



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE de Technologie

DEPARTEMENT : Génie électrique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : BEN ATALLAH Yacine

DAOUDI Belkacem

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie électrique

OPTION : électrotechnique industriel

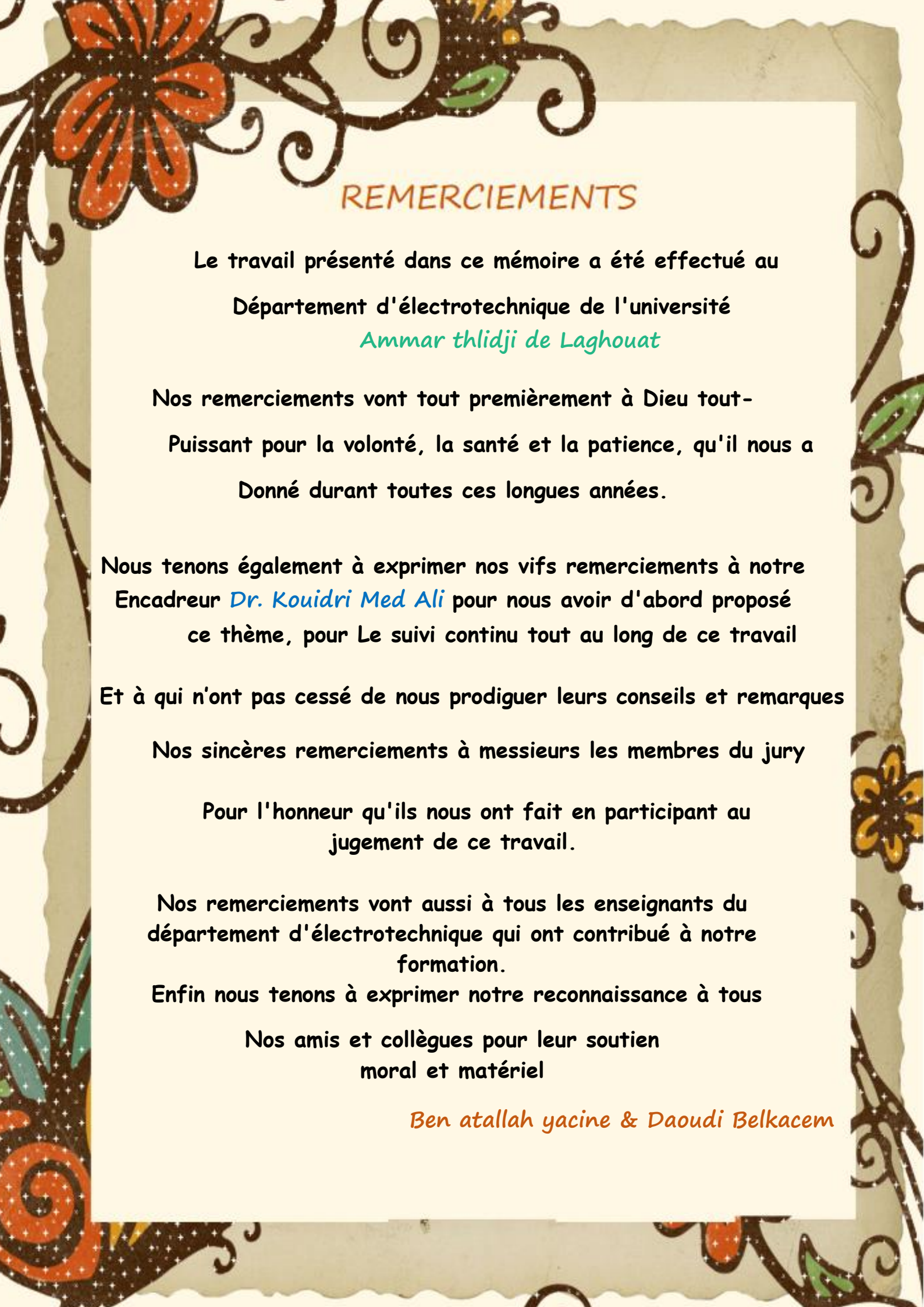
Thème

**Dimensionnement d'un système photovoltaïque
pour électrification des habitations dans les
zones d'ombres.**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
MEKHANET Mohamed	MCA	Président
BESSEDIK Sid Ahmed	MCA	Examineur
KOUIDRI Mohamed Ali	MCA	Encadreur
DELASSI Abdelmoumène	Dr	Co-encadreur

Promotion : 2021



REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au
Département d'électrotechnique de l'université
Ammar thlidji de Laghouat

Nos remerciements vont tout premièrement à Dieu tout-
Puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a
Donné durant toutes ces longues années.

Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre
Encadreur *Dr. Kouidri Med Ali* pour nous avoir d'abord proposé
ce thème, pour Le suivi continu tout au long de ce travail

Et à qui n'ont pas cessé de nous prodiguer leurs conseils et remarques

Nos sincères remerciements à messieurs les membres du jury

Pour l'honneur qu'ils nous ont fait en participant au
jugement de ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du
département d'électrotechnique qui ont contribué à notre
formation.

Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous

Nos amis et collègues pour leur soutien
moral et matériel

Ben atallah yacine & Daoudi Belkacem

DEDICACES

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'études

*À mes très chers parents, **Daoudi l'Hadj Guettal & Merabet Rachida** qui ont toujours été là pour moi,*

J'espère qu'un jour, je peux rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que Dieu leur prête bonheur et longue vie.

*À mes très chers frères, **Aboubaker. Bachir et Hamza***

*À toute ma famille **Daoudi et Merabet***

À tous mes collègues de la promotion électrotechnique industrielle

Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

À tous (es) qui ont contribués de près ou de loin à ma réussite.

Daoudi Belkacem

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'études

*À mes très chers parents, **Ben Atallah Boulanouar & Ben Ziadi Nacira** qui ont toujours été là pour moi,*

J'espère qu'un jour, je peux rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que Dieu leur prête bonheur et longue vie.

*À mes très cher frère et sœurs, **Mohamed. Sara et Soujoud***

*À toute ma famille **Ben Atallah et Ben Ziadi.***

À tous mes collègues de la promotion électrotechnique industrielle

Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

À tous (es) qui ont contribués de près ou de loin à ma réussite.

Ben Atallah Yacine

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III - 1 :Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle.....	32
Tableau III - 2 : Tension du champ en fonction de sa puissance crête	34
Tableau IV - 1 : Coordonnées du site alimente	44
Tableau IV - 2 : Consommation énergétique journalière d'une maison	45
Tableau IV - 3 : Irradiation Globale (logiciel PVsyst).....	47
Tableau IV - 4 : Fiche technique du panneau photovoltaïque ASOLA (PVSYST).....	48
Tableau IV - 5 : Fiche technique de la batterie solaire ROLLS(PVSYST)	49
Tableau IV - 6 : Fiche technique de régulateur	51
Tableau IV - 7 : Fiche technique de l'onduleur	52
Tableau IV - 8 : Résultats obtenus par les deux méthodes de calcul	69

LISTE DES FIGURES

Figure I - 1 : Réponse spectrale d'une cellule (PV)	3
Figure I - 2 : Types de rayonnements solaires reçus au sol.....	4
Figure I - 3 : Cellule photovoltaïque multi jonction crédit.....	5
Figure I - 4 : Cellule photovoltaïque monocristalline	6
Figure I - 5 : Cellule photovoltaïque poly cristalline	7
Figure I - 6 : Cellule photovoltaïque de type cuivre -indium -sélénium (CIS)	8
Figure I - 7 : Cellule photovoltaïque amorphe	8
Figure I - 8 : Caractéristique courant-tension (I-V) du module.....	9
Figure I - 9 : Caractéristique puissance-tension (P-V) du module	9
Figure I - 10 : Caractéristiques Courant-Tension $I=f(V)$ pour différents éclairagements et une température $T=25^{\circ}\text{C}$ (I_r : irradiation)	10
Figure I - 11 : Caractéristiques Puissance-Tension $P=f(V)$ pour différents éclairagements et une température $T=25^{\circ}\text{C}$ (I_r : irradiation)	10
Figure I - 12 : Caractéristiques Courant-Tension $I=f(V)$ pour différentes températures et un éclairagement 1000W/m^2	10
Figure I - 13 : Caractéristiques Puissance-Tension $P=f(V)$ pour différentes températures et un éclairagement 1000W/m^2	11
Figure I - 14 : Caractéristique courant tension de N_s cellule en série.	11
Figure I - 15 : Caractéristique courant tension de N_s cellule en parallèle.....	12
Figure II - 1 : Exemple d'installation photovoltaïque autonome	13
Figure II - 2 : Schéma d'un système photovoltaïque autonome [10]	14
Figure II - 3 : Champ Photovoltaïque	14
Figure II - 4 : Batterie ouverte au plomb.....	18
Figure II - 5 : onduleur	19
Figure II - 6 : Schéma de principe d'un régulateur de charge.....	21
Figure II - 7 : Régulateur série	22
Figure II - 8 : Régulateur parallèle	23
Figure II - 9 : Régulateur MPPT	24
Figure II - 10 : Graphe du rendement de puissance MPPT	24

Figure III - 1 : Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , azimuth χ et l'angle d'incidence θ	32
Figure III - 2 : batterie solaire	36
Figure III - 3 : Schéma d'un régulateur de charge	38
Figure III - 4 : Câble solaire.....	41
Figure IV - 1 : Image satellite de la zone étudiée.....	44
Figure IV - 2 : Carte ensoleillement	46
Figure IV - 3 : l'irradiation globale	46
Figure IV - 4 : Panneau ASOLA Si-mono 300w	48
Figure IV - 5 : Batterie Rolls Pb-Acide 12-CS-11PS	49
Figure IV - 6 : Régulateur de charge	51
Figure IV - 7 : Interface de logiciel PVsyst.....	55
Figure IV - 8 : Etapes de simulation avec PVsyst	56
Figure IV - 9 : Coordonnée géographique de Kasr el Hirane	57
Figure IV - 10 : Données météorologiques de Kasr el Hirane	57
Figure IV - 11 : Trajectoire de soleil à Kasr el Hirane	58
Figure IV - 12 : Détermination d'angle d'inclinaison de plan incliné fixe pour notre site	59
Figure IV - 13 : Estimation de la consommation des charges électriques pour le site.....	59
Figure IV - 14 : Dimensionnement du parc de batteries	60
Figure IV - 15 : Caractéristiques de la batterie.....	60
Figure IV - 16 : Dimensionnement du champ PV	61
Figure IV - 17 : Caractéristiques du panneau.....	61
Figure IV - 18 : Caractéristiques du régulateur MPPT.....	62
Figure IV - 19 : Schéma simplifié d'un system PV autonome PVsyst	62
Figure IV - 20 : Variation du rayonnement solaire mensuelle	63
Figure IV - 21 : Variation de la température	63
Figure IV - 22 : Rapport sur les paramètres de la simulation.....	64
Figure IV - 23 : Rapport sur les besoins énergétiques de l'utilisateur	65
Figure IV - 24 : Rapport des résultats principaux	66
Figure IV - 25 : Diagramme des pertes	68

Figure V - 1 : Pompage photovoltaïque au fil du soleil.....	70
Figure V - 2 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie	71
Figure V - 3 : Hauteur manométrique total	72
Figure V - 4 : Carte géographique de la wilaya de LAGHOUAT.....	74
Figure V - 5 : Coordonnée géographique Kasr el Hirane	74
Figure V - 6 : Paramètres climatique Kasr el Hirane.....	75
Figure V - 7 : Trajectoire de soleil à Kasr el Hirane	75
Figure V - 8 : Angle orientation	76
Figure V - 9 : Circuit hydraulique de pompage.....	76
Figure V - 10 : Besoins en eau.....	77
Figure V - 11 : Définition de la pompe	77
Figure V - 12 : Type de l'onduleur	78
Figure V - 13 : Le type de module PV.....	78
Figure V - 14 : Nombre de modules en série et en parallèle	79
Figure V - 15 : Résultats principaux.....	79
Figure V - 16 : Diagramme journalier Entrée/Sortie	80
Figure V - 17 : Distribution de l'énergie effective en sortie des modules.....	80
Figure V - 18 : Indice de performance.....	80
Figure V - 19 : Diagramme journalier Entrée/Sortie	81
Figure V - 20 : Diagramme des pertes sur l'année entier	81

LISTE DES ABREVIATIONS

PV : photovoltaïque.	P : La puissance	N : nombre de jour d'autonomie
E_{ph} : énergie de photon.	E : l'énergie	D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)
c : la célérité de la lumière.	t : temps	U : tension de la batterie (V)
λ : la longueur d'onde.	E_{cons} : consommation journalière	N batterie s : nombre batterie série
h : la constante de Planck.	α : Latitude	N batterie p : nombre batterie parallèle
CIS : cuivre-indium-sélénium	β : Inclinaison	N_T : nombre total de la batterie
Ir : irradiation	PC : Puissance crête de l'installation en [WC]	S : La puissance apparente
P : Puissance	E_i : ensoleillement du lieu en [kWh/j]	Q : La puissance réactive
T : Température	ET : consommation énergétique journalière en [Wh/j]	Cos : facteur de puissance
I : Courant	kp : coefficient entre 0,50 à 0,85	R : la résistance en (Ω).
V_{cos} : la somme des tensions en circuit ouvert de Ns cellules en série.	Nm : nombre total de panneaux photovoltaïques	ρ : la résistivité du matériau en ($\Omega.m$).
I_{ccs} : courant de court-circuit de Ns cellules en série.	Ns : nombre de panneaux connectés en série	E_{bat(t)} : Energie stockée dans la batterie à une heure (t-1)
Ns : nombre cellules en série	V_{ch} : tension totale du champ.	E_{bat (t -1)} : Energie stockée dans la batterie à l'heure précédente (t-1)
CD : un courant direct continu	V_{panneau} : La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque	σ : Taux horaire d'autodécharge
CA : un courant alternatif	C_{ch} : capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah)	Es(t) : Energie produite par la source (Wh)
Ah : ampère-heure	Ec : énergie consommée par jour (Wh/j)	EL(t) : Energie demandée par la charge à une date t (Wh)
NiMH : Nickel-Métal-Hydrure	G : Energie incidente reçue sur le plan des modules (KWh/m^2)	η ond : Rendement de l'onduleur
NiCD : nickel-cadmium	L : la longueur du câble en (m).	B : Eclairement de référence ($B=1Kwh/m^2$)
MPPT : Maximum Power Point Tracking	ΔU : chute de tension	V : Tension du générateur PV
CS : convertisseur statique	Tu : Température diurne	μ : Coefficient d'intégration ($\mu=95\%$)
GPV : générateur photovoltaïque		S : Coefficient de sécurité ($\mu=85\%$)
S : la section du câble s en (mm^2).		
I : courant de sortie d'un panneau en ampère (A)		

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale i

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque1

I.1 Introduction.....1

I.2 Historique.....1

I.3 Energie solaire2

I.4 Rayonnement solaire.....2

I.4.1 Rayonnement direct3

I.4.2 Rayonnement diffus3

I.4.3 Rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol3

I.4.4 Rayonnement global3

I.5 Effet photovoltaïque4

I.6 Cellule photovoltaïque5

I.6.1 Technologies des cellules photovoltaïques :.....5

I.6.2 Caractéristique Courant-Tension d'un Générateur photovoltaïque8

I.7 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$:9

I.8 Regroupement des cellules PV11

I.8.1 Regroupement en série.....11

I.8.2 Regroupement en parallèle12

I.9 Conclusion12

Chapitre II : Système photovoltaïque autonome	13
II.1 Introduction	13
II.2 Systèmes isolé ou autonome	13
II.3 Composants du système photovoltaïque autonome	14
II.3.1 Modules PV	14
II.3.2 Système de stockage	15
II.3.2.1 Batterie	15
II.3.2.1.a Caractéristiques principales d'une batterie	15
II.3.2.1.b Critères de choix d'une batterie solaire	16
II.3.2.1.c Groupement de batteries	17
II.3.2.1.d Types d'accumulateurs	18
II.3.3 Onduleur	19
II.3.3.1 Caractéristiques principales d'un onduleur autonome sont les suivantes :	20
II.3.3.2 Différents types d'onduleurs autonomes	20
II.3.3.3 Critères de choix des Onduleurs	20
II.3.4 Régulateur	21
II.3.4.1 Principe de son fonctionnement	21
II.3.4.2 Différents types des régulateurs	22
II.3.4.3 Critères de choix des Régulateurs	25
II.3.5 Charge	25
II.3.6 Câblages	25
II.4 Avantages de l'installation pv autonome :	26
II.5 Conditions et inconvénients d'une installation pv autonome :	26
II.6 Conclusion	26
Chapitre III : Méthodes des dimensionnements des systèmes photovoltaïques	27
III.1 Introduction	27
III.2 Définition et but du dimensionnement	27
III.3 Présentation des paramètres d'entrée intervenant dans le dimensionnement	28
III.4 Etapes du dimensionnement	29

III.5	Méthodes de dimensionnement	30
III.5.1	Méthode du mois le plus défavorable	30
III.5.1.1	Consommation énergétique.....	30
III.5.1.2	Besoins énergétiques des applications	30
III.5.1.3	Energie solaire récupérable	31
III.5.1.3.1	Etude de l'inclinaison et orientation des panneaux.....	31
III.5.1.4	Données météorologiques	33
III.5.1.5	Dimensionnement des modules photovoltaïque.....	33
III.5.1.6	Dimensionnement des éléments de stockage	35
III.5.1.7	Dimensionnement du régulateur	37
III.5.1.8	Dimensionnement de l'onduleur	38
III.5.1.9	Dimensionnement des câbles	39
III.5.2	Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation.....	41
III.5.3	Méthode de la moyenne annuelle	41
III.5.4	Méthode des heures équivalentes	41
III.5.5	Méthode LPSP	42
III.6	Conclusion.....	43
Chapitre IV : Alimentation par système photovoltaïque dans site à Kasr el Hirane.....		44
IV.1	Introduction.....	44
IV.2	Identification du site à alimenter :	44
IV.2.1	Les coordonnées du site sont :.....	44
IV.3	Evaluation du besoin énergétique du site :	45
IV.3.1	Situation d'une maison :.....	45
IV.4	Détermination d'irradiation du site pour le dimensionnement	46
IV.4.1	Période de l'ensoleillement moyenne annuelle mondiale	46
IV.5	Dimensionnement du générateur photovoltaïque :	47
IV.6	Dimensionnement du système de stockage :	49
IV.7	Dimensionnement du régulateur :.....	50
IV.8	Dimensionnement de l'onduleur :.....	52

IV.9	Choix des câbles :	52
IV.9.1	Détermination des sections des conducteurs entre les panneaux et le boîtier de raccordement.....	53
IV.10	Simulation et les résultats avec logiciel <i>PVsyst</i> :	55
IV.11	Etapes des simulations du logiciel <i>PVSYST</i> :	55
IV.11.1	Désignation du projet	55
IV.11.2	Données de site :	56
IV.11.3	Données météorologiques :	57
IV.11.4	Orientation.....	58
IV.11.5	Besoins électriques :	59
IV.11.6	Simulation des équipements énergétiques :	60
IV.12	Configuration du système photovoltaïque étudié.....	69
IV.13	Conclusion.....	69
Chapitre V	Pompage solaire.....	70
V.1	Pompage solaire :	70
V.2	Il existe deux méthodes :	70
V.3	Avantages et inconvénients des pompes au fil du soleil et avec batteries :	71
V.3.1	Pompage au fil du soleil :	71
V.3.2	Pompage avec batterie :	71
V.4	Notions hydrauliques :	72
V.5	Composants d'un système de pompage PV :	73
V.6	Etapes de conception d'un système de pompage photovoltaïque :	73
V.6.1	Présentation de projet :	73
V.6.2	Données géographique de site :	73
V.6.3	Coordonnées géographiques :	74
V.6.4	Données météorologiques :	75
V.6.5	Profil d'horizon :	75
V.6.6	Orientation des modules PV :	76
V.6.7	Circuit hydraulique de pompage :	76

Sommaire

V.6.8	Caractéristique de la pompe :.....	78
V.6.9	Choix de l'onduleur :	78
V.6.10	Type de module PV pour l'application similaire :	78
V.6.11	L'exécution de la simulation :.....	79
V.7	Conclusion :.....	82
Conclusion générale.....		83
Références		

Introduction générale

Le monde a récemment connu des changements radicaux au niveau de sa structure économique et de ses sources stratégiques de richesse, notamment après l'effondrement des prix du pétrole et l'épuisement des énergies traditionnelles, où tous les pays du monde se sont tournés vers la recherche de solutions et d'alternatives pour des alternatives sources pour atteindre l'autosuffisance énergétique, alors que le monde assiste à une forte explosion démographique de la population, qui a conduit à une forte demande de matières premières, ce qui a eu des conséquences dangereuses aux niveaux environnementaux, humains et macroéconomiques futurs pour les pays. Dans l'adoption des sources d'énergie renouvelables comme garantie fondamentale de la sécurité énergétique et barrière qui nous évite l'épuisement des ressources souterraines de la terre, qui incombe aux dirigeants des pays et aux chercheurs experts dans ce domaine. Transition vers des énergies durables dont l'approvisionnement est inépuisable et qui constituent une source sûre et vitale pour un développement durable sans perturber l'écosystème et parvenir à un développement efficace et durable.

L'énergie solaire est devenue le premier pari dans la course entre les pays à la recherche de nouvelles sources d'énergie. Comme il devient une source d'électricité dans les années à venir après avoir renoncé à d'autres énergies qui menacent la stabilité de l'économie mondiale et de l'environnement.

L'énergie solaire en Algérie est considérée comme la plus grande alternative au pétrole dans le domaine de la production d'électricité. C'est une technologie relativement nouvelle et occupe une position prometteuse dans le domaine énergétique. Ses ressources sont importantes et ses effets sur l'environnement sont limités. Elle sécurise pour les pays les plus exposés au soleil une opportunité similaire à celle qu'offrent actuellement les parcs éoliens dans les mers européennes, sur les rives les plus vulnérables. Dans ce contexte, l'Algérie se distingue par être un puissant producteur d'énergie. Elle bénéficie de sa situation géographique en grande quantité des rayons du soleil, qui représentent une énorme mine d'énergie qui dépasse les 5 mégawatts par année et est considéré comme l'un des champs solaires les plus élevés [1].

Les zones d'ombre en Algérie, après les élections présidentielles de décembre 2019, un terme dont on n'avait pas entendu parler est apparu en Algérie, et il s'est répandu au point que la nouvelle présidence a nommé un conseiller du président de la République qui gère le dossier et travaille à la destitution. Domaines qui constituent une indication de déséquilibre dans le

développement, mais plutôt la propagation de l'injustice économique et l'absence totale de politique publique dans de nombreuses régions à travers l'Algérie [2].

C'est le terme "zones d'ombre", avec tout son sens, qui désigne de vastes zones vivant en marge du développement sans commodités, sans services et sans le nécessaire de la vie, en un mot, et ce n'est pas une zone spécifique, et il n'est pas situé dans un sens sans l'autre, mais ce sont plutôt des zones de C'est loin des grandes villes, y compris ce qui est au cœur des grandes villes et proche des zones urbaines. Il est impossible d'imaginer que le développement y soit absent, ou qu'il soit oublié ou absent des et des indicateurs/exigences des programmes de développement et de l'Etat pour prendre en charge les besoins des citoyens en équipements et services, qui sont des domaines qui couvrent la géographie de l'Algérie dans ses quatre directions [2].

L'objectif de ce travail est donc l'étude et la simulation permettant de dimensionnement d'un système photovoltaïque pour électrification des habitations dans les zones d'ombre.

Le premier chapitre sera consacré à présenter des généralités sur l'énergie solaire à travers les éléments contribuant à l'action photovoltaïque.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation du système photovoltaïque autonome, à travers ses composants et son principe de fonctionnement.

Le troisième chapitre vise à présenter quelques méthodes de dimensionnement et leur principe, puis à accomplir le travail requis en utilisant la méthode simple.

Dans le quatrième chapitre, nous présenterons la méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque qui est mise en œuvre à l'aide de la méthode de calcul et à l'aide du logiciel de calcul PVSYST afin de connaître tous les détails de notre system et comparer les résultats obtenus entre le calcul et la simulation et interpréter ces résultats.

En utilisant le même logiciel de simulation, dans le dernier chapitre nous effectuons un dimensionnement simple d'un pompage solaire dans même zones étudiée

Enfin, nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

I.1 Introduction

La demande d'énergie dans le monde augmente rapidement, en raison de l'explosion de la population et du progrès technologique, il est donc important pour l'humanité de se tourner vers une source d'énergie fiable selon ces deux avantages, rentable et une source permanente d'énergie renouvelable, pour la demande croissante d'énergie à l'avenir.

