

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED – NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Énergies Renouvelables

Option : Énergies Renouvelables en Électrotechnique

Intitulé :

***ÉTUDE ET SIMULATION DE DIMENSIONNEMENT D'UN
SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE CONNECTE AU RESEAU
ELECTRIQUE (APPLIQUEE SUR L'INTERNAT PRIMAIRE
FRERES CHAABANE-MECHERIA-)***

Présenté par :

- Addadi Hemza
- Benhaddou Kamel

Soutenu le : 22/09/2020 devant le Jury :

<i>M. Lahcen Reda</i>	<i>MAB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Président</i>
<i>M. Brahimi Mohamed</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Encadreur</i>
<i>M. Bouddou Riyadh</i>	<i>PhD</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Co-Encadreur</i>
<i>Mm.Medjadji Nacir</i>	<i>MAB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Examineur</i>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Avant tout nous tenons nos remerciements à ALLAH de nous avoir donné le courage et la volonté pour Accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier vivement notre encadreur Dr. Brahimi Mohamed et le Co-encadreur Dr. Bouddou Riyadh, qui n'ont jamais épargné ni de leur temps ni de leur effort pour nous aider à la réalisation de ce projet, Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance. Et tous les professeurs du département de Science et de la technologie A tous ce qui furent à un moment ou à un autre et à tout instante partie prenante de ce travail. Nous adressons aussi nos remerciements à BEN ALI MOHAMMED le directrice du

Primaire LES frères Chaâbane qui nous a accueillie dans L'école pour la réalisation de ce travaille .Nos plus chaleureux remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Son oublié de remercier : L'ensemble des enseignants qui ont participé à notre formation. Tous les responsables et tous les enseignants du département d'Electrotechnique à Naama.

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire. A la fin nous tenons à remercier tous nos collègues d'études, particulièrement notre promotion.

*Addadi Hemza
Benhaddou Kamel*

Dédicace

A tous ceux qui saignent pour la libération de la fière Palestine

*Mes très chers parents (**Mohammed** et **Baya**):*

Père, vous avez toute ma gratitude, car c'est grâce à vous que j'ai atteint mon but...

Ma très chère maman, je vous remercie pour votre soutien moral, vos encouragements et vos conseils qui mon guidés durant mon parcours.

*A mes chers frères **Brahim** et **Mourad***

*Et a toute la famille **Addadi***

A ma chère fiancée

*A mes proches amis **Mourad** et **Abdessamad***

*A mon cher binôme **Kamel***

Et a toute sa famille

Je dédie ce mémoire.

ADDADI HEMZA

Dédicace

A tous ceux qui saignent pour la libération de la fière Palestine

*Mes très chers parents (**Mustapha** et **Mebarka**):*

Père, vous avez toute ma gratitude, car c'est grâce à vous que j'ai atteint mon but...

Ma très chère maman, je vous remercie pour votre soutien moral, vos encouragements et vos conseils qui m'ont guidés durant mon parcours.

*A mes chers frères **Hemza** et **Med Amine***

*Et à toute la famille **Benhaddou***

*A mes proches amis **Mouad** et **Youcef***

*A mon cher binôme **Hemza***

Et à toute sa famille

Je dédie ce mémoire.

Benhaddou Kamel

ملخص:

يتكون النظام الكهروضوئي من مجموعة من الألواح الكهروضوئية والبطاريات والعناصر لتحويل الطاقة والتحكم فيها. حيث يقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى تيار مستمر. إذا تم استخدام أحمال التيار المتناوب، فإن النظام يتطلب عاكسًا لتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب. هناك نوعان من الأنظمة الكهروضوئية، الأنظمة المتصلة بالشبكة والأنظمة المستقلة. تغذي الأنظمة المتصلة بالشبكة مباشرة في شبكة الكهرباء، وتعمل بالتوازي مع مصدر الطاقة التقليدي. إذ تنتج هذه الأنظمة كهرباء نظيفة بالقرب من نقطة الاستخدام، دون خسائر في النقل والتوزيع. تعتمد كفاءتها على المناخ المحلي واتجاه وميل اللوحة الكهروضوئية وكفاءة العاكس. في حين أن النظام المستقل لا يتضمن أي تفاعل مع شبكة التوزيع، فإن الكهرباء المنتجة متصلة مباشرة بالحمل. إذا لم يكن المولد الكهروضوئي يوفر حمولة مباشرة، فسيلزم وجود بطارية تخزين.

الهدف من هذه المذكرة هو محاكاة تحجيم النظام الكهروضوئي المتصل بشبكة الكهرباء لتزويد المدرسة الداخلية الابتدائية الاخوة شعبان الواقعة في مشرية بولاية النعامة، والتي تمثلت بالتالي في اختيار عدد الألواح الشمسية في الحقل. الفولتية الضوئية والمحولات (المحولات) ونظام التوصيل وما إلى ذلك ... بعد تحديد البيانات الجغرافية والأرصاد الجوية باستخدام برنامج Meteo-norm وكذلك ملف تعريف الاستهلاك للحمل اليومي المعتمد من هذا الموقع المتصل للشبكة. يتم تنفيذ محاكاة التحجيم باستخدام برنامج PVSyst. ستشمل النتائج عدة مؤشرات مثل فقد الطاقة مع الميزانية العمومية لخسائر النظام والتقييم الفني والتقييم الاقتصادي للنظام الكهروضوئي.

الكلمات الأساسية: نظام الطاقة الكهروضوئية PV، الألواح الشمسية، محولات، برامج الأرصاد الجوية القياسية برنامج

.PVSYS

Résumé :

Un système photovoltaïque (PV) se compose d'un ensemble de panneaux photovoltaïques, de batteries et d'éléments pour la conversion et le contrôle de l'énergie. Le système PV convertit l'énergie solaire en courant continu. Si des charges en courant alternatif sont utilisées, le système nécessite un onduleur pour convertir le courant continu en courant alternatif. Il existe deux types de systèmes photovoltaïques, les systèmes connectés au réseau et les systèmes autonomes. Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau alimentent directement le réseau électrique, fonctionnant en parallèle avec la source d'énergie conventionnelle. Les systèmes connectés au réseau produisent de l'électricité propre à proximité du point d'utilisation, sans pertes de transmission et de distribution. Son rendement dépend du climat local, de l'orientation et de l'inclinaison du panneau photovoltaïque et du rendement de l'onduleur. Alors qu'un système autonome n'implique aucune interaction avec un réseau de distribution, l'électricité produite est directement connectée à la charge. Si le générateur photovoltaïque n'alimente pas directement une charge, un dispositif de stockage est nécessaire.

Le but de ce mémoire est de simuler le dimensionnement d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique pour alimenter l'internat primaire des frères Chaabane situé en Mechérie dans la wilaya de Naama, qui a donc consisté à choisir le nombre de panneaux solaires du champ photovoltaïque, les convertisseurs (onduleurs), le système de connexion, etc..., après la

Résumé

spécification des données géographiques et météorologiques à l'aide du logiciel Meteo-norm et aussi le profil de consommation de la charge journalière adoptée de ce site connecté au réseau. La simulation de dimensionnement est réalisée avec le logiciel PVSyst. Les résultats comprendront plusieurs indicateurs tels que les pertes de puissance avec un bilan des pertes du système, l'évaluation technique et l'évaluation économique du système photovoltaïque.

Mots clés : *Système photovoltaïque (PV) ; panneaux solaires ; onduleurs ; logiciel Météo-norme ; logiciel PVSyst.*

Abstract:

A photovoltaic (PV) system consists of a set of photovoltaic panels, a battery and elements for energy conditioning. The PV system converts solar energy into direct current. If AC loads are used, the system requires an inverter to convert DC power to AC power. There are two types of PV systems, such as grid-connected systems and stand-alone systems. Grid-connected PV systems feed power directly into the electrical grid, operating in parallel with the conventional power source. Grid-connected systems produce clean electricity close to the point of use, without transmission and distribution losses. Its yield depends on the local climate, the orientation and inclination of the photovoltaic panel and the efficiency of the inverter. While a stand-alone system does not involve any interaction with a utility grid, the electricity produced is directly connected to the load. If the photovoltaic generator does not directly feed a load, a storage device is required.

The purpose of this paper is to simulate the dimensioning of a photovoltaic system connected to the electrical grid to supply the primary boarding school of the Chaabane brothers located in the mecheria wilaya of Naama, which therefore consisted in choosing the number of solar panels of photovoltaic field, converters (inverters), the connection system, the battery etc..., after the specification of geographical and meteorological data using Meteo-norm software and also the consumption profile of the adopted daily load of this site connected to the network. The sizing simulation is done with PVSyst software. The results will include several indicators such as power losses with a system loss balance, technical evaluation, and economic evaluation of the photovoltaic system.

Keywords: *Photovoltaic (PV) system; solar panels; inverters; Meteo-norm software; PVSyst software.*

Sommaire

Remerciement.

Dédicaces.

Résumé.

Liste des figures.

Liste des Tableaux.

Liste des abréviations.

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes à énergie photovoltaïque

1.1 Introduction 4

1.2 Ressource solaire 4

1.2.1 Normalisation 5

1.3 Cellules photovoltaïques..... 5

1.3.1 L'effet photovoltaïque 5

1.3.2 Historique 6

1.3.3 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque 7

1.3.4 Technologie d'une cellule photovoltaïque 7

1.4 Caractéristiques de la cellule photovoltaïque10

1.5 Le système photovoltaïque.....10

1.5.1 Systèmes photovoltaïques avec stockage électrochimique.....11

1.5.1.1 Principe de fonctionnement.....11

1.5.1.2 Modes de fonctionnement.....12

1.5.2 Les panneaux photovoltaïques.....15

1.5.3 Les accumulateurs électrochimiques.....15

1.5.4 Régulation électronique de la charge.....15

1.5.5 Onduleur.....17

1.5.5.1 Généralité et principe de fonctionnement.....17

1.6 Les étapes de dimensionnements d'un système photovoltaïque.....19

1.7 Les besoins en énergie électrique20

Sommaire

1.7.1 L'énergie à fournir à l'onduleur et son utilisation.....	20
1.7.2 L'énergie à fournir à la batterie et son utilisation.....	21
1.8 L'énergie électrique fournie par le générateur photovoltaïque.....	21
1.8.1. Estimation de l'énergie solaire reçue sur un site donné	21
1.8.2 Les valeurs statistiques de l'énergie solaire	22
1.8.3 Estimation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque	22
1.9. Dimensionnement du panneau photovoltaïque.....	23
1.9.1. Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau.....	23
1.9.1.1. Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé.....	23
1.9.1.2. Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé	24
1.9.2. Stockage inter-saisonnier de l'énergie.....	24
1.9.3. Procédure de dimensionnement du panneau solaire	25
1.10. Choix de la tension du fonctionnement	25
1.11. Dimensionnement de la batterie	26
1.11.1. Rôle du stock d'énergie	26
1.11.2. Capacité de la batterie	26
1.11.3. Choix de la capacité de la batterie.....	26
1.11.3.1. Les contraintes à respecter	26
1.11.3.1.1. Le courant de décharge maximal (IDC max)	27
1.11.3.1.2. La quantité d'énergie maximale prélevée chaque jour (QDC max).....	27
1.11.3.1.3. La profondeur de décharge ($\frac{CU}{C}$).....	27
1.11.3.1.4. Charge (et recharge) de la batterie	27
1.11.3.2. Le choix de la capacité C1	27
1.11.3.3. Choix de la capacité C2	28
1.12. Dimensionnement de l'onduleur.....	28
1.13. Dimensionnement des câbles de raccordement.....	29
1.13.2.1. La liaison électrique panneau-batterie	29
1.13.2.2. La liaison électrique batterie-appareils	30

Sommaire

1.13.2.3. Distribution en courant continu.....	30
1.13.2.4. Distribution à partir d'un on onduleur.....	30
1.14 Conclusion.....	30
 Chapitre II : Systèmes photovoltaïques connectés au réseau	
2.1 Introduction.....	32
2.2 Réseau électrique.....	33
2.2.1 Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau.....	33
2.2.2 Perturbations des réseaux électriques.....	34
2.3 Eléments constitutifs d'une installation connectée au réseau	34
2.3.1 Panneaux solaires	34
2.3.1.1 Installation mécanique des panneaux.....	34
2.3.2 Onduleurs	35
2.3.2.1 MPPT.....	36
2.3.2.2 Principe de fonctionnement d'onduleur	38
2.3.2.3 La commande MLI.....	38
2.3.2.4 Tension de l'onduleur.....	38
2.3.2.5 MPPT multiples.....	39
2.4 Types des installations photovoltaïques connectées au réseau.....	40
2.4.1 Centrale de production d'énergie photovoltaïque.....	40
2.4.1.1 Exemples des centrales photovoltaïques.....	40
2.4.2 Générateurs photovoltaïques Dans Les Constructions (installations décentralisées)	44
2.5 Avantages et inconvénients des systèmes connectes au réseau	46
2.6 Conclusion.....	47
 Chapitre III : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque	
3.1. Introduction.....	49
3.1.1. Électricité PV en Algérie.....	49
3.2. Présentation du site étudié.....	51
3.3 Méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque.....	51
3.3.1 Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation.....	51
3.3.2 Méthode du mois le plus défavorable.....	52

Sommaire

3.3.3 Méthode de la moyenne annuelle	52
3.3.4 Méthode LPSP.....	52
3.3.5 Méthode des heures équivalentes.....	52
3.3.6 Méthode itérative.....	52
3.3.7 Méthode utilisabilité solaire.....	52
3.3.8 Méthode simplifiée.....	53
3.4 Calcul de la consommation énergétique.....	54
3.4.1. Les besoins de l'application en énergie.....	54
3.4.1.1. Besoins de l'utilisation des différents appareils.....	55
3.5 Détermination d'irradiation du site pour le dimensionnement.....	57
3.5.1. Période de l'ensoleillement	57
3.5.2. Le coefficient de perte.....	58
3.5.3 Irradiation moyenne dans l'année (CDER DATA 2019)	59
3.6 Détermination et importance de l'orientation et d'inclinaison des panneaux.....	60
3.6.1 Détermination de la puissance crête des panneaux.....	60
3.6.1.1 Calcul pratique de la puissance photovoltaïque.....	60
3.6.1.2 Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation	61
3.6.1.3 Calcul du nombre de panneaux.....	61
3.7 Dimensionnement du régulateur et de l'onduleur	62
3.7.1 Choix du régulateur.....	62
3.7.2 Choix de l'onduleur	62
3.8 Étude de faisabilité.....	63
3.9 Conclusion	63

Chapitre IV : Simulation et discussion des résultats

4.1 Introduction.....	65
4.2 PVsyst.....	65
4.3. Etude sur le site connecté au réseau choisit	65
4.3.1 Partie I : Présentation de logiciel PVsyst	65
4.3.1.1 Organigramme de logiciel PVsyst.....	65

Sommaire

4.3.1.2 Présentation de projet.	66
4.3.1.3. Données géographique	66
4.3.1.4 Coordonnée géographique	66
4.3.1.5. Données météorologiques.....	67
4.4 Conception du projet.....	68
4.4.1 Etapes pour une conception du projet (connecté au réseau)	68
4.4.2 Première étape.....	68
4.4.2.1 Orientation des modules PV.....	68
4.4.2.2 Plan incliné fixe.....	68
4.4.2.3 Le facteur Transposition.....	68
4.4.3 Définition d'un profil de l'horizon.....	69
4.5 Deuxième étape.....	70
4.5.1 La définition des besoins de l'utilisateur.....	70
4.5.2 Profil horaire.....	71
4.6 Troisième étape.....	71
4.6.1 Les informations de panneau JKM 340M-72.....	72
4.6.2 Les informations de L'onduleur PVI 10KW-600	73
4.7 Quatrième étape	73
4.8 Partie II : Résultats et discussions de la simulation.....	74
4.8.1 Paramètres du système (connecté au réseau)	74
4.8.2 Caractéristiques du champ de capteurs	74
4.8.3 Performance ratio.....	74
4.8.4 Les productions normalisées.....	75
4.8.5 Bilan énergétique.....	75
4.8.6 Diagramme des pertes sur l'année entière.....	76
4.9. Evaluation économique.....	77
4.10 Conclusion.....	78
Conclusion générale	80
Annexes.	

