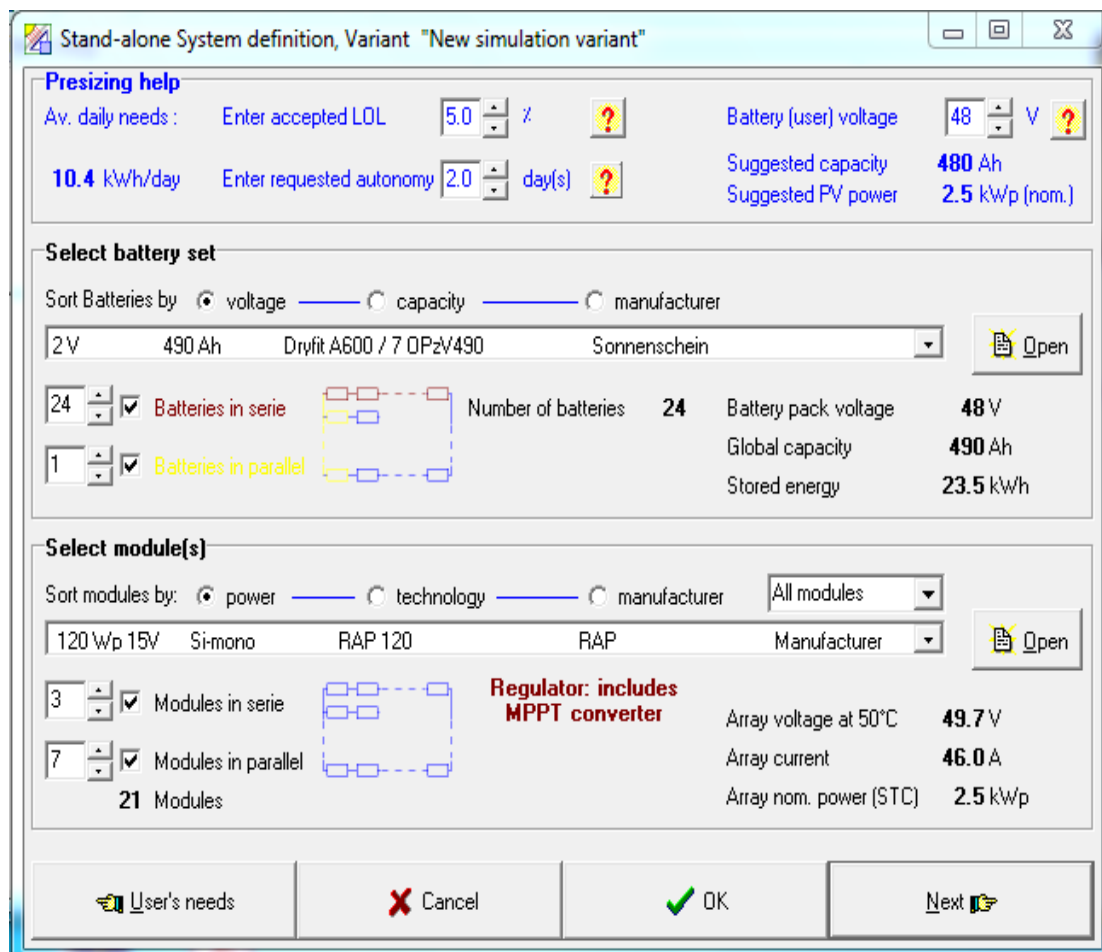


Figure IV.9: la définition de système autonome

Le choix de stratégie du contrôle : Dans le (couplage direct, MPPT ou convertisseur DC/DC), 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"

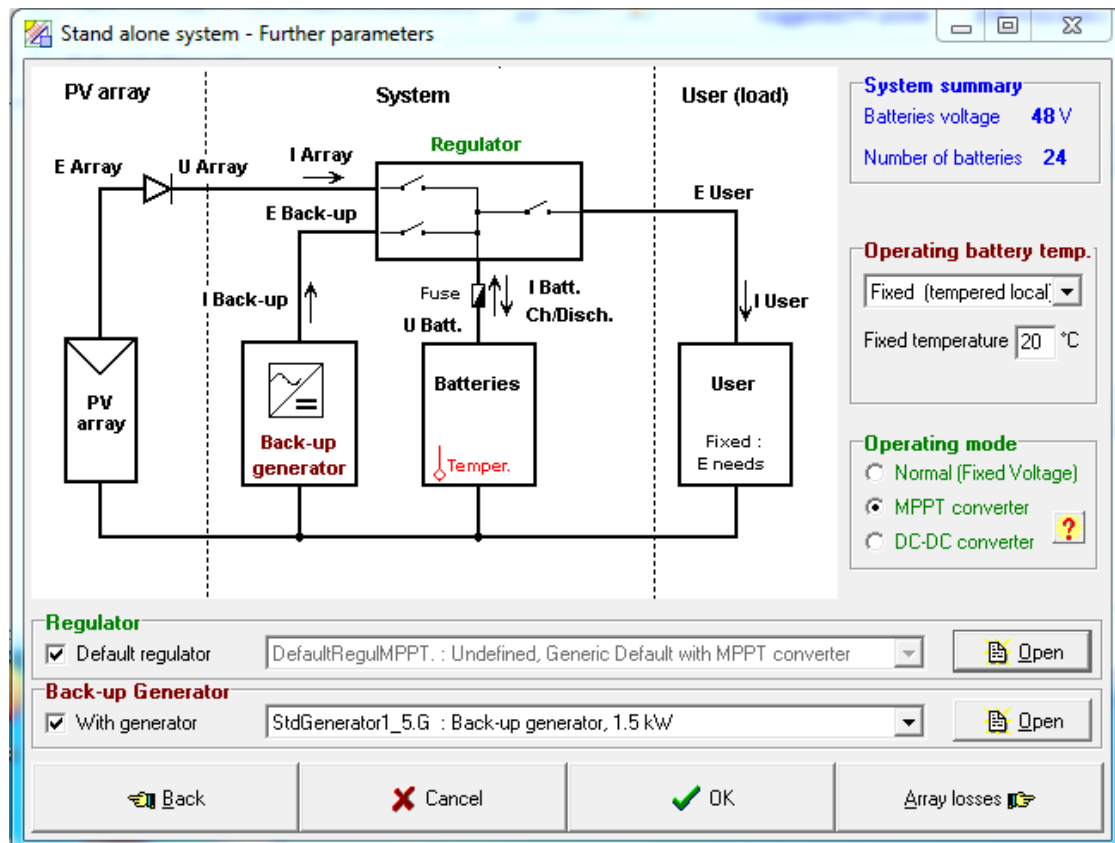


Figure IV.10: le choix du régulateur

Les paramètres des pertes :

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.

Finalement : 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.