L'énergie solaire est l'une des sources d'énergie renouvelables, et c'est une source prometteuse pour résoudre les problèmes liés à la crise énergétique à l'avenir.

L'industrie de l'énergie solaire se développe régulièrement partout dans le monde, en raison de la forte demande d'énergie, alors que la principale source d'énergie actuelle est les combustibles fossiles sont limités, tandis que les autres sources sont chères ; L'énergie solaire représente donc un outil d'évolution de la situation économique dans les pays en développement, et elle a prouvé son efficacité après avoir mené de nombreuses et longues recherches sur celle-ci.

Dans ce chapitre, nous connaissons quelques généralités sur l'énergie solaire et les éléments impliqués dans la réalisation de la conversion photovoltaïque.

I.2 Historique

- **1839** : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
- **1875** : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- **1954** : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
- **1958** : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

- **1973** : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- **1983** : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé. [3]

I.3 Énergie solaire

L'énergie solaire convertit directement le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité, la distance entre la terre au solaire environ 150 millions de kilomètre et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 Km/S. [4]

I.4 Rayonnement solaire

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre 150.10⁶ Km, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante 180.10⁶GW, c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux autres sources d'énergie. Cette quantité d'énergie quittera sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique compris dans une longueur variant de 0.22 à 10 μm , l'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit [5] :

- 9 % dans la bande des ultraviolets ($< 0.4\mu\text{m}$).
- 47 % dans la bande visibles ($0.4 \text{ à } 0.8 \mu\text{m}$).
- 44 % dans la bande des infrarouges ($> 0.8\mu\text{m}$).

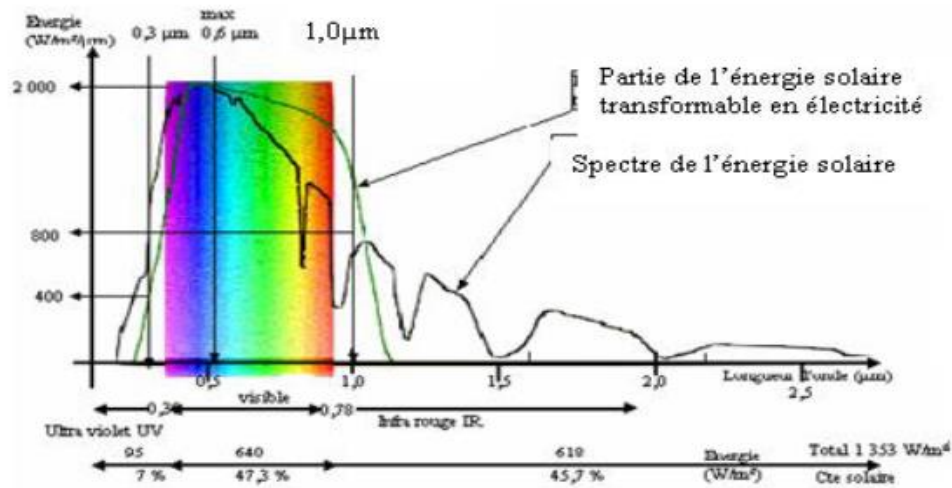


Figure I - 1 : Réponse spectrale d'une cellule (PV) [5]

I.4.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus [6].

I.4.2 Rayonnement diffus

C'est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols [6].

I.4.3 Rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....) [6].

I.4.4 Rayonnement global

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol). Dans la figure ci-dessous est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçus sur une surface terrestre [6].

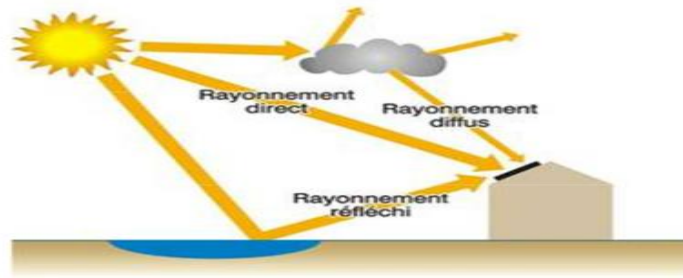


Figure I - 2 : Types de rayonnements solaires reçus au sol [6]

I.5 Effet photovoltaïque

Le phénomène de conversion photovoltaïque est dû à la variation de la conductivité d'un matériau sous l'effet de la lumière. Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Donc, le principe réside en une collision des photons incidents (flux lumineux) avec les électrons libres et les électrons de valence en leur communiquant une énergie appelée énergie de photon comme le montre l'équation [5] :

$$E_{ph} = h \times \frac{c}{\lambda} \quad (I.1)$$

Avec

E_{ph} : énergie de photon [joule]

c : La célérité de la lumière 3.10^8 [m/s].

λ : la longueur d'onde [m].

h : la constante de Planck $6.63.10^{-34}$ [J.s].

Si cette énergie est supérieure ou égale à l'énergie de gap $E_g = E_c - E_v$ du semi-conducteur, l'électron passe de la bande de valence E_v à la bande de conduction E_c en laissant un trou derrière lui, d'où l'apparition des paires électron-trou dans différents points de la jonction. Donc toute particule minoritaire près de la jonction a une probabilité très forte pour la traverser et la jonction s'oppose uniquement au passage des porteurs majoritaires [5].

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les

électrons de valence ont tendance à être " arrachés / décrochés : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial [5].

Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque [5].

I.6 Cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaire sont des composants optoélectronique qui transforment directement l'énergie lumineuse en énergie électrique, elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteur [7].

I.6.1 Technologies des cellules photovoltaïques :

a) Cellule Multi jonction :

Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion [7].

Avantage :

- Rendement inégalé

Inconvénients :

- Pas d'application commerciale



Figure I - 3 : Cellule photovoltaïque multi jonction crédit [7]

b) Cellule en silicium monocristallin :

Le silicium cristallin est actuellement matériau la plus populaire pour les cellules commerciales, bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles. Le terme « cristallin » implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes [7].

Avantage :

- Très bon rendement (environ 150 Wc/m²)
- Durée de vie importante (+/-30 ans)

Inconvénients :

- Coût élevé
- Rendement faible sous un faible éclairement



Figure I - 4 : Cellule photovoltaïque monocristalline

c) Cellule en silicium poly cristallin :

Il est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule [7].

Avantage :

- Bon rendement (environ 100 Wc/m²)
- Durée de vie importante (+/-30 ans)

- Meilleur marché que le monocristallin

Inconvénients :

- Rendement faible sous un faible éclaircissement

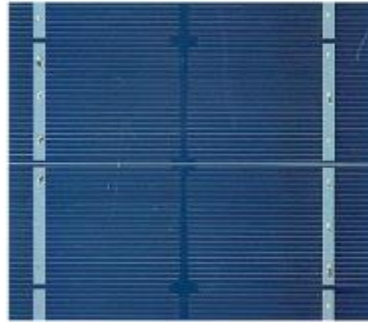


Figure I - 5 : Cellule photovoltaïque poly cristalline

d) Cellule sans silicium en couche mince CIS :

Les cellules CIS représentent la nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type cuivre-indium-sélénium (CIS). Les matières premières nécessaires à la fabrication des cellules CIS sont plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules photovoltaïques classiques. De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules photovoltaïques en couche mince [7].

Avantage :

- Permet d'obtenir les meilleurs rendements par rapport aux autres cellules photovoltaïques en couche mince.
- Permet de s'affranchir du silicium.
- Les matériaux utilisés ne causent pas de problème de toxicité.
- La cellule peut être construite sur un substrat flexible.

Inconvénients :

- Les cellules en couche mince nécessitent une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses



Figure I - 6 : Cellule photovoltaïque de type cuivre -indium -sélénium (CIS)

e) Cellule silicium amorphe en couche mince

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron [7].

Avantage :

- Fonctionnent avec un éclairage faible
- Souplesse Prix moins élevé que les cristallins
- Moins sensible aux températures élevées

Inconvénients :

- Mauvais rendement en plein soleil-
- Durée de vie courte (+/-10 ans), performances qui diminuent sensiblement avec le temps



Figure I - 7 : Cellule photovoltaïque amorphe [7]

I.6.2 Caractéristique Courant-Tension d'un Générateur photovoltaïque

La figure (I-8) représente la courbe $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température. L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C [7].

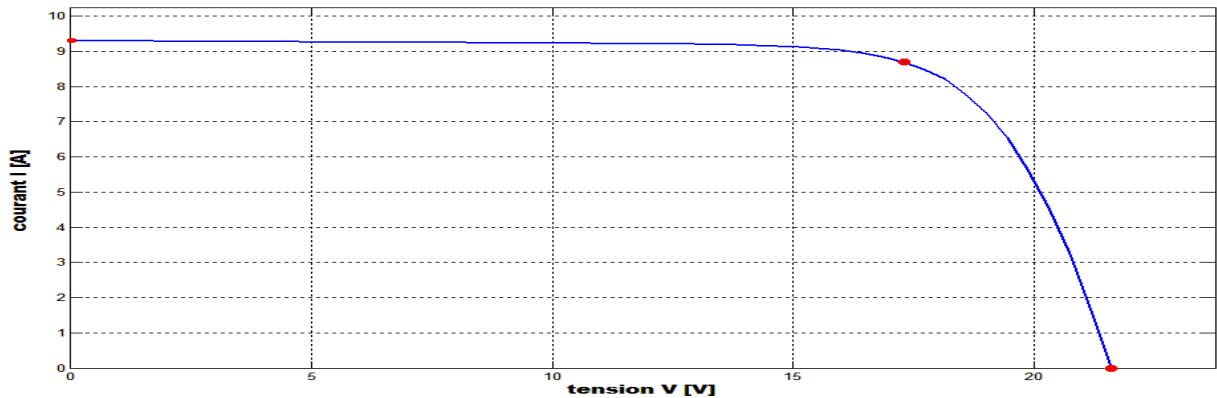


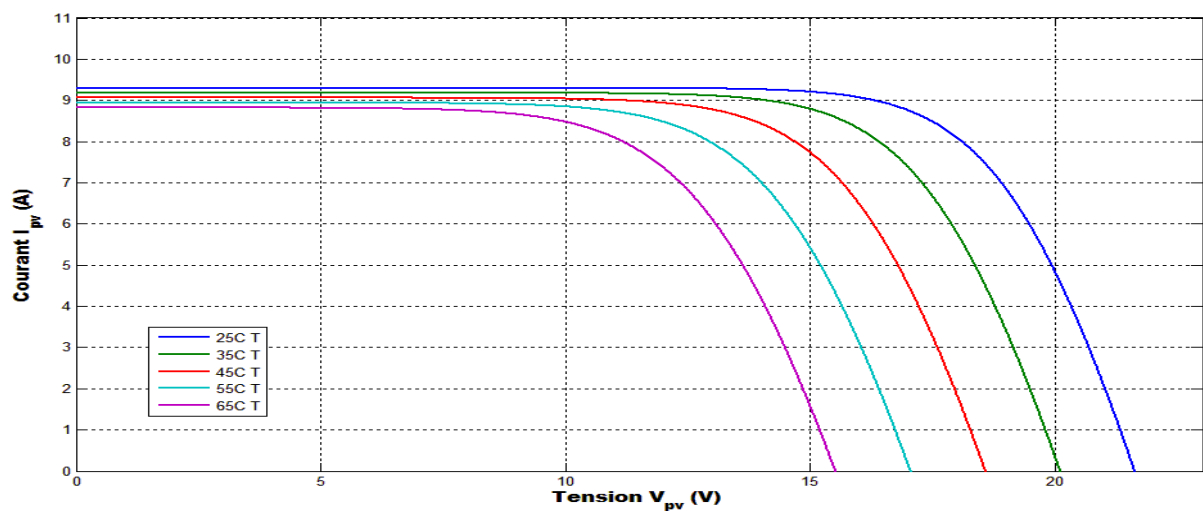
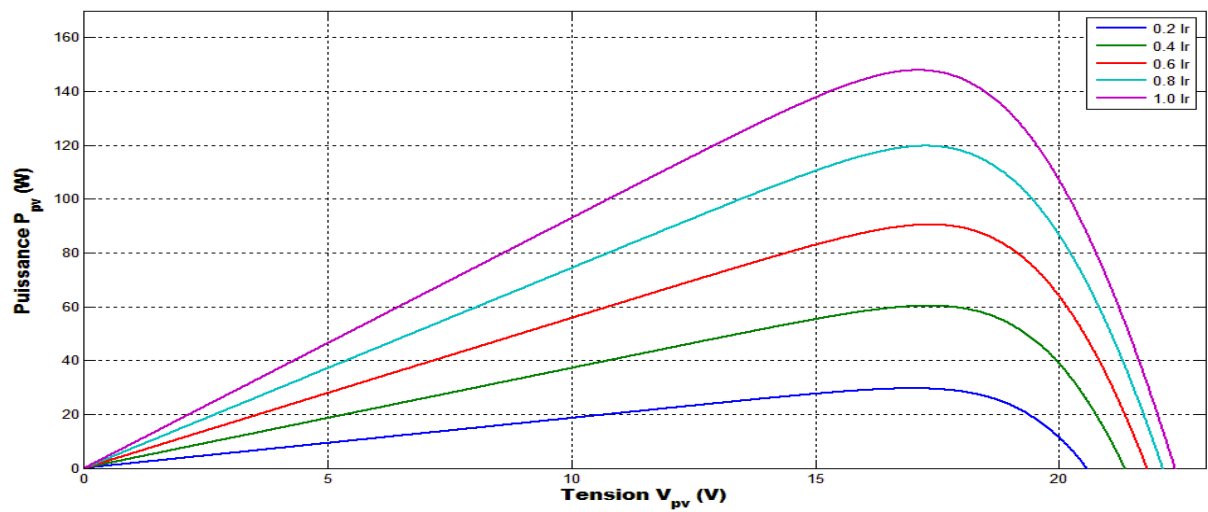
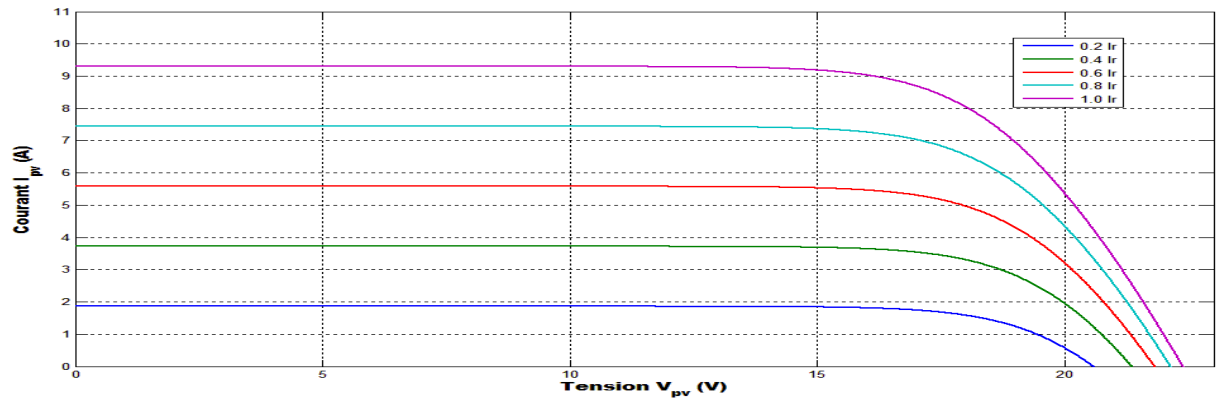
Figure I - 8 : Caractéristique courant-tension (I-V) du module [7]

La figure (I-9) représente la courbe $P = f(V)$ d'un module photovoltaïque dans des conditions standard d'irradiation et de température.



Figure I - 9 : Caractéristique puissance-tension (P-V) du module [7]

I.7 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$:



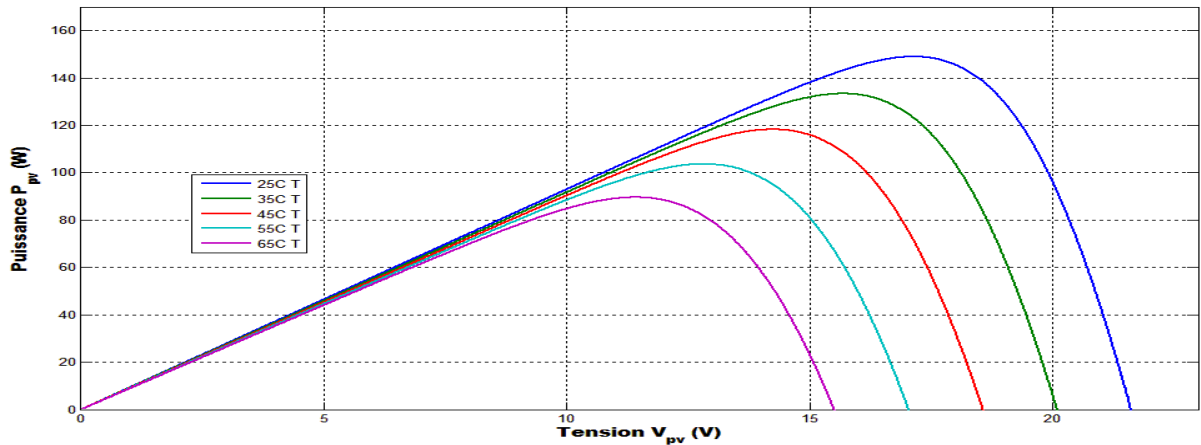


Figure I - 13 : Caractéristiques Puissance-Tension $P=f(V)$ pour différentes températures et un éclairement 1000W/m^2 [7].

I.8 Regroupement des cellules PV

I.8.1 Regroupement en série

Dans un groupement N_s cellules en série figure (I.14) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique du groupement série est obtenus par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. Les équations qui résument les caractéristiques électriques d'une association série de N_s cellules [4].

- $V_{\text{cos}} = N_s \times V_{\text{co}}$
- $I_{\text{ccs}} = I_{\text{cc}}$

V_{cos} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{ccs} : Courant de court-circuit de N_s cellules en série.

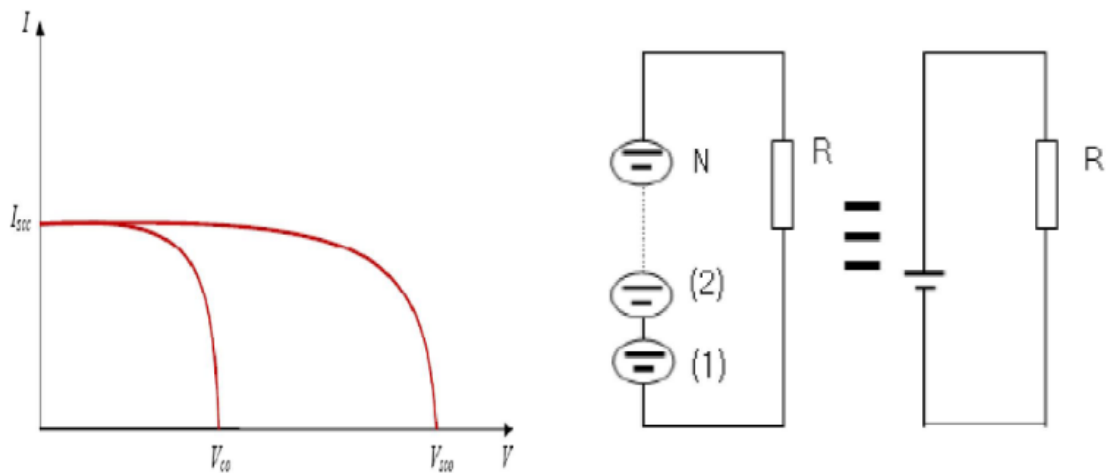


Figure I - 14 : Caractéristique courant tension de N_s cellule en série. [4]

I.8.2 Regroupement en parallèle

Dans un groupement N_p identique connecté en parallèle figure (I-15), les cellules soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement sont obtenue par addition des courants [4].

- $I_{ccp} = N_p \times I_{cc}$
- $V_{co} = V_{cop}$

I_{ccp} : La somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle.

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

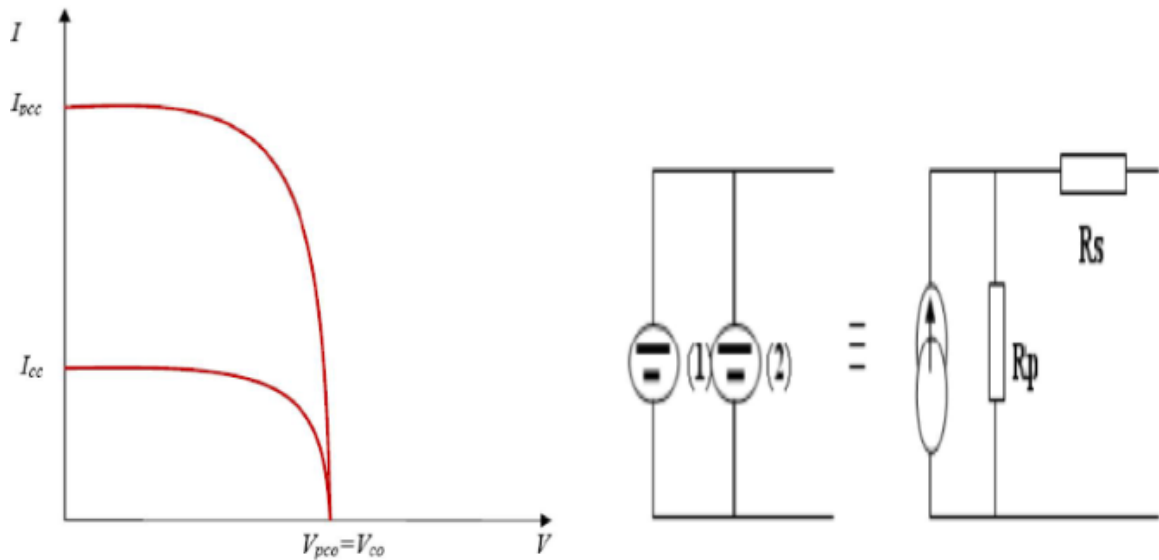


Figure I - 15 : Caractéristique courant tension de Ns cellule en parallèle. [4]

I.9 Conclusion

La technologie de conversion photovoltaïque est l'une des façons les plus courantes d'utiliser l'énergie solaire. Elle permet d'obtenir de l'électricité à l'aide d'équipements fiables directement et indépendamment et avec une durée de vie relativement longue, ce qui permet de réduire la maintenance. Tous les pays développés et en développement cherchent à développer cette technologie et la rendre moins coûteuse en intensifiant la recherche dans ce domaine pour se passer d'autre énergie fossile

Chapitre II : Système photovoltaïque autonome

II.1 Introduction

Lorsque nous parlons de systèmes d'énergie solaire ou de production d'électricité grâce à l'énergie solaire, nous entendons par vous : un système autonome ou un système hybride ou connecté au réseau.

En fait, le choix entre les systèmes d'énergie solaire n'est pas aléatoire, mais il existe des critères sur la base desquels la sélection est faite entre les systèmes. Par exemple, s'il s'agit d'un endroit où le réseau électrique n'est pas disponible en premier lieu, nous n'avons pas d'alternative au système autonome, qui nécessite la présence de batteries de stockage pour être utilisées la nuit, ce qui est l'élément que nous trouvons dans les systèmes connectés au réseau dont le prix est bas par rapport aux systèmes autonomes.

Dans chapitre, nous parlons des composants les plus importants des systèmes autonomes et des caractéristiques de chaque élément.

II.2 Systèmes isolé ou autonome

Ce système fournit de l'électricité pour des régions non reliés au réseau. Il possède plusieurs domaines d'applications telles-que le pompage d'eau, les stations industrielles pour alimenter le système de protection, de surveillance et de comptage. Il est très utilisé dans les stations spatiales et les relais de communications. Ce système, produit l'énergie électrique qui est utilisée directement ou stockée dans des batteries [8].