Sommaire

Bibliographie.

Liste des Figures

Chapitre I : Généralités sur les systèmes à énergie photovoltaïque

Figure 1.1. Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	5
Figure 1.2. Schéma d'une jonction PN.....	6
Figure 1.3. Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque.....	7
Figure 1.4. Cellule en silicium monocristallin.....	8
Figure 1.5. Cellule en silicium poly cristallin	9
Figure 1.6: Cellule en silicium amorphe	10
Figure 1.7. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	10
Figure 1.8. Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général.....	11
Figure 1.9. Schéma de principe d'un système PV avec batterie.....	11
Figure 1.10. Mode 1 – Charge déconnectée.....	12
Figure 1.11. Mode 2 – Batterie chargée par le courant excédentaire.....	12
Figure 1.12. Mode 3 – Courant nul dans la batterie.....	13
Figure 1.13. Décharge de batterie dans un circuit.....	13
Figure 1.14. Mode 5 – La batterie fournit tout le courant d'utilisation.....	14
Figure 1.15. Caractéristiques de fonctionnement I-V	14
Figure 1.16. Principe d'une régulation shunt.....	16
Figure 1.17 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque.....	18
Figure 1.18. Filtrage de la tension par l'inductance de sortie.....	18
Figure 1.19 Circuit utilisant des thyristors.....	19
Figure 1.20 : L'énergie électrique fournie par un panneau en tenant compte des pertes et les désadaptations.....	23
Figure 1.21. Dimensionnement du panneau photovoltaïque.....	25
Figure 1.22. Dimensionnement de la batterie. Tableau synoptique de la procédure.....	28

Chapitre II : Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

Figure 2.1: Types des systèmes connectés au réseau.....	33
Figure 2.2 : Schéma générale de production, transport et distribution de l'énergie électrique...	33
Figure 2.3 : Surfaces disponibles pour un bâtiment photovoltaïque.....	35

Liste des figures

Figure 2.4 : Courbes I/V d'un panneau CdTe de 85 W en fonction de sa température (First Solar, FS-385)	36
Figure 2.5 : Puissance maximale sur une caractéristique courant-tension.....	36
Figure 2.6 : Principe de la commande MLI et les impulsions d'un interrupteur.....	38
Figure 2.7: Configuration d'un système PV avec : a) un onduleur b) plusieurs onduleurs.....	40
Figure 2.8 : Centrale solaire électrique photovoltaïque de la SKTM.....	41
Figure 2.9 : Représentatif des panneaux photovoltaïques dans la centrale SKTM.....	42

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

Figure 3.1 : le projet solaire de l'Algérie et ces 28 station solaire prévue pour une production dépassant les 20MW chacune.....	50
Figure 3.2 : la plateforme d'accueil du primaire les « frères Chaâbane »	51
Figure 3.3 : Photo par satellite de primaire « les frères Chaâbane ».....	51
Figure 3.4 : bilan de la consommation énergétique journalière.....	57
Figure 3.5 : carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.....	57
Figure 3.6: l'irradiation globale en Algérie.....	58
Figure 3.7 : les Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation.....	61
Figure 3.8 : les caractéristiques mécaniques de panneau solaire.....	61

Chapitre IV : Simulation et discussion des résultats

Figure 4.1 : Présentation de logiciel PVSYS.....	65
Figure 4.2 : Coordonnée géographique d'école primaire Les frères Chaâbane MECHRIA-NAAMA	66
Figure 4.3 : Paramètre climatique d'école primaire Les frères Chaâbane- MECHRIA-(CDER-DATA2019)	67
Figure 4.4: Conception du projet.....	68
Figure 4.5 : Angle d'orientation.....	69
Figure 4.6 : Horizon d'école primaire Les frères Chaâbane- MECHRIA-.....	69
Figure 4.7 : La consommation.....	70
Figure 4.8 : Le profil de charge et le temps d'utilisation.....	71
Figure 4.9 : Dimensionnement du champ PV.....	72
Figure 4.10 : Définitions d'un module PV.....	72

Liste des figures

Figure 4.11 : Définitions d'un onduleur pour le réseau.....	73
Figure 4.12 : Schéma simplifié d'une centrale PV connecté au réseau (PVsyst).....	74
Figure 4.13 : Indice de performance.....	75
Figure 4.14 : Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 68.0 Wc.....	75
Figure 4.15 : Diagramme des pertes sur l'année entière.....	76
Figure 4.16 : énergie journalière à la sortie du système.....	77

Liste des Tableaux :

Chapitre I : Généralités sur les systèmes à énergie photovoltaïque

Tableau 1.1: les avantages et les inconvénients de silicium monocristallin.....	8
Tableau 1.2: les avantages et les inconvénients de silicium poly cristallin	8
Tableau 1.3: les avantages et les inconvénients de silicium amorphe.....	9
Tableau 1.4 : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête..	25

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

Tableau 3.1 : Différents appareils de consommation.....	55-56
Tableau 3.2: les besoins du système PV dans les temps.....	56
Tableau 3.3: les différents types des pertes [42]	58-59
Tableau 3.4 : Irradiation moyenne dans l'année (CDER DATA 2019).....	59
Tableau 3.5 : Résultats du dimensionnement pour le système.....	62-63

Chapitre IV : Simulation et discussion des résultats

Tableau 4.1 : Tableau des données géographique du site d'école primaire (Les frères Chaâbane)	66
Tableau 4.2 : Caractéristiques du champ de capteur.....	74
Tableau 4.3 : Bilans et résultats principaux.....	76
Tableau 4.4 : Evaluation économique résume une estimation en dinar le cout de l'installation.	77
Tableau 4.5 : Coût de l'énergie.....	78

Liste des symboles abrégés

Liste des abréviations :

Symboles	Définitions	Unités
I_{out}	Courant fournie par la cellule	[A]
V_{out}	Tension aux bornes de la jonction	[V]
$I_{Ph}(\varphi)$	Courant produit par la photopile, ce courant est proportionnel au flux lumineux (φ)	[A]
V_b	La tension de la batterie.	[V]
V_{lim}	La tension de limitation	[V]
P_i	La puissance de cet équipement	[W]
t_i	La durée d'utilisation	[h]
E_i	L'énergie journalière consommée	[Wh/j]
N_e	Nombre d'heures équivalentes	[h/jour]
P_c	La puissance crête	[KWc]
P_r	Puissance réactive	[KVAR]
P_{mpp}	Puissance au point de puissance maximale appelé aussi puissance optimale	[KWdc]
I_{mpp}	Courant au point de puissance maximale appelé aussi courant optimum	[A]
V_{mpp}	Tension au point de puissance maximale appelé aussi tension optimale	[V]
G_{lobHor}	Irradiation globale horizontale	[KWh/m ²]
D_{iffHor}	Irradiation diffuse horizontale	[KWh/m ²]
$T_{_Amb}$	Température ambiante	[C°]
G_{lobInc}	Global incident plan capteurs	[KWh/m ²]
G_{lobEff}	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	[KWh/m ²]
E_{Array}	Energie effective sortie champ	[KWh]
$E_{_User}$	Energie fournie à l'utilisateur	[KWh]
$E_{_Solar}$	Énergie de soleil	[KWh]
$E_{_Grid}$	Energie injectée dans le réseau	[KWh]
E_{FrGrid}	Énergie de réseau	[KWh]

Abréviations :

PV: Photovoltaïque.

PPM : Le point de fonctionnement optimal.

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

PO : Perturbation et observation.

DC : Courant Continu.

AC : Courant Alternatif.

MLI : Modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation).

GPV : Générateur photovoltaïque.

Ns : Nombre de cellules en série dans un module photovoltaïque.

Np : Nombre de cellules en série dans un module photovoltaïque.

Introduction générale

Introduction Générale

L'énergie est la base de toute activité humaine, de nos jours, une grande partie de la demande mondiale en énergie est assurée à partir de ressources fossiles. Cependant, les réserves de combustibles fossiles sont limitées. En effet, la croissance de la demande énergétique mondiale, l'épuisement inévitable des ressources fossiles et le réchauffement climatique causé par l'émission des gaz à effet de serre imposent le recours aux énergies propres. Certains pays développés se sont orientés vers l'énergie nucléaire qui présente des risques d'accidents graves. C'est pourquoi on s'intéresse actuellement aux énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables se manifestent comme une solution potentielle à la réduction de la pollution. Parmi les moyens de production prometteurs le photovoltaïque (PV) apparaît aujourd'hui comme le plus approprié et le plus abouti à la production renouvelable et propre l'électricité.

L'avantage principal de cette énergie renouvelable est que son utilisation ne pollue pas l'atmosphère et elle ne produit pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre. Notre étude est réservée à l'installation d'un système solaire qui alimente un bâtiment d'équipement électrique.

Avant, L'énergie solaire photovoltaïque était limité aux applications rurales pour l'alimentation des sites isolés en électricité comme cela a été le cas en Algérie.

Mais depuis quelques années, le solaire photovoltaïque a fait son entrée dans les agglomérations, ce qui a pour effet l'augmentation sensible de la demande en modules photovoltaïques.

Afin de mieux exploiter cette énergie, il est nécessaire de connaître la distribution de l'irradiation solaire sur le lieu de l'implantation prévu pour l'installation photovoltaïque, pour différentes orientations et inclinaisons.

L'objectif de ce travail est de donner un aperçu sur la méthodologie de calcul et de dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'un site réel connecté aux réseaux électriques à travers logiciel PVsyst.

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

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes intéressés à l'études les installations photovoltaïques connecté aux réseaux électriques avec ces différents type de montage et les Critères de choix des composants d'installation.

Introduction Générale

En suite dans le troisième chapitre, nous avons présenté notre site étudié, après on a appliqué les étapes de dimensionnement une application numérique qu'elle nous ouvre la porte pour compléter notre travaille par une simulation de dimensionnement par logiciel PVsyst dans le quatrième chapitre.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes à énergie photovoltaïque

1.1 Introduction

L'énergie photovoltaïque est l'un des enjeux de la politique énergétique du notre siècle, qui résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique, au moyen d'une photopile. Cette photopile, qu'on appelle aussi, cellule solaire ou cellule photovoltaïque, est fabriquée à l'aide de matériaux semi-conducteurs, comme les transistors ou les puces dans un ordinateur. Les cellules photovoltaïques sont fabriquées généralement à base de "silicium cristallin", qui reste la filière la plus avancée sur le plan technologique et industriel, pour la raison que le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur la terre, sous forme de silice non toxique. Nous allons consacrer ce chapitre à la description d'une unité de la production photovoltaïque.

1.2 Ressource solaire

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique, compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 (μm). La figure 1.1 représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement au :

- 9 % dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47 % dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$),
- 44 % dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt paramètre carré (kW/m^2), à plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère absorbe toute fois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteint la surface terrestre dépasse rarement $1,2 \text{ kW}/\text{m}^2$ ($1200 \text{ W}/\text{m}^2$). La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné, varie selon latitude, l'heure et la saison [1].

Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques, causent des variations horaire set quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus. L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie, pose donc un problème bien particulier. En effet, le rayonnement solaire n'est pas toujours disponible, en outre, on ne peut l'emmagasiner, ni le transporter. Le concepteur d'un système qui emploie le rayonnement solaire comme source d'énergie, doit donc déterminer la quantité l'énergie solaire disponible à l'endroit visé, et le moment où cette énergie est disponible [1].

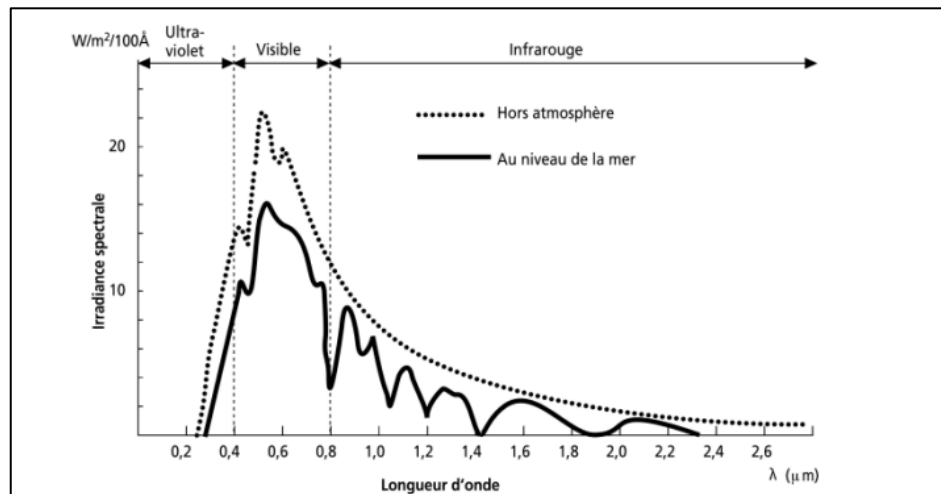


Figure 1.1: Analyse spectrale du rayonnement solaire [1]

1.2.1 Normalisation

Les conditions standards de qualification des modules photovoltaïques sont :

- Un spectre AM 1.5.
- Un éclairement de 1000W/m².
- Une température de 25C.

Les constructeurs des panneaux solaires spécifient les performances de leurs matériels dans les conditions normalisées citées ci-dessus (S.T.C : Standard Test Conditions) [2].

1.3 Cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques (photon : grain de lumière et volt : unité de tension) convertissent directement l'énergie lumineuse en électricité (courant continu basse tension). Comme l'énergie lumineuse vient du soleil, on parle alors des cellules solaires [3].

1.3.1 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique, qui convertit la lumière (photons) en électricité grâce à l'utilisation d'un matériau semi-conducteur. Ce dernier possède des propriétés électroniques particulières. Pour constituer une cellule photovoltaïque il faut, à partir de ce matériau, constituer d'une jonction avec une couche supérieure présentant un excès d'électrons (zone dopée n) et une couche inférieure comportant un déficit d'électrons (zone dopée p) ou inversement, figure 1.2. L'exposition du semi-conducteur au rayonnement solaire, va créer un excès

de charges électriques dans les deux couches, et la mise en contact de deux matériaux de propriété électronique différente, va provoquer un champ électrique [3].