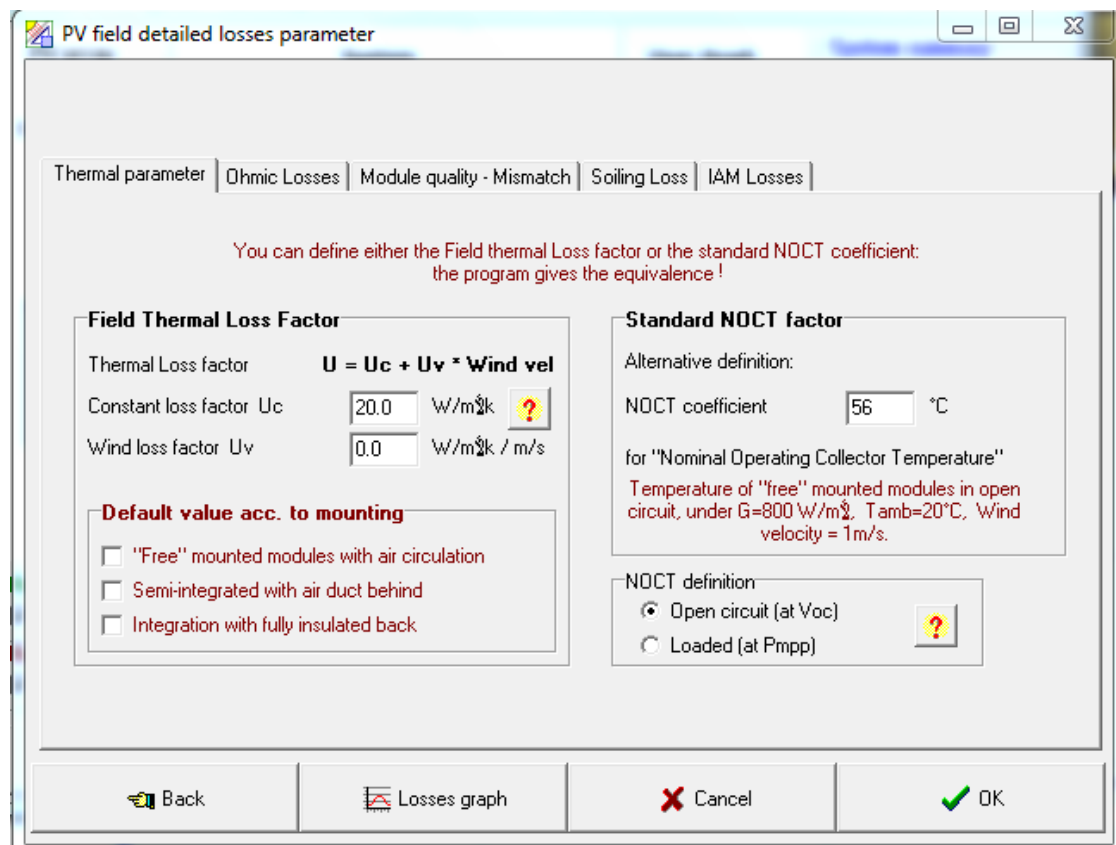


Figure IV.11: paramètres des pertes

IV.4.1.2. Simulation d'un system de pompage PV avec le logiciel PVsyst :

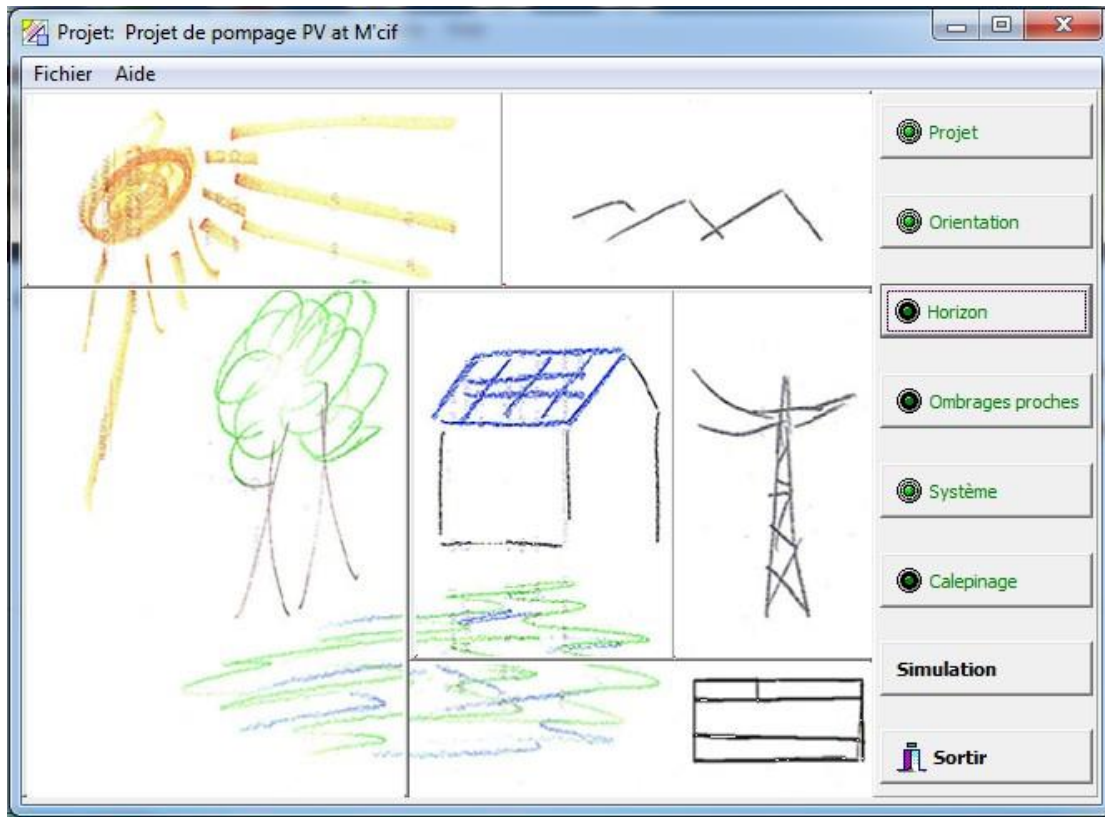


Figure IV.12: Simulation d'un system de pompage PV

La définition des besoins de l'utilisateur:

On choisit en haut de cette fenêtre un système Puits vers réservoir (alimentant un réservoir ouvert par le haut).

Dans cette fenêtre, on va remplir trois grands champs séparés.

Le premier champ est réservé aux caractéristiques du réservoir, le deuxième pour les caractéristiques du puit et le troisième pour le circuit hydraulique.