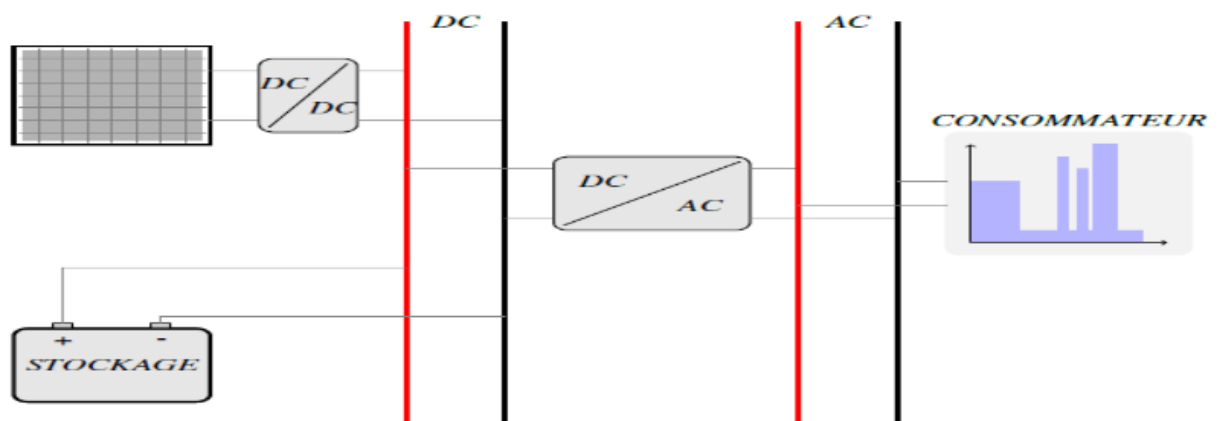


Figure II - 1: Exemple d'installation photovoltaïque autonome [8]

II.3 Composants du système photovoltaïque autonome

Dans les infrastructures hors-réseau, le système PV est soit indépendant ou possède une configuration centralisée qui dessert plusieurs unités. Le système distribue soit un courant direct continu (CD) ou un courant alternatif (CA). Les principales composantes du système sont les panneaux PV, les batteries et un contrôleur de la charge d'énergie. De plus, un onduleur est utilisé dans les systèmes qui distribuent un courant alternatif (CA). Ce système solaire est composé de 5 éléments essentiels qui sont [9] :

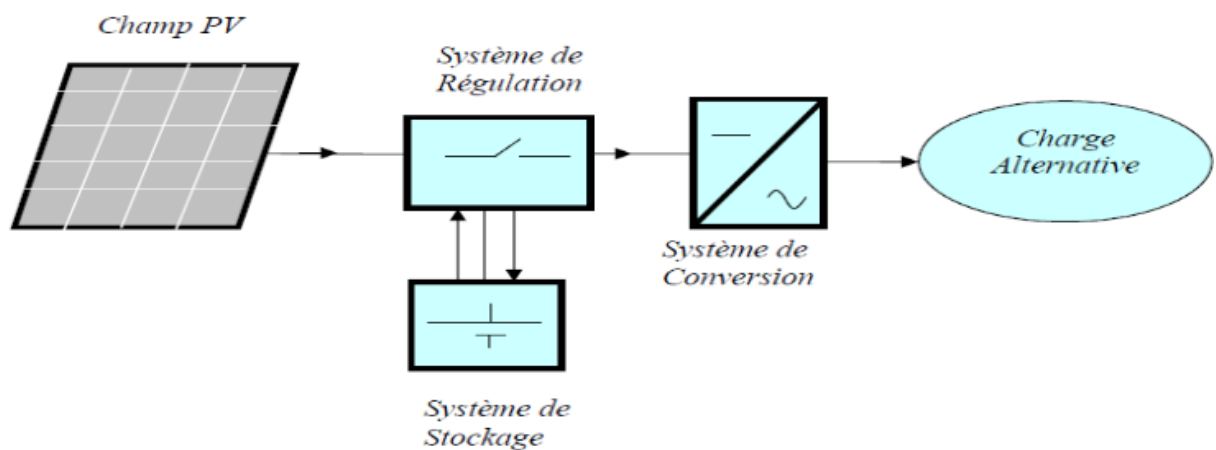


Figure II - 2 : Schéma d'un système photovoltaïque autonome

II.3.1 Modules PV

Les modules des panneaux photovoltaïques dans les systèmes autonomes sont généralement configurés pour fournir des tensions continues nominales de 12V, 24V et, dans les systèmes plus grands, 48V. Cela signifie que les modules sont généralement connectés en série. Afin de faciliter l'interconnexion des modules, il est préférable d'utiliser des modules avec boîtes de jonction plutôt que des modules avec câbles enfichables (comme c'est le cas pour configurer les longues chaînes utilisées dans les réseaux connectés au réseau). La plupart des systèmes autonomes sont 24V [14].



Figure II - 3 : Champ Photovoltaïque

II.3.2 Système de stockage

Le stockage d'énergie dans les installations photovoltaïques autonomes d'objectif de fournir d'énergie à tout moment, quelles que soient les séquences d'ensoleillement. Le stockage est assuré par des batteries (accumulateurs). [11].

II.3.2.1 Batteries

Les batteries sont des ensembles des cellules électrochimiques (accumulateur) connectées en série, qui convertissent l'énergie chimique en énergie électrique. Les cellules de la batterie se composent de deux électrodes (positive et négative) [9].

A la charge, l'énergie électrique fournie par le générateur est stockée dans les cellules sous forme d'énergie chimique [9].

A la décharge, l'énergie qu'il stocke dans la batterie et convertie en énergie électrique lorsque la batterie est reliée à un circuit comportant une charge [9].

Les batteries les plus utilisées pour les générateurs autonomes sont en générale de type au plomb-acide et nickel-cadmium [9].

II.3.2.1.a Caractéristiques principales d'une batterie

- **Capacité**

La capacité d'une batterie est la quantité d'énergie que l'on peut stocker et que l'on peut restituer parcelle-ci sous tension nominale elle est exprimée en ampère-heure (Ah) [11].

- **Rapports de chargement et déchargement**

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite [11].

- **Durée de vie**

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ses caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation

de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles).
[11]

- **Profondeur de décharge**

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge [11].

- **Tension d'utilisation**

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge [11].

- **Rendement**

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur [11].

- **Taux d'autodécharge**

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné [11].

- **Charge**

Pendant la charge, l'accumulateur est un récepteur (environ 2,2 V) : en fin de charge (point M), on note un accroissement rapide de la tension, les plaques complètement polarisées, la fin de charge est atteinte à 2,6 ou 2,7V. [11]

II.3.2.1.b Critères de choix d'une batterie solaire

a) Critères techniques

Les batteries solaires subissent un grand nombre de cycles charge / décharge et leur état de charge évolue au fil de la journée et encore plus au cours des [13] :

- C'est souvent à la fin de l'hiver que les batteries sont le plus déchargées.
- Les batteries solaires doivent supporter un grand nombre de cycles et doivent supporter la décharge profonde.
- On installe généralement des batteries pouvant supporter plus de 300 cycles à 80 % de décharge.

- Une batterie solaire doit résister à une profondeur de décharge pouvant dépasser les 80 % et atteindre 100 % de décharge (mauvais ensoleillement, forte consommation électrique occasionnelle, tension de coupure des convertisseurs trop faible (10,5 V) ...).
- L'obtention du courant électrique à partir de panneaux solaires reste chère et la batterie solaire optimale devrait stocker l'énergie électrique avec le moins de perte possible (bon rendement de charge).

Une batterie déchargée doit accepter toute l'énergie en provenance des panneaux solaires afin de ne pas gaspiller l'énergie chèrement produite. L'acceptation de la charge d'une batterie solaire doit être bonne pour que les batteries se rechargent rapidement. Une fois stockée sous forme chimique, cette énergie électrique ne doit pas être perdue [13] :

- L'autodécharge de la batterie doit être la plus faible possible.
- Une bonne acceptation de la charge et une faible auto décharge favorisent un état de charge élevé, ce qui a une influence directe sur la durée de vie des batteries.
- La durée de vie d'une batterie dépend de beaucoup des paramètres de charge (tensions...) qui eux-mêmes varient avec la température des batteries : une batterie "idéale" sera peu sensible à de mauvais paramètres de charge (régulateur solaire pas adapté, mal réglé, pas de compensation en température...).

b) Critères économiques

Le coût d'achat des batteries est évidemment un critère important...Au prix initial s'ajoute les coûts liés au transport, les frais liés à l'entretien des batteries que l'on cherchera à minimiser [13].

c) Critères liés à la sécurité

L'absence de projections d'acide et de dégagement d'hydrogène est un critère important.
[13]

II.3.2.1.c Groupement de batteries

➤ Mise en série/parallèle

On peut connecter en série/parallèle des batteries solaires exactement identiques et de même âge. Pour chaque chaîne de batterie, monter un fusible en série dans le câblage. Il est toujours avantageux de surdimensionner une batterie au départ, la mise en parallèle de batteries

d'âges différents étant fortement déconseillée, la batterie la plus âgée faisant vieillir prématurément la nouvelle. Il est également meilleur d'utiliser une grande batterie plutôt que deux petites totalisant la même capacité [11].

II.3.2.1.d Types d'accumulateurs

Plusieurs types d'accumulateurs sont en vente sur le marché.

➤ Accumulateurs au plomb acide

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale. [12]

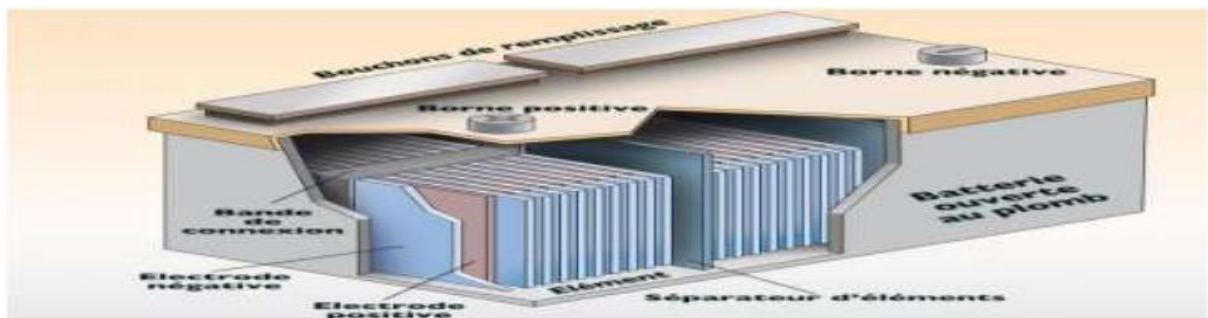


Figure II - 4 : Batterie ouverte au plomb [12]

➤ Accumulateurs au Nickel- cadmium

Les batteries de nickel- Cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb-Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium. La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages [12] :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Pas d'émanation toxique à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel.

➤ **Accumulateurs NiMH (Nickel-Métal-Hydrure)**

Ces batteries remplacent les NiCD car elles sont moins toxiques. Elles sont cependant assez chères et sont utilisées dans les installations haute gamme. Leur durée de vie est beaucoup plus grande que celle des batteries au plomb (50% de plus) mais leur capacité est extrêmement faible (quelques Ah au maximum). [13]

➤ **Accumulateurs Li-ion (Lithium-ion)**

- Son énergie massique est très importante ce qui fait de la batterie Li-ion une des moins lourdes et des moins volumineuses.
- Son rendement est excellent et son autodécharge relativement faible. Le gaspillage est donc réduit
- Un système de sécurité supplémentaire y est intégré car cette batterie présente des risques d'explosion lorsqu'elle est surchargée, trop déchargée ou court-circuitée. Sa durée de vie est d'environ 3ans [13].

II.3.3 Onduleur

Les panneaux solaires produisent de l'électricité en courant continu, mais la plupart des appareils domestiques et industriels ont besoin de courant alternatif [14].

Un onduleur, est un dispositif permettant de transformer une énergie électrique de type continue en type alternatif. La fonction principale de cet dispositif est de créer au niveau de sa sortie une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace à partir d'une tension continue en entrée [14].



Figure II - 5 : onduleur [14]

II.3.3.1 Caractéristiques principales d'un onduleur autonome sont les suivantes :

- La tension d'entrée (12V, 24V ou 48 V)
- La tension de sortie 230V AC à 50 Hz (parfois la forme d'onde est sinusoïdale, plus souvent carrée ou pseudo sinusoïdale ce qui se traduit par une augmentation des pertes quand la charge est un moteur)
- La puissance nominale et la puissance en pointe (typiquement 50% de plus que la valeur nominale)
- Le rendement (généralement > à 90% mais donné en fonctionnement nominal, et donc beaucoup plus mauvais pour une puissance inférieure)
- Les protections (court-circuit charge, chute de tension côté batterie)
- Le prix (très variable selon le type et la puissance des charges utilisées). [14]

II.3.3.2 Différents types d'onduleurs autonomes**1) Onduleurs à onde carré**

C'est la technique la plus simple et la plus ancienne pour générer une onde alternative. Mais ne sont pas toujours capables d'alimenter certains appareils [11].

2) Onduleurs à onde sinusoïdale modifiée

La technologie utilisée est plus élevée que les onduleurs à onde carré, et mieux adaptés aux installations photovoltaïques autonome en termes d'efficacité et de rendement globale [11].

3) Onduleurs à onde sinusoïdale

Sont généralement les plus chers et plus aboutie que les onduleurs précédents. [11]

II.3.3.3 Critères de choix des Onduleurs

Avant de choisir un onduleur il faut s'assurer [15] :

- L'onduleur peut démarrer le récepteur (seul un essai est vraiment relevant).
- Son rendement est suffisant au point de fonctionnement de la charge.
- La charge tolère la distorsion de l'onduleur (forme de l'onde).

- Les variations de la tension de sortie sont acceptées par la charge (récepteur).
- L'onduleur protège contre la surcharge.
- L'onduleur coupe l'utilisateur en cas de basse tension (protection de la batterie).

II.3.4 Régulateur

- Le régulateur assure deux fonctions principales [16] :
 - La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
 - L'optimisation du transfert d'énergie du générateur PV à l'utilisation

II.3.4.1 Principe de son fonctionnement

Information sur l'état de charge : La densité de l'électrolyte de la batterie est théoriquement un excellent indicateur d'état de charge, mais souvent cet indicateur ne prend sa valeur caractéristique que plusieurs jours après sa charge. De plus, il faudrait agiter l'électrolyte pour faire une bonne mesure. Enfin, cette mesure est difficile à automatiser. Finalement l'indicateur utilisé est la tension aux bornes de la batterie. Cette grandeur est la seule facilement mesurable capable de donner une estimation de l'état de charge. La figure (II- 6) représente un schéma électronique de principe qui traduit le fonctionnement d'un régulateur basé sur un comparateur de tension. [17]

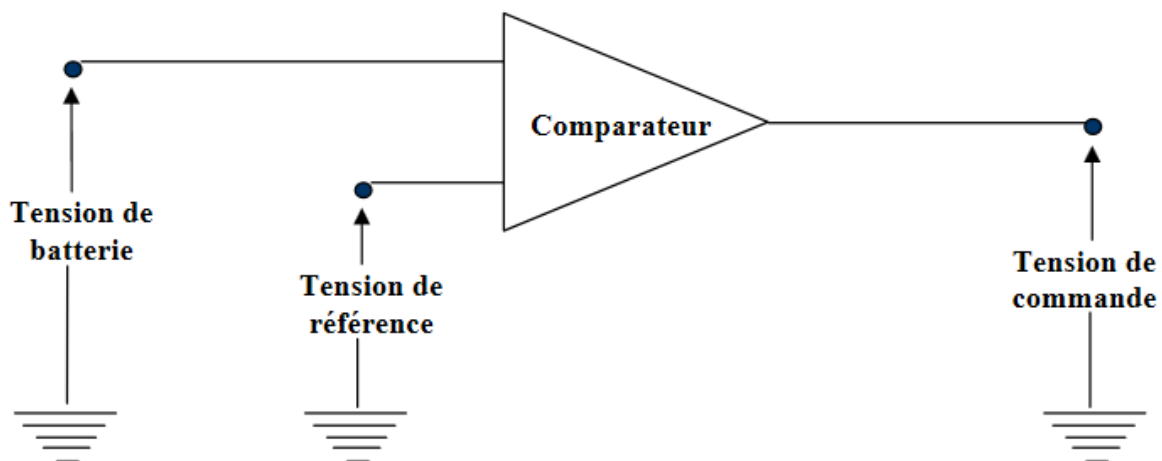


Figure II - 6 : Schéma de principe d'un régulateur de charge [17]

II.3.4.2 Différents types des régulateurs

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.). [17]

➤ Régulateur série

Le principe de la régulation série est décrit sur la figure (II-7) 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. [17]

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

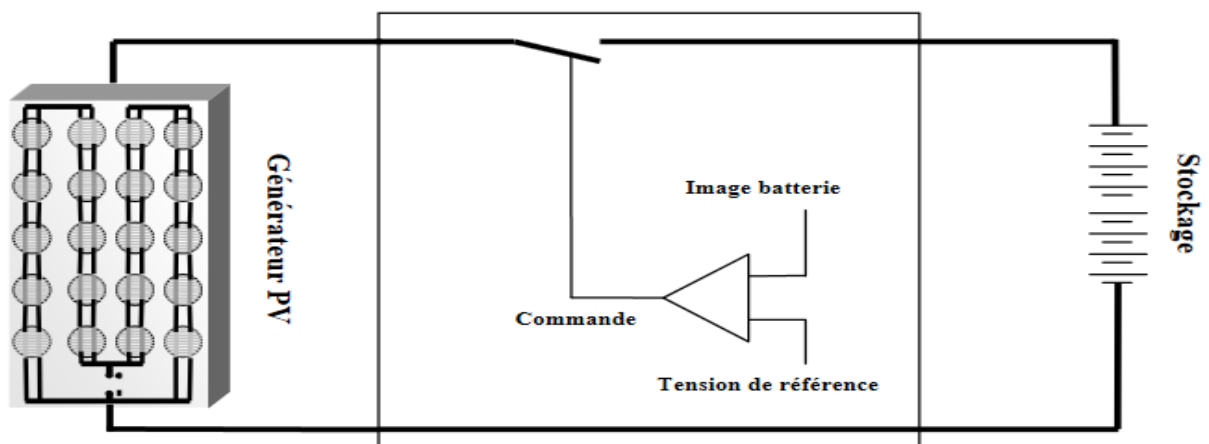


Figure II - 7 : Régulateur série [17]

➤ 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 (II-8), 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 [17] :

- 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

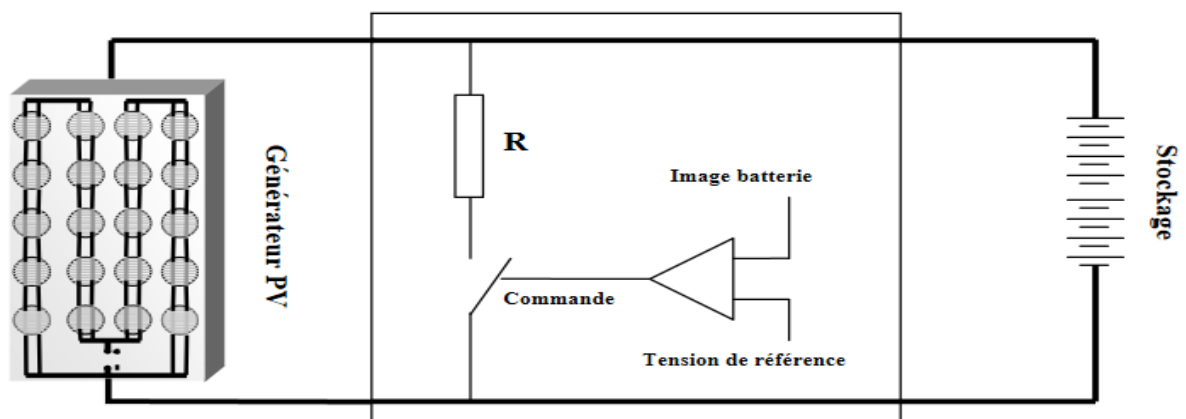


Figure II - 8 : Régulateur parallèle [17]

➤ Régulateur PWM

Le PWM ou régulateur solaire classique est piloté par un microprocesseur Et s'adapte automatiquement à la tension du système photovoltaïque [11].

Les régulateurs de charge PWM connectent directement le panneau solaire à la batterie à charge, donc la tension de la batterie qui définit la tension de fonctionnement du module [11].

Si la batterie est déchargée, les impulsions de courant sont longues et presque interrompues. Quand la batterie est chargée, les impulsions deviennent de plus en plus brèves et espacées [11].

➤ Régulateur MPPT

Les régulateur MPPT ou Maximum Power Point Tracking, utilise un circuit spécial cherche le point de puissance maximale du générateur pour charger la batterie (l'accumulateur) avec le plus grand courant possible. L'avantage de ce type de régulateur est qu'il permet de travailler dans une grande plage de température. [11]



Figure II - 9 : Régulateur MPPT [11]

Fonctionnement d'un régulateur MPPT

Pour un même éclairement, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge à chaque instant. [11]

La puissance extraite du module est calculée à partir des mesures de courant I et de tension V du module et la multiplication de ces deux grandeurs puis la régulation se réalise par la commande MPPT. Cette commande fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS) à une valeur de référence constante, à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. [11]

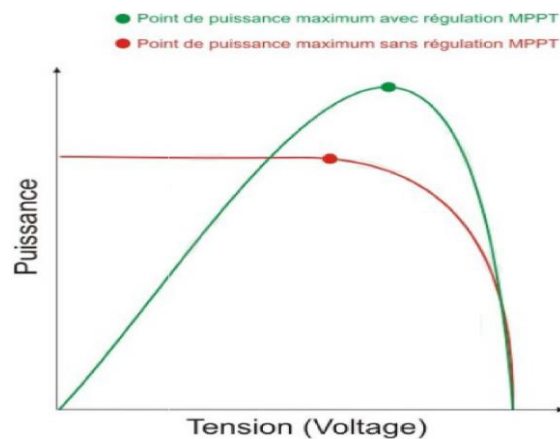


Figure II - 10 : Graphe du rendement de puissance MPPT [11]

II.3.4.3 Critères de choix des Régulateurs

Diode de blocage de type « Schottky » (si nécessaire) ;

- Bornes de qualité, accès facile ;
- Consommation interne minime (quelques mA au maximum) ;
- Compensation thermique de la charge ($T > 30^{\circ}\text{C}$ et $T < 0^{\circ}\text{C}$) ;
- Réenclenchement manuel des sorties pour systèmes habités ;
- Indicateurs de pleine charge et de coupure de la sortie ;
- Protection des sorties (fusibles) [18]

II.3.5 Charge

La charge représente les différentes applications du système PV, allant du simple chargeur de batterie aux systèmes de pompage d'eau. Ainsi les principales applications sont : utilisations domestiques (électrification), télécommunications, protection cathodique des pipelines, appareillages de contrôle de l'environnement, météorologie, transports, utilisations maritimes, activités récréatives, appareillages de sécurité, ...etc. D'autres applications plus importantes se trouvent actuellement au stade de pratique courante, à savoir : fourniture de courant pour les stations radio et télévision (TV), le dessalement de l'eau et la production d'hydrogène par électrolyse. [17]

Ces applications peuvent nécessiter différents types d'alimentation (tension continue ou alternative). Elles se différencient par leur utilisation diurne, nocturne ou constante sur la journée ainsi que par leur nature (puissance constante, résistive, inductive ou capacitive). Notre étude portera sur l'électrification d'un petit village dans un site isolé. [17]

II.3.6 Câblages

Le choix du câble est primordial pour le bon fonctionnement du système. Une section de câble insuffisante va provoquer une grande perte d'énergie. Le dimensionnement du câble est défini par le courant et la tension qui le traverse ainsi que par sa longueur. [19]

II.4 Avantages de l'installation PV autonome :

Avoir accès à l'électricité dans des endroits isolés non raccordés au réseau [14] :

- Produire et consommer sa propre énergie propre
- Ne pas dépendre du réseau électrique pour le rachat de l'électricité produite
- Avoir la possibilité de tester une petite installation à faible coût.

II.5 Conditions et inconvénients d'une installation PV autonome :

- La nécessité d'un dimensionnement approprié de son système afin de ne jamais manquer d'électricité
- La dépendance au soleil
- La nécessité de maîtriser sa consommation électrique
- Le coût des batteries [14]

II.6 Conclusion

Comme nous avons mentionné en introduction, malgré l'augmentation du coût des systèmes autonomes, il reste l'une des principales solutions pour assurer la continuité de l'approvisionnement en énergie électrique tout au long de la journée car il dépend du rayonnement solaire dans sa source primaire et aussi garantit qu'il n'y a pas d'interruptions fréquentes qui se produisent habituellement dans le réseau électrique.

Chapitre III : Méthodes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques

III.1 Introduction

À la lumière de la tendance mondiale sur les énergies alternatives, l'énergie solaire est une forme d'énergie renouvelable car c'est une source disponible, gratuite, propre et respectueuse de l'environnement, contrairement aux combustibles fossiles qui donnent peu de production et provoquent une pollution majeure qui balaie le monde. Afin d'exploiter l'énergie solaire, la technologie photovoltaïque a directement contribué à cette transformation en créant plusieurs méthodes pour déterminer les dimensions de tout système solaire et de tous ses composants.