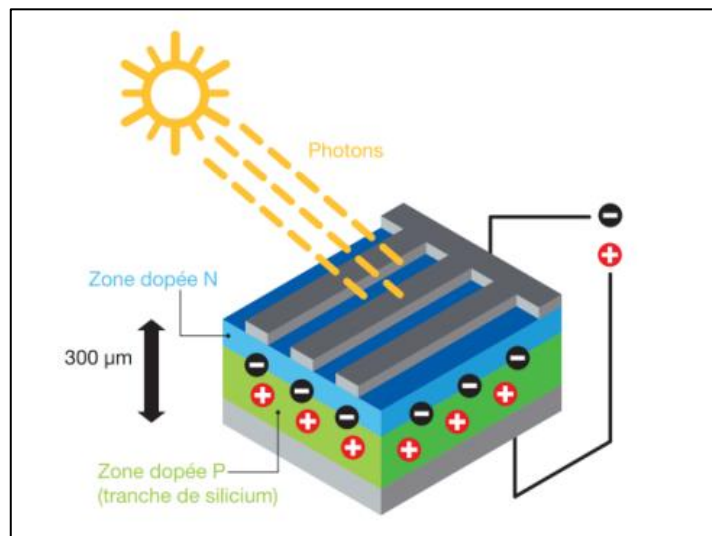


Figure 1.2 : Schéma d'une jonction PN

1.3.2 Historique

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies par des balises en mer et l'équipement des sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures hors soleil [2].

1.3.2.1 Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

En 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. En 1875 Wernju 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. En 1954 trois chercheurs américains, Chaplin, 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. En 1958 une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyée dans l'espace. En 1973 la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware. En 1983 la première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie. La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux Etats-Unis le 25 avril 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 tout le semi-conducteur. 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 quittées 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].

1.3.3 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

On peut représenter une cellule photovoltaïque, comme une diode plate sensible à la lumière, quand un photon de lumière d'énergie suffisante, heurte un atome sur la partie négative de cette diode, elle excite un électron et l'arrache de sa structure moléculaire, créant ainsi un électron libre sur cette partie. Une photopile est fabriquée de manière à ce que cet électron libre, ne puisse se recombiner facilement avec un atome à charge positive, avant qu'il n'ait accompli un travail utile en passant dans un circuit extérieur. Comme une pile chimique, la cellule photovoltaïque produira de l'électricité à courant continu, mais son énergie produite sera principalement en fonction de la lumière reçue par la photopile [2], comme montre la figure suivante :

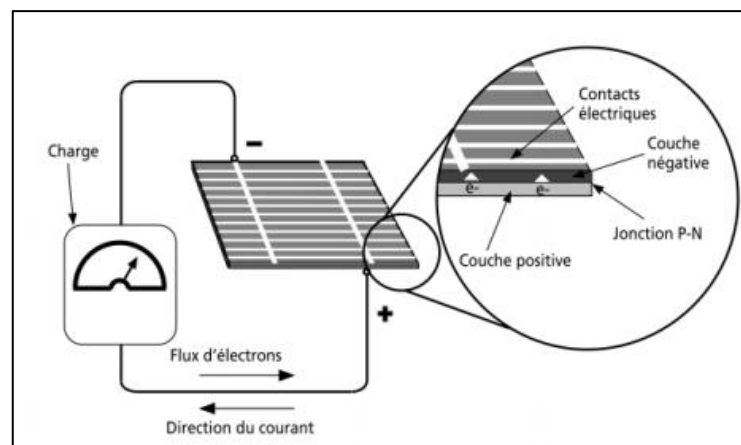


Figure 1.3 : Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque

1.3.4 Technologie d'une cellule photovoltaïque

a) **Silicium monocristallin** Les cellules en silicium monocristallin représentent la première génération des générateurs photovoltaïques, figure 1.4. Pour les fabriquer, on fait fondre la silice du silicium. Lors d'un refroidissement lent et maîtrisé, le silicium (métallurgique MG-Si) se solidifie en ne formant qu'un seul cristal (silicium solaire So-Si) de grande dimension (sous forme de barre). On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces dernières sont en général d'un bleu uniforme, leur durée de vie est de 20 à 30 ans [4].

Tableau 1.1: les avantages et les inconvénients de silicium monocristallin

Son avantage	Son inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> - Bon rendement, de 12% à 18%. - Bon ratio Wc/m^2 (environ 150 Wc/m^2) ce qui permet un gain de place si nécessaire. - Nombre de fabricants élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé. - Rendement faible sous un faible éclairement.

**Figure 1.4 :** Cellule en silicium monocristallin [4]

b) Silicium poly cristallin Ce dernier est issu de l'étape de refroidissement du silicium dans une lingotière, d'où la formation de plusieurs cristaux. Cette cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux, figure 1.5.

Tableau 1.2: les avantages et les inconvénients de silicium poly cristallin [4]

Son avantage	Son inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cellule carrée permettant un meilleur foisonnement dans un module ; ➤ Moins cher qu'une cellule monocristalline. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Un rendement moins bon qu'une cellule monocristalline : 11% à 15%. ➤ Ratio Wc/m^2 moins bon que pour le monocristallin (environ 100 Wc/m^2). ➤ Rendement faible sous un faible éclairement.

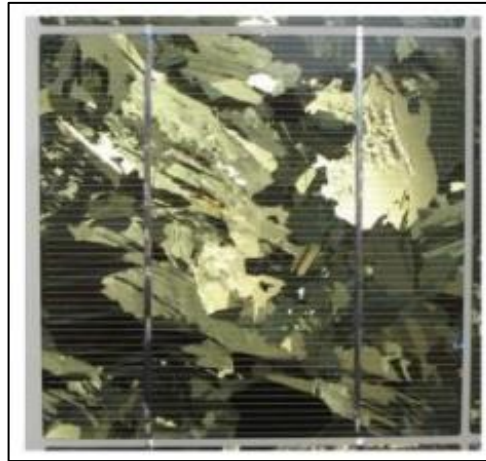


Figure 1.5 : Cellule en silicium poly cristallin [4]

Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport qualité prix). Durée de vie de 20 à 30 ans [4].

c) **Silicium amorphe** Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre, pour former une cellule grise très foncée, figure 1.6. Comme les cellules qui se trouvent dans les calculatrices et les montres dites "solaires".

Tableau 1.3 : les avantages et les inconvénients de silicium amorphe [4]

Son avantage	Son inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fonctionne avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert). ➤ Un peu moins chère que les autres technologies ➤ Intégration sur supports souples ou rigides. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement faible en plein soleil, de 6% à 8%. ➤ Nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de silicium cristallin (ratio Wc/m^2 plus faible, environ 60 Wc/m^2). ➤ Performances qui diminuent avec le temps (environ 7%).

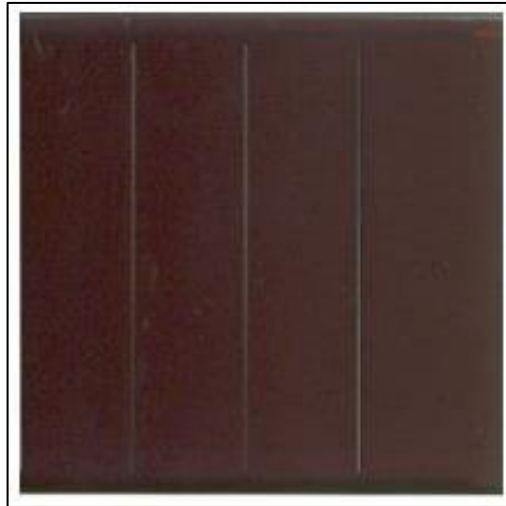


Figure 1.6 : Cellule en silicium amorphe [4]

1.4 Caractéristiques de la cellule photovoltaïque

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque peut être schématisé ci-dessous :

Pour une cellule idéale l'équation de courant, est :

$$I_{\text{out}}(V_{\text{out}}) = I_{\text{Ph}}(\varphi) - I_{\text{d}}(V) \quad (1.1)$$

Où :

I_{out} : Courant fourni par la cellule [A].

V_{out} : Tension aux bornes de la jonction [V].

$I_{\text{Ph}}(\varphi)$: Courant produit par la photopile, ce courant est proportionnel au flux lumineux (φ) [A].

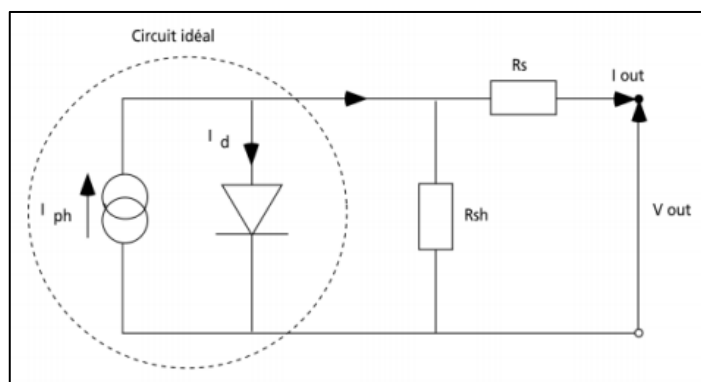


Figure 1.7: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

1.5 Le système photovoltaïque

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand-chose : pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à un système complet correspondant à une application bien spécifique [5]. Un système

photovoltaïque sera donc constitué du générateur précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants [5] :

- Un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes),
- Une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie),
- Un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire,
- Un convertisseur DC/AC
- Une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard.

La Figure 1.8 représente symboliquement les divers éléments du système le plus général. Dans la pratique, bien sûr, les systèmes utilisent les éléments appropriés au type de charge et aux conditions locales dans notre cas la charge est un ascenseur.

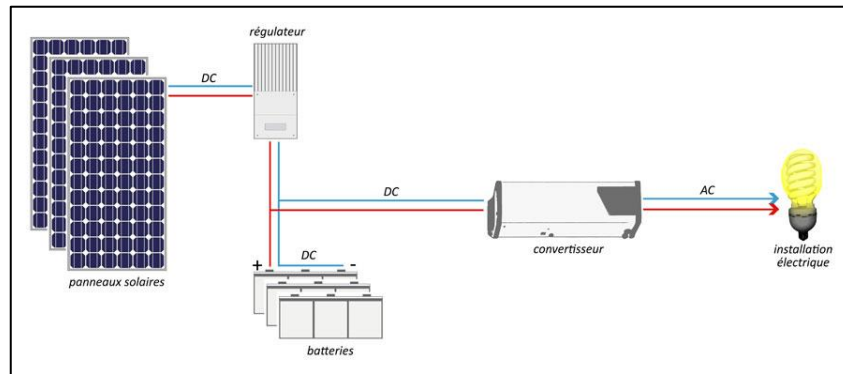


Figure 1.8 : Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général

1.5.1 Systèmes photovoltaïques avec stockage électrochimique

Parmi les solutions disponibles, le stockage électrochimique par batterie d'accumulateurs offre une bonne réversibilité entre la décharge et la recharge, les batteries au Plomb acide, offrant actuellement un des meilleurs compromis entre service rendu et coût d'exploitation [5].

1.5.1.1 Principe de fonctionnement

a. Schéma de principe.

Un générateur photovoltaïque avec batterie comprend généralement différents composants de base comme l'indique la figure suivante :

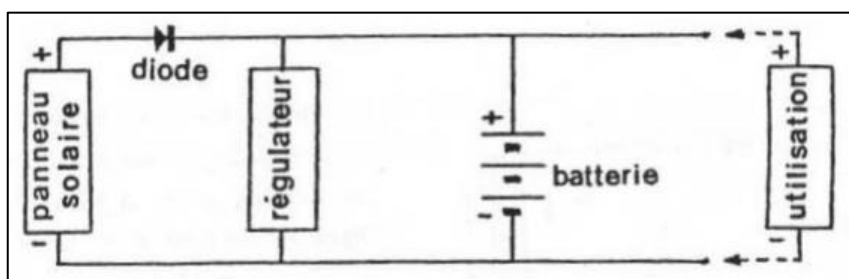


Figure 1.9 : Schéma de principe d'un système PV avec batterie

Premièrement, le panneau solaire charge la batterie en période d'ensoleillement. Deuxièmement, la batterie d'accumulateurs assure le stockage journalier et / ou saisonnier de l'énergie électrique. Après la diode anti-retour évite la décharge des accumulateurs à travers le panneau solaire en période d'obscurité et le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge et éventuellement contre les décharges profondes occasionnelles. Chaque composant du système devra être choisi en fonction des contraintes techniques et économiques.

1.5.1.2 Modes de fonctionnement.

Pour un système donné, 5 modes de fonctionnement peuvent exister en fonction de l'ensoleillement et du courant d'utilisation (hors régulation) [6].

b.1 Premier mode : déconnexion de la charge

La charge est déconnectée, le courant du panneau solaire, fonction de l'ensoleillement, charge la batterie [6].

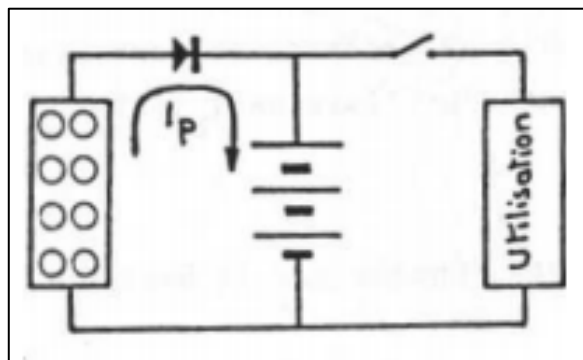


Figure 1.10 : Mode 1 – charge déconnectée

b.2 Deuxième mode de fonctionnement : excédent de courant

La charge est connectée. Le courant provenant du panneau solaire est supérieur au courant d'utilisation. Le courant excédentaire charge la batterie [6].

$$I_p = I_B + I_u \tag{1.2}$$

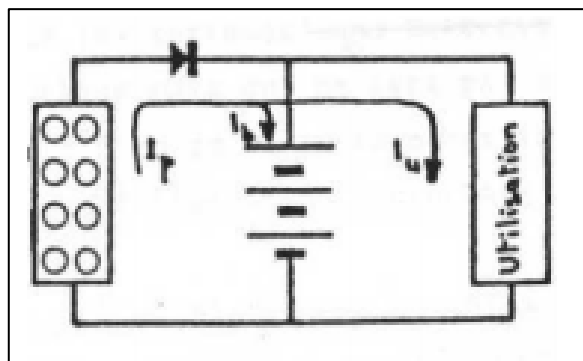


Figure 1.11: Mode 2 – Batterie chargée par le courant excédentaire

b.3 Troisième mode de fonctionnement : courant nul

La charge est connectée. Le courant provenant du panneau solaire se trouve, pour un ensoleillement donné, égal au courant d'utilisation : $I_p = I_U$. Aucun courant ne traverse la batterie : $I_B = 0$ [6].