Introduction des paramètres du système de pompage

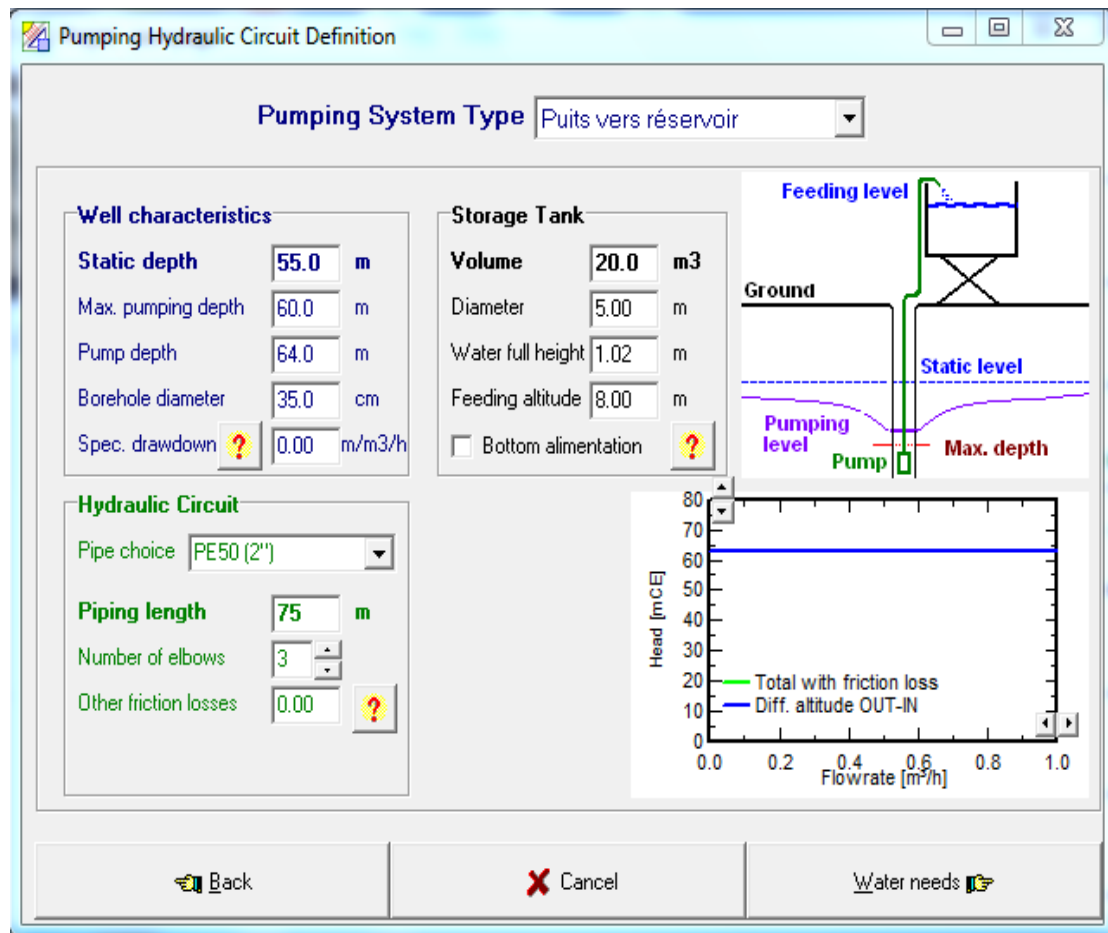


Figure IV.13: paramètres de système de pompage

Après avoir rempli cette fiche, on va cliquer sur **Water needs** pour définir les besoins en eau journalier. Sur cette fiche on définit les besoins en eau (20 m³ valeur moyenne annuelle) et on fixe le niveau statique du puit à 55 m. Le logiciel PVSYST5.2 va afficher directement l'énergie hydraulique nécessaire durant toute l'année qui égale à **1253 kWh** et donne une large estimation de l'énergie annuelle fournie par le générateur photovoltaïque.

Calcul de l'énergie hydraulique annuelle par PVSYST :

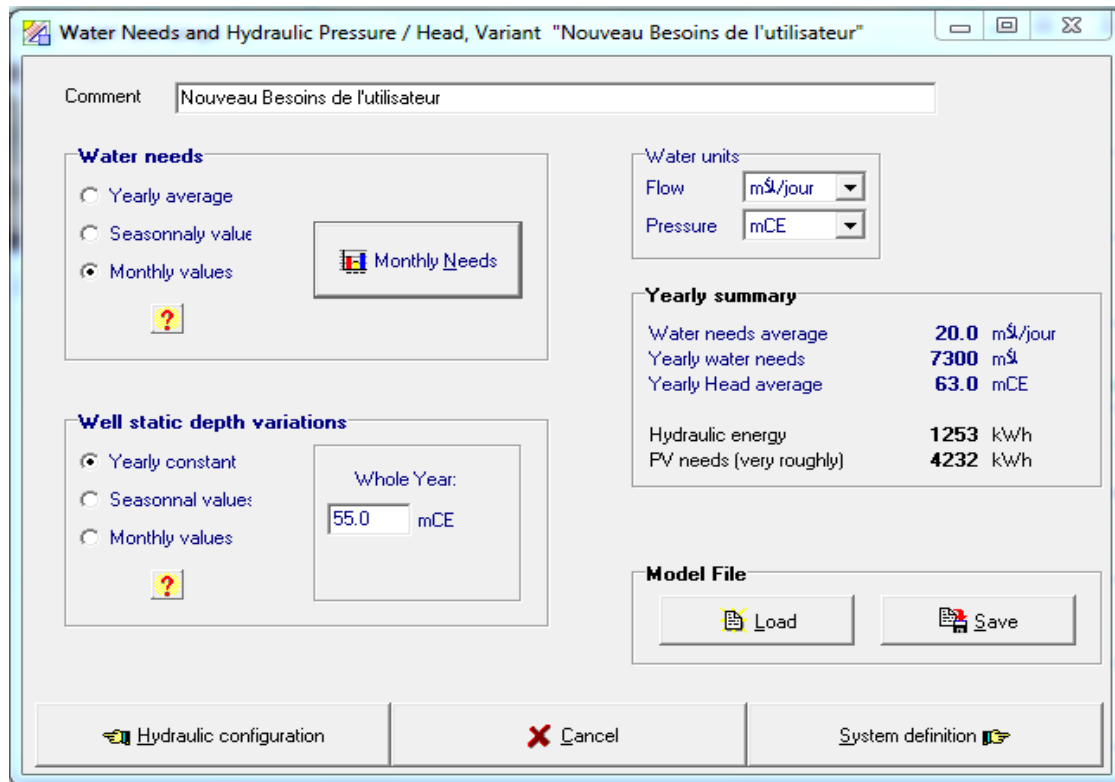


Figure IV.14: l'énergie hydraulique annuelle

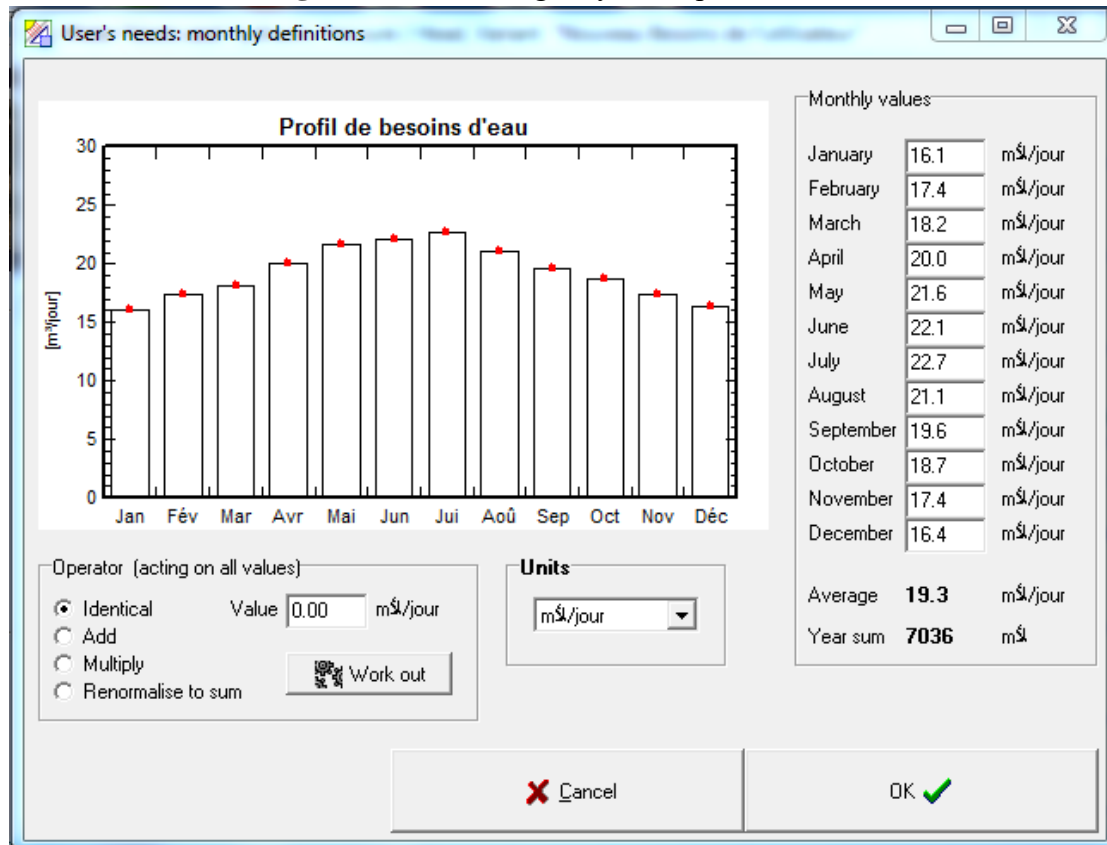


Figure IV.15: l'énergie hydraulique mensuelle

Résultats de dimensionnement en utilisant PVSYST :