Dans ce chapitre, nous discuterons de certaines des méthodes impliquées dans le dimensionnement du système PV :

- Dimensionnement de champ PV.
- Dimensionnement de batterie.
- Dimensionnement de L'onduleur.
- Dimensionnement de Régulateur.
- Dimensionnement des câbles.

III.2 Définition et but du dimensionnement

Le dimensionnement précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, le dimensionnement a pour but de déterminer la puissance-crête du générateur photovoltaïque et la capacité de la batterie de stockage et cela en fonction des paramètres d'entrée qui sont, d'une part, les données d'ensoleillement du site d'implantation et d'autre part, les besoins électriques demandée par l'utilisateur (profil de charge). [20]

Il existe deux types de systèmes photovoltaïques : connectés au réseau qui travaille pour combler la carence du réseau, le second type est autonome et fonctionne sur l'alimentation des zones isolées, ces deux types nécessitent une étude de dimensionnement avant d'y parvenir.

Jusqu'à présent, plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature pour le dimensionnement de systèmes photovoltaïques autonomes, ces méthodes reposent sur les données moyennes mensuelles de l'éclairement solaire et utilisent des calculs simplifiés.

D'autres méthodes sont basées sur la simulation du fonctionnement du système photovoltaïque en prenant comme données d'entrées les valeurs horaires de l'éclairement solaire rayonnement. L'utilisation d'une méthode ou de l'autre dépend de plusieurs facteurs, à savoir la précision, la disponibilité des données initiales. [20]

III.3 Présentation des paramètres d'entrée intervenant dans le dimensionnement

Lors de la conception de tout système photovoltaïque, certains principes de base doivent être pris en considération :

- L'emplacement de l'installation du système photovoltaïque.
- Type et nombre d'appareils utilisés (modules, régulateur, convertisseur et batteries).
- La charge.

a) Paramètres relatifs au site d'installation

Le dimensionnement du générateur PV est dicté par les conditions relatives au site. Pour adopter les capacités générateur PV / batterie, aux conditions de charge, il est indispensable de connaître les caractéristiques de l'irradiation solaire par jour ou par mois, soit l'énergie moyenne reçue sur un plan donné, à l'endroit même où sera situé le générateur PV. Les données doivent être connues pour chaque mois de l'année. Elles peuvent être obtenues par des organismes nationaux de météorologie ou par des calculs (outil informatique), qui exigent les paramètres d'entrées suivants [9] :

- | | |
|------------|---|
| ➤ Latitude | ➤ Albédo |
| ➤ Altitude | ➤ Irradiation moyenne journalière la plus défavorable dans l'année. |

b) Paramètres relatifs au système PV

Les paramètres concernant le système donnent à titre indicatif un ordre de grandeur du rendement de l'installation, sont relatifs aux modules photovoltaïques, éléments de batterie, régulateur et convertisseurs existants dans le marché. Ces paramètres basés sur un critère liant d'un côté la satisfaction des besoins et le fonctionnement optimal du système et de l'autre la disponibilité. [9]

c) Paramètres concernant le module PV

Les paramètres concernant le module photovoltaïque sont [21] :

- Tension maximale.
- Courant maximal.
- Puissance maximale.
- Selon notre choix, Les paramètres du module aux conditions standards (1000 W, 25 °C) sont donnés par le constructeur.
- L'inclinaison des modules, est un paramètre qui Concernant à la latitude du lieu.

d) Paramètres concernant les batteries de stockage

Les paramètres relatifs au système de stockage sont donnés selon la disponibilité des batteries à capacité normalisée [21] :

- Profondeur de décharge selon le constructeur.
- Rendement énergétique de la batterie.

e) Paramètres concernant le régulateur de charge

Les paramètres sont, la tension selon la puissance de la charge et le rendement donné par le constructeur.

f) Paramètres concernant l'onduleur

Pour l'onduleur continu/alternatif on précisera le rendement seulement, qui est aussi donné par le constructeur. [21]

g) Paramètres concernant la charge

Les paramètres concernant la charge sont [21] :

- Le Type d'alimentation continue ou alternative.
- La Puissance de la charge.
- La Durée de fonctionnement moyenne par jour.

III.4 Etapes du dimensionnement

Afin de déterminer le dimensionnement de system photovoltaïque, les étapes suivantes doivent être suivies [22] :

- **Etape 1** : Détermination des besoins de l'utilisateur : puissance des équipements et durée d'utilisation.

- **Etape 2 :** Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique.
- **Etape 3 :** Choix des modules photovoltaïques : tension de fonctionnement, technologie, puissance totale à installer (puissance crête).
- **Etape 4 :** Définition de la capacité des batteries et choix de la technologie.
- **Etape 5 :** Dimensionnement et choix du régulateur.
- **Etape 6 :** Dimensionnement de l'onduleur.
- **Etape 7 :** Choix des câbles.

III.5 Méthodes de dimensionnement

Il existe plusieurs méthodes des dimensionnements les systèmes photovoltaïques parmi celles-ci :

III.5.1 Méthode du mois le plus défavorable

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays la période d'hivers est rude [21].

III.5.1.1 Consommation énergétique

Les besoins seront déterminés à partir des équipements électriques bureautiques existants ou envisagés. Un travail de recensement des équipements et d'identification des puissances ou des consommations normalisées est alors réalisé. Puis les consommations donc les besoins sont déterminés, soit par calcul à partir de la puissance des appareils et de leur temps d'utilisation (éclairage, ordinaire...), soit par relevé des consommations normalisées forfaitaires journalières données par les constructeurs. [19]

III.5.1.2 Besoins énergétiques des applications

Evaluer sérieusement nos besoins en énergie permet que l'on dispose d'un système bien adapté, sachant que toute exigence supplémentaire se traduira par une augmentation de la

puissance à mettre en œuvre : plus de panneaux, plus de batterie. La puissance "P "est une donnée instantanée par contre l'énergie "E "c'est le produit de la puissance par le temps "t " : [9]

$$E = P.t \quad (\text{III.1})$$

En effet, comme un système photovoltaïque fournit son énergie le jour, il est naturel de prendre la période de 24h comme unité de temps. On notera $E_{\text{cons}}(t)$, l'énergie électrique consommée en 24h par l'application, en Wh/j. On l'appelle consommation journalière. Pour calculer la consommation totale de nos applications, on calcule l'énergie électrique consommée en 24h par chaque appareil ou chaque fonction électrique et on les additionne : [9]

$$E_{\text{cons}} = \sum_{i=1}^n P_i * T_i \quad (\text{III.2})$$

E_{cons} : l'énergie électrique consommée [Wh]

P_i : puissance électrique consommée [W]

T_i : temps de fonctionnement [t]

III.5.1.3 Energie solaire récupérable

III.5.1.3.1 Etude de l'inclinaison et orientation des panneaux

L'énergie fournie par les capteurs photovoltaïques est directement proportionnelle à l'ensoleillement. Afin d'optimiser au mieux l'installation solaire il faut donc tenir compte de ce facteur, qui dépend à son tour du lieu de l'installation, de l'orientation et de l'inclinaison de ces capteurs. [13]

Idéalement, Ils doivent être orientés en plein Sud dans l'hémisphère Nord et en plein Nord dans l'hémisphère Sud, à l'écart des zones ombragées, et inclinés d'un angle qui permet l'optimisation de l'énergie récupérée. [13]

Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison β (par rapport à l'horizontale), et son orientation ou azimut χ par rapport au sud. [13]

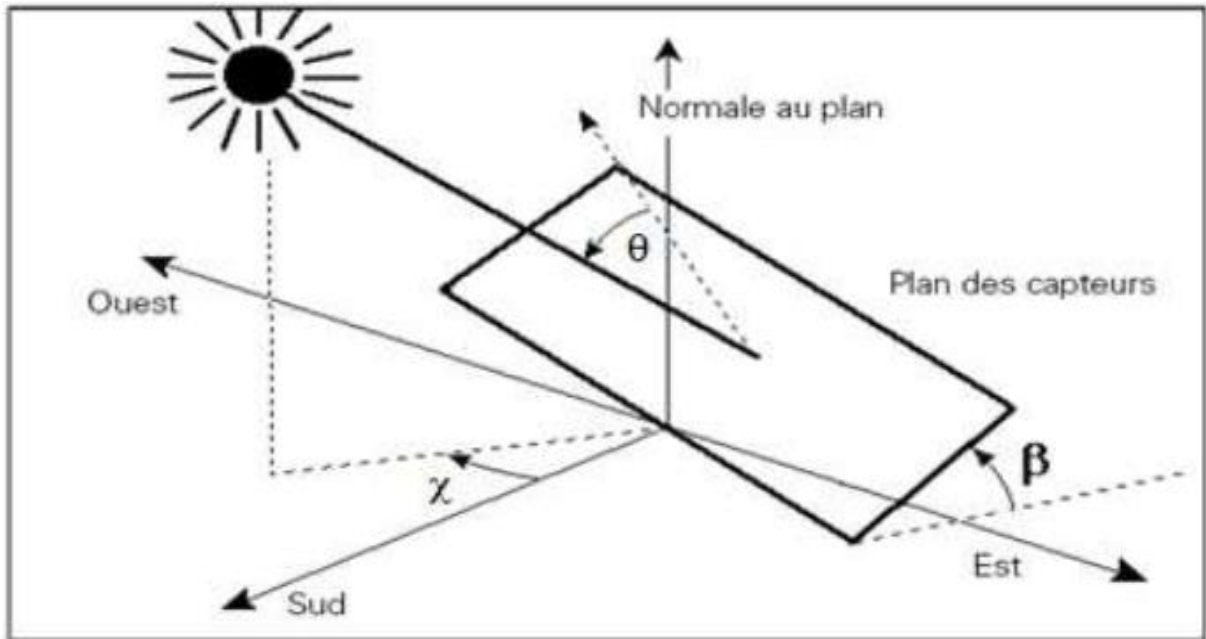


Figure III - 1 Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , azimut χ et l'angle d'incidence θ [13]

Plus les rayons sont proches de la perpendiculaire au plan des panneaux ($\cos \theta \approx 1$), plus la quantité d'énergie disponible est importante.

- En moyenne, sur l'année, l'inclinaison optimale pour maximiser l'énergie annuelle produite est égale à la latitude du lieu.
- Une inclinaison plus forte que la latitude peut augmenter l'énergie récupérée en hiver (la trajectoire du soleil étant basse dans le ciel), au détriment de celle récupérée en été. L'inverse est réalisé pour une inclinaison plus faible que la latitude. Ces considérations sont prises en compte lors du dimensionnement d'un système photovoltaïque. [13].

Tableau III - 1 : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle [13]

Latitude $\varphi(^{\circ})$	Inclinaison $\beta(^{\circ})$
$\varphi < 10^{\circ}$	10°
$10^{\circ} < \varphi < 30^{\circ}$	φ
$30^{\circ} < \varphi < 40^{\circ}$	$\varphi + 10^{\circ}$
$\varphi > 40^{\circ}$	$\varphi + 15^{\circ}$

III.5.1.4 Données météorologiques

La conception des systèmes photovoltaïques nécessite la connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation. Cette connaissance est l'un des paramètres essentiels de l'étude préalable. [22]

Pour un besoin électrique donné, plus l'énergie solaire reçue est grande, moins est le nombre de panneaux solaires à installer et inversement. [22]

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé au sol. L'influence de l'atmosphère provoque la diffusion et l'absorption d'une partie du rayonnement incident.[22]

La modification par l'atmosphère du rayonnement solaire obéit à des phénomènes assez complexes et surtout en grande partie aléatoires. [22]

La modification par l'atmosphère du rayonnement solaire obéit à des phénomènes assez complexes et surtout en grande partie aléatoires. Le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépend d'un grand nombre de paramètres [22] :

- Gaz présents dans l'atmosphère.
- Température ambiante.
- Nuages.
- Vent. -Humidité relative.
- Albédo (réflectivité du sol).
- De l'heure de la journée.
- Des conditions météorologiques du moment.

III.5.1.5 Dimensionnement des modules photovoltaïque

a) Calcul de la puissance crête du système

La puissance crête d'un module est par définition la puissance maximale qu'il délivre sous les conditions standards (rayonnement solaire de 1000W/m^2 , température ambiante 25°C). Elle est évaluée en watt crête (W_c) et peut être déterminée comme suit [10] :

$$P_c = \frac{E_c}{K.I_r} \quad (\text{III.3})$$

Avec

P_c : Puissance crête de champs photovoltaïque en Watt crête (Wc)

E_c : Energie consommée par jour (Wh/jour)

I_r : Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour) L'incertitude météorologique

K : Coefficient correcteur, ce coefficient tient compte :

- Le point de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par la baisse des caractéristiques des modules et la perte de rendement des modules dans le temps
- Le rendement des cycles de charges et de décharge de la batterie (90%)
- Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95 %)
- Les pertes dans les câbles et les connexions

Pour les systèmes avec batteries, on prend généralement $k = 0,50$ à $0,85$.

b) Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la valeur de puissance crête du champ photovoltaïque en watt. Selon le tableau suivant :

Tableau III - 2 : Tension du champ en fonction de sa puissance crête

Puissance crête (WC)	Moins de 500WC	De 501WC à 2000WC	De 2001WC à 10000WC	Plus de 10000 WC
Tension de champ (V)	12	24	48	96

c) Détermination du nombre des modules

- Le nombre des modules il est déterminé par relation suivante :

$$Nm = \frac{P_c}{\text{Puissance crête unitaire de module}} \quad (\text{III.4})$$

- **Le nombre des modules connectés en série :**

$$N_{ms} = \frac{V_{ch}}{V_n} \quad (III.5)$$

V_{ch} : Tension totale du champ.

V_n : La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque

- **Le nombre des modules connectés en parallèles :**

$$N_{mp} = \frac{N_m}{N_{ms}} \quad (III.6)$$

N_m : Nombre total de modules photovoltaïques

N_{ms} : Nombre de modules connectés en série

III.5.1.6 Dimensionnement des éléments de stockage

a) Evaluation de la capacité réelle

- La capacité de la batterie exprimée en [Ah] est donnée en fonction :
 - De l'énergie consommée par les diverses utilisations.
 - De la tension des batteries à utiliser.
 - Du nombre de jours d'autonomie souhaité.
 - De la profondeur de décharge maximale acceptable par la batterie d'après le type de batterie comme indique la formule suivante. [10]

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U} \quad (III.7)$$

Avec :

C_{ch} : Capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah)

E_c : Énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batterie (V) [13]

b) Nombre de batteries :

- **Nombre de batteries en séries :**

$$N_{\text{batterie serie}} = \frac{V_{\text{ch}}}{V_{\text{batterie}}} \quad (\text{III.8})$$

V_{ch} : Tension du champ

V_{batterie} : La tension de la batterie

c) Nombre de batterie en parallèles :

$$N_{\text{batterie p}} = \frac{N}{N_{\text{batterie s}}} \quad (\text{III.9})$$

- Le nombre total de batteries à utiliser :

$$N_T = N_{\text{batterie p}} \times N_{\text{batterie s}} \quad (\text{III.10})$$

Avec :

C_{ch} : Capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation photovoltaïque.

C : batterie : capacité d'une batterie.

La durée de vie en d'une batterie décroît rapidement lorsque la profondeur de décharge augmente. En général, on essaie de limiter la profondeur de décharge à 50%, c'est-à-dire que l'on utilisera que la moitié de la capacité de batteries [13].



Figure III - 2 : batterie solaire

III.5.1.7 Dimensionnement du régulateur

Parmi les différents types de régulateurs, on doit choisir, celui qui est le mieux adapté à notre installation. Afin de déterminer ses caractéristiques on sépare souvent les deux fonctions de régulateur [20].

La régulation de charge (à l'entrée) est fonction de la puissance du générateur, donc du courant produit par les modules [20].

La régulation de décharge (à la sortie) est fonction de la puissance totale des récepteurs donc du courant consommé par ces derniers [20].

➤ **Tension nominale :** C'est la tension nominale du champ photovoltaïque[20].

➤ **Le courant d'entrée :**

Doit être supérieur à la valeur maximale produite par le générateur. Pour estimer ce courant, on prend 1.5 fois le courant de court-circuit total des modules pour un régulateur shunt (pour de faible puissance), pour un régulateur série 1.5 fois le courant total au point de puissance maximale (pour moyenne puissance) et de même pour un régulateur MPPT (pour de grande puissance).[20]

➤ **Le courant de sortie :**

Doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au point maximum de leur puissance de fonctionnement. [20]

$$I_{\max} = \frac{P_c}{U} \quad \text{(III.11)}$$

P_c : La puissance crête du champ de photovoltaïque.

U : La tension nominale du champ photovoltaïque.



Figure III - 3 :Schéma d'un régulateur de charge [13]

III.5.1.8 Dimensionnement de l'onduleur

L'onduleur est un dispositif électronique permettant la conversion du courant continu en courant alternatif avec un choix bien précis de la fréquence. Le signal généré est une onde carrée, sinusoïdale (parfaite). Le dimensionnement d'un onduleur se base sur la somme des puissances maximales de chaque équipement à alimenter dite puissance active. La puissance de l'onduleur dite « apparente » sera légèrement supérieure à la puissance active pour tenir compte des éventuels courants de pointe élevés et du facteur de puissance $\cos \theta$ [15].

Le choix d'onduleur repousseur trois critères :

- La compatibilité en puissance
- La compatibilité en tension
- La compatibilité en courant

La puissance active P correspond à la puissance électrique transportée entre le générateur et les récepteurs. Elle s'exprime en Watt (W) [15].

La puissance apparente S , est la puissance de dimensionnement que l'onduleur fournira. Elle s'exprime en Volt - Ampère (V-A) [15].

La puissance réactive Q , signifie que les récepteurs mettent en jeux des phénomènes d'accumulation d'énergie électrostatique et électromagnétique. Ceci a lieu sans dépense d'énergie électrique, mais provoque des modifications aux valeurs instantanées des intensités essentiellement par le déphasage sur la tension appliquée. L'unité de cette puissance est le Volt-Ampère-réactif (VAR). [15]

Le facteur de puissance $\cos \theta$, est le déphasage de l'intensité par rapport à la tension. Un bon facteur de puissance est celui qui s'approche beaucoup plus de l'unité. Pour notre dimensionnement, on prendra un $\cos \theta = 0,8$ [15].

a) Calcul de la puissance apparente S

- Le facteur de puissance est lié à la puissance active P et apparente S, par la relation :

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (\text{III.12})$$

La puissance réactive est le produit de la puissance apparente par le sinus de l'angle θ

$$Q = S \cdot \sin \theta \quad (\text{III.13})$$

- La puissance apparente sous forme complexe est :

$$S = P + jQ \quad (\text{III.14})$$

En module, elle s'écrit :

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (\text{III.15})$$

III.5.1.9 Dimensionnement des câbles

Pour assurer le transport de l'énergie des modules jusqu'au régulateur de charge, on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique. [13]

Les câbles solaires sont étudiés pour résister aux conditions liées à leur utilisation. Ils sont les seuls à pouvoir assurer une longue durée de vie (supérieure à 30 ans) tout en minimisant les pertes d'énergie. [13]

La résistance d'un câble électrique ne dépend ni de la tension ni de l'intensité du courant qui le traverse, mais dépend de la résistivité (ρ) du matériau utilisé (cuivre, argent, fer, ...), de la longueur du câble, de sa section, et de sa température. [13]

Le cuivre est de loin le conducteur le plus utilisé, et sa résistivité oscille entre $16 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$ à $0^\circ C$ et $17 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$ à $25^\circ C$. L'équation permettant de connaître la résistance est la suivante [13] :

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

Avec :

R : la résistance en (Ω).

ρ : la résistivité en ($\Omega.m$).

L : la longueur du câble en (m).

S : la section du câble s en (mm^2).

a) Calcul de la Section des câbles

Le choix de la section des câbles s'effectue selon deux critères majeurs :

- Le courant I dans le câble.
- La chute de tension dans le câble
 - Calcul du courant de sortie d'un panneau :

$$I = \frac{P}{U} \quad (\text{III.17})$$

Avec :

I : courant de sortie d'un panneau en ampère (A)

P : puissance d'un panneau en watt (W)

U : Tension nominal d'un panneau en (V)

- **Détermination des sections des conducteurs entre les panneaux et le boîtier de raccordement :**

$$\Delta U = U \times 0,02 \quad (\text{III.18})$$

$$R = \Delta U / I \quad (\text{III.19})$$

$$S = \frac{\rho \times L}{R} \quad (\text{III.20})$$

- **Calcul du courant circulant entre les batteries et le courant de l'onduleur :**

$$I = \frac{P_c}{U} \quad (\text{III.21})$$

Avec :

P_c : La Puissance crête du champ photovoltaïque.

U : La tension du champ photovoltaïque

- Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur

$$I_{\text{max batteries}} = \frac{P_{\text{max onduleur}}}{U_{\text{batterie}}} \quad (\text{III.22})$$



Figure III - 4 : Câble solaire [13]

III.5.2 Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation

Cette méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système dans des conditions complexes (fluctuation saisonnière de l'irradiation, ciel couvert (nuageux)...etc.) grâce à un logiciel adapté. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations pour un nombre d'années très grand (10 ans minimum) [21].

III.5.3 Méthode de la moyenne annuelle

Cette méthode est très proche de celle du mois le plus défavorable. Elle utilise aussi, l'irradiation journalière en (KWh/m²/jr), pour une durée d'une année [21].

III.5.4 Méthode des heures équivalentes

Elle considère que l'intensité fournie par un module photovoltaïque est proportionnelle l'ensoleillement, le calcul est effectué pour le mois le plus défavorable de l'année, on détermine alors le courant fourni par le champ photovoltaïque dans les conditions où la température est donnée par la relation [23] :

$$T_j = T_u + 25 \text{ en } ^\circ\text{C} \quad (\text{III.23})$$

T_u : Température diurne

L'énergie fournie par un module photovoltaïque ou une série de modules suivant la tension du système est donnée par l'expression suivante [9] :

$$E = IV(G/B)\mu S \quad (\text{III.24})$$

B : Eclairement de référence ($B=1\text{Kwh}/m^2$)

V : Tension du générateur PV

μ : Coefficient d'intégration ($\mu=95\%$)

S : Coefficient de sécurité ($\mu=85\%$)

G : Energie incidente reçue sur le plan des modules (KWh/m^2)

III.5.5 Méthode LPSP

Probabilité de Perte d'énergie (Loss of Power Supply Probability), est une technique probabiliste introduite par Abou Zahr et Ramakumar dans le domaine des systèmes de génération photovoltaïques et largement utilisée dans la conception et l'optimisation des systèmes autonome (stand alone), jusqu'à présent. Elle est basée sur le concept de LPSP qui est la probabilité que le système rencontre une pénurie à un moment donné pendant une période d'analyse, c'est-à-dire un état dans lequel le système ne serait pas en mesure de fournir l'énergie nécessaire à la charge [21].

Donc la méthode LPSP est définie comme étant la fraction de l'énergie déficitaire sur celle demandée par la charge. Elle exprime le taux de non-satisfaction de la charge. A partir de l'information sur la variabilité de la ressource renouvelable et sur la corrélation avec la charge, la méthode LPSP peut être définie, en termes d'état de charge des batteries par [21] :

$$E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1) (1-\sigma) + \left(\frac{EL(t)}{\eta_{ond}} - E_s(t) \right) \quad (III.25)$$

Où :

$E_{bat}(t)$: Energie stockée dans la batterie à une heure (t-1)

$E_{bat}(t-1)$: Energie stockée dans la batterie à l'heure précédente (t-1)

σ : Taux horaire d'autodécharge

$E_s(t)$: Energie produite par la source (Wh)

$EL(t)$: Energie demandée par la charge à une date t (Wh)

η_{ond} : Rendement de l'onduleur

III.6 Conclusion

Afin d'assurer la continuité de l'approvisionnement en énergie électrique dans les zones isolées, la détermination de dimensionnement du système photovoltaïque doit prendre une grande dimension en prenant en compte tous les éléments qui pénètrent sur le site du monument à travers lesquels on connaît la quantité d'énergie disponible. Ainsi que le choix du type de panneaux solaires, d'unités de stockage, de conducteurs de connexion et d'appareils Protection qui protège le système et les utilisateurs.

Chapitre IV : Alimentation par système photovoltaïque dans site à Kasr el Hirane

IV.1 Introduction

Afin de déterminer les dimensions de tout système photovoltaïque, il est nécessaire de connaître deux facteurs principaux. Premièrement, il faut déterminer la quantité d'énergie requise par le consommateur et la disponibilité d'un espace suffisant pour installer ce système. En ce qui concerne ses composants, il faut aussi déterminer l'efficacité du panneau solaire à travers la puissance crête. Cette dernière est un élément important qui garantit un contenté d'énergie électrique élevé durant la journée. Les coordonnées géographiques du site d'installation du système doivent être déterminées pour connaître les données d'ensoleillement afin de déterminer la quantité d'énergie de rayonnement solaire, qui dépend à son tour des heures de la journée, des mois de l'année, de la longitude et de la latitude.