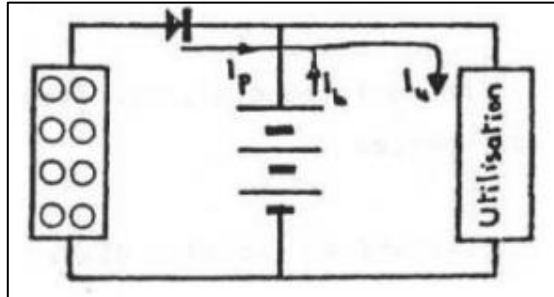


Figure 1.12 : Mode 3 – courant nul dans la batterie

b.4 Quatrième mode de fonctionnement : déficit de courant

La charge est connectée, le courant provenant du panneau solaire est inférieur au courant d'utilisation. La batterie se décharge en fournissant le courant déficitaire : [6].

$$I_B = I_U - I_p \tag{1.3}$$

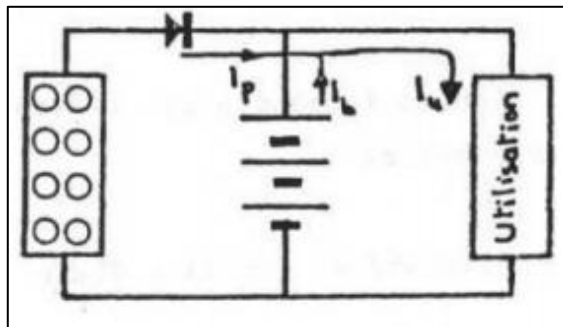


Figure 1.13 : La batterie se décharge dans le circuit

b.5 Cinquième mode de fonctionnement : nuit

La charge est connectée. Le courant provenant du panneau solaire est nul $I_p = 0$ (période d'obscurité). La diode anti-retour est bloquée. La batterie se décharge en fournissant le courant d'utilisation $I_B = I_U$ [6].

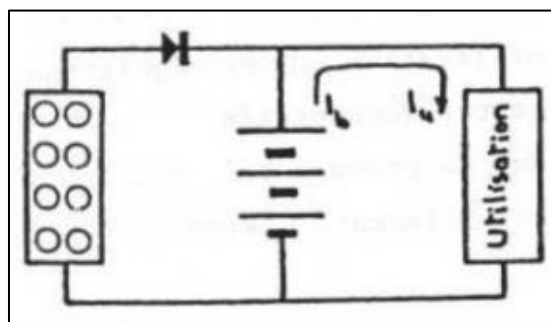


Figure 1.14 : Mode 5 – La batterie fournit tout le courant d'utilisation

N.B. : Dans tous les cas, la tension du système est imposée par la batterie.

L'étude d'adaptation d'un module PV branché sur une batterie revient à superposer les caractéristiques courant - tension du module PV et de la batterie en charge. En première approximation ; on peut considérer qu'un accumulateur se charge sous une tension presque constante en dehors des courtes périodes de début et fin de charge. On peut exprimer la tension de la batterie V_B vue par le module en fonction de 2 paramètres : la force contre électromotrice E_0 et la résistance interne r qui est très faible [6].

On a la relation

$$V_B = E_0 + R_i \tag{1.4}$$

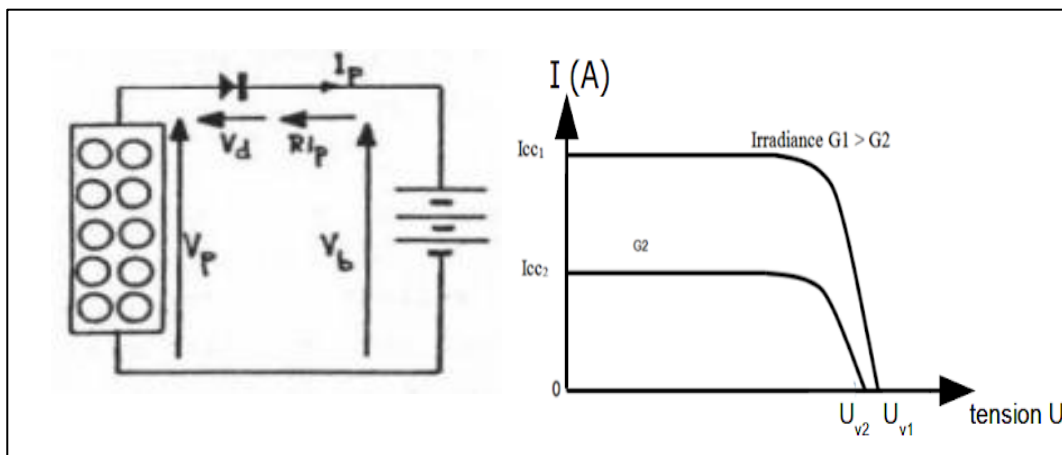


Figure 1.15 : Caractéristiques de fonctionnement I-V

En réalisant la liaison module - batterie, le point de fonctionnement du module sera déterminé par l'intersection des 2 courbes. $I_P = f(V_P)$: caractéristique du module

$$V_P = V_b + RI_P + V_d = E_0 + V_d + (r + R) I_P \tag{1.5}$$

Avec V_d : chute de tension dans la diode, r : résistances interne de la batterie, R : résistance électrique des câbles.

Une bonne adaptation est obtenue lorsque la caractéristique de charge est pratiquement perpendiculaire à l'axe des tensions dans la zone des puissances optimales. Cette condition justifie le nombre de 33 à 36 cellules pour les modules adaptés à la recharge d'une batterie de tension nominale 12 V. En effet la tension correspondante aux points de puissance maximale (14,3 V à 60 °C) est égale à la chute de tension dans les câbles et diodes (0,8 V) additionnée à la tension de fin de charge de la batterie (6 x 2,25 V / élément pour le plomb).

1.5.2 Les panneaux photovoltaïques

Pour obtenir des puissances importantes, les modules solaires doivent être associés en série – parallèle pour constituer un panneau solaire. Ceux-ci sont reliés électriquement et assemblés sur

un châssis. On a l'habitude de donner la taille d'un panneau solaire par sa puissance crête. Mais ce paramètre n'est pas suffisant pour définir le système, aussi est-il nécessaire de définir le mode de groupement des modules. Selon la puissance de l'utilisation, la tension de la batterie peut être différente (6, 12, 24 ou 48V par exemple). Un module de 36 cellules au silicium monocristallin étant adapté pour la charge d'une batterie de 12 V, la tension d'utilisation détermine le nombre de modules à mettre en série (2 pour 24V, 4 pour 48 V) [7].

Le dimensionnement du système solaire détermine le nombre de branches à mettre en parallèle pour un fonctionnement satisfaisant de l'ensemble en fonction de la consommation de l'utilisation et de l'ensoleillement du lieu [7].

1.5.3 Les accumulateurs électrochimiques

Il y a nécessité de stockage électrique chaque fois que la demande électrique est décalée dans le temps par rapport à l'apport solaire. Une demande énergétique est caractérisée par une courbe décharge ; celle-ci peut être constante au cours de la journée et variable au cours de l'année. Elle peut être totalement aléatoire, mais avec des périodes de maxima et de minima statistiquement connues [8]. Dans tous les cas on peut tout de même ramener la puissance moyenne consommée sur une période donnée en watts permanents équivalents. Les durées de stockage peuvent être très variables, de quelques heures pour compenser des passages nuageux, de 12h pour les utilisations nocturnes, de plusieurs jours pour un usage quotidien répétitif, de plusieurs mois pour le lissage inter saisonnier. L'intérêt des accumulateurs électrochimiques est la disponibilité d'une tension quasi-constante qui fixe le point de fonctionnement sur une droite verticale qui peut être aussi proche que possible de la droite qui définit la charge optimale d'un générateur photovoltaïque [8].

1.5.4 Régulation électronique de la charge

On a vu que les accumulateurs sont caractérisés par deux variables électriques fonction de leur état de charge et de la température : la f.e.m. V_b et la résistance interne r . Dans les accumulateurs au Pb, on doit limiter la tension de décharge à 1.75 V par élément, et la tension de charge à 2.35 V par élément. La résistance interne peut varier du simple (pleine charge) au double (décharge profonde). On a vu que la diode anti-retour est là pour empêcher que la batterie ne se décharge dans le module pendant la nuit [5]. En fait ce courant de fuite est très faible et dans la plupart des cas la perte d'énergie nocturne est à peine plus élevée que la perte d'énergie diurne due à la tension de déchet de la diode.

En effet, pour les modules dont la tension de puissance optimale est supérieure à 16V et qui alimentent une batterie de 12 V, le courant qui traverse les cellules en inverse lorsqu'elles fonctionnent en récepteur ne dépasse pas quelques mA, car dans cette zone de tension, leur impédance dynamique est très élevée. La tension de batterie étant une bonne indication de l'état de

sa charge, elle sera généralement utilisée pour effectuer la commande de la régulation. On peut réguler la charge d'une batterie de trois manières différentes : l'autorégulation, la régulation shunt et la régulation série, chacune de ces méthodes s'appliquant en fonction des cas d'espèces. Le plus souvent on prendra soin d'installer un circuit de délestage de l'utilisation qui s'actionne quand la tension des batteries descend au-dessous d'un certain seuil afin de ne pas endommager les plaques par sulfatation [5].

a. Principe

Le régulateur de charge intervient en dérivation sur le panneau solaire pour dissiper l'énergie excédentaire sous forme calorifique, grâce à des composants de puissance [6].

b. Etude du fonctionnement

Le panneau solaire étant branché sur la batterie, il va se comporter comme un générateur de courant dont la valeur sera directement fonction de l'ensoleillement. Pour un ensoleillement donné, $I_p = Cte$.

c. Absence de régulation

La tension batterie V_b est inférieure à la tension de limitation (V_{lim}). Dans ce cas : $V_+ < V_{Réf}$ d'où V_{S_0} , $I = 0$, le transistor T est bloqué ($I_r = 0$). Le régulateur de charge n'intervient pas : il n'introduit aucune chute de tension dans le circuit, le courant du panneau solaire est entièrement utilisé pour la recharge de la batterie ($I_p = I_b$).

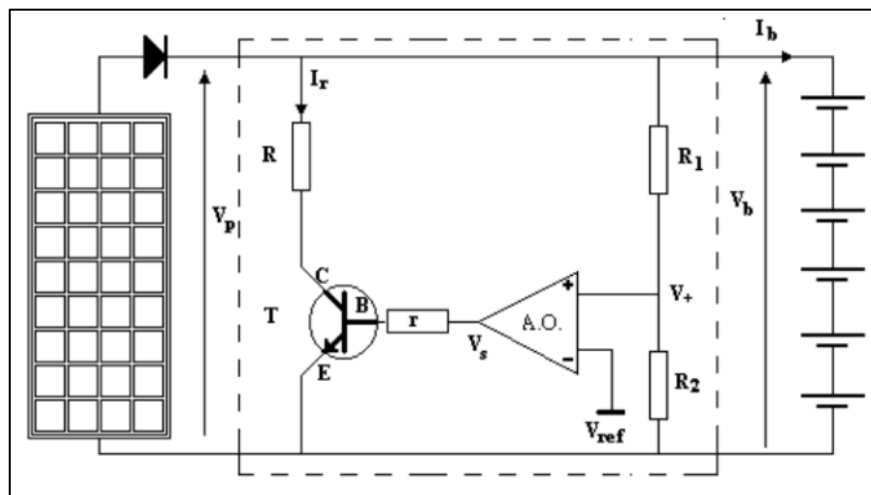


Figure1.16: Principe d'une régulation shunt

Figure 1.16 représente une régulation : Supposons $V_b > V_{lim}$, dans ce cas $V_+ > V_{Réf}$ et V_{S_0} , I_0 , le transistor T conduit (I_0). $I_p = Cte = I_r + I_b$. La présence de I_r provoque une diminution de I_b . Donc de la tension V_b .

On atteint un équilibre lorsque le courant I_b est tel qu'il est suffisant pour maintenir la batterie à la tension de limitation.

Dans ce cas

$$V_b = V_{lim} \text{ et } V_{+} = V_{Réf} \quad (1.6)$$

1.5.5 Onduleur

1.5.5.1 Généralité et principe de fonctionnement

A.1. Définition

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu-continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif).

L'onduleur est généralement associé à un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil. [10]

A.2. Caractéristiques propres à un onduleur pour systèmes photovoltaïques (PV)

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelques peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique, mais l'objectif de conversion AC/DC est le même. La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système. En effet, le générateur PV (ensemble de modules PV) a une courbe caractéristique $I V$ non linéaire (figure 1.17). [9]

Pour un éclairement et une température donnée, la tension en circuit ouvert ou à forte charge est à peu près constante (assimilable à une source de tension), tandis qu'en court-circuit ou à faible charge le courant est pratiquement constant (source de courant). Le générateur n'est alors ni vraiment une source de tension ni vraiment une source de courant non plus. La tension de circuit ouvert est sensible à la température et diminue quand la température augmente. Le courant de court-circuit est quant à lui proportionnel à l'éclairement : augmente si l'éclairement augmente.

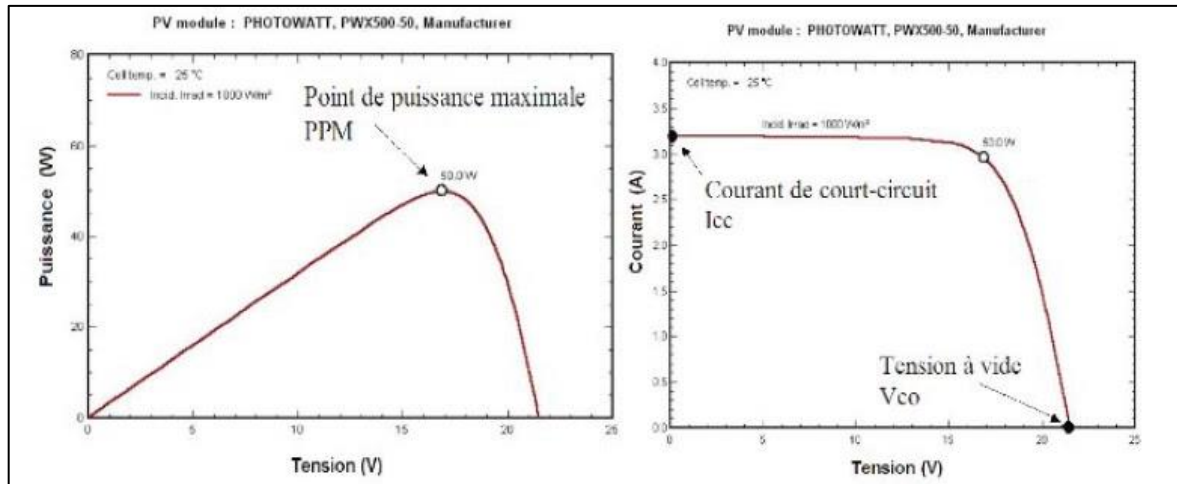


Figure 1.17 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque

Le meilleur point de fonctionnement du système correspond au point de cette courbe où la puissance, produit de la tension et du courant, est maximisée. Il se situe au milieu de la caractéristique. (Figure 1.16).