En suite, on clique sur **System définition** pour pouvoir mieux définir notre système de pompage. La figure suivant va être affichée Sur cette fiche :

1. On fixe le nombre de jour d'autonomie à 2 (puisque on utilise un stockage d'eau et pas un stockage d'énergie électrique dans des batteries),
2. On choisit comme type de pompe la pompe Centrifuge multi-étages de 1500 W, 50-120 m DC,
3. On choisit comme module tandem de 120 Wpet de 15 V de la base de données des modules, Le logiciel donne le nombre de modules en série et en parallèle ainsi que le nombre de pompes pour assurer le flux d'eau total.

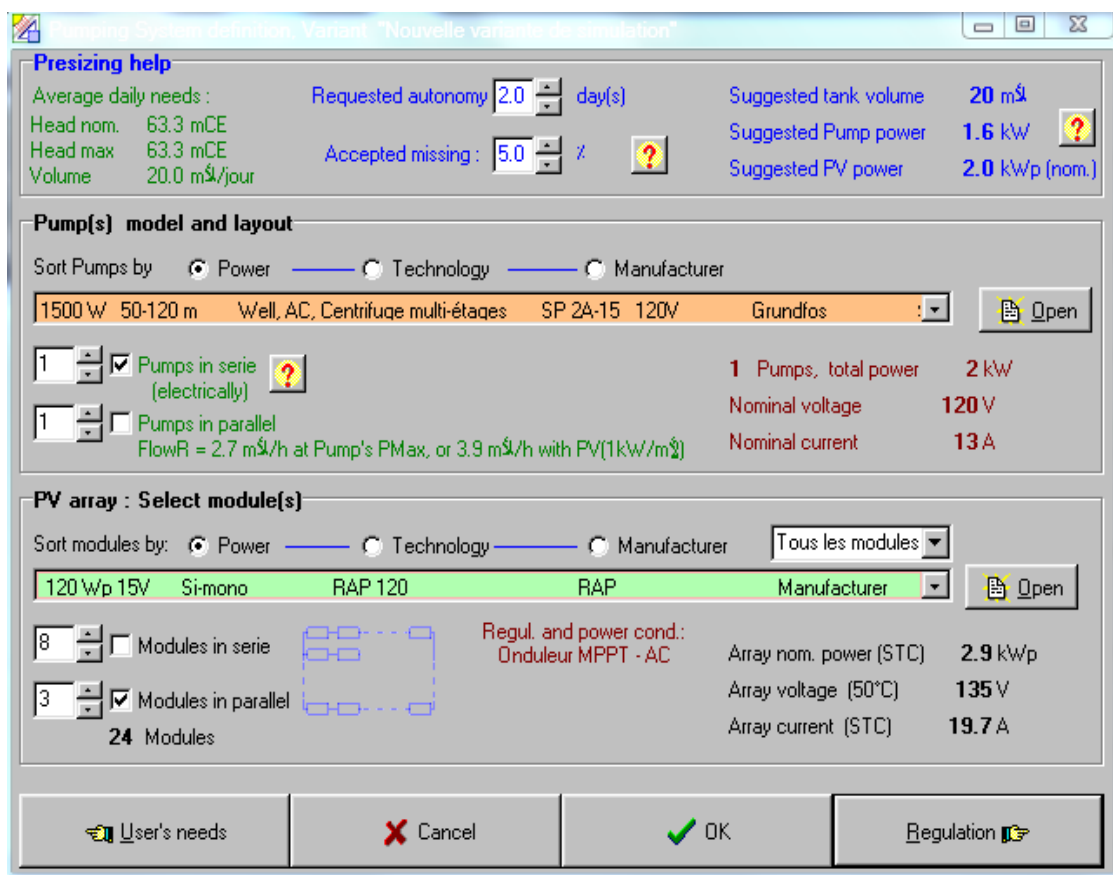


Figure IV.16 : Résultats de dimensionnement

III.4.2. : Résultats et discussions de la simulation**III.4.2.1. Résultats du système (Isolé avec batteries)**

Orientation plan capteurs

Inclinaison 30°

Azimut 0°

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV

Si-mono

Nombre de modules PV

En série **3 modules**En parallèle **7 chaînes**

Nombre total de modules PV

Nbre modules **21**Puissance unitaire **120 Wc**

Puissance globale du champ

Nominal(STC) **2.52 kWc**Aux cond. de fonct. **2.28kWc**

Caractéristiques de fonct. A 50°C

U mpp **50V**I mpp **46 A**

Surface totale

Surface modules **18.5m²****Caractéristiques du Batterie**

Caractéristiques du banc de batteries

Tension **48 V**Capacité nominale **300Ah**

Nombre d'unités

24 en séries x **1** en parallèles

Profil de charge

Besoins de l'utilisateur : consomm. domestique Constants sur l'année moyenne
10400 wh/Jour