Dans ce chapitre, nous déterminerons les dimensions d'un central photovoltaïque autonome de 150kWh/j en utilisant la Méthode analytique du calcul (moyenne annuelle) puis en logiciel PVsyst .Et ainsi nous discuterons des résultats des simulations.

IV.2 Identification du site à alimenter :

Nous proposerons d'alimenter une zone d'ombre située dans la région de la willaya de Laghouat (la commune de Kasr el Hirane), qui comprend environ 20 maisons.

IV.2.1 Coordonnées du site sont :

Tableau IV - 1 : Les coordonnées du site à alimenter

Latitude	33.7569°
Longitude	03.0600°
L'altitude par rapport au niveau de la mer	731 m



Figure IV - 1 : Image satellite de la zone étudiée

IV.3 Evaluation du besoin énergétique du site :

Pour calcul la somme des charges totale en va calcule la somme de charge d'une seule maison après cela multiples fois le nombre des maisons disponibles.

IV.3.1 Situation d'une maison :

Tableau IV - 2 : Consommation énergétique journalière d'une maison

Equipements	Puissance unitaire En (W)	Temps de fonctionnement (h)	Nombre	Puissance Totale En (W)	Energie moyenne journalière en (Wh/j)
Lampes LED	15	6	5	75	450
TV	50	4	1	50	200
Réfrigérateur	100	24	1	100	2400
Appliance domestique	500	5	1	300	2500
Radio	50	3	1	50	150
Machine à laver	2000	1	1	2000	2000
				2575W	7700 Wh/j

La puissance totale d'un l'ensemble des maisons :

$$\text{➤ } P_{\text{tot}} = 20 \times 2575 = 51500 \text{ W} \quad (\text{IV.1})$$

La consommation énergétique journalière d'une l'ensemble maisons :

$$\text{➤ } E_c = 20 \times 7700 = 154000 \text{ Wh/j} \quad (\text{IV.2})$$

IV.4 Détermination d'irradiation du site pour le dimensionnement

IV.4.1 Période de l'ensoleillement moyenne annuelle mondiale

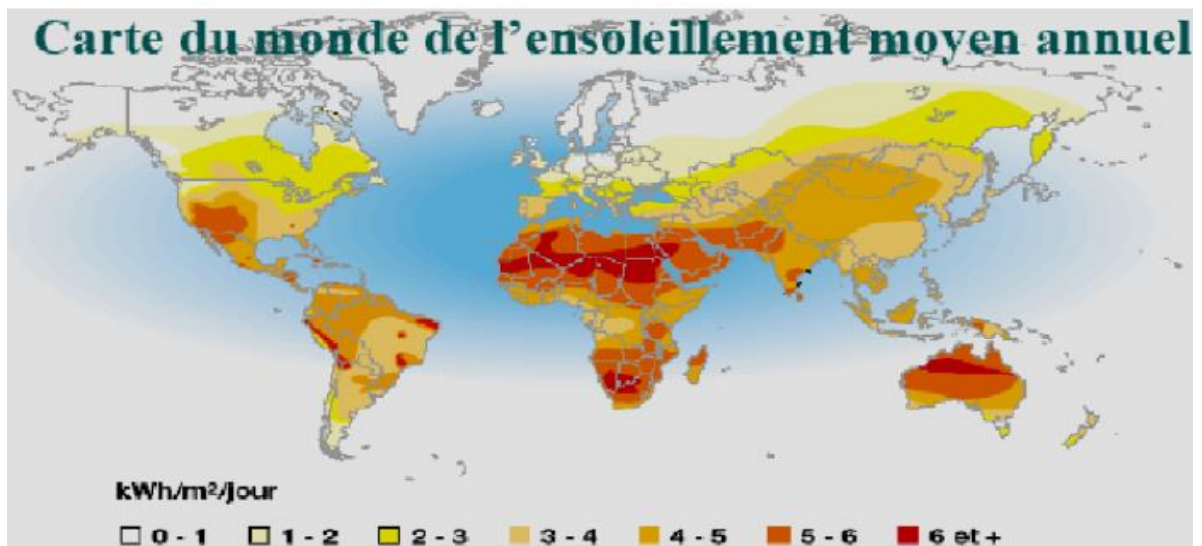


Figure IV - 2 : Carte ensoleillement [19]

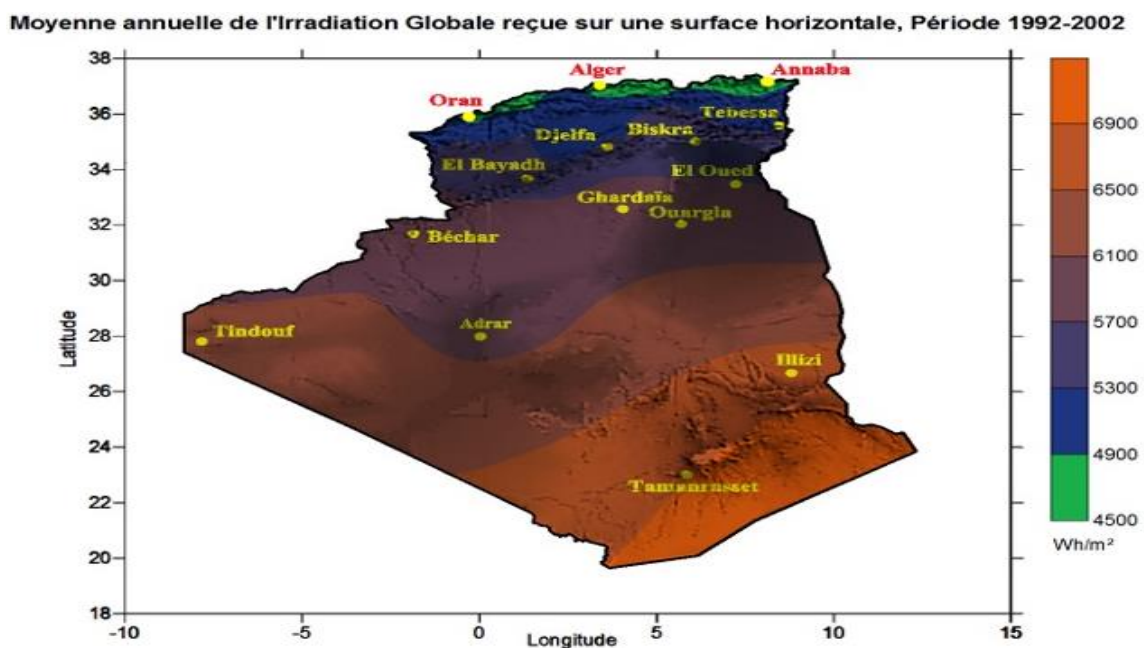


Figure IV - 3 : l'irradiation globale [19]

La figure (IV-3) Représente l'irradiation moyenne en Algérie, la région de Laghouat fait partie de l'intervalle [5700-6100] (Wh/m²/j).

L'énergie solaire est définie par le produit du nombre d'heure équivalente (la durée d'ensoleillement maximale pendant une journée par le rayonnement de référence 1000W/m²) [19].

$$E_{sol} = N_e * 1000$$

(IV.3)

(Soit $N = N_e / 1000$)

Avec :

L'insolation du site ($\text{Wh/m}^2/\text{jour}$) N_e : Nombre d'heures équivalentes (h/jour)Soit $N_e = E_{sol} / 1000$

Tableau IV - 3 : Irradiation Globale (logiciel PVsyst)

Mois	Jan	fév	Mar	Av	Ma	Jui	Juil	Ao	Se	Oc	No	Dé	Ann
E_{sol} ($\text{KWh/m}^2/\text{jour}$)	3.56	4.36	5.95	6.97	7.70	8.19	8.12	7.29	5.83	4.80	3.08	3.22	5.83
N_e (h/jour)	3.56	4.36	5.95	6.97	7.70	8.19	8.12	7.29	5.83	4.80	3.08	3.22	5.83

IV.5 Dimensionnement du générateur photovoltaïque :

Avant de commencer à calculer le nombre de panneaux solaires, il faut déterminer la puissance crête du champ photovoltaïque.

I_r = irradiation moyenne de $5.83 \approx 6 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$.

$K=0.76$ facteur de correction [19]

- Calcul de la puissance crête du champ photovoltaïque :

$$P_c = \frac{E_c}{K \cdot I_r} = \frac{154000}{6 * 0.76} = 33.771 \text{ KWc} \quad (\text{IV.4})$$

- Calcul du nombre de module :

À travers le logiciel **PVsyst** Nous choisissons Un Panneau solaire avec les Caractéristiques suivantes :

Tableau IV - 4 : Fiche technique du panneau photovoltaïque ASOLA (PVSYST)

Panneau photovoltaïque		
Manufacture	ASOLA	
Technologie	Si-mono	
Modèle	300 w / 72 -156 M.PAN	
Nombre de cellule	72 en série	
Puissance maximale Max	300w	
V point de puissance maximale (V mmp)	37.44 v	
I point de puissance maximale (I mmp)	8.1 A	
Circuit ouvert (Voc)	45.36 v	
Courant de court-circuit (Isc)	8.55 A	
Dimensions	Longueur	1979 mm
	Largeur	990 mm
	Épaisseur	550 mm
	Surface	1.959 m ²

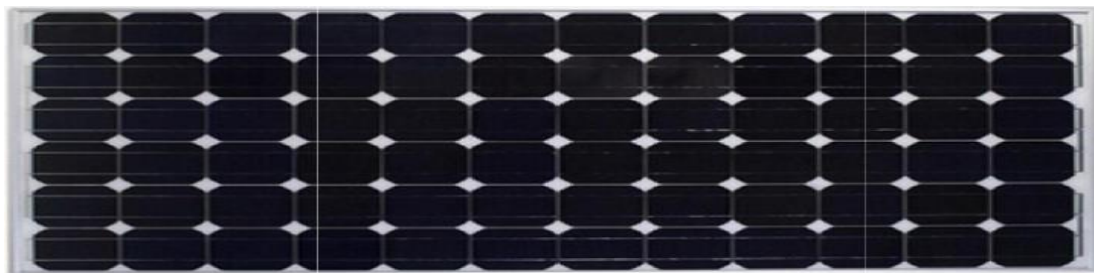


Figure IV - 4 : Panneau ASOLA Si-mono 300w

$$Nm = \frac{Pc}{\text{Puissance crête unitaire de module}} \quad (IV.5)$$

$$Npv = \frac{33771.92}{300} = 112 \text{ modules}$$

À partir à la valeur de Puissance du champ Qui dépasse 10 KWc le choix de la tension de recommandée est **U= 96 V**

Donc :

Le système PV sera constitué d'un seul champ de 112 panneaux montés comme suit :

- Le nombre de module en sérié :

$$N_s = \frac{U}{U_{\max}} = \frac{96}{37.44} = 3 \text{ modules} \quad (\text{IV.6})$$

- Le nombre de module en parallèle :

$$N_p = \frac{N_{pv}}{N_s} = \frac{103}{3} = 38 \text{ modules} \quad (\text{IV.7})$$

IV.6 Dimensionnement du système de stockage :

À travers le logiciel PVsyst Nous choisissons Une batterie avec les Caractéristiques suivantes :

Tableau IV - 5 : Fiche technique de la batterie solaire ROLLS(PVSYST)

Batterie		
Fabricant	Rolls	
Technologie	Pb acide, scellée, plaques	
Module Type	12-CS-11P	
P Max (Wh)	3552 Wh	
U(V)	12 V	
I(Ah)	296 Ah	
Dimensions	Largeur	210 mm
	Profondeur	664 mm
	Hauteur	718 mm
	Poids	134 kg
Nombre de cellule	6 éléments	



Figure IV - 5 : Batterie Rolls Pb-Acide 12-CS-11PS

Pour déterminer Capacité totale pour l'ensemble des batteries Nous suggestionne dans ce dimensionnement une autonomie de 4 jours

Donc :

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U} = \frac{154000 \times 4}{0.8 \times 12} = 64166.66 \text{ Ah} \quad (\text{IV.8})$$

➤ Le nombre des batteries sera :

$$N = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}} = \frac{64166.66}{296} = 216 \text{ batteries} \quad (\text{IV.9})$$

➤ Nombre de batterie en série :

$$N_s = \frac{U}{V_{batterie}} = \frac{96}{12} = 8 \text{ batteries} \quad (\text{IV.10})$$

➤ Le nombre de batterie parallèle :

$$N_p = \frac{N}{N_s} = \frac{216}{8} = 27 \text{ batteries} \quad (\text{IV.11})$$

➤ Le nombre total de batteries à utilise :

$$N = N_p \times N_s = 27 \times 8 = 216 \text{ batteries} \quad (\text{IV.12})$$

IV.7 Dimensionnement du régulateur :

La puissance du champ Qui dépasse 10kW, la tension recommandée est d'U = 96V.

Donc :

$$P_c = N_p \times P_{max} \quad (\text{IV.13})$$

$$P_c = 112 \times 300 = 33600 \text{ W}$$

$$I_{max} = \frac{P_c}{U} = \frac{33600}{96} = 350 \text{ A}$$

Pour montrer un régulateur En diffuser la puissance installé 33600 w en quatre

$$P \text{ installés} = 300 * 112 = 33600 \text{ W}$$

$$P \text{ installés} = 33600 / 4 = 8400 \text{ W}$$

(IV.14)

Pour choisie un régulateur : $112 / 4 \text{ régulateurs} = 28 \text{ panneaux}$.

(P rég1= P rég2= P rég3= P rég4) = $300 * 28 = 8400 \text{ W}$ (pour chaque régulateur).

(P installée < P régulateur) donc ($8400 \text{ W} < 10000 \text{ W}$).

$$I = P_{\text{insta}} / U_{\text{max}} = 8400 / 96 = 87.5 \text{ A}$$

(IV.15)

Tableau IV - 6 : Fiche technique du régulateur

Régulateur	BSM-96V 100A
Puissance d'entrée maximale	10kw
Tension de batterie nominale	96V
Tension PV maximale	192v
I reg	100A



Figure IV - 6 : Régulateur de charge

IV.8 Dimensionnement de l'onduleur :

Pour dimensionner l'onduleur utilisé, ses caractéristiques doivent être convenables avec une installation ayant une tension de 96 V et une demande de puissance de 51.500KW.

On prendra : $\cos \theta = 0,8$ $\sin \theta = 0,6$

➤ La puissance réactive total est égale à :

$$Q = P \times (0,6/0,8) = 51.500 \times (0,6/0,8) = 38.6625 \text{ KVAR} \quad (\text{IV.16})$$

➤ La puissance apparente total est égale à :

$$S = (Q^2 + P^2)^{1/2} = 64.39 \text{ KVA} \quad (\text{IV.17})$$

En veut choisir un onduleur qui peut alimenter chaque 5 maisons et pour calculer la puissance des onduleurs P_{ond} :

- La puissance de charge de projet = 51500W : Donc : $51500 / 4 = 12875$
- $P_{\text{ond}} = \text{Puissance des charges} / \eta_{\text{ond}} = 12875 / 0.9 = 14305.55 \text{ W}$.
- $I = P_{\text{ond}} / U_{\text{max}} = 14305.55 / 96 = 149.01 \text{ A}$

Tableau IV - 7 : Fiche technique de l'onduleur

Onduleur	
Puissance d'onduleur à 25°C / 40 °C	12000w/15000w
Tension et la fréquence de sortie	96v/230v
Température de fonctionnement	-45°C / 60°C

IV.9 Choix des câbles :

Calcul du courant de sortie d'un panneau à sa puissance nominale :

$$I = \frac{P}{U} = \frac{300}{32} = 9.37 \text{ A} \quad (\text{IV.18})$$

IV.9.1 Détermination des sections des conducteurs entre les panneaux et le boîtier de raccordement

$$\Delta U = U \times 0,02 = 96 \times 0,02 = 1,92 \text{ V} \quad (\text{IV.19})$$

- La résistance de la ligne est égale à :

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{1,92}{9,37} = 0,204 \, \Omega \quad (\text{IV.20})$$

- La section du conducteur :

$$S = \rho_{\text{Cu}} \times \frac{L}{R} = (1,6 \times 10^{-8}) \times \frac{20}{0,204} = 1,56 \text{ mm}^2. \quad (\text{IV.21})$$

Donc on utilise une section normalisée de : $S = 2,5 \text{ mm}^2$

- Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur

$$I = \frac{P_c}{U} = \frac{33771,92}{96} = 351,79 \text{ A} \quad (\text{IV.22})$$

- Détermination de la section des conducteurs entre le régulateur et l'onduleur :

$$\Delta U = U \times 0,02 = 96 \times 0,02 = 1,92 \text{ V} \quad (\text{IV.23})$$

- La résistance de la ligne est égale à :

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{1,92}{351,76} = 5,4 \times 10^{-3} \, \Omega \quad (\text{IV.24})$$

- La section du conducteur :

$$S = \rho_{\text{Cu}} \times \frac{L}{R} = (1,6 \times 10^{-8}) \times \frac{30}{5,4 \times 10^{-3}} = 88,8 \text{ mm}^2. \quad (\text{IV.25})$$

Donc on utilise une section normalisée de : $S = 90 \text{ mm}^2$.

- Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur lorsque celui-ci débite sa puissance nominale :

$$I_{batterie} = \frac{P_{onduleur}}{U_{batterie}} = \frac{15000}{96} = 156.25A \quad (IV.26)$$

- Détermination de la section des conducteurs entre les batteries et l'onduleur lorsque celui-ci débite sa puissance nominale :

$$\Delta U = U \times 0,02 = 96 \times 0.02 = 1.92 \text{ V} \quad (IV.27)$$

- La résistance de la ligne est égale à :

$$R = \frac{\Delta U}{I_{max}} = \frac{1.92}{156.25} = 12 \times 10^{-3} \Omega \quad (IV.28)$$

- La section du conducteur :

$$S = \rho_{Cu} \times \frac{L}{R} = (1.6 \times 10^{-8}) = \frac{20}{12 \times 10^{-3}} = 26 \text{ mm}^2 \quad (IV.29)$$

Donc on utilise une section normalisée de : $S = 35 \text{ mm}^2$

- Surface du champ photovoltaïque

$$S = S_m \times N_{pv} = 1,959 \times 112 = 219,408 \text{ m}^2 \quad (IV.30)$$

Avec :

N_{pv} : nombre de panneaux.

S_m : surface d'un panneau.

IV.10 Simulation et les résultats avec logiciel PVsyst :

- **Présentation du logiciel de simulation 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. [24]

On lance le logiciel PVsyst, l'interface suivante s'affiche :



Figure IV - 7 : Interface de logiciel PVsyst

IV.11 Etapes des simulations du logiciel PVSYST :

IV.11.1 Désignation du projet

Le projet inclut principalement la définition du site géographique et le fichier météo horaire. Par ailleurs, on peut construire plusieurs variantes du système à étudier

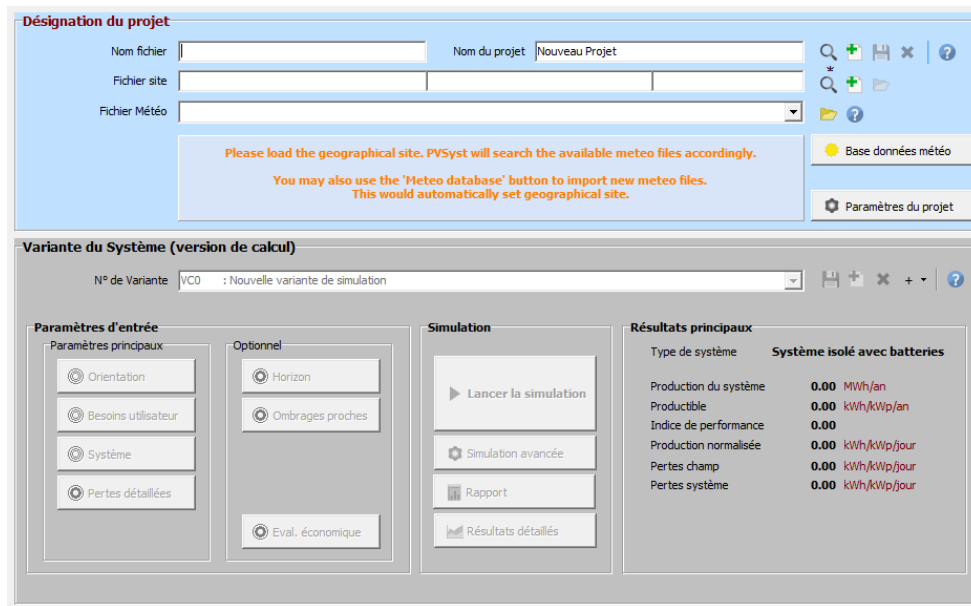


Figure IV - 8 : Etapes de simulation avec PVsyst

Conception et dimensionnement d'un système PV :

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple [21] :

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible.
- Les modules PV dans la base de données interne.
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne.

IV.11.2 Situation géographique

Données de site

Dès le lancement de la simulation du système étudié, la fenêtre indiquée sur la Figure (IV-9) s'affiche. Ainsi, l'utilisateur introduit les coordonnées géographiques relatives au site concerné, ce qui permet d'avoir toutes les informations nécessaires du gisement solaire.

- Nom de site et pays et région.
- Latitude et Longitude et Altitude.
- Temps légal

Coordonnées Géographiques | Météo mensuelle | Carte interactive

Lieu

Nom du site: Kasr el Hirane

Pays: Algérie Région: Afrique

Obtenir depuis les coordonnées

Coordonnées Géographiques

Decimal Deg. min. sec.

Latitude: 33.7500 [°] 33 45 0 (+ = Nord, - = Hemisph. Sud)

Longitude: 3.0600 [°] 3 3 36 (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)

Altitude: 731 M au-dessus du niv. de la mer

Fus. horaire: 0.0 Correspondant à une différence moyenne

Temps Légal - Temps Solaire = 0h-11m

Trajectoires du soleil

Obtenir depuis le nom

Voir carte

Figure IV - 9 : Coordonnée géographique de Kasr el Hirane

IV.11.3 Données météorologiques :

On va au bouton de « météo mensuelle » pour introduire les paramètres suivants :

- L'irradiation globale horizontale (kWh/m²/j).
- L'irradiation diffuse horizontale (kWh/m²/j).
- La température (c°).
- La vitesse du vent (m/s).

Site: **Kasr el Hirane (Algérie)**

Source des données: Météonorm 7.2 (1986-2005), Sat=100%

	Irradiation globale horizontale kWh/m ² .jr	Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² .jr	Température °C	Vitesse du vent m/s	Linke Turbidity [-]	Relative Humidity %
Janvier	3.56	0.76	6.9	3.50	3.144	66.8
Février	4.36	1.02	9.0	3.79	3.210	56.3
Mars	5.95	1.16	13.3	4.30	3.897	47.2
Avril	6.97	1.60	16.0	4.99	3.690	43.9
Mai	7.70	1.88	21.4	4.39	3.993	38.0
Juin	8.19	1.86	26.9	4.00	4.152	30.7
Juillet	8.12	1.70	31.2	3.91	5.909	25.6
Août	7.29	1.80	29.7	3.70	5.030	29.1
Septembre	5.83	1.70	23.6	3.59	3.897	43.5
Octobre	4.80	1.23	19.4	3.60	3.519	50.1
Novembre	3.88	0.75	11.7	3.60	3.274	61.5
Décembre	3.22	0.70	8.1	3.69	3.008	70.8
Année	5.83	1.35	18.1	3.9	3.894	47.0

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 3.5%

Figure IV - 10 : Données météorologiques de Kasr el Hirane

* Paramètres du soleil :

Par ailleurs, la Figure (IV-11) nous montre la trajectoire du soleil à chaque heure de la journée pendant les mois de l'année selon les deux coordonnées : l'azimut (angle avec la

direction du sud, compté négativement vers l'Est) et la hauteur du soleil (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu).