En régime permanent établi, la tension et le courant du capteur sont considérés comme constants. L'utilisation d'un onduleur de tension plutôt qu'un onduleur de courant est alors essentiellement motivé par des raisons technologiques. L'onduleur de tension impose à sa sortie un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsions (MLI ou PWM en anglais). Ces créneaux ne posent aucun problème pour l'alimentation d'un moteur, mais sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau. [9] On place alors entre chaque sortie de l'onduleur et chaque phase du réseau (onduleur monophasé ou triphasé) une inductance qui joue le rôle de filtre et permet à l'onduleur de fournir au réseau des courants quasi sinusoïdaux : d'un point de vue formel elle transforme l'onduleur de tension en onduleur de courant (Figure 1.18).

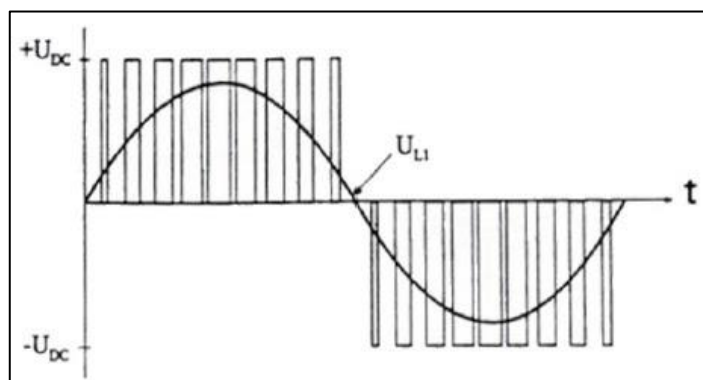


Figure 1.18 : Filtrage de la tension par l'inductance de sortie

UDC correspond à la tension aux bornes du condensateur d'entrée d'un montage simple (figure 1.18) et U_{L1} à la tension injectée au réseau donc de fréquence 50 Hz.

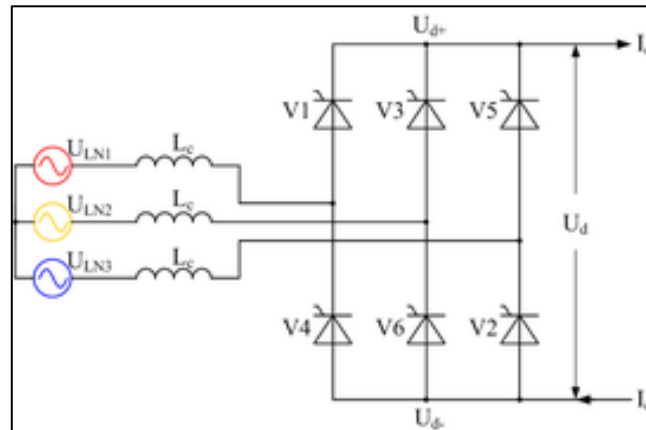


Figure 1.19 Circuit utilisant des thyristors

Les onduleurs sont des structures en pont constituées le plus souvent d'interrupteurs électroniques comme des IGBT (transistors de puissance). Dans le cas standard, par un jeu de commutation commandée de manière appropriée, le plus souvent par MLI, l'énergie électrique continue fournie est modulée afin d'obtenir un signal alternatif à la fréquence du réseau. Il existe de nombreux circuits électroniques qui permettent de réaliser conversion d'énergie électrique :

Le montage le plus simple est composé de thyristors. Cette technologie était utilisée dans les premiers onduleurs PV (et est encore disponible en monophasé et triphasé) peu cher, il présente cependant un courant de sortie plus ou moins rectangulaire induisant de la puissance réactive et des harmoniques qui affectent le rendement de l'onduleur et peuvent perturber le réseau[9].

1.6 Les étapes de dimensionnements d'un système photovoltaïque

« Dimensionner », c'est fixer la « taille », les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît la configuration. En effet, le dimensionnement peut amener finalement à changer le système, par exemple s'il s'avère que des éléments « optimaux » sur le plan technique sont très chers, ou indisponibles, etc... La méthode de dimensionnement consiste à déterminer d'abord la puissance crête qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant le mois le moins ensoleillé (généralement décembre). Elle consiste à déterminer le moment où vous avez besoin d'électricité, et à mesurer votre consommation. Cette étape comporte peu de calculs, mais demande relativement beaucoup de réflexion car une erreur à ce stade faussera vos résultats jusqu'à la fin. La méthode comporte 07 étapes : Le résultat d'une étape influence directement le résultat des étapes suivantes. Si vous obtenez un résultat aberrant, ça ne veut pas forcément dire que vous êtes trompé dans vos calculs. Il ne faut pas hésiter à revenir en arrière, notamment à la première étape, afin de redéfinir vos besoins (comme par exemple réduire votre consommation en choisissant des appareils plus économes).

1.7 Les besoins en énergie électrique

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour et par période (été, hivers, vacances...) L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir la télévision, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc.. ; Elle est donnée par la loi suivante [11] :

$$E = \sum_{i=0}^i E_i \quad (1.7)$$

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

- La saison
- Le nombre d'occupants

Le mode d'utilisation

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [11]:

$$E_i = P_i \times t_i \quad (1.8)$$

L'énergie journalière consommée d'un équipement

$Wh/j = \text{la puissance de cet équipement } W \times \text{la durée d'utilisation de chaque } (h)$

1.7.1 L'énergie à fournir à l'onduleur et son utilisation

Lorsqu'un onduleur est utilisé, il alimente :

- Les consommations en 220 VCA de petites puissances (téléviseur, hi-fi, perceuse, mixeur...) (qu'on note X)
- Les consommations en 220V CA de longue durée ou de forte puissance tel que le réfrigérateur, le congélateur... (Qu'on note Y)
- Et éventuellement l'éclairage (énergie noté W) ; Le rendement réel, moyen d'un onduleur bien conçu, de bonne qualité, dépend de son taux de charge. [11]

$$\rho = \frac{1 \cdot \text{énergie demandée}}{\text{la puissance nominale}} \quad (1.9)$$

Si nous supposons que l'onduleur est bien utilisé : son taux de charge doit être élevé (de 0.75 à 1). Le rendement de conversion est alors de 0.7 à 0.9 et nous retenons la valeur moyenne de 0.8. Ainsi, la puissance à fournir à l'onduleur pour disposer de l'énergie E à la sortie (sous 220 V CA) est de [12] :

$$P = \frac{E}{0.8} = 1.25 E \quad (1.10)$$

la puissance à fournir à l'ond $h/j = l'$ énergie demandée à l'onduleur (Wh/j) / taux de charge de l'onduleur

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

L'énergie demandée à l'onduleur E vaut :

$$E = X + Y + W \quad (1.11)$$

l' énergie demandée à l'onduleur (Wh) = la consommation d'

Équipements de petites puissances en 220 VCA + la consommation d'

Équipement de fortes puissances en 220 VCA + l'éclairage Et l'énergie à fournir à l'onduleur

est:

$$1.25 \times E = 1.25 \times (X + Y + W) \quad (1.12)$$

1.7.2 L'énergie à fournir à la batterie et son utilisation

L'emploi de la batterie (pour la majeure partie de l'énergie consommée finalement) introduit des pertes. Celles-ci proviennent :

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

Pour une batterie dite solaire, c'est-à-dire bien adaptée aux systèmes photovoltaïques, le rendement énergétique est de 0.80 à 0.85 et l'auto décharge de 3% par mois environ. Le rendement global constaté dans un système pour l'habitat est de 0.8 en général, donc [12] :

L' énergie fournie par la batterie = L'énergie fournie par le panneau × 0.8

1.8 L'énergie électrique fournie par le générateur photovoltaïque

Elle dépend bien sûr de l'ensoleillement reçu et de l'orientation du panneau. L'estimation de l'énergie solaire reçue sur le site est simple, mais il faut tenir compte des caractéristiques propres au site de l'installation lui-même [13].

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

Cette estimation doit tenir compte à la fois :

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

1.8.2 Les valeurs statistiques de l'énergie solaire

Il est nécessaire de connaître avec une assez bonne précision l'énergie solaire reçue en moyenne par jour sur le site pendant une période donnée. Cette période est en générale égale à un mois [13]. Selon les pays, les quantités sont connues à partir de l'une ou l'autre des données suivantes (pour une période donnée) :

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

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

Caractéristiques propres au site

Ces caractéristiques peuvent être : Les conditions atmosphériques exceptionnelles La neige, les poussières. Les masques La cause de réduction la plus importante est constituée par les masques (arbre, maisons,...) ombragent tout ou partie du panneau pendant une partie de la journée chaque jour, ou pendant une certaine période de l'année (en général l'hiver). [14]

1.8.3 Estimation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque

Pour un angle d'inclinaison donné, du panneau photovoltaïque la série des quantités d'énergie solaire reçue permet d'estimer l'énergie électrique fournie par le panneau en moyenne, par jour, pour chaque mois. Un panneau de puissance crête totale PC, qui reçoit du soleil n KWh/m² /jour, peut fournir au mieux n PC KWh/m² /jour. [11]

Malheureusement, ce panneau produit en fait une quantité d'énergie électrique nettement moindre, car : [15] Le panneau ne fonctionne que rarement à son point de fonctionnement optimal (sauf si un dispositif électronique d'adaptation asservie est utilisé).

En particulier, un panneau débitant sur une batterie ne fonctionne pratiquement jamais à son point de puissance maximale (16 V pour une batterie de 12 V, mais variable avec l'éclairement).

- Les diodes et les connexions causent des pertes d'énergie.
- Les disparités entre les modules causent des pertes d'énergie.
- Le point de puissance maximal dépend aussi de la température du panneau.
- Il est difficile de traduire par une formule utilisable la résolution de ces pertes.

L'expérience montre que l'énergie produite pratiquement par un panneau de PC watts crête recevant une énergie de n KWh par jour est de : $n \cdot PC \cdot 0.7$ KWh/jour.

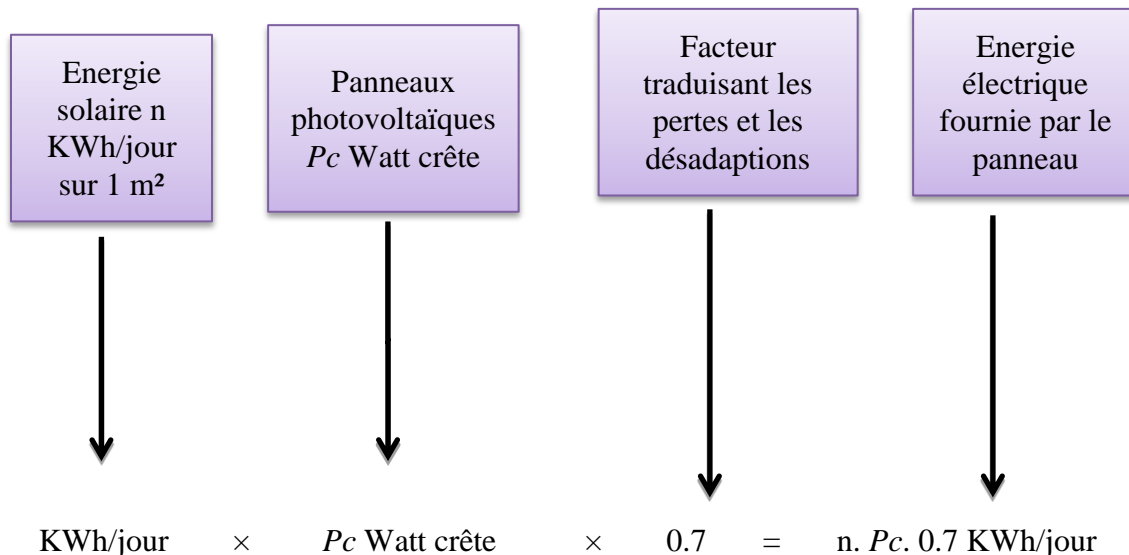


Figure 1.20 : L'énergie électrique fournie par un panneau en tenant compte des pertes et les désadaptations.

1.9. Dimensionnement du panneau photovoltaïque

La détermination de puissance crête installée présente un intérêt tout particulier, compte tenu du coût du watt-crête. Généralement, la variation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque d'inclinaison donnée, ne suit pas celle des besoins en énergie d'une habitation. Si on fixe la puissance crête pour satisfaire au mieux les besoins d'un mois donné, on obtient généralement un déficit ou un excédent pour d'autre mois. Sur quelle période faut-il s'efforcer d'égaliser les besoins et les apports. Une inclinaison égale à la latitude du lieu permet de capter une quantité d'énergie annuelle maximale, mais :

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

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

1.9.1. Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau

Les deux principes extrêmes illustrent les raisonnements employés pour confronter :

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

1.9.1.1. Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé

Une solution simple est consistée à choisir une puissance crête tel que pendant le mois le moins ensoleillé, l'énergie fournie par le panneau satisfasse les besoins, avec une inclinaison

voisine de la latitude du lieu. C'est la solution généralement adoptée par les sociétés commercialisant et installant des systèmes photovoltaïques. [11] Elle conduit, malheureusement à un gaspillage important d'énergie pendant les autres périodes, et spécialement pour la période la plus ensoleillée. Pour réduire ce gaspillage, et donc économiser sur la puissance crête du panneau, il est possible :

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

Il est alors possible de dimensionner non plus sur le mois le mois ensoleillé, mais sur des mois un peu plus ensoleillés permettant de combler le déficit du mois le mois ensoleillé grâce à une capacité suffisante de la batterie. [11]

1.9.1.2. Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé

La puissance crête est suffisante pour satisfaire les besoins pendant le mois le plus ensoleillé et généralement tout à fait insuffisante pour satisfaire les besoins d'hiver. Un tel dimensionnement implique le recours à une source d'énergie complémentaire. Dans un système à deux sources, il faut alors favoriser l'utilisation de l'énergie solaire pendant les mois plus ensoleillés et donc, choisir une faible inclinaison des modules ($\alpha = \text{la latitude} - 10^\circ \text{ à } 20^\circ$). Ce dimensionnement trouve sa limite dans le coût de l'énergie complémentaire. [11]

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

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

1.9.2. Stockage inter-saisonnier de l'énergie

Il est envisageable de mieux adapter les apports solaires aux besoins en utilisant en hiver de l'énergie stockée en batterie pendant les périodes ensoleillées. Le stockage à long terme (03 à 06 mois) en batterie et pourtant pratiquement exclu à cause de son coût : la capacité de la batterie nécessaire est trop importante. En plus:

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

1.9.3. Procédure de dimensionnement du panneau solaire

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

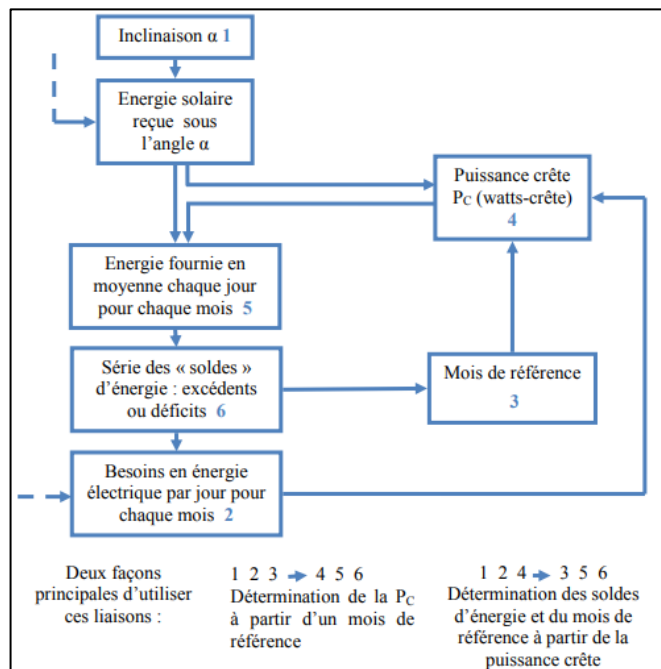


Figure 1.21 : Dimensionnement du panneau photovoltaïque. Liaison entre les paramètres [11]

1.10. Choix de la tension du fonctionnement

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

Tableau1.4. Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête. [15]

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

1.11. Dimensionnement de la batterie

Celui-ci définit sa capacité de stockage C en KWh puis en Ah. Comment fixer C . Le stock d'énergie répond à deux besoins, et le choix de la capacité doit par ailleurs satisfaire à 04 contraintes

1.11.1. Rôle du stockage de l'énergie

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

1.11.2. Capacité de la batterie

La capacité de la batterie est donc :

$$C = CR + CU \quad (1.13)$$

la capacité de la batterie = la capacité résiduelle + la capacité util

La capacité résiduelle CR est la capacité qui n'est pas utilisée, pour préserver la batterie, tandis que la capacité utile CU , est la capacité qui peut être effectivement déchargée si nécessaire. Elle est égale à [2] :

$$CU = C1 + C2 \quad (1.14)$$

la capacité utile = la capacité nécessaire pour faire face au soleil + la capacité nécessaire pour utiliser au mieux le dimensionnement du panneau

1.11.3. Choix de la capacité de la batterie

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

$$1- \frac{CU}{C}$$

$$2- C1$$

$$3- C2$$

1.11.3.1. Les contraintes à respecter

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

1.11.3.1.1. Le courant de décharge maximal (IDC max)

Pendant une période de plus de 10 à 30 secondes, le courant de décharge maximal doit être inférieur à $\frac{1}{10} C$ [11]:

$$IDC \max < 1/10 C \quad (1.15)$$

Où C est exprimée en Ah.

Ainsi :

$$PDC \max < 1/10 CP \quad (1.16)$$

la puissance maximale en courant continu $Wh < \frac{1}{10}$ de l'énergie stockée (Wh) Par exemple, pour une batterie de 500 Ah, le courant de décharge maximal doit être inférieur à 50 A.

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

Elle doit être au plus de l'ordre de 10 à 20 % de la capacité totale (selon le type de la batterie) [11] :

$$QDC \max < 0.1 \text{ à } 0.2 C \quad (1.17)$$

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

1.11.3.1.3. La profondeur de décharge ($\frac{CU}{C}$)

La profondeur de décharge, c'est-à-dire le pourcentage de la capacité de la batterie que l'on s'autorise à prélever, conditionne sa durée de vie totale. Cette contrainte diffère selon le type de la batterie utilisée, l'objectif de vie visé et son mode de fonctionnement.

1.11.3.1.4. Charge (et recharge) de la batterie

A partir d'un état « vide » ($CU=0$), la durée de recharge doit être telle que le stock puisse faire face à ses deux rôles ($C1$ et $C2$) dès que besoin. Pratiquement, l'idéal est d'assurer la recharge selon la procédure optimale pour la batterie. En tous cas, il faut éviter que le courant de recharge de la batterie soit inférieur à $\frac{1}{50} C$. Donc, le courant délivré par le panneau servira partiellement à recharger la batterie [11] :

$$IPV = IU + ICH \quad (1.18)$$

le courant débité par le panneau = le courant utilisé par les occupants + le courant de recharge

1.11.3.2. Le choix de la capacité C1

Il repose d'abord sur une estimation du nombre maximal de jour consécutifs où le rayonnement global est très faible (sans soleil ou durée d'ensoleillement inférieure à l'heure). Les périodes « sans soleil » longues arrivent généralement en hiver. Par ailleurs, à chaque période sans

soleil correspond une demande d'énergie électrique à la batterie. Pour une période sans soleil de K jours consécutifs [12] :

$$CS_K = K \times Bi \tag{1.19}$$

l'énergie totale demandée à la batterie = le nombre de jour sans soleil × l' énergie électrique demandée par jour à la batterie

1.11.3.3. Choix de la capacité C2

En l'absence d'une source complémentaire, C2 représente une à deux semaines d'utilisation pendant la période la moins ensoleillée (consommation moyenne du mois le moins ensoleillé × 7 à 14 jours). Le dimensionnement de batterie est configuré dans le schéma bloc suivant :

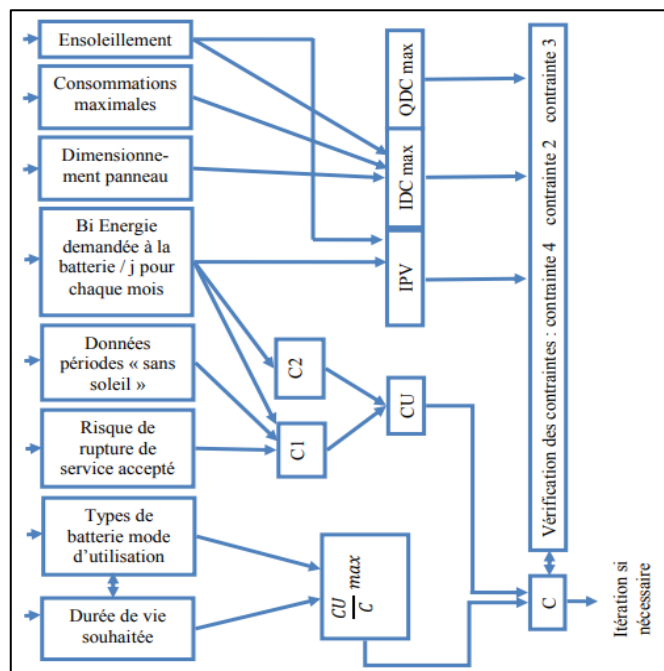


Figure 1.22 : Dimensionnement de la batterie. Tableau synoptique de la procédure.

1.12. Dimensionnement de l'onduleur

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

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

L'onduleur devra pouvoir fournir la charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10-20 minutes en permanence et la charge maximale instantanée pendant quelque seconde. Ces deux valeurs sont bien connues des constructeurs. [16] La puissance maximale doit être la plus faible possible afin de limiter au maximum les pertes à charges faibles ou nulle, tous spécialement si l'onduleur est amené à fonctionner d'une façon continue. Si la puissance nominale

est calculée au plus juste, le disjoncteur de l'onduleur déclenchera de temps en temps. Pour une habitation moyenne, l'onduleur a une puissance nominale comprise entre 0.5 et 2.5 KVA, selon le système retenu (valeur moyenne 1.8 KVA) [16].

1.13. Dimensionnement des câbles de raccordement

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

Qu'il s'agisse du câble permettant de raccorder le panneau à la batterie, ou de celui permettant de raccorder la batterie aux appareils, il faut en calculer la section de façon à limiter les pertes en lignes. Celles-ci doivent être faibles par rapport à la puissance réellement transmise par la ligne, si possible inférieures à 04 ou 05 % de cette puissance. [11]

1.13.2.1. La liaison électrique panneau-batterie

Soit une installation alimentant une batterie de tension nominale 12 V à partir d'un panneau 12 V/160 Wc. Il s'agit de calculer la section de câble permettant de limiter à 0.48 V (4% de la tension nominale) la chute de tension maximale dans le câble de liaison, le panneau et la batterie étant distant de 15 mètres environ. Le courant maximal qui sera délivré à la batterie est donc de l'ordre de 10A (160 W maximal) sous une tension optimale de 14 V environ. La résistivité du cuivre est de $1.8 \cdot 10^{-8} \Omega/m$. Si on appelle ΔU_{max} la chute de tension maximale, elle s'écrit en fonction du courant I_{max} :

$$\Delta U_{max} = R \times I_{max} \quad (1.20)$$

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

$$R = \rho l / S \quad (1.21)$$

$$\text{la résistance } \Omega = \frac{\text{la résistivité } (\Omega \cdot m) \times \text{la longueur du câble } m}{\text{la section } (m^2)}$$

D'où:

$$R = \Delta U_{max} / I_{max} = \rho l / S \quad (1.22)$$

Qui permet de tirer la section du câble S :

$$S = \rho l / (I_{max} \Delta U_{max}) \quad (1.23)$$

Soit dans l'exemple traité $S=11.25 \text{ mm}^2$. Il est donc nécessaire d'utiliser du câble de section au moins égale à 12 mm^2 . La section du câble devient vite très importante et donc son prix aussi. Il est par conséquent, nécessaire de faire un compromis entre un coût raisonnable du câble, et les pertes en ligne (afin de ne pas surdimensionner le panneau).

1.13.2.2. La liaison électrique batterie-appareils**1.13.2.3. Distribution en courant continu**

Le même calcul doit être effectué pour la section du câble entre la batterie et les différents appareils à alimenter. Il doit tenir compte de la conception de la distribution : dans le cas d'une seule sortie de la batterie, les appareils sont montés en parallèle. Tandis que dans le cas où la batterie possède plusieurs sorties (modèles qui existe sur le marché), chacune de ces sorties est branchée à un appareil ou une série d'appareils. [16] Le câblage total est souvent plus long, mais le courant maximal dans chacun des circuits est moindre, d'où une section plus faible, et un prix finalement moindre.

1.13.2.4. Distribution à partir d'un onduleur

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

1.14 Conclusion

Dans ce chapitre, une généralité sur la production photovoltaïque a été présentée. Tout d'abord nous avons discuté sur les ressources solaires et la possibilité de convertir le rayonnement solaire en électricité, grâce à l'effet photovoltaïque. Nous avons parlé aussi de l'évolution de la photopile. Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque a été établi, ainsi que ses différentes technologies. Les caractéristiques de la cellule et les différents paramétrés. Dans la seconde partie, nous avons présenté le système photovoltaïque, l'assemblage des cellules série et parallèle et nous avons discuté sur les composantes constituant un système photovoltaïque.

Les panneaux solaires, les accumulateurs chimiques, le régulateur ; et l'onduleur puis en a défini comment dimensionner un système photovoltaïque.

Chapitre II

Systemes photovoltaïques connectés au réseau

2.1 Introduction

Un système photovoltaïque lié au réseau est constitué d'un champ de panneaux disposés sur des supports de type terrasse ou intégré à une construction. Ces panneaux sont connectés en série/parallèle pour atteindre une tension et un courant optimaux et alimenter un onduleur transformant le courant continu en une onde alternative en phase et de même tension que le réseau [40].

Les systèmes connectés au réseau sont aujourd'hui prisés sérieusement pour compléter la génération conventionnelle d'énergie dans plusieurs pays industrialisés [21, 22]. Il y a certainement plusieurs projets de démonstrations connectés aux réseaux qui étudient cette possibilité. Bien qu'ils soient devenus viables dans le développement économique, la participation des Photovoltaïques dans la génération d'énergie de grande échelle est augmentée à cause des effets environnementaux défavorables des sources conventionnelles d'énergie.

Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées au réseau, ce qui représente une économie importante en investissement et en fonctionnement. Elles utilisent le réseau comme un stock, et transforment la totalité de l'électricité produite en courant alternatif de 220 V ou 380V, ainsi que le photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où. On distingue deux types d'installations connectées au réseau [18, 19, 26, 35] :

- Installation centralisée : génération de la puissance photovoltaïque à grand - échelle centralisée dans les stations de puissance Photovoltaïque :
- Installation décentralisée : forme alternative de génération de puissance distribuée dans les unités situées directement dans le lieu du consommateur.

De jour, les installations photovoltaïques couplées au réseau injectent de l'énergie dans le réseau à travers le convertisseur. Au contraire, pendant la nuit le propriétaire de l'installation peut "récupérer" cette énergie, dans le cas des installations décentralisées, et travaillent en cas de charges de pic avec le réseau, dans le cas des installations centralisées. Comme la consommation électrique est importante de jour, cette manière de procéder est très raisonnable [47].

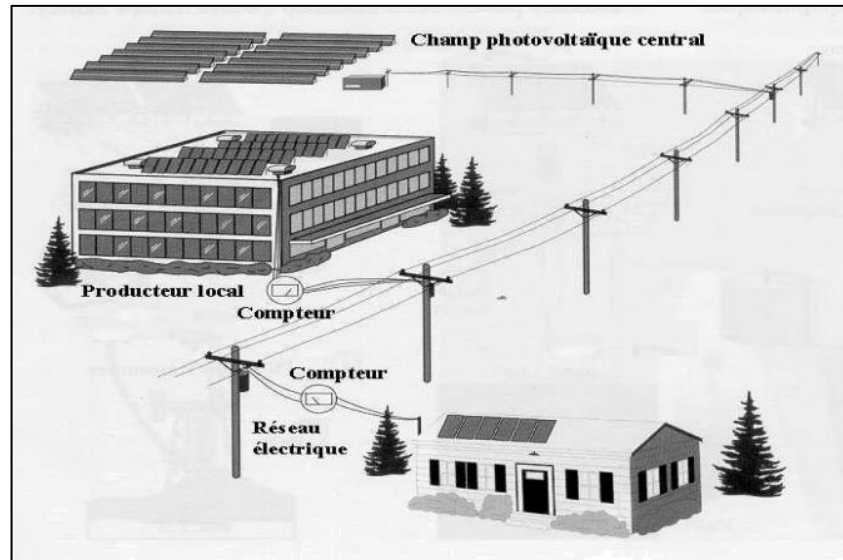


Figure 2.1: Types des systèmes connectés au réseau

2.2 Réseau électrique

Le système électrique est structuré en plusieurs niveaux, assurant des fonctions spécifiques propres, et caractérisés par des tensions adaptées à ces fonctions. Il est fractionné en trois principales subdivisions à savoir le réseau de transport, de répartition et de distribution. Une notion de frontière peut être définie entre les niveaux de tension du réseau électrique, ces frontières étant définies par les postes sources et les transformateurs (voir Figure 2.2).