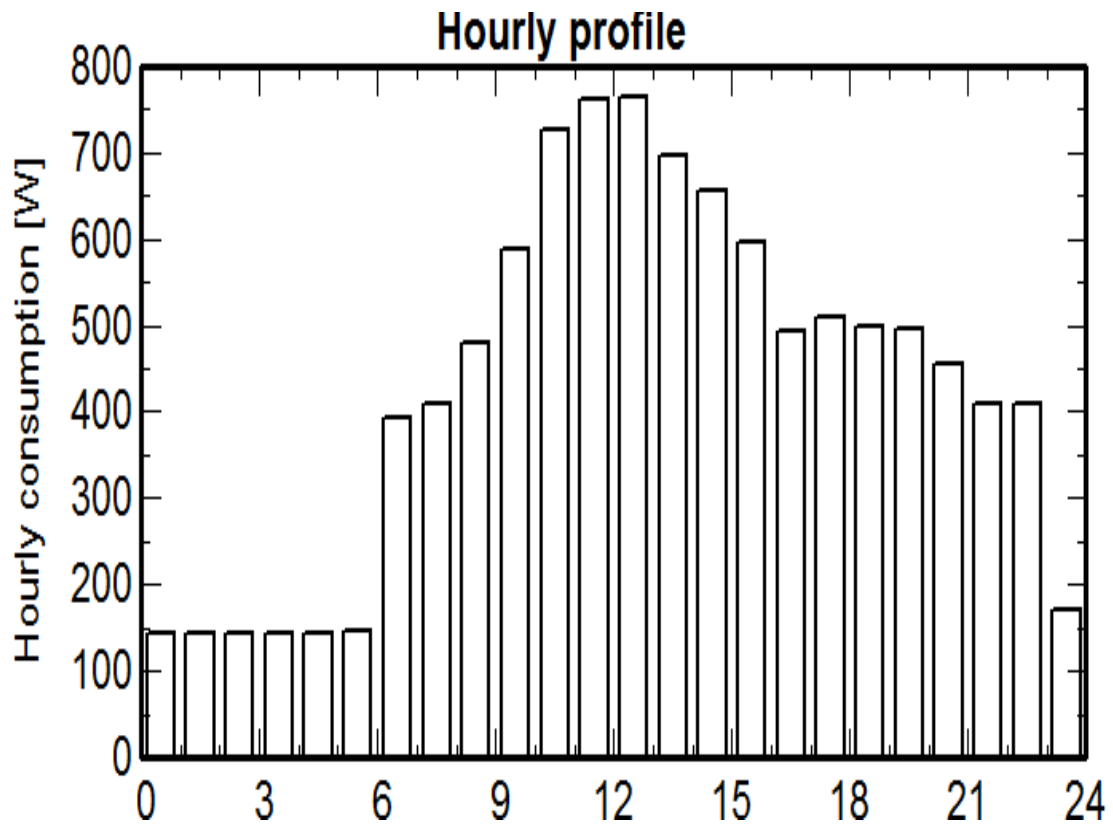


Figure IV.17: Profil de charge

Les productions normalisées

La prédiction du système (à la sortie du stockage : **Yf**) est représentée sur la figure suivant Les pertes **Lc**, **Ls** et **Lu** sont les pertes correspondantes au champ PV, les pertes de système de stockage et l'énergie non utilisée, respectivement.

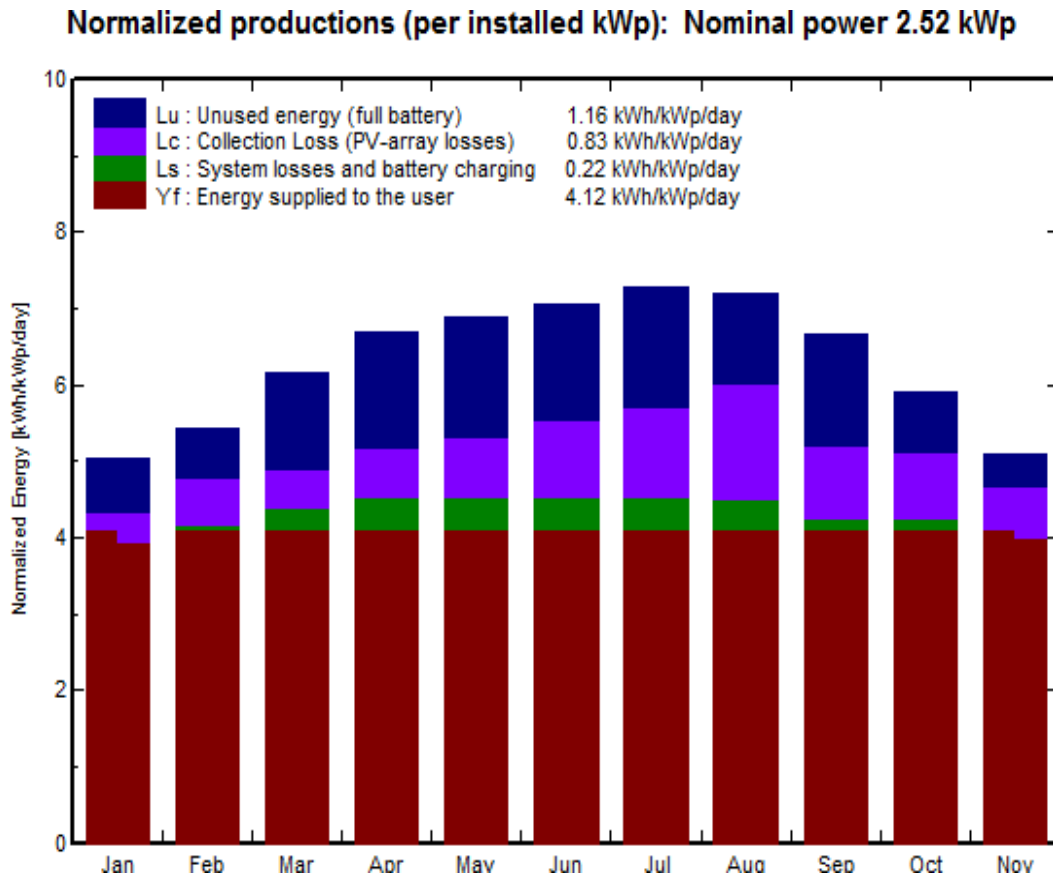


Figure IV.19: Les productions normalisées

Bilan énergétique

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	EUnused kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	98.3	152.1	346.3	55.4	321.9	322.4	0.861
February	110.7	148.3	326.0	46.5	290.8	291.2	0.955
March	160.9	185.6	422.2	97.7	321.7	322.4	0.952
April	192.9	195.0	436.7	114.4	311.3	312.0	0.998
May	226.0	207.2	457.3	124.0	321.5	322.4	0.997
June	235.2	205.3	437.0	114.8	311.2	312.0	0.997
July	245.5	218.6	455.1	121.7	321.5	322.4	0.997
August	222.6	216.7	425.6	93.2	321.6	322.4	0.998
September	177.0	194.4	415.1	111.2	311.3	312.0	0.951
October	139.5	178.1	375.3	60.6	321.9	322.4	0.952
November	91.3	133.9	284.6	27.7	280.5	280.8	0.870
Period	1899.8	2035.1	4381.3	967.2	3435.2	3442.4	0.958

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	E User	Energy supplied to the user
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E Load	Energy need of the user (Load)
	E Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
	EUnused	Unused energy (full battery) loss		