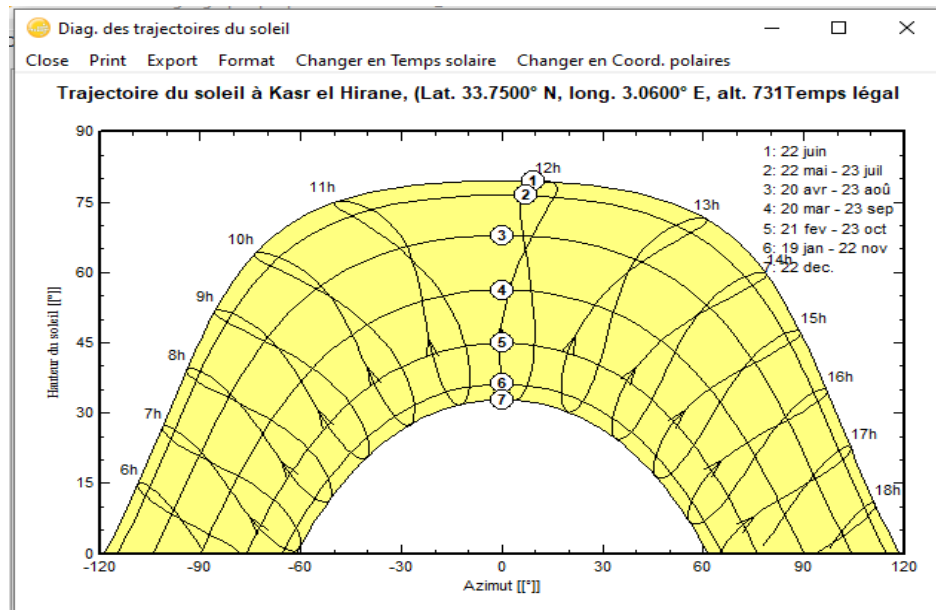


Figure IV - 11 : Trajectoire de soleil à Kasr el Hirane

IV.11.4 Orientation

Afin de pouvoir estimer les angles optimaux d'inclinaison des modules photovoltaïques dans cette région pour lesquelles le gain énergétique est amélioré, nous avons on choisit les caractéristiques suivantes :

- L'azimut : 0° .
- Inclinaison plane : 33° .
- Type de champ : plan incliné fixe.
- Optimisation par rapport à : irradiation annuelle

Orientation, Variante "Nouvelle variante de simulation"

Type de champ: Plan incliné fixe

Paramètres du champ

Inclinaison plan: 33.1 [°]

Azimut: 0.0 [°]

Meteo incidente annuelle

Facteur de Transposition: 1.17

Perte par rapport à l'optimum: 0.0%

Global sur plan capteurs: 2487 kWh/m²

Optimisation par rapport à:

☒ Irradiation annuelle

☐ Été (Avr-Sept)

☐ Hiver (Oct-Mars)

Voir optimisation

Annuler OK

Figure IV - 12 : Détermination d'angle d'inclinaison de plan incliné fixe pour notre site

IV.11.5 Besoins électriques :

On va définir les charges utilisées par le nombre (N), la puissance (w), l'utilisation journalière de chaque charge (h/j). On obtient un résultat de consommation journalière totale pour l'ensemble des charges par (Wh/j) et (KWh/mois).

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
100	Lamps (LED or fluo)	15 W/lamp	6.0 h/day	OK	9000 Wh
20	TV / PC / Mobile	50 W/app.	4.0 h/day	OK	4000 Wh
20	Appareils domestiques	500 W/app.	5.0 h/day	OK	50000 Wh
20	Frigo / Congélateur	2.40 kWh/day	24.0 h/day	OK	48000 Wh
20	Dish- & Cloth-washers	2000.0 W aver.	1.0 h/day	OK	40000 Wh
20	Autres utilisations	50 W/app.	3.0 h/day	OK	3000 Wh
0	Autres utilisations	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day		24 Wh
Total daily energy					154024 Wh/day
Total monthly energy					4620.7 kWh/month

Appliances info

Consumption definition by:

☒ Year

☐ Seasons

☐ Months

Week-end or Weekly use:

☐ Use only during

7 days in a week

Figure IV - 13 : Estimation de la consommation des charges électriques pour le site

IV.11.6 Simulation des équipements énergétiques :

- Batteries :

Pour dimensionner le nombre des batteries utilise On a choisi une batterie Rolls type Pb-acide 12V/296 Ah avec une température fixe 20°C les nombres des batteries est 216 branchements comme suite :

- 8 batteries en chaine série
- 27 batteries en chaine parallèle

Besoins utilisateur spécifiés | Suggestions de pré-dimensionnement | Résumé du système

Besoins jour. moyens Déf. la PLOL acceptable 5.0 %
 154 kWh/jour Déf. l'autonomie requise 4.0 jour(s)

Tension batterie (et utilis.) 96 V
 Capacité conseillée 7550 Ah
 Puissance PV conseillée 31060 Wc (nom.)

Procédure

1. - Pré-dimensionnement Définissez les conditions de pré-dimensionnement (PLOL, autonomie, tension batterie)
2. - Stockage Définissez le pack de batteries (les cases défaut approchent les suggestions du pré-dimensionnement)
3. - Conception champ PV Définissez le champ PV (Module PV et mode de contrôle). Conseil: commencez avec un régulateur universel !
4. - Appoint Définissez une éventuelle génératrice d'appoint.

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon ☒ tension ☐ capacité ☐ fabricant

Rolls 12 V 296 Ah Pb Sealed Plates 12-CS-11PS

Pb-acide

8 batteries en série
 27 batteries en parallèle

Nombre de batteries 208
 Nombre d'éléments 1248

Etat d'usure initial (nb. de cycles) 100.0 %
 Etat d'usure initial (statique) 100.0 %

Température du pack batteries 96 V
 Capacité globale 7696 Ah
 Energie stockée (80% DOD) 665 kWh
 Poids total 27872 kg
 Nbre de cycles à 80% DOD 1984
 Energie totale stockée durant la vie de la batterie 1301 MWh

Température batterie en opération

Mode tempér. Fixée (local tempéré)
 Température fixée 20 °C

La température est importante pour la durée de vie de la batterie. Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un facteur 2.

Figure IV - 14 : Dimensionnement du parc de batteries

Les caractéristiques électriques des batteries utilisées sont données dans la figure suivante :

Définitions d'une batterie

Données de base | Paramètres détaillés du modèle | Graphiques | Dimensions et Technologie | Données commerciales

Modèle 12-CS-11PS Fabricant Rolls
 Nom fichier Rolls_12_CS-11PS.BTR Source données Web 2006
 Base de données PVsyst originale

Technologie Pb-acide, scellée, plaques

☒ Batterie complète ☐ Par élément

Paramètres de base

Nbre d'éléments en série 6
 Tension nominale 12.0 V
 Capacité à C10 296.00 Ah
 Résistance interne @ temp. réf. 8.11 mOhm ☒
 Température de référence 20.0 °C ☐
 Efficacité coulombienne 97.0 %

Info : Renormalisation à C10

Capacité nominale spécifiée 0.0 Ah
 Définie pour un taux de décharge de 1.00 Heures
 -> C10 correspondant, selon profil spécifié N/A

Indicateurs pour la batterie complète

Energie stockée à DOD 80 % 3.15 kWh
 Energie stockée totale (1984 cycles) 6256 kWh
 Energie spécifique 24 Wh/kg
 Poids spécifique 42 kg/kWh

Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

Figure IV - 15 : Caractéristiques de la batterie

- **Modules PV et onduleurs :**

Pour dimensionner le nombre des modules PV utilise. On a choisi un Modèle 300W/32V (technologie monocristallin) répartis sur une surface de 200m² comme suit :

- 06 modules en série.
- 17 modules en parallèle

Figure IV - 16 : Dimensionnement du champ PV

La figure suivante représente les caractéristiques du panneau choisi.

Figure IV - 17 : Caractéristiques du panneau.

- **Choix du régulateur**

Le régulateur le plus utilisé dans la technologie du photovoltaïque est le MPPT. La figure (IV- 18) : montre les caractéristiques électriques du régulateur MPPT

Figure IV - 18 : Caractéristiques du régulateur MPPT

- **Schéma de l'installation PV :**

La figure (IV- 19) représente le schéma simplifié de l'installation d'un system PV autonome

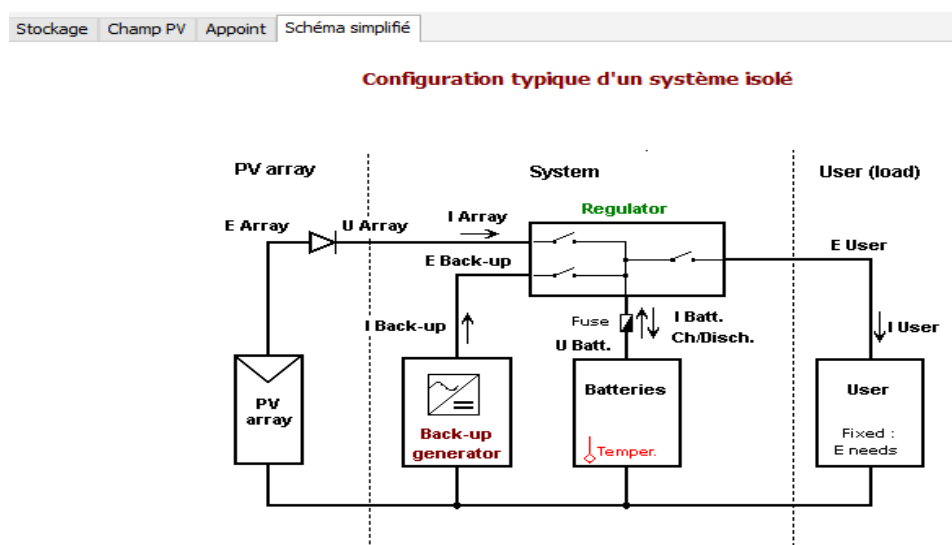


Figure IV - 19 : Schéma simplifié d'un system PV autonome PVsyst

Résultats de la simulation avec Interprétation

Après la configuration de toutes les étapes de la Simulation, un rapport de cette dernière est réalisé automatiquement avec tous les résultats nécessaires sous forme de tableaux et de figures. Il y a deux éléments importants à prendre en considération

Température de l'air : à une influence sur le rendement de la production des panneaux photovoltaïque (Relation inverse)

L'irradiation solaire mensuelle : nous aidons à déterminer la production énergétique Des panneaux photovoltaïques pour toute saison

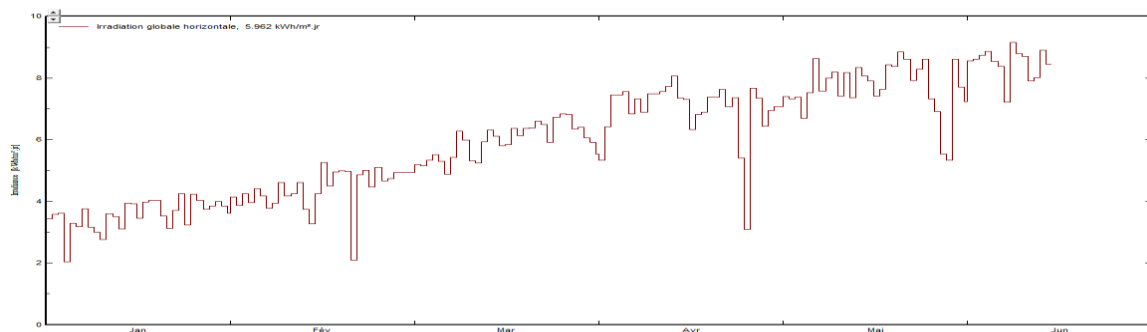


Figure IV - 20 : Variation du rayonnement solaire mensuelle

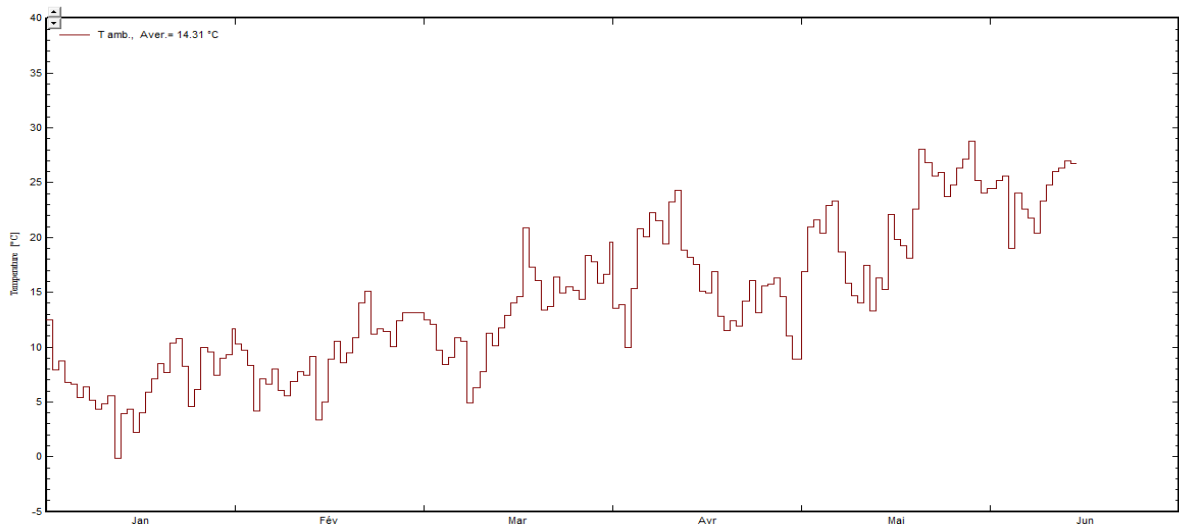


Figure IV - 21 : Variation de la température

La figure (IV- 22) : Ci-dessous nous donne des informations suivantes :

- **Champ PV :** Constitué de 6 modules en série avec 17 modules en parallèle distribue à une surface de 200 m² et de puissance de 26.91 KWc à 50°C (dans les conditions de fonctionnement).

- **Batteries** : Un parc de batteries composé de 8 batteries en séries en 26 chaines parallèle, avec une tension de 12V et de capacité nominale de 7696 Ah.
- **Le régulateur** : C'est un régulateur MPPT avec une efficacité maximale de 97%.
- **Les besoins de l'utilisateur** : La consommation journalière des appareils électriques de la demeure est en moyenne de 154 KWh/jour.

PVSYST V6.88		30/06/21		Page 1/5	
Système isolé: Paramètres de simulation					
Projet : dimensionnement d'une central photovoltaïque autonome					
Site géographique		Kasr el Hirane		Pays	Algérie
Situation		Latitude	33.75° N	Longitude	3.06° E
Temps défini comme		Temps légal	Fus. horaire TU	Altitude	731 m
Données météo:		Kasr el Hirane	Meteonorm 7.2 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique		
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation					
		Date de la simulation	29/06/21 à 23h06		
Paramètres de simulation		Type de système	Système isolé avec batteries		
Orientation plan capteurs		Inclinaison	33°	Azimut	0°
Modèles utilisés		Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm
Besoins de l'utilisateur :		Consomm. domestique moyenne	Constants sur l'année 154 kWh/Jour		
Caractéristiques du champ de capteurs					
Module PV		Si-mono	Modèle	300W/72- 156M	
Base de données PVsyst originale			Fabricant	Asola	
Nombre de modules PV			En série	6 modules	En parallèle 17 chaînes
Nombre total de modules PV			Nbre modules	102	Puissance unitaire 300 Wc
Puissance globale du champ			Nominale (STC)	30.6 kWc	Aux cond. de fonct. 26.91 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)			U mpp	196 V	137 A
Surface totale			Surface modules	200 m²	Surface cellule 174 m²
Paramètres du système		Type de système	Système isolé		
Batterie			Modèle	12-CS-11PS	
			Fabricant	Rolls	
Caractéristiques du banc de batteries			Nombre d'unités	8 en série x 26 en parallèle	
			Tension	96 V	Capacité nominale 7696 Ah
			Décharge: min. SOC	10.0 %	Energie stockée 664.9 kWh
			Température	Fixée (20°C)	
Régulateur			Modèle	Universal controller with MPPT converter	
Convertisseur			Technologie	MPPT converter	Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.
			Efficacité maxi et EURO	97.0 / 95.0 %	
Seuils de régulation batterie		Seuils de commande selon	SOC calculation		
		Charge	SOC = 0.96 / 0.80	i.e. approx.	113.9 / 99.5 V
		Décharge	SOC = 0.10 / 0.35	i.e. approx.	88.5 / 95.7 V
Facteurs de perte du champ PV					
Fact. de pertes thermiques		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage		Rés. globale champ	24 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte diode série		Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes	0.3 % aux STC
Perte de qualité module				Frac. pertes	-0.8 %
Perte de "mismatch" modules				Frac. pertes	1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings				Frac. pertes	0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05

PVsyst Evaluation mode

Figure IV - 22 : Rapport sur les paramètres de la simulation

La consommation de chaque appareil électrique de l'ensemble des maisons, l'énergie totale journalière de l'installation est de 154 kWh avec d'autres informations relatives au système étudié sont détaillés dans le tableau de la figure IV.23.

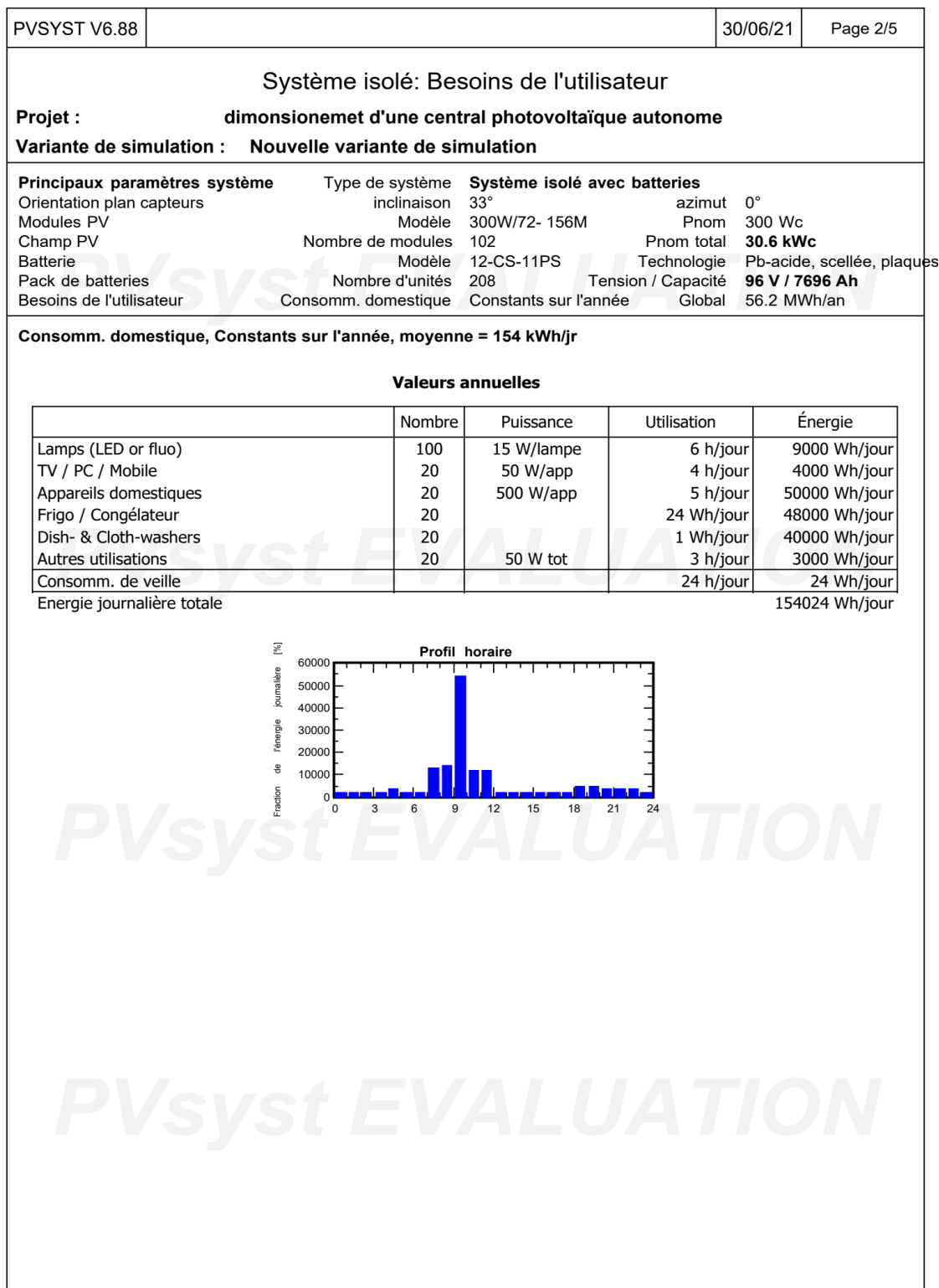


Figure IV - 23 : Rapport sur les besoins énergétiques de l'utilisateur

D'après les résultats du tableau de la figure IV.24 on voit bien que l'énergie produite par le panneau photovoltaïque est proportionnelle à l'énergie incidente, et que le besoin énergétique de la demeure est satisfait pendant toute l'année :

- L'énergie produite par du champ PV est estimée à 1936 kWh /kWc/an.
- L'énergie totale du besoin est 56219 kWh/an.
- L'excès d'énergie est estimé à 1803 kWh/an.

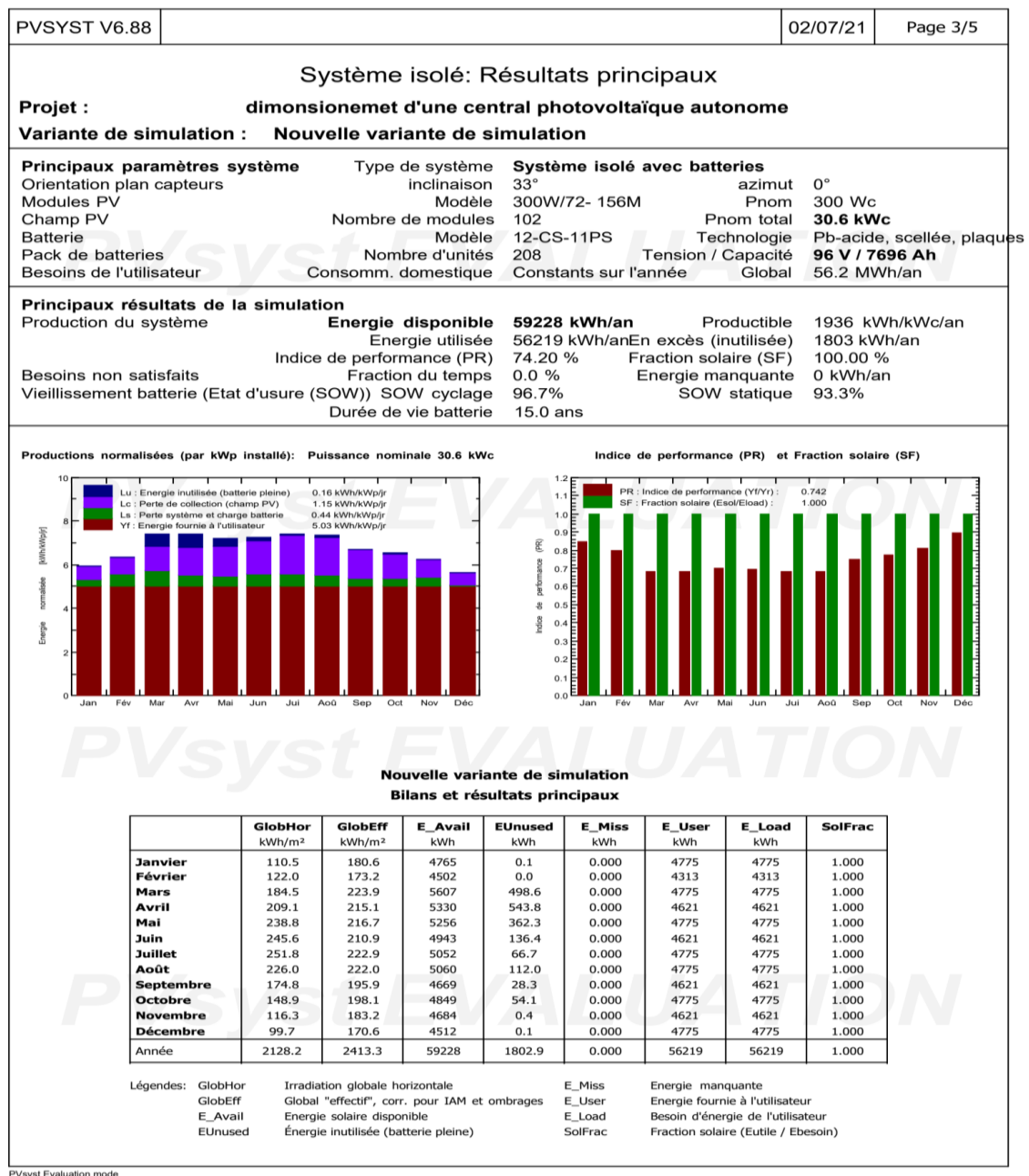


Figure IV - 24 : Rapport des résultats principaux

À travers la figure IV.25, nous constatons les différentes pertes d'énergies, résumées sous forme d'un diagramme, sont très importantes dans le système photovoltaïque.