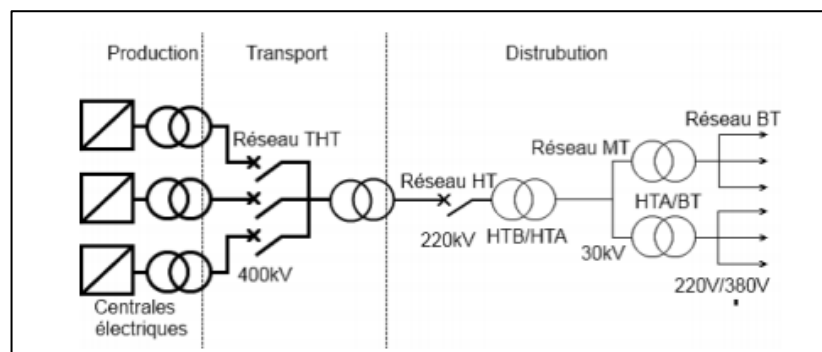


Figure 2.2 : Schéma générale de production, transport et distribution de l'énergie électrique

2.2.1 Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau :

Le débrogage de système photovoltaïque si le réseau présente une défaillance (le problème d'islanding) [38] :

- La protection contre la foudre.
- La qualité de puissance fournie au réseau.
- Les effets des systèmes multiples sur une partie du réseau, en particulier monophasé non équilibré.
- Le dosage fiable des flux de puissance.
- Risques techniques et financiers.

2.2.2 Perturbations des réseaux électriques

L'énergie électrique est fournie sous forme de tension constituant un système sinusoïdal triphasé dont les paramètres caractéristiques sont les suivants [38] :

- La fréquence
- L'amplitude des trois tensions
- La forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'une sinusoïde.
- La symétrie du système triphasé (égalité des modules des trois tensions, leur déphasage et l'ordre de succession des phases).

2.3 Eléments constitutifs d'une installation connectée au réseau :

Elle est constituée de :

2.3.1 Panneaux solaires

Un système photovoltaïque couplé au réseau utilise des panneaux traditionnels tels ceux utilisés dans les systèmes autonomes avec une différence dans le nombre de cellules qui n'est plus lié à des multiples de 36 unités, valeur usuelle pour la recharge des batteries plomb 12 V. Les panneaux pour systèmes réseaux sont plutôt limités par une taille correspondant à l'équipement de production. La tendance est à l'augmentation de cette taille qui aujourd'hui est souvent de 1,65 m² pour une puissance typique de 230 à 330 W [40].

2.3.1.1 Installation mécanique des panneaux

a) Structures support

Les panneaux photovoltaïques étant toujours (ou presque) installés dehors, il faut que les supports soient résistants à la corrosion : on choisira donc de préférence des structures et visseries en acier inoxydable ou sinon en aluminium anodisé, si les cadres des panneaux sont eux-mêmes dans ce matériau.

En effet la corrosion est un phénomène qui apparaît à la jonction de deux matériaux métalliques de potentiel électrochimiques différents : elle détruit progressivement le matériau dont le potentiel est le plus faible. Par exemple, un cadre aluminium de panneau solaire ne doit pas être en contact avec une tôle de couverture en cuivre sous peine de lentement disparaître, l'aluminium se déposant sur le cuivre. Il ne faut donc pas associer des métaux différents sans protection, surtout en bord de mer, et à proximité des routes salées en hiver : l'atmosphère saline est un électrolyte qui facilite le passage du courant accélérant la corrosion. Le potentiel électrolytique est plus élevé pour un métal noble qui se comporte comme une électrode positive attirant le courant d'ions du métal moins noble, le tout à vitesse accélérée en présence d'un électrolyte.

La peinture des pièces support, ou l'usage de montants en bois (traité contre les parasites) sont des solutions plus économiques parfois employées, y compris pour des centrales en pays développés. Le calcul de ces structures support doit être réalisé par un bon mécanicien en fonction du poids des panneaux, de la résistance au vent, et éventuellement du poids de la neige en montagne. En Suisse, la norme SIA 160 indique les valeurs typiques à respecter en termes de charge de neige et force du vent pour les installations (pas seulement photovoltaïques) en fonction de l'altitude et la hauteur de la construction. En effet, la force du vent dépend de la hauteur au-dessus du sol : de 70 kg/m² entre 0 et 5 m, on passe à 100 kg/m² entre 15 et 40 m². [40]

b) Types de montages

On rencontre principalement trois types d'installations mécaniques pour des systèmes photovoltaïques reliés au réseau :

- Le montage surimposé en toiture ou façade,
- L'intégration au bâtiment,
- Le montage sur châssis.

La figure II.3 présente les coefficients d'utilisation de surface et d'efficacité de différents montages sur bâtiment, la référence (optimum) étant un système sans ombrage à 30° d'inclinaison face au sud à une latitude d'environ 45°.

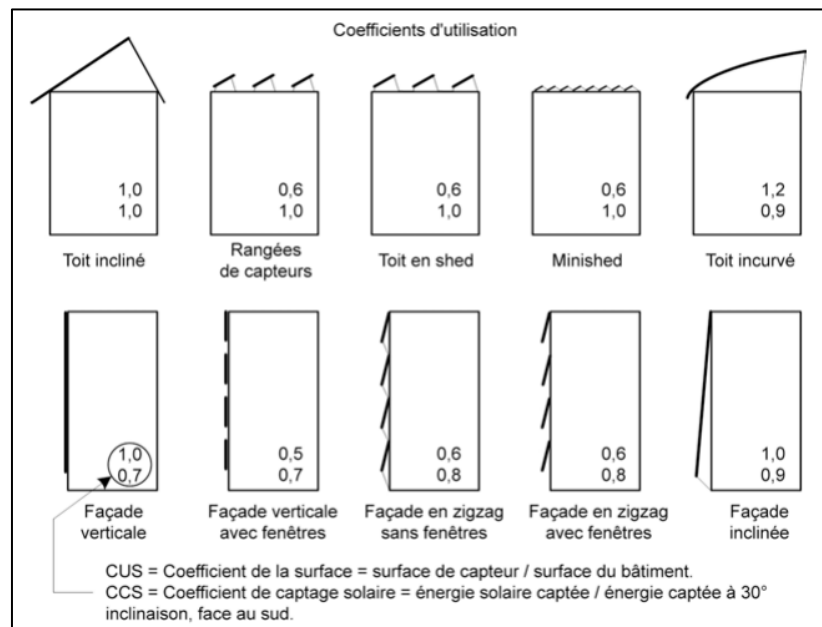


Figure 2.3 : Surfaces disponibles pour un bâtiment photovoltaïque.

2.3.2 Onduleurs

L'onduleur d'un système photovoltaïque connecté au réseau est chargé de transformer la tension continue du champ de panneaux en une tension alternative compatible avec le réseau. Si l'on observe la forme de la courbe courant-tension d'un panneau photovoltaïque (figure II.4), on

retrouve les caractéristiques d'une cellule (multipliée en tension) où le courant varie de son niveau maximum (à tension nulle) et baisse jusqu'à 0 avec une tension maximale du panneau (V_{co}). Le point qui nous intéresse dans cette courbe est celui qui maximise la puissance, c'est-à-dire le produit courant \times tension, P_m qui apparaît au coude de la caractéristique (voir aussi figure II.5).

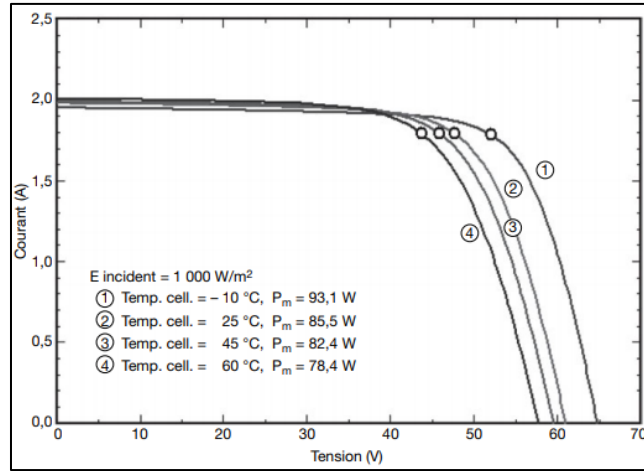


Figure 2.4 : Courbes I/V d'un panneau CdTe de 85 W en fonction de sa température (First Solar, FS-385).

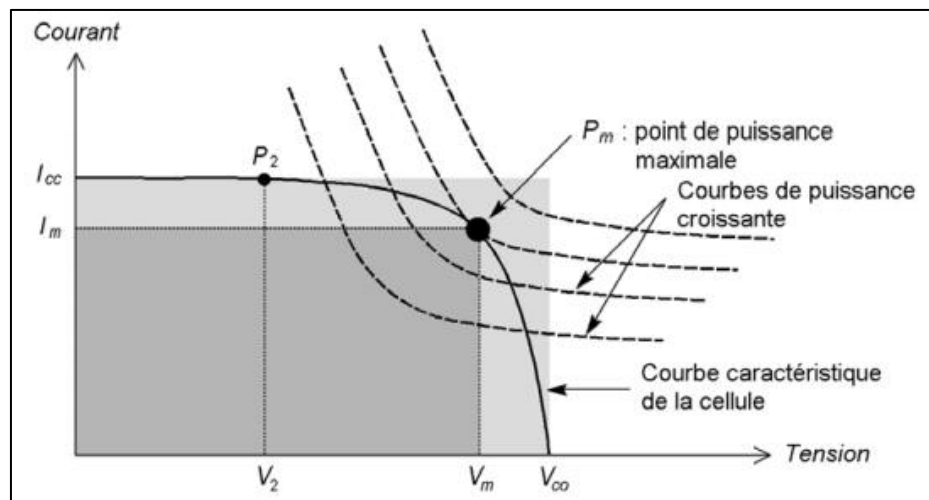


Figure 2.5 : Puissance maximale sur une caractéristique courant-tension.

Pour que notre système fonctionne toujours à ce point, l'onduleur est équipé d'un MPPT.

2.3.2.1 MPPT

Le premier circuit qui relie le champ photovoltaïque à l'onduleur dispose d'un MPPT (Max Peak Power Tracker), soit un dispositif de recherche du point de puissance maximale. Ce circuit teste les variations de courant/tension produites par le champ photovoltaïque pour rester en permanence au coude de la caractéristique I/V, maximisant ainsi la puissance produite. Le MPPT incorpore un transformateur de tension DC/DC qui transforme la tension continue variable d'entrée en une tension interne continue mais fixe qui sera ensuite transformée en une ou trois tensions alternatives dans les onduleurs mono ou triphasés [40].

a) Critères de choix

Plusieurs critères vont intervenir dans le choix de cet appareil électronique sophistiqué :

- Une qualité élevée limitant les pannes et interventions sur site ;
- Un rendement élevé pour maximiser la production d'énergie. un haut rendement implique peu de pertes thermiques et une température de fonctionnement plus basse améliorant la fiabilité et la durée de vie des composants ;
- Un service local efficace ;
- Un rapport prix/qualité élevé ;
- Une bonne facilité de montage ;
- Un paramétrage aisé au démarrage ;
- Des interfaces permettant le suivi à distance.

La réputation du fabricant est encore un paramètre important. Il est fortement déconseillé d'utiliser des appareils inconnus même si leur prix peut paraître alléchant. Ce composant est le plus susceptible de tomber en panne et la qualité du service après-vente est de première importance. N'oublions pas que quand l'onduleur est à l'arrêt, tout le système est inopérant. L'onduleur est équipé de circuits électroniques aux fonctions bien distinctes : [40]

- Un ou plusieurs circuits d'entrée panneaux avec MPPT couplés à un transformateur de tension continu/continu qui produira une tension fixe de sortie ;
- Un circuit de sortie qui transformera la tension continue fixe en une tension alternative mono ou triphasée compatible avec le réseau. Ce circuit peut être équipé ou non d'un transformateur d'isolement avec le réseau ;
- Une électronique de contrôle permettant le paramétrage de l'appareil aux données du réseau local et le suivi de fonctionnement avec des interfaces pour le contrôle local ou à distance.

L'onduleur doit encore satisfaire à des critères de sécurité qui varieront d'un pays à l'autre. En France actuellement, l'onduleur doit impérativement s'arrêter de fonctionner en l'absence de réseau. En Allemagne, il existe des modèles récents qui peuvent dans certains cas être commandés à distance par l'opérateur du réseau pour améliorer la stabilité du réseau et parfois permettre le comblement de microcoupures.

Il faut noter que l'abondance des nouveaux systèmes photovoltaïques en Europe a modifié le prix de l'énergie de pointe en journée. Les producteurs de source hydraulique vendaient traditionnellement leur énergie en milieu de journée à un prix élevé mais cette demande a fortement chuté avec la puissance photovoltaïque installée de plusieurs dizaines de gigawatts en Europe qui produit justement un maximum au même moment [40].

2.3.2.2 Principe de fonctionnement d'onduleur

Il existe plusieurs types de commande d'onduleurs comme (commande symétrique (adjacente), Décalée (disjointe), et MLI). Les différentes commandes ont le but d'obtenir l'allure sinusoïdale ou niveau de la sortie .et pour chaque commande le principe de fonctionnement se change [41].

2.3.2.3 La commande MLI

L'utilisation de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) ou Pulse Width Modulation (PWM) permet d'éliminer les premiers rangs d'harmoniques de courant afin 0.01 d'améliorer le facteur de puissance. Cependant, cette technique ne résout pas totalement le problème des harmoniques de courant. La modulation MLI est fortement inspirée des techniques utilisées dans la transmission de l'information. Elle consiste `à moduler une onde porteuse triangulaire (issue d'un découpage à fréquence) par une onde modulante sinusoïdale (fréquence) `à fréquence beaucoup plus basse [39].

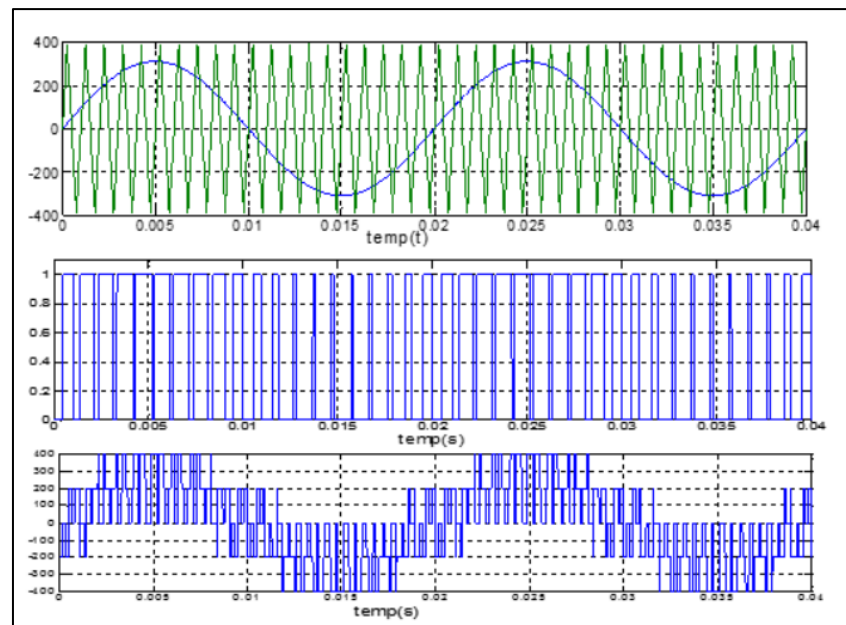


Figure 2.6 : Principe de la commande MLI et les impulsions d'un interrupteur

2.3.2.4 Tension de l'onduleur

Le nombre de panneaux connectés en série produit une tension de puissance maximale du champ (V_m) et une tension en circuit ouvert (V_{co}) qui doivent respecter les limites suivantes :

- La tension V_m à 25 °C doit se trouver à tout moment dans la plage de fonctionnement du MPPT de l'onduleur.
- A 60 °C, cette tension V_m (plus basse qu'à 25 °C) doit se situer encore dans la plage du MPPT de l'onduleur.