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

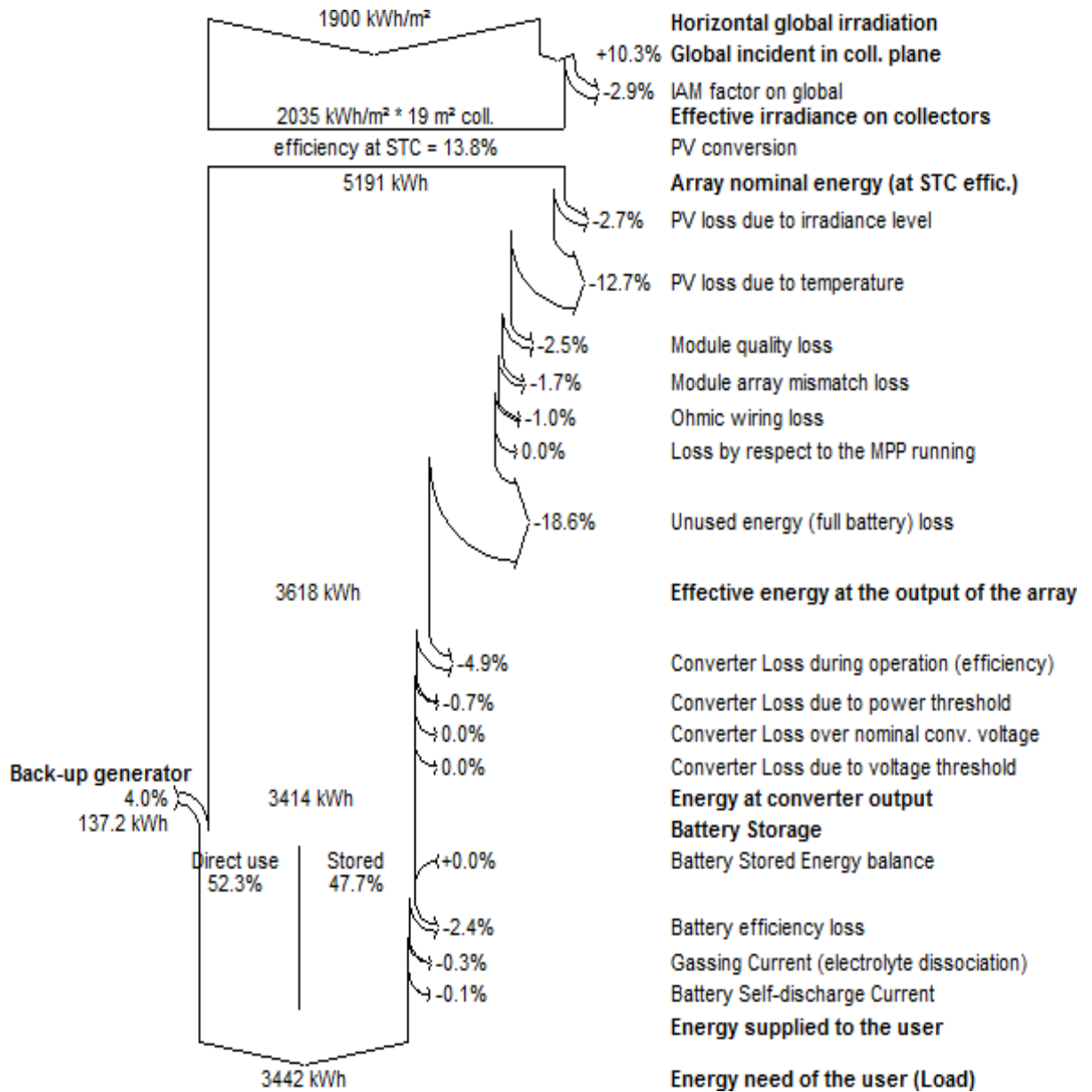
GlobEff : Le rayonnement effectif sur les collecteurs : le rayonnement restant après les pertes détaillées précédemment, multiplié par la surface PV (la surface du module telle que définie dans le fichier *.PAN).

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 5191 KWh et réduire à 3442 KWh à la sortie pour utilisateur.

IV.4.2.1. Résultats du système de pompage PV

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV	Si-mono	
Nombre de modules PV	En série 8 modules	En parallèle 3 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules 24	Puissance unitaire 120 Wc
Puissance globale du champ	Nominal(STC) 2.9 kWc	Aux cond. de fonct. 2.28kWc
Caractéristiques de fonct. A 50°C	U mpp 135V	I mpp 46 A
Surface totale	Surface modules 21.5m²	