Il y a plusieurs facteurs qui affectent la productivité du système photovoltaïque :

- Pertes champs (Température, qualité des modules, résistance, etc).
- Pertes Onduleur globales.
- Pertes système de stockage
- Besoin d'utilisation : charge avec système de stockage

Montre-nous à travers le diagramme des pertes sur l'année Le rayonnement solaire n'est pas pleinement exploité en raison de la présence de des facteurs et pertes sur les Différentes parties du système, on obtient une énergie totale de 56219kWh.

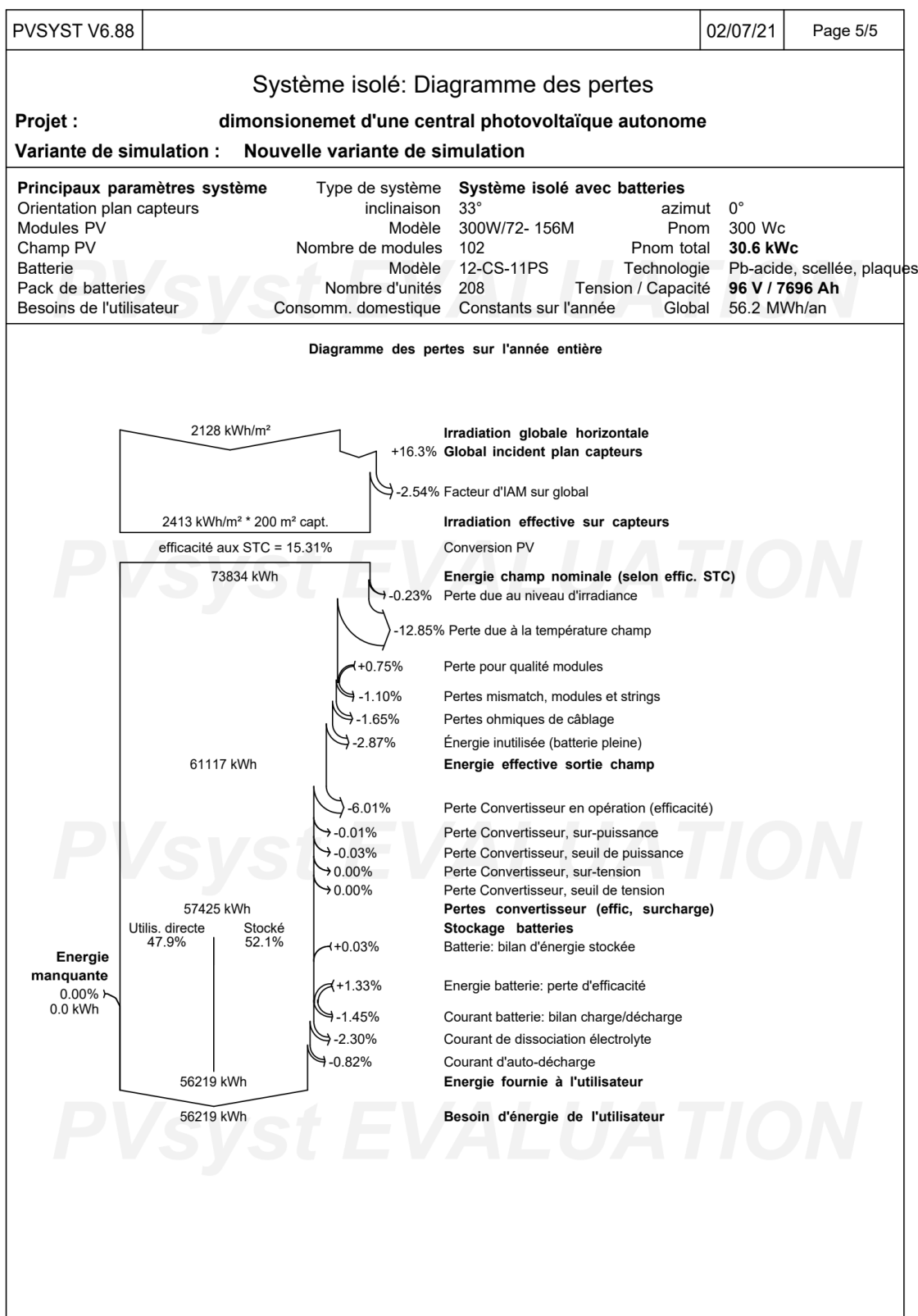


Figure IV - 25 : Diagramme des pertes

Tableau IV - 8 : Des résultats obtenus par les deux méthodes de calcul

Calculs théoriques	Calculs avec logiciel
$P = 51500W$	$P = 51500W$
$E = 154000Wh$	$E = 154024Wh$
$P_c = 33771W_c$	$P_c = 31060W_c$
$N_{pv} = 112 \text{panneaux}$	$N_{pv} = 102 \text{panneaux}$
$N_{Bat} = 216 \text{batteries}$	$N_{Bat} = 208 \text{batteries}$
$I_{max} = 350A$	$I_{max} = 351A$
$Surface = 219.408m^2$	$Surface = 200m^2$

IV.12 Configuration du système photovoltaïque étudié

- Les panneaux photovoltaïques qui produisent un courant électrique continu.
- Le régulateur contrôle la charge et la décharge de la batterie afin d'assurer sa protection.
- L'onduleur transforme le courant continu en courant alternatif pour alimenter les charges AC.
- Les batteries assurent approvisionnement ininterrompu de la charge la nuit et durant les jours non ensoleillés.

IV.13 Conclusion

Avant de procéder à la sélection d'un système de production photovoltaïque, le dimensionnement des installations photovoltaïques doit être ajusté afin qu'elles puissent fournir de l'énergie dans les meilleures conditions, grâce à l'évolution du pourcentage de rayonnement solaire tout au long de l'année.

L'objectif de ce chapitre était de déterminer le dimensionnement du système photovoltaïque autonome.

D'abord par le calcul théorique en utilisant la méthode moyenne annuelle, puis en utilisant la simulation avec un logiciel bien défini qui est PV System il s'est avéré que les deux méthodes sont correctes et que les résultats sont presque identiques.

Chapitre V : Pompage solaire

V.1 Pompage solaire :

« L'eau solaire » consiste à capter l'énergie solaire via des panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité qui alimente une pompe électrique permettant d'assurer l'exhaure de l'eau, le plus souvent, utilisée dans les zones rurales non desservies par le réseau électrique.

V.2 Il existe deux méthodes :

- 1) **Pompage « au fil du soleil »** : Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin. . [25]

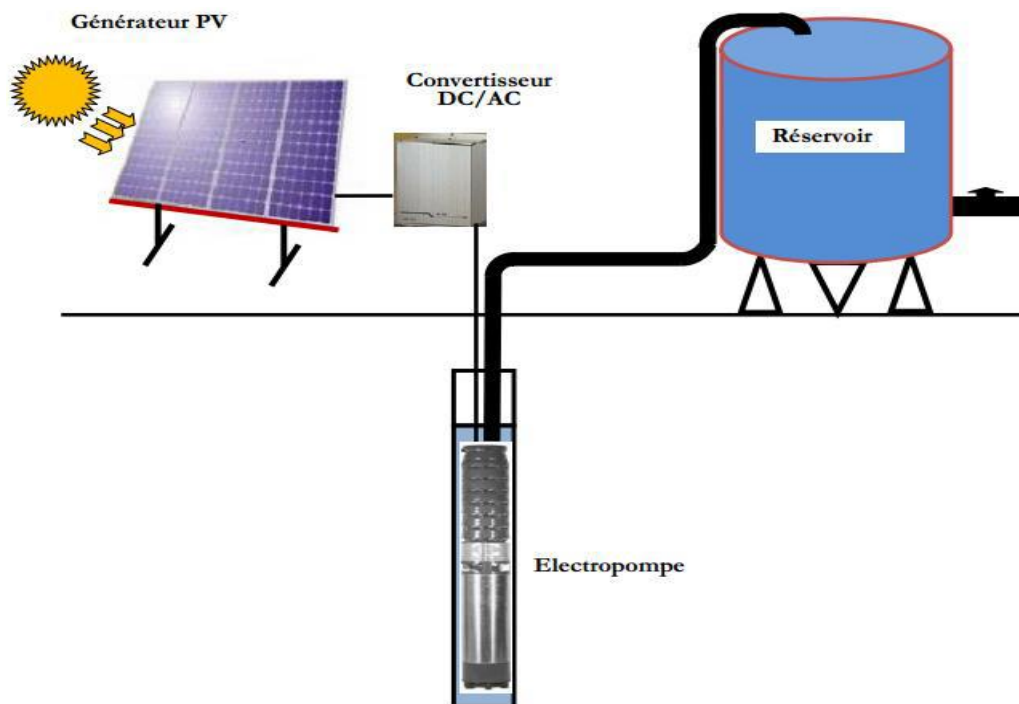


Figure V - 1 : Pompage photovoltaïque au fil du soleil. [25]

- 2) **Le pompage avec batteries** : l'énergie électrique qui sera stockée dans des batteries. Le pompage sera possible même en absence du soleil. . [25]

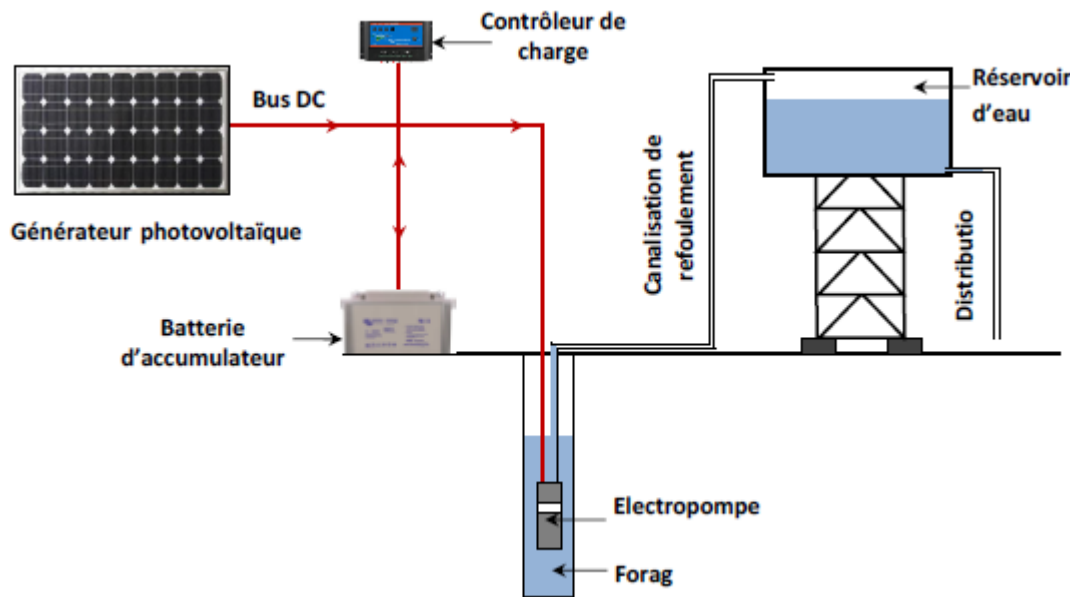


Figure V - 2 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie. [25]

V.3 Les avantages et inconvénients des pompes au fil du soleil et avec batteries :

V.3.1 Pompage au fil du soleil :

❖ Avantage :

- Economie du coût des batteries et par conséquence leur maintenance
- Système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux
- Meilleur rendement énergétique.

❖ Inconvénients :

- Perte d'énergie au début et à la fin de la journée
- Le débit de la pompe n'est pas Constant

V.3.2 Pompage avec batterie :

❖ Avantage : Débit de la pompe régulier et à pression fixe.

❖ Inconvénients : Coût élevé d'entretien et maintenance des batteries.

V.4 Notions hydrauliques :

➤ Le débit Q :

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau qu'elle refoule durant un intervalle de temps donné. . [26]

➤ La hauteur manométrique totale HMT :

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 : [26]

$$\text{➤ } HMT = H_g + P_c \quad (V.1)$$

Avec :

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (voir **Figure 3**). Elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{➤ } H_g = A + B + C \quad (V.2)$$

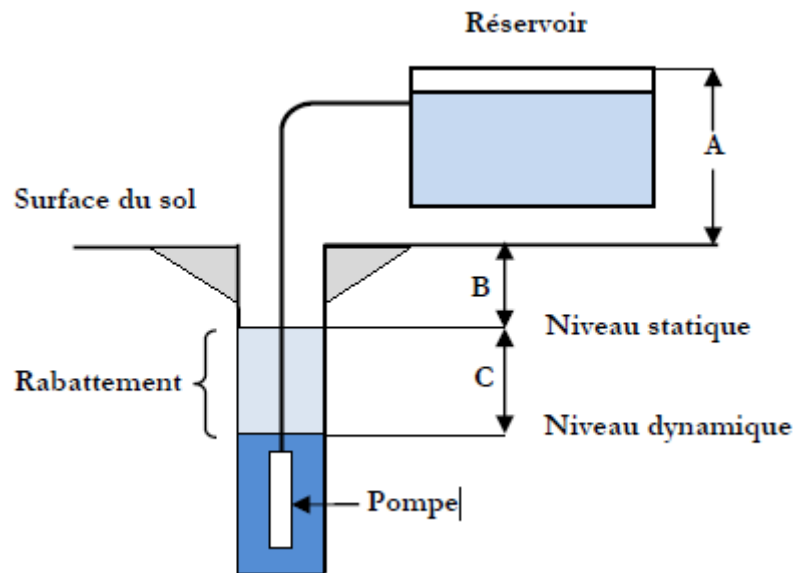


Figure V - 3 : Hauteur manométrique total. [26]

P_c : Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites.

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.

Nd : 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.

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

V.5 Composants d'un système de pompage PV :

Un système de pompage solaire est généralement constitué de [25] :

- **Le générateur photovoltaïque.** (Modules).
- **Le groupe de motopompe :**
 - a) Pompe centrifuge.
 - b) Pompe volumétrique.
- **L'électronique de commande :**
 - a) Le convertisseur DC/DC (hacheur)
 - b) Le convertisseur DC/AC (onduleur)
- **Les éléments du stockage** : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau.

V.6 Etapes de conception d'un système de pompage photovoltaïque :

V.6.1 Présentation de projet :

Dans ce projet, nous avons présenté une installation de pompage photovoltaïque. Le site étudié est situé au niveau de la commune à Kasr el Hirane, wilaya de LAGHOUAT.

V.6.2 Données géographique de site :

- Latitude : **33.7569°N**
- Longitude : **03.0600°E**
- Altitude : **731 m**
- Fus. Horaire : 1.0

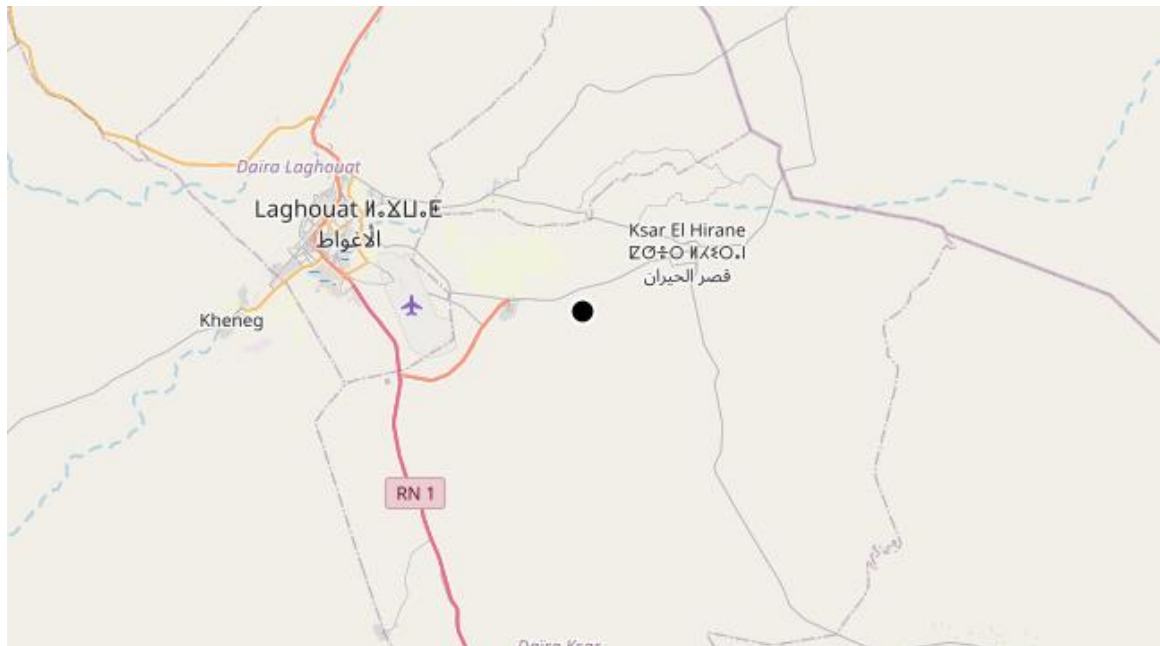


Figure V - 4 : Carte géographique de la wilaya de LAGHOUAT

V.6.3 Coordonnée géographies :

Coordonnées Géographiques | Météo mensuelle | Carte interactive

[Voir carte](#)

Lieu

Nom du site :

Pays : Région :

[Obtenir depuis les coordonnées](#)

Coordonnées Géographiques

[Trajectoires du soleil](#)

	Decimal	Deg.	min.	sec.		
Latitude	33.7500	[°]	33	45	0	(+ = Nord, - = Hemisph. Sud)
Longitude	3.0600	[°]	3	3	36	(+ = Est, - = Ouest de Greenwich)
Altitude	731	M au-dessus du niv. de la mer				
Fus. horaire	0.0	Correspondant à une différence moyenne				
Temps Légal - Temps Solaire = 0h-11m						

[Obtenir depuis le nom](#)

Importation météo

☒ Meteonorm 7.2
☐ NASA-SSE
☐ PVGIS TMY
☐ NREL / NSRDB TMY

[Importer](#)

E/S tableaux (Excel)

[Importer](#)
[Exporter la ligne](#)
[Exporter la table](#)

Figure V - 5 : Coordonnée géographique Ksar el Hirane

V.6.4 Données météorologiques :

Site **Kasr el Hirane (Algérie)**

Source des données

	Irradiation globale horizontale	Irradiation diffuse horizontale	Température	Vitesse du vent	Linke Turbidity	Relative Humidity
	kWh/m ² .jr	kWh/m ² .jr	°C	m/s	[-]	%
Janvier	3.56	0.76	6.9	3.50	3.144	66.8
Février	4.36	1.02	9.0	3.79	3.210	56.3
Mars	5.95	1.16	13.3	4.30	3.897	47.2
Avril	6.97	1.60	16.0	4.99	3.690	43.9
Mai	7.70	1.88	21.4	4.39	3.993	38.0
Juin	8.19	1.86	26.9	4.00	4.152	30.7
Juillet	8.12	1.70	31.2	3.91	5.909	25.6
Août	7.29	1.80	29.7	3.70	5.030	29.1
Septembre	5.83	1.70	23.6	3.59	3.897	43.5
Octobre	4.80	1.23	19.4	3.60	3.519	50.1
Novembre	3.88	0.75	11.7	3.60	3.274	61.5
Décembre	3.22	0.70	8.1	3.69	3.008	70.8
Année ?	5.83	1.35	18.1	3.9	3.894	47.0
	Coller	Coller	Coller	Coller		

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 3.5%

Figure V - 6 : Paramètres climatique Kasr el Hirane

V.6.5 Profil d'horizon :

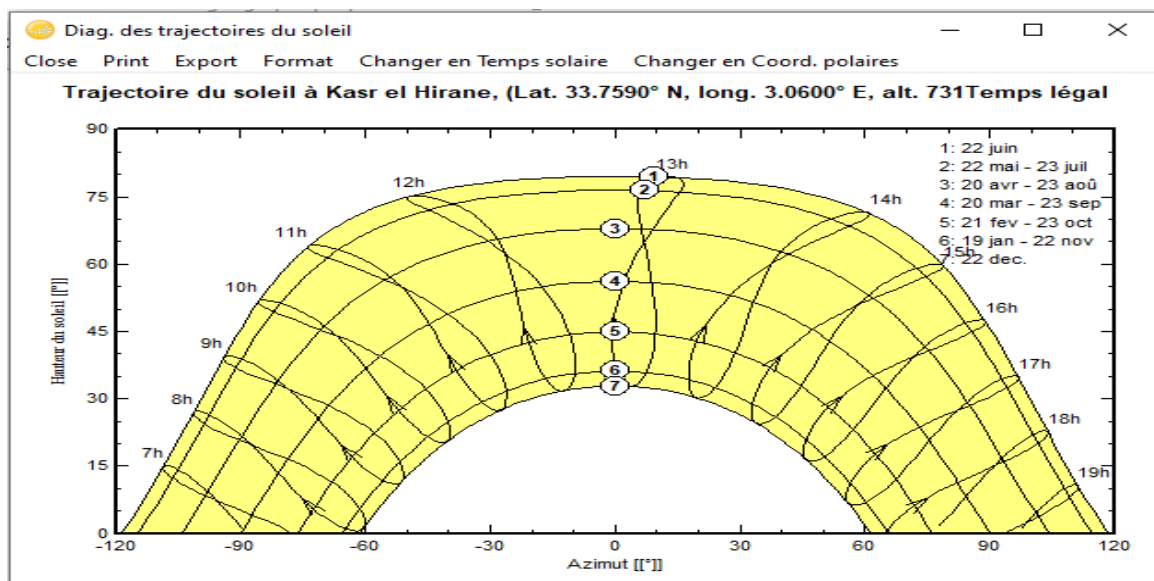


Figure V - 7 : Trajectoire de soleil à Kasr el Hirane

V.6.6 Orientation des modules PV :

Pour notre simulation, nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison 30° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure 6.

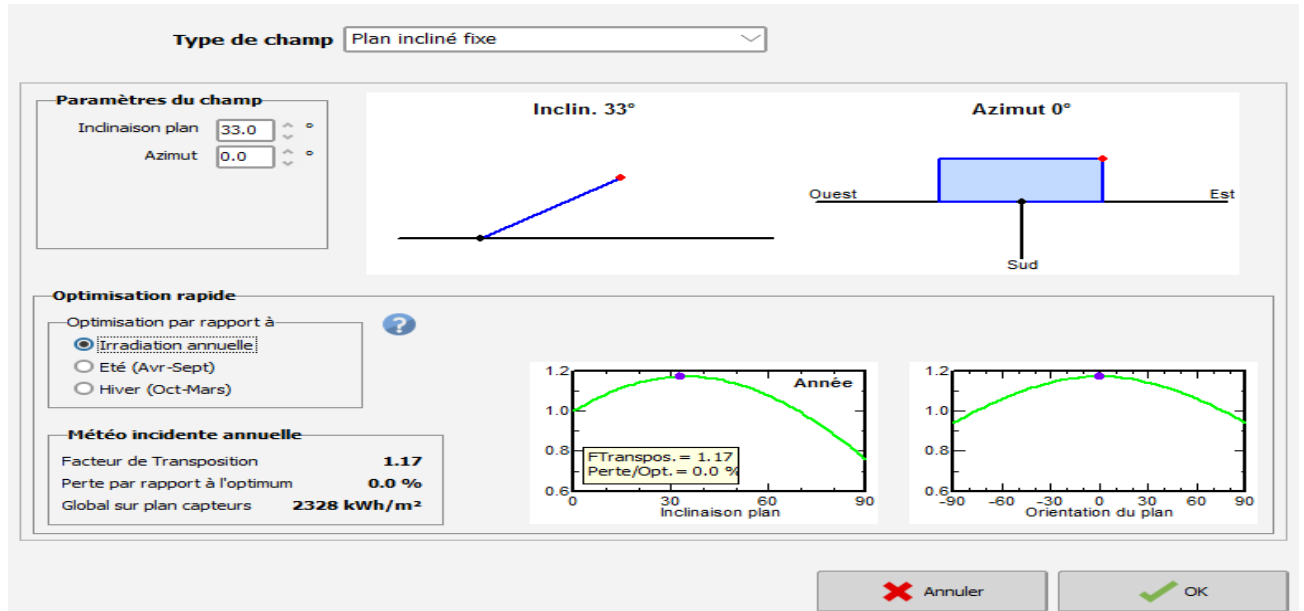


Figure V - 8 : Angle orientation

V.6.7 Circuit hydraulique de pompage :

Le stockage de l'eau est réalisé par le biais d'un réservoir afin d'irriguer une surface de 3 hectares.