- A -10 °C , la tension de circuit ouvert du champ (V_{co}) doit être inférieure à la tension d'isolement des panneaux (valeur typique 700 à 1 000 V) et inférieure à la tension maximale que supporte l'onduleur (valeur typique environ 100 à 200 V au-dessus de la plage du MPPT).

Ces règles sont valables pour des systèmes en pays tempérés où, en été, les panneaux atteindront assez souvent 60 °C alors que, en hiver, si l'onduleur n'a pas démarré, on peut rencontrer une température de -10 °C avec les panneaux en circuit ouvert. Pour un système en pays chaud, on peut décaler de 10 °C vers le haut les deux derniers critères. Pour un système en pays froid, il faudra par contre tenir compte des températures très basses et du comportement en puissance du champ avec l'albédo de la neige.

Le critère de fonctionnement dans la plage du MPPT à haute température est particulièrement important pour les systèmes intégrés en toiture et mal ventilés. L'absence de dissipation thermique par la face arrière des panneaux peut faire passer leur température en été à plus de 70 °C dans le sud de la France, ce qui fait baisser fortement la tension V_m . Il faut dans de tels systèmes garder une marge suffisante de tension pour éviter que le système ne décroche et s'arrête aux plus forts ensoleillements les plus productifs.

Le deuxième critère sur V_{co} peut sembler étonnant : pourquoi s'inquiéter de la tension ouverte du système en hiver ? En principe l'entrée de l'onduleur fonctionne à V_m mais en cas de panne du réseau, le champ photovoltaïque va passer à sa tension de circuit ouvert. C'est pour éviter d'endommager l'onduleur dans ces rares cas que l'on prend cette précaution [40].

2.3.2.5 MPPT multiples

La présence de plusieurs MPPT dans un onduleur permet de faciliter la conception dans plusieurs cas :[40]

- Pour une toiture à orientations multiples, on peut ainsi alimenter un seul onduleur, chaque MPPT traitant une orientation.
- Lorsqu'on veut « remplir » la surface d'une toiture, on n'arrive parfois pas à diviser en chaînes régulières la surface. Une chaîne à nombre différent de panneaux peut alors être réservée à l'un des MPPT de l'onduleur.
- Pour les centrales en sheds, un MPPT par chaînes de panneaux améliore la fiabilité et réduit les pertes d'ombrages. On reviendra sur ce point dans le dimensionnement des systèmes de puissance.

2.4 Types des installations photovoltaïques connectées au réseau

2.4.1 Centrale de production d'énergie photovoltaïque

Avec les applications photovoltaïques connectées au réseau d'électricité national, il y a un fort potentiel de diffusion dans les pays industrialisés. Des centrales de production photovoltaïque sont expérimentées depuis quelques années en Europe, aux Etats-Unis et au Japon, mais elles sont encore au stade pilote. Seules les centrales photovoltaïques de moyenne et faible puissances (0,1 à 0,5 MW) semblent avoir une rentabilité économique. Elles seront vraisemblablement destinées à compléter le réseau en différents points critiques [33]

Un système de puissance PV qui génère la puissance instantanément alimente le réseau à travers un ou plusieurs onduleurs et transformateurs. La plupart des systèmes utilisent des redresseurs qui fonctionnent en régime onduleur équipés par un poursuiveur de point de puissance maximale comme il est montré sur la (Fig.II.7. a, II.7.b) [25].

A cause de tout ça il peut être économique de placer un système PV pour assister avec un réseau local durant les périodes de demande de pic pour fonctionner en parallèle, plus au moins que construire une nouvelle station de puissance [24, 25].

Aux extrémités d'un réseau, la qualité de la puissance se détériore lorsque la demande en électricité augmente. Une centrale photovoltaïque placée en bout de ligne permet de redresser la tension et d'améliorer la puissance.

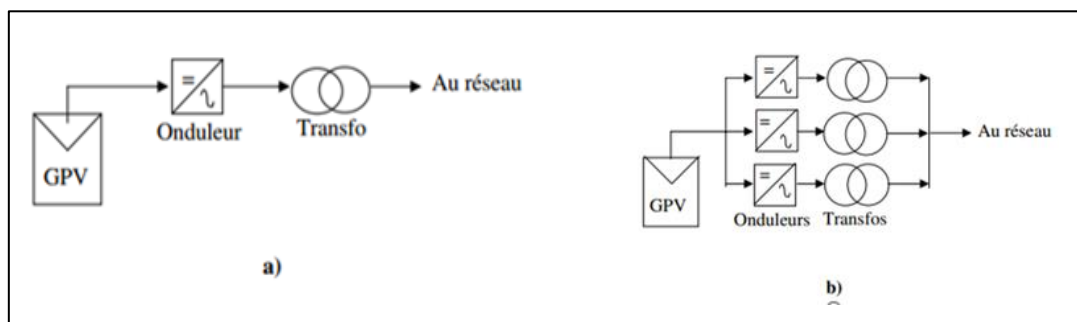


Figure 2.7: Configuration d'un système PV avec :

a) un onduleur b) plusieurs onduleurs

2.4.1.1 Exemples des centrales photovoltaïques

Sharikat kahraba wa taket moutadjadida, SKTM.spa, est une société de production d'électricité, dans le capital est souscrit entièrement par la holding SONELGAZ créée le 07 avril 2013 et par scission de la société SPE. Spa, son siège social est basé à GHARDAIA.



Figure 2.8 : Centrale solaire électrique photovoltaïque de la SKTM

La société à vue le jour dans un contexte de prise de conscience généralisée des incertitudes énergétiques et de la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique, un recours massif à l'énergie solaire sous toute ses formes, directs (photovoltaïque, thermique) ou indirect (éolien, biomasse) doit s'imposer comme une priorité, une évidence. En plus des enjeux liés au réchauffement climatique, l'épuisement des ressources énergétiques traditionnelles, le pétrole, le gaz naturel entre autres, le recours aux énergies propres n'est plus une question de choix mais beaucoup plus de devenir des nations de temps plus que l'Algérie jouie dans le potentiel solaire des plus importants de par le monde, et d'un potentiel également non négligeable, ajoutés à l'étendue de son territoire, lui permettant d'implanter les ouvrages de production d'électricité par les procédés renouvelables sans encombre.

a) La centrale de SEDRAT LEGHZAL

- Maître d'ouvrage : SKTM
- Maître d'œuvre : Firme allemande Béta-Electric
- Employés : 40
- Financement : SKTM
- Date de démarrage de la production : Jeudi 19 mai 2016.
- Inauguration : Mardi 05 juillet 2016
- Production estimée : 20MW

La centrale photovoltaïque a SEDRAT LEGHZAL dans la wilaya de NAAMA fait partie du (projet 400MW) de la SKTM. Filière de SONELGAZ en charge du développement des énergies renouvelables, la SKTM envisageait de finaliser toutes les 23 centrales prévues à la fin de l'année 2015. Dans la région des hauts plateaux Ouest. La centrale électrique à base de l'énergie solaire fut inaugurée un mardi dans la région de SEDRAT LEGHZAL à 4km à l'ouest de la ville de NAAMA

qui fut choisi pour l'héberger. Elle Bénéficie de 40 hectares l'entrée nord de la ville de NAAMA, dont 15 hectares sont exploités pour la production. Le délai de réalisation fut estimé en 18 et 23 mois, la station est dotée de panneaux photovoltaïques de type poly cristallin de 250w, qui assurant 30% des besoins en électricité de la ville.



Figure 2.9 : Représentatif des panneaux photovoltaïques dans la centrale SKTM

b) Récolte des données de la centrale

Dès que l'ingénieur se présente le matin au poste de commande, il fait son rapport de production énergétique des jours précédent, qui se calcule via le logiciel PADCON. Il répertorie la production par demie heure, la production commence vers 6 :30 du matin en été le 24/07/2017, d'une puissance crête de 0,866kw. Et s'arrête vers 19h45 des soirs d'une puissance crête minimal de 153,026 kW. Ensuite il fait la sommation de toute la production des jours, pour avoir le bilan journalier de production. La crête de production maximal des jours est enregistrée vers 13h et atteint les 15295,938kw à une température de $T=41C^{\circ}$, et un ensoleillement de $R=984 \text{ } 615 \text{ kW/m}^2$. Et atteint la production de 119008KW. Donc 119,008MW soit 6 fois plus que l'estimation prévus pour la production moyenne, qui couvre par la suite la production minimale des jours d'hivers, qui s'abaisse à cause des vents de sables fréquents dans la région, pas assez productive.

L'énergie de consommation du soir de la centrale est de 36,602kw.

L'énergie de démarrage des régulateurs le matin est de 720w, à 6h30.

Nombre des panneaux photovoltaïques est de 79680 panneaux ; d'une puissance de 250w crête, de type poly cristallin.

Nous avons les données d'une production mensuelle de l'énergie électrique de la centrale solaire SKTM de Sedret Leghzel, ainsi répertorié dans les tableaux suivants, débutant du mois de MARS 2017 au mois de FEVRIER 2018. Soit une production d'une année.

En fonction des paramètres suivants :

- Irradiation maximal et minimal en watt projeté sur une surface de 1metres carres.

- La température maximale minimale et moyenne enregistré chaque mois en degrés Celsius.
- L'humidité moyenne ; maximal et minimal en pourcentage.

	MARS	AVRIL	MAI	JUIN
E/ KWh	3460748,54	3528305,54	3618433,66	3549042
irr W/m ² Max	1191,1	1167,81	1205,94	1209,69
irr W/m ² Min	650,131	496,677	739,754	551,671
T°C max	24,888	32,109	35,164	37,065
T°C min	-1,496	1,241	10,495	11,194
T°C moyenne	14,1654749	18,645672	24,9651473	28,389822
H% max	96,401	98,094	88,609	88,153
H% min	10,225	8,395	7,278	10,395
H% moyenne	40,8726231	35,5926988	31,0238329	26,429825

	JUILLET	AOUT	SEPT	OCT
E/ KWh	3605026,05	3201323,01	3275101,44	3199783,2
irr W/m ² Max	1146,91	1109,2	1118,41	1053,16
irr W/m ² Min	335,563	103,532	193,801	277,424
T°C max	40,665	39,504	36,502	27,599
T°C min	12,165	16,509	8,969	3,745
T°C moyenne	31,9697063	30,2811366	25,3418206	19,353904
H% max	64,072	85,381	94,525	95,967
H% min	6,968	8,411	9,868	7,19
H% moyenne	16,9147644	24,7955427	29,81186	35,267593

	NOV	DEC	JAN	FEV
E/ KWh	2536162,186	2201494,47	2263617,504	2437002,608
irr W/m ² Max	1018,2	904,21	979,535	1137,76
irr W/m ² Min	157,139	299,591	215,325	190,225
T°C max	25,637	19,724	21,221	20,087
T°C min	-2,465	-4,82	-3,945	-6,813
T°C moyenne	13,56022876	7,496690616	8,737305355	7,957608538
H% max	94,051	98,701	98,507	97,778
H% min	10,297	19,725	13,006	10,876
H% moyenne	33,49591706	60,57056891	54,55875367	54,13392692

On remarque que le pique de production maximale énergétique mensuelle par heure est enregistré au mois de Mai qui atteint les 3618433.66KWH équivaut à 3.618433MWH, ce qui représente environs, 14473732 panneaux solaire photovoltaïque d'une puissance de 250W. Le pic de production minimale est enregistré au mois de Décembre, et est de 2201494.47KWH équivaut 2.201494MW ce qui représente 8805976 panneaux solaire photovoltaïque d'une puissance de 250W. Ainsi on conclue que la moyenne de la meilleure production journalière est débitée à 119,008MW comme relaté précédemment.

2.4.2 Générateurs photovoltaïques dans les constructions (installations décentralisées)

L'alimentation en électricité d'un site éloigné du réseau électrique par un câble est une opération coûteuse, lorsque les besoins en énergie sont relativement faibles. A cause de ce problème il apparaît un nouveau modèle qui est probablement basé sur une décentralisation poussée du système électrique, où la production et la consommation seront à proximité l'une de l'autre. Plusieurs arguments plaident en faveur de cette hypothèse : la réduction des pertes en ligne, la limitation des lignes à très haute tension, inesthétique et à la pollution électrique mal maîtrisée, la libération du marché d'électricité qui offrira de nouvelles possibilités de ventes et d'achats libre d'électricité, comme la plupart des autres biens et aussi il n'y a pas de coût de vendre de la région et de la préparation du site [27]. Dans ce contexte, il est fort probable que la production d'électricité photovoltaïque par petites unités dispersées et raccordés au réseau de distribution aura un rôle important à jouer. En effet la meilleure façon de produire sur site les modestes quantités nécessaires au consommateur est de convertir l'énergie solaire en électricité grâce à de simples capteurs fixés sur son toit, son mur sa façade. L'installation étant reliée au réseau, celui-ci absorbe le surplus d'énergie fournie, ou apporte le complément. Il est possible aussi d'augmenter sa production, en raccordant de nouveaux panneaux [28, 29].

a) Toit solaire

Un toit solaire photovoltaïque raccordé au réseau est un générateur photovoltaïque installé chez l'utilisateur, et qui est raccordé au réseau de distribution de la compagnie électrique par l'intermédiaire de l'installation électrique intérieure. Il est composé d'un ou plusieurs champs des panneaux produisant du courant continu. Ce courant est ensuite transformé par un ou plusieurs onduleurs en courant alternatif compatible avec les exigences de qualité, de fiabilité et de sécurité du réseau [32, 34].

b) Fonctionnement

Le courant produit est utilisé par le ou les appareils électriques en service les plus proches, évitant ainsi d'acheter de l'électricité au réseau. Si la production est plus élevée que la

consommation de l'instant, l'électricité excédentaire est injectée dans le réseau. Inversement lorsque la consommation dépasse la production (nuit, ciel couvert, brouillard), le courant est comme d'habitude acheté au réseau. Le passage d'une situation à l'autre se fait d'une manière entièrement automatique. Donc le principe de fonctionnement de ces installations est très simple [32, 34, 56] :

- Les panneaux produiront idéalement plus ou moins la quantité d'électricité requise par les habitants de la maison.
- Lorsque l'énergie générée par les panneaux est inférieure à la consommation, l'énergie supplémentaire est fournie par le réseau et est enregistré par le compteur. Le réseau remplace la batterie en quelque sorte.