Caractéristiques du Pompe

La tension nominale **120 V**

Le courant nominale **13 A**

La puissance **2 kw**

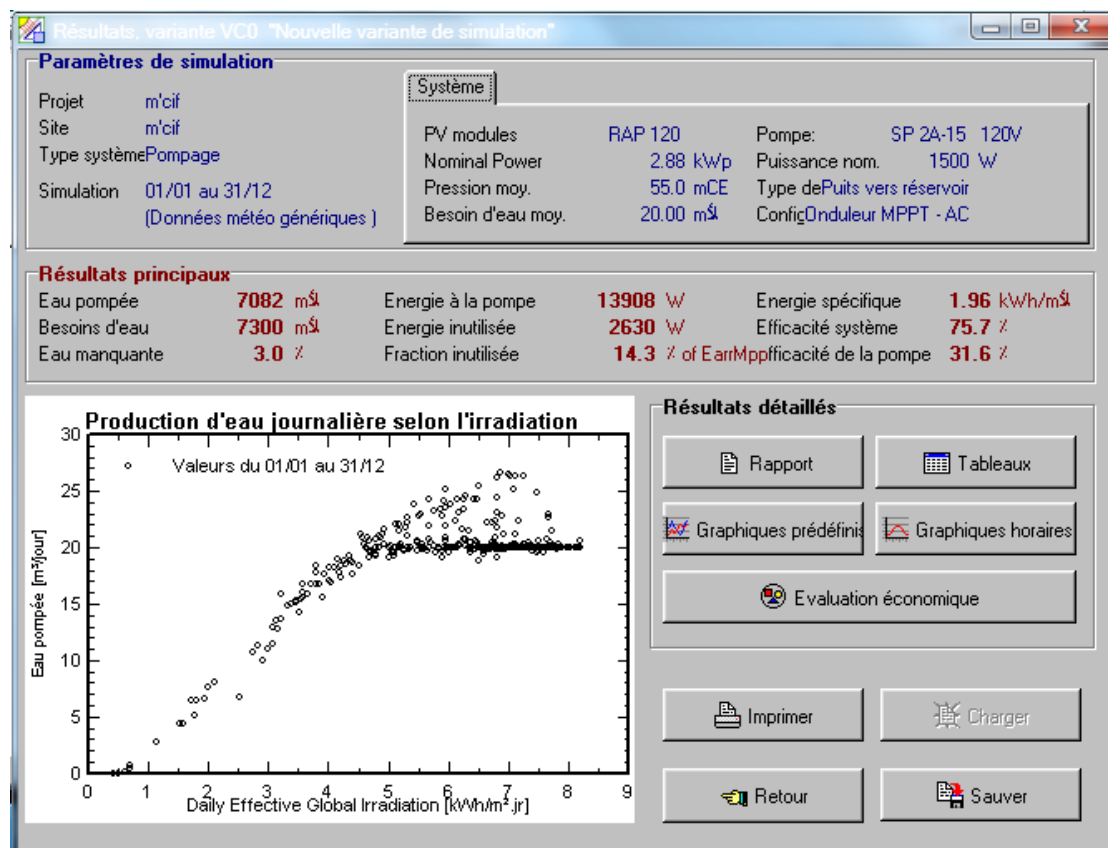


Figure IV.20 :La production d'eau journalière selon l'irradiation

L'energie incident de référence

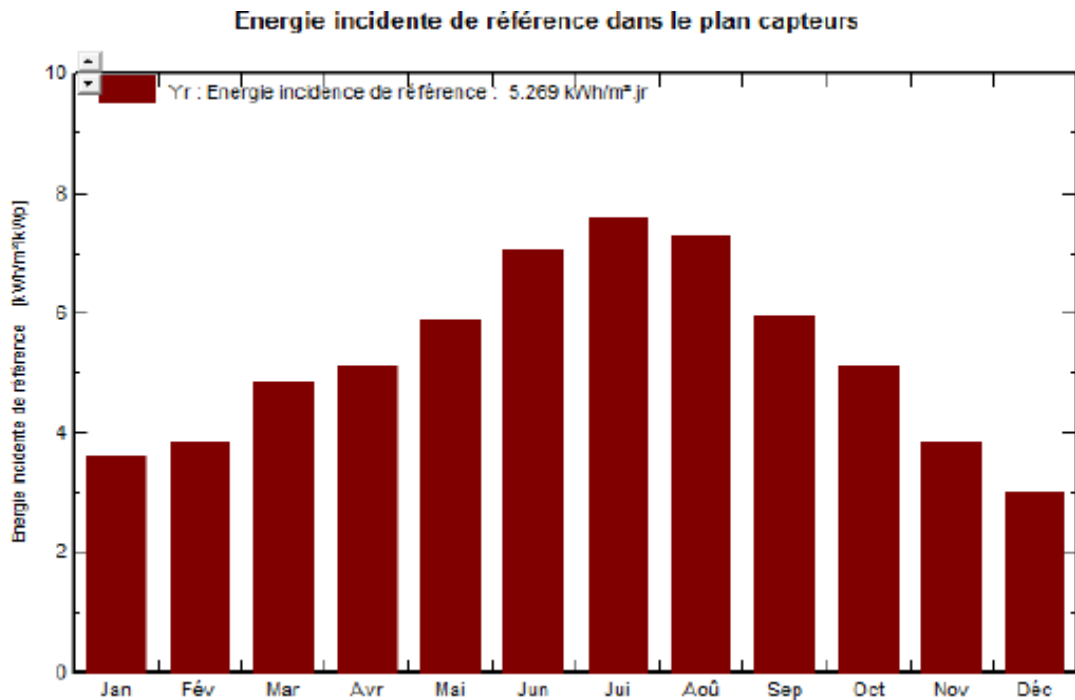


Figure IV.21: L'energie incident de référence

Les productions normalisées

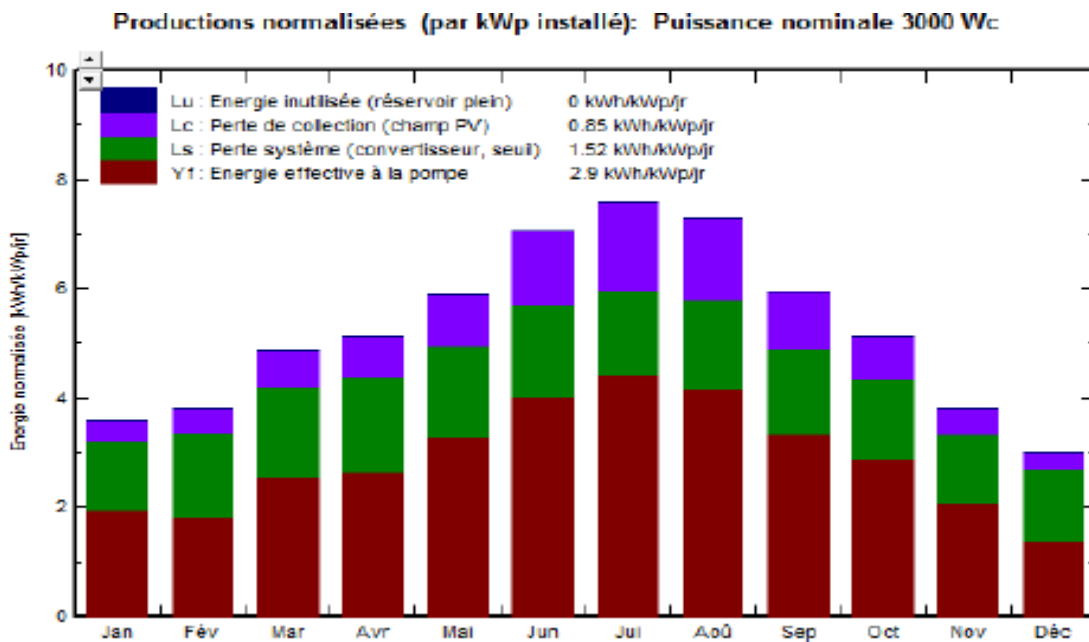


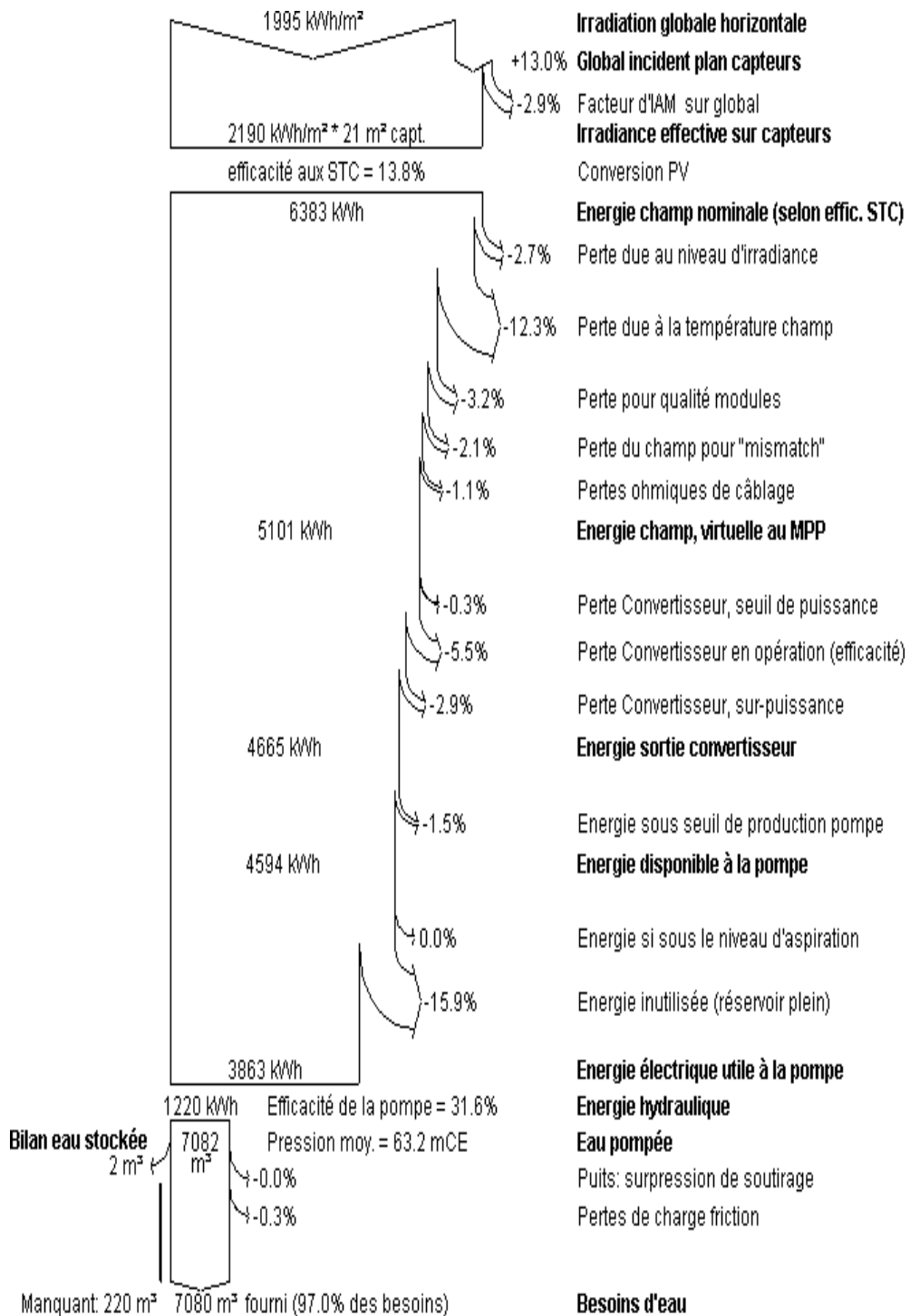
Figure IV.22: Les productions normalisées

Bilan énergétique**Nouvelle variante de simulation****Bilans et résultats principaux**