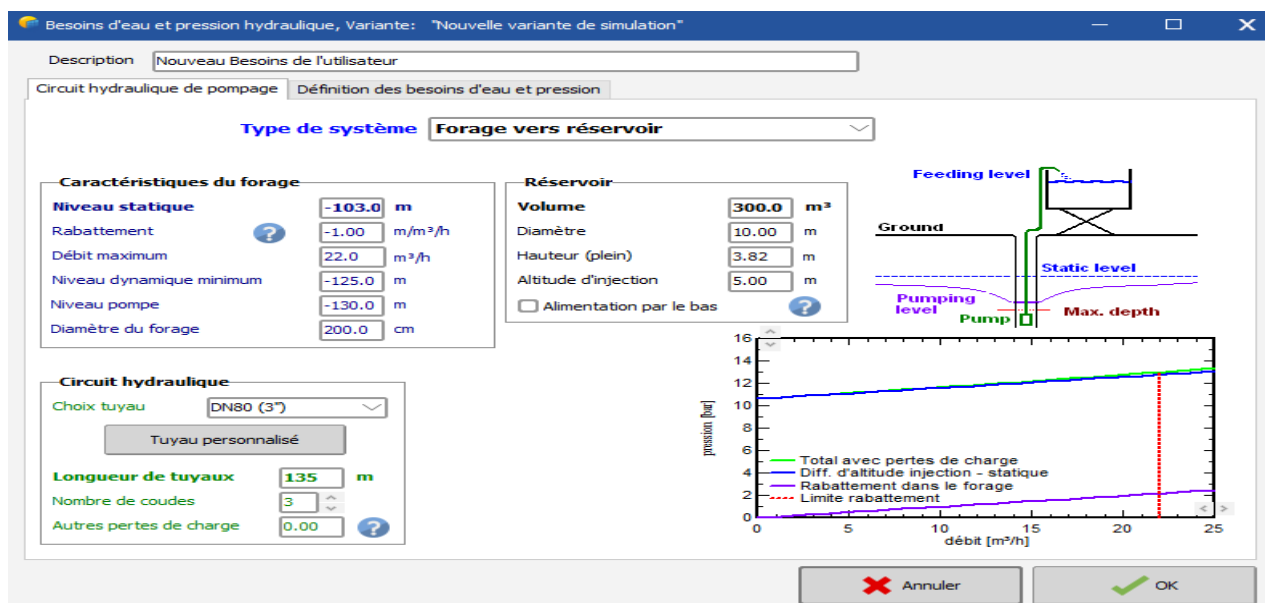


Figure V - 9 : Circuit hydraulique de pompage

Le dimensionnement commence par la détermination des besoins en eau exprimée en mètres cubes par jour, Pour notre étude de simulation les besoins journaliers moyens mensuels en eau est de $100 \text{ m}^3/\text{J}$.

Description: Nouveau Besoins de l'utilisateur

Circuit hydraulique de pompage: Définition des besoins d'eau et pression

Besoins d'eau

☒ Moyenne annuelle
☐ Valeurs saisonnières
☐ Valeurs mensuelles

Besoins annuels: 100.0 m³/jour

Variation du niveau statique dans le forage

☒ Constant sur l'année
☐ Valeurs saisonnières
☐ Valeurs mensuelles

Toute l'année: 10.10 bar

Pressions suppl.
 Pressions dynamiques (au débit de 20.0 m³/h): 0.17 bar

Altitude d'injection: 5 m
 Tuyaux: 0.17 bar
 Rabattement: 1.96 bar

Fichier modèle
 Charger Sauver

Unités hydrauliques
 Débit: m³/h
 Pression: bar

Résumé annuel

Besoin d'eau moyen	100.0 m³/jour
Besoins d'eau annuels	36500 m³
Pression moy. annuelle	10.6 bar
Energie hydraulique	10742 kWh
Besoin PV (très approx.)	36277 kWh

Annuler OK

Figure V - 10 : Les besoins en eau

➤ La puissance hydraulique : $P_h = 6286 \text{ W}$

➤ La hauteur manométrique : $HMT = H_g + P_c$

$$H_g = 103 + 27 + 5 + 0$$

$$HMT = 135 \text{ m}$$

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :
 Pression min.: 10.59 bar
 Pression max.: 12.03 bar
 Volume: 100.0 m³/jour
 Puissance hydraulique: 6286 W (très approximatif)

Autonomie requise: 4.0 Jours
 Manque accepté: 5.0 %

Volume réservoir conseillé: 400 m³
 Puissance pompe conseillée: 13.1 kW
 Puissance PV conseillée: 16.6 kWc (nom.)

Définition pompe: Conception du sous-champ

Choix d'un modèle de pompe
 Lorentz
 15.0 kW 80-140 m Well, AC, Centrifuge multi-étages PSk2-15 C-SJ17-18 Depuis 1990

Caractéristiques de la pompe

Centrifuge multi-étages		Moteur AC triphasé	
Puissance maximale	15000 W	Tension	700 V
		Courant max.	15.7 A
Pression Min / Nom / Max	7.8 / 10.8 / 13.7 bar		
Débit corresp.	21.1 / 18.5 / 16.0 m³/h		
Puissance corresp.	11000 / 11000 / 11000 W		
Efficacité	41.9 / 50.4 / 55.5 %		

Unités pour ce projet
 Débit: m³/h
 Pression: bar
 Puissance: kW
 Énergie: kWh

Outil de calcul énergie hydraulique
 Vous pouvez définir n'importe quelles valeurs, pas nécessairement liées à votre projet

Débit: 17.1 m³/h
 Pression: 12.41 bar
 Puissance: 5.910 kW

Annuler OK

Figure V - 11 : Définition de la pompe

V.6.8 Caractéristique de la pompe :

- Modèle : PSK2-15 C –SJ17-18.
- Technologie pompe : centrifuge multi-étages.
- Type de pompe : immergé.
- Puissance maximale : 15 kW.
- Rendement : 55.50%.
- Le débit : 16.02 m³/h.
- Tension MPP minimale : 500 V.
- Tension MPP maximale : 850V.
- Hauteur maximale : 40-140m.

V.6.9 Choix de l'onduleur :

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

☒ Régulateur universel mode de régulation Onduleur MPPT-AC

Tous les fabricants 1000 W Onduleur MPPT-AC Universal MPPT - AC Inverter Generic device Adaptabl

Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Figure V - 12 : Type de l'onduleur

Caractéristique de l'onduleur :

- Tension MPP minimale : 500 V.
- Tension MPP maximale : 850V
- Rendement : 98 %.
- Puissance : 15 KW.
- Courant d'entrée maximum : 24 A.

V.6.10 Type de module PV pour l'application similaire :

Pour notre simulation le modèle (LR5-72 HPH 540M Longi Solar) qui répond mieux à cette condition a les caractéristiques suivantes :

Sélection du module PV

Disponibles

Longi Solar 540 Wp 35V Si-mono LR5-72 HPH 540 M Depuis 2020 Manufacturer 2020

Modules nécessaires approx. N/A Dimens. des tensions : V_{mpp} (60°C) 35.8 V V_{co} (-10°C) 54.4 V

Figure V - 13 : Le type de module PV

Caractéristique du module PV :

- Modèle : Si-mono LRS-72 HPH 540 M- mono-crystalline
- Fabricant : Longi Solar.
- Nombre de cellule : 72.
- $I_{cc} = 13.85$ A.
- Rendement : 23.34%.
- $P_{mpp} = 541.1$ W.
- $I_{mpp} = 13.8$ A.
- $V_{mpp} = 41.0$ V.
- $V_{co} = 49.5$ V.

Le nombre de modules constituant le générateur suivant :

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série ☒ doit être: entre 14 et 15

☐

Perte surpuissance **N/A**

Rapport P_{nom} **N/A**

nbre modules **30** **Surface** **77 m²**

Figure V - 14 : Nombre de modules en série et en parallèle

V.6.11 L'exécution de la simulation :

On a lancé notre simulation et on a obtenu les résultats principaux, diagramme des pertes comme montre la figure (IV.19) et un rapport final de simulation.

Résultats principaux		
Type de système	Système de pompage PV	
Eau pompée	36530	m ³ /an
Besoins d'eau	36500	m ³ /an
Eau manquante	-0.1	%
Energie à la pompe	23667	kWh
Energie spécifique	0.65	kWh/m ³
Efficacité système	72.2	%

Figure V - 15 : Les résultats principaux

Diagramme de température en fonction d'irradiation effective :

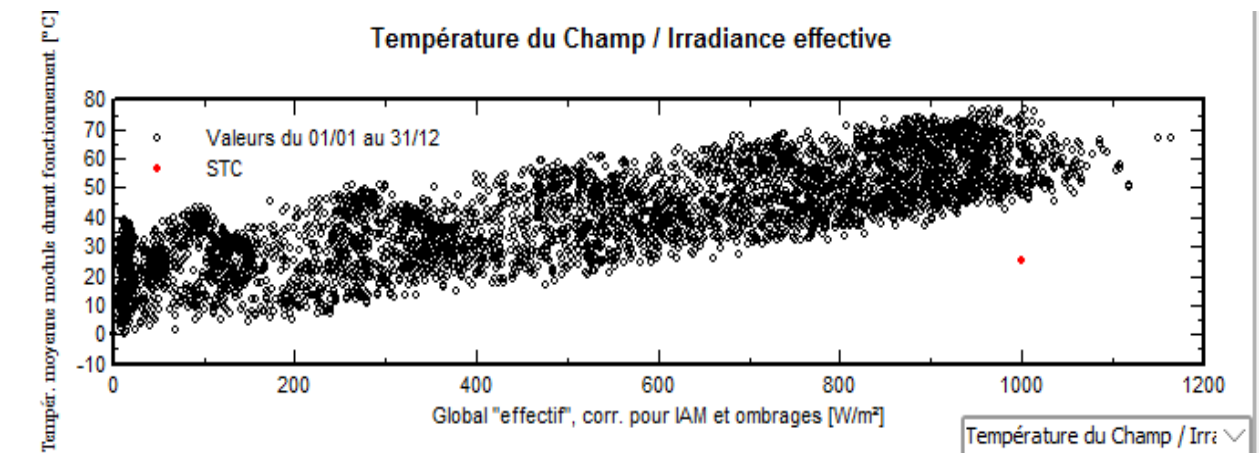


Figure V - 16 : Diagramme journalier Entrée/Sortie

Energie effective en sortie des modules :

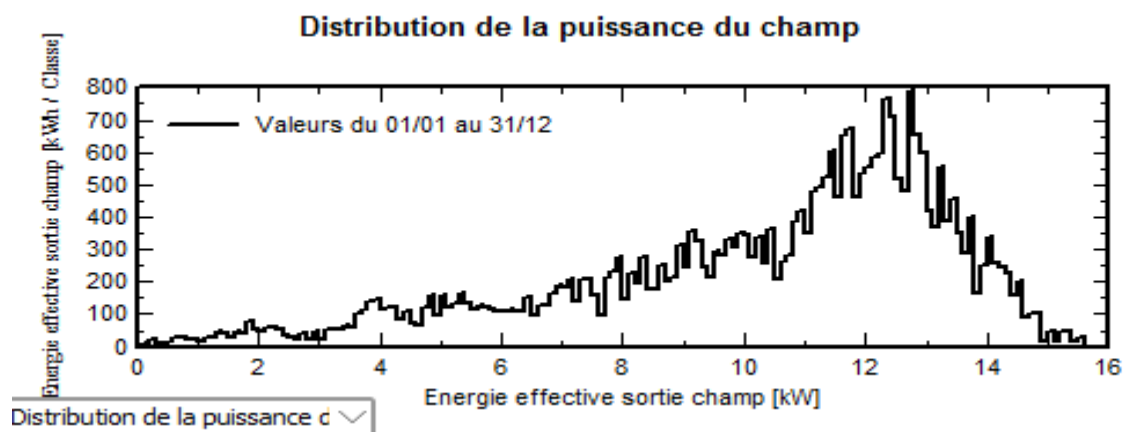


Figure V - 17 : Distribution de l'énergie effective en sortie des modules

Performance ration :

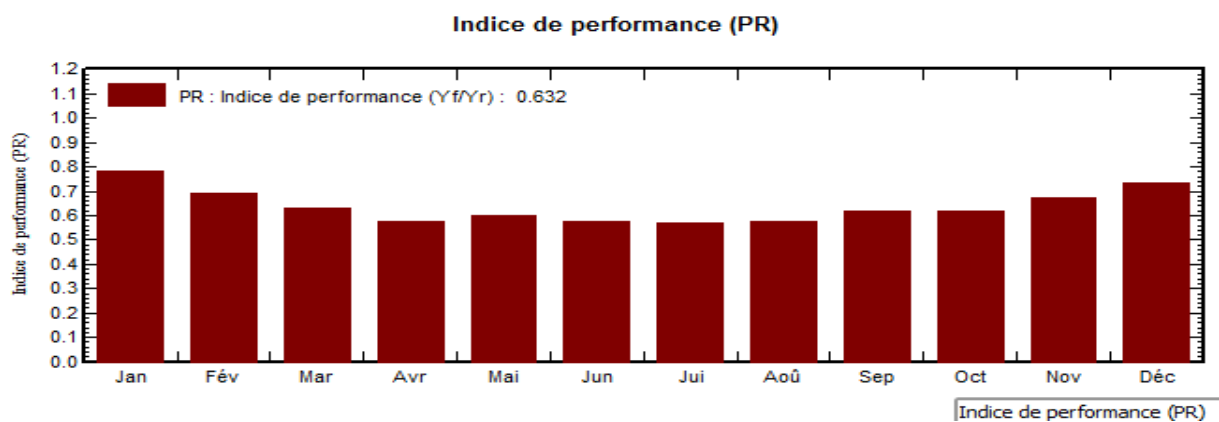


Figure V - 18 : Indice de performance

Diagramme journalier Entrée/Sortie :

Le diagramme journalier Entrée/Sortie représente l'Energie effective en sortie des modules/Irradiation journalière globale incidente.



Figure V - 19 : Diagramme journalier Entrée/Sortie

- **Diagramme des pertes sur l'année entier :**

Diagramme des pertes pour "Nouvelle variante de simulation" - année

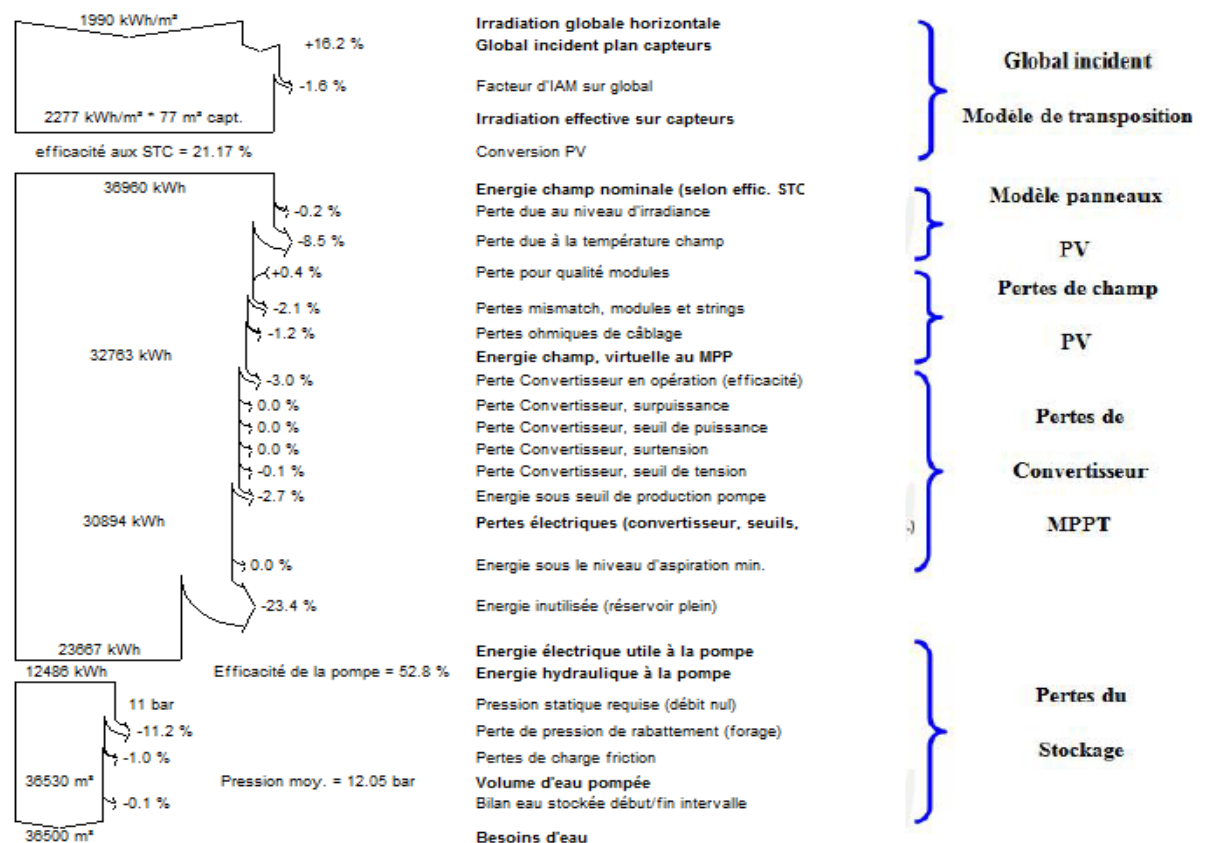


Figure V - 20 : Diagramme des pertes sur l'année entier

V.7 Conclusion :

Les habitants des zones rurales sont confrontés à des problèmes majeurs dus à la pénurie d'eau. La technologie de pompage solaire est la solution la plus appropriée à ce problème partout où le réseau électrique est absent.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes nécessaires pour concevoir un système Pompage photovoltaïque autonome. Ainsi que le dimensionnement de chaque élément du système.

Conclusion générale

L'énergie photovoltaïque (PV) est une source d'énergie renouvelable, inépuisable sous réserve la production de son matériel. Pour qu'elle soit utilisée pour différentes applications et pour satisfaire les contraintes économiques.

Notre travail vise à étudier l'électrification d'une zone d'ombre située dans la région de Laghouat à l'aide d'un mini central électrique utilisant un système d'énergie solaire isolé du réseau. Une méthode qui dépend de cette étude sur un facteur de base, qui est la connaissance des données d'ensoleillement liés aux coordonnées de longitude et de latitude pour la zone, en plus de la définition de la consommation quotidienne qui est estimée à travers le nombre d'appareils électriques et la durée de leur utilisation, ce qui permet d'atteindre un équilibre dans l'approvisionnement et la consommation d'énergie électrique.

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.

. Ces étapes nous ont permis de calculer la puissance crête et la capacité de stockage pour déterminer le nombre de module photovoltaïque et le nombre des batteries utilisés. Puis nous avons déterminé le dimensionnement de l'onduleur avec les câblages des installations. Enfin nous avons fait appel à la simulation avec un logiciel PVsyst pour bien obtenir les différents paramètres concernant le dimensionnement qui représente (module PV, batterie onduleur, surface installée ...)

Le résultat obtenu à l'aide de deux méthodes (calcul théorique, la simulation avec un logiciel PVsyst) est à travers la nature, de lieu étudié étant une zone agricole,

Le dimensionnement par PVSYST donne des bons résultats par rapport au dimensionnement par la méthode du calcul

Le résultat obtenu à l'aide de la méthode analytique qui permet de créer un programme de calcul à travers le logiciel Excel

Références

- [1] L. Lajal, « The transition toward renewable energy as approach to achieve energy security in Algeria.,» p. 163, 01 01 2020.
- [2] M. s. al-Bashir, « Zones d'ombre en Algérie.. succès et échec,» <https://www.alaraby.co.uk>, 2021.
- [3] Energie solaire photovoltaïque.doc / b. flèche - d. delagnes / juin 07.2000.
- [4] Bouziane afaf, « évaluation du rayonnement solaire en algérie pour des applications photovoltaïques », mémoire de master académique, université mohamed boudiaf -msila 2012.
- [5] Boukhrs djamil, « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage », mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en électrotechnique, université mentouri de constantine 2007.
- [6] Salim arab, dalila toudert, « étude d'un système photovoltaïque » mémoire de fin d'étude de master académique, université mouloud mammeri de tizi-ouzou ,2017.
- [7] Tayebi, nourredine, « implémentation des algorithmes de poursuite appliqués au système photovoltaïque par arduino », mémoire de master, université de ghardaïa ,2020
- [8] Boutlilis, fatima, « modélisation et simulation des sources de production décentralisée application à l'intégration d'un générateur pv à stockage dans un réseau électrique », pour obtenir le diplôme de docteur en génie électrique', université abdelhamid ibn badis de mostaganem, 2018.
- [9] Belabbas arezki. cherif aghiles, « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome de 16 kw », 'mémoire de fin d'études de master académique , université mouloud mammeri de tizi-ouzou,2016.
- [10] Rafidinarivo henintsoa nantenaina, « projet d'installation photovoltaïque autonome pour cinq villages de la commune d'ambohidratrimo, » mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master d'ingénierie en géo-énergie, université d'antananarivo, 2015.
- [11] Cherifi farida. grim naima, « dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », mémoire de fin d'étude de master académique, université mouloud mammeri de tizi-ouzou, 2018
- [12] Belhadj mohammed, « modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome », mémoire de magister, centre universitaire de bechar, 2008.

- [13] Rafik belabed. « etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque », mémoire de fin d'étude de master academique, université mouloud mammeri de tizi-ouzou',2017.
- [14] Khechafi sofiane. benlaachi salah, « calcul et dimensionnement électrique d'une mini centrale photovoltaïque autonome », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur' centre de développement des energies renouvelables -cder',2019.
- [15] Aniss yaker. belkacem belaid, «dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome » mémoire de fin d'études de master academique,universite mouloud mammeri de tizi ouzou,2015
- [16] Zerrouki zolikha. bereksi reguig rym, « dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme master, universite abou-bekr belkaid – tlemcen, 2017.
- [17] Smaïl semauoui, « etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque », mémoire pour l'obtention du titre de magister, universite de ouargla ,2004.
- [18] Centrales photovoltaïques guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets à l'usage des bureaux d'ingénieurs.
- [19] Fellah nadia. sidibe oumar, « etude et dimensionnement de l'installation photovoltaïque du decanat de la faculté st », memoire présenté pour obtenir le diplôme de master en genie électrique, université abdelhamid ibn badis mostaganem, 2019.
- [20] Boulhares khadidja. traket chahira, « etude pratique et dimensionnement d'un système d'eclairage public photovoltaïque autonome cas d'étude ; unité de recherche d'adrar », memoire de master academique, université ahmed draïa adrar, 2018.
- [21] Djilat zahra. bouras sarra, « méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de m'sila », mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master académique, universite mohamed boudiaf -m'sila',2019.
- [22] Hichem dahmani. mohamed bouzaia, «etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque dédié à une habitation », mémoire de fin d'études de master professionnel, universite mouloud mammeri de tizi-ouzou',2017.
- [23] I. S.-A. E. B. B. B. CHIKH-BLED, «Méthode de dimensionnement optimal d'une installation photovoltaïque,» p. 26, 09 02 2010.

Références

- [24] Hichem dahmani mohamed bouzaia, « dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque de 300kw », mémoire de master, universitem'hamedbougara-boumerdes, 2017.
- [25] Degla mohammed .larbi ben ahmed bachir, « dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire master professionnel universite kasdi merbah ouargla 2017.
- [26] Mohamed lakhadar louazene, « etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'ouargla», mémoire de magister universite el hadj lakhadar – batna.2008

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة ابعاد لنظام الربط بالطاقة الكهروضوئية لمناطق الظل (المعزولة عن الشبكة الكهربائية) في ولاية الاغواط وبالتحديد بلدية قصر الحيران

الكلمات المفتاحية

مناطق الظل، أنظمة الطاقة الكهروضوئية، موج، لوح شمسي، البطاريات، منظم الشحن، الشبكات

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier les dimensions du système d'interconnexion électrique photovoltaïque pour les zones d'ombre (isolées du réseau électrique) dans l'état de Laghouat. Et plus précisément la commune Kasr el Hirane de Laghouat.

Mots clés : Zones d'ombre, systèmes PV, Onduleurs, panneaux solaires, batteries, régulateurs de charge, réseaux

Abstract

The aim of this work is to study the dimensions of the photovoltaic interconnection system for the shade areas (isolated from the electrical network) in the state of Laghouat.

Keywords

Shade areas, PV systems, inverter, solar panels, batteries, charge regulators, grids