	GlobEff kWh/m ²	EArrMPP kWh	E PmpOp kWh	ETkFull kWh	H Pump mCE	WPumped m ³	W Used m ³	W Miss m ³
Janvier	152.1	379.3	312.9	26.23	63.17	575.6	570.6	49.37
Février	148.5	365.9	294.4	32.03	63.18	540.9	540.9	19.08
Mars	186.2	451.4	329.1	72.83	63.18	598.9	599.0	20.96
Avril	196.7	463.1	328.9	85.92	63.17	597.1	600.0	0.00
Mai	207.1	477.4	338.6	93.92	63.17	621.9	620.0	0.00
Juin	205.1	458.4	326.4	88.83	63.17	600.0	599.0	1.00
Juillet	218.9	478.3	338.8	95.06	63.17	620.1	620.0	0.00
Août	216.2	458.7	336.5	79.41	63.17	615.2	615.2	4.80
Septembre	195.1	443.5	326.2	73.75	63.17	593.4	599.1	0.92
Octobre	178.3	418.4	329.3	45.69	63.17	595.5	590.7	29.32
Novembre	147.1	359.9	307.0	18.48	63.17	574.8	575.1	24.93
Décembre	138.6	346.9	295.4	18.32	63.17	548.7	550.3	69.68
Année	2189.9	5101.1	3863.5	730.48	63.17	7082.3	7079.9	220.07

Légendes: GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages H Pump Pression totale moyenne à la pompe
EArrMPP Energie champ, virtuelle au MPP WPumped Eau pompée
E PmpOp Energie de fonctionnement pompe W Used Eau consommée
ETkFull Energie inutilisée (réservoir plein) W Miss Eau manquante

Diagramme des pertes sur l'année entiere



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 6331 KWh et réduire à 3861 KWh à la sortie pour utilisateur.

Conclusion

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

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

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif général de notre étude est de fournir de l'énergie électrique à un ferme isolée dans la région de M'cif de la wilaya de M'sila a partir de l'énergie solaire en utilisation de deux installations photovoltaïques la première pour le system d'exploitation domestique et la deuxième pour le système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation

Dans le premier chapitre, nous avons donné un aperçu sur l'énergie photovoltaïque, ces avantages, ces inconvénients, la maintenance de tous les éléments du system et les différents systèmes photovoltaïques autonome en générale. Nous nous intéressés à les différents composantes du system PV et la produire de l'énergie électrique par les system photovoltaïque

Dans le deuxième chapitre nous avons dimensionné l'installation de système d'exploitation domestique le système utilise pour faire fonctionner la maison en fonction des besoins.

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.

La troisième chapitre que nous avons consacrée à l'étude d'un système de pompage photovoltaïque

Ce système de pompage solaire est conçu pour un approvisionnement en eau dit « au fil du soleil ». C'est à dire une durée de pompage tout au long de la journée. Pour mieux analyser les contraintes de l'exploitation d'un système de pompage d'eau, nous avons présenté les résultats obtenus d'une étude qui a conduit au dimensionnement d'une installation de pompage photovoltaïque pour irriguer du hectares de plantations situé sur la région de M'cif. Nous avons montré que le site de M'cif présente un climat favorable à ce type d'énergie nouvelle ; la rigion de M'cif est étendue sur un ensoleillement approximativement de $5 \text{ kkkkh/mm}^2/\text{jjjjjjj}$, ainsi que des ressources importantes d'eau souterraine .

Dans le quatrième chapitre nous avons abordé une étude par simulation de deux differents installation PV au meme endroit installation de système d'exploitation domestique et installation pour le système de pompage .

Conclusion générale

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 oeuvre 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 de 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 deviant rentable de vue de l'économie d'énergie qui actuelle très significatif par rapport au réseau électrique.

Bibliographies

- [1] C. Bernard, « station solaire autonome pour l'alimentation station pompage », l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006.
- [2] A. Hammidat Hadj arab et M.T BOUKADOUM, « performance et cout des systèmes de pompage PV en ALGERIE », 2005.
- [3] 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)].
- [4] JIMMY Royer, THOMAS Djiako, BOCAR Sada Sy et ERIC Schiller, Le pompage photovoltaïque,Édition Multi mondes, 1999 .
- [5] M. G. Villalva et J. R. Gazoli, et E. R. Filho «Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays», Jornal of power electronics, ,May 2009.
- [6] A. Bilbao «Réalisation d'un commande mppt numérique» université de rovira ivirgili ,2006.
- [7] H. BELGHITRI et H. ' Modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien photovoltaïque' mémoire de magister, 2009.
- [8] F. Lasnier, T. G. Ang, « Photovoltaic Engineering Handbook », IOP Publishing Ltd.1980.ISBN 0-85274-311-4.
- [9] Djarallah, Mohamed, "CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES RESIDENTIELS COUPLES AU RESEAU ELECTRIQUE," UNIVERSITE DE BATNA Thèse de Doctorat en Science, 2008.
- [10] 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'ingénieur, université de Ouargla, Algérie, 2005.
- [11] CEDRIC Cabal «Optimisation énergétique de l' étage d' adaptation électronique dédié à conversation photovoltaïque» Thèse doctorat, Université Toulouse, France. Décembre 2008.
- [12] www.solarelectripower.org.

Bibliographies

- [13] B. Abdelbacet et S. Benyoucef « ETUDE TECHNICO ÉCONOMIQUE D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE EN SITE ISOLE PAR PVSYSYST », Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique
- [14] 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.
- [15] S. Semaïou, « Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque », Mémoire de magister en Science physique; 2004.
- [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] Antonio Luque and Steven Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [18] TRAHI 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)].
- [19] Merabti Yousef 'Mémoire de fin d'étude master, « Etude et réalisation d'un système photovoltaïque hybride à trois sources », université de Biskra 2016.
- [36] Anne labouret Michelviloz : énergie solaire photovoltaïque, 2003, 2004, 2005.
- [21] <http://www.energie-photovoltaïque-et-solaire.com/avantages-inconvenients.htm>
- [22] A. BELHOCINE et S.ZAIDI « Etude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque autonome » Mémoire de Master2. Université de Bejaïa, 2012
- [23] 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.
- [24] <https://www.energienature.fr/stockage-energie-photovoltaïque/>.
- [25] FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé », livre édité par: EDISUD, 1983.

Bibliographies

- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaïque-autonome/cours_photovoltaique-autonome.php.
- [29] C. Bernard, « station solaire autonome pour l'alimentation station pompage», l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006.
- [30] A. Labonne, « Alimentation d'une pompe à Burkina Faso »,2004.
- [31] B. Molle, « Les stations de pompage individuelles pour l'irrigation », juin 1996.
- [32] J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.
- [33] Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque », Thèse de Doctorat de L'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004.
- [34]B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « Les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [35] A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- [36] S. LABED. « Le pompage photovoltaïque et le développement des régions sahariennes », Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara (CIRESS) Ouargla - 12 et 13 décembre 2005.Pompage Photovoltaïque 'Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19-26.
- [37] 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.

Résumé

ملخص :

هذا العمل مخصص لدراسة منشأة كهروضوئية مستقلة تزود مزرعة. بعد وصف موجز للنظام الكهروضوئي المستقل ، نقدم تعريفات المكونات المختلفة لهذا النظام، وكذلك تعريف الحمولة بالإضافة إلى ملف تعريف استهلاك الحمل المعتمد في موقع معزول. بناءً على المعلومات الفعلية لموقع التثبيت ، نقترح طريقة تغيير الحجم من خلال برنامج كمبيوتر نحدد حجم المكونات المختلفة للنظام. الكلمات المفتاحية: النظام الكهروضوئي ، تحجيم النظام الكهروضوئي ، النظام الكهروضوئي المستقل، نظام الضخ.

Résumé

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

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, système de pompage.*

Abstract :

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

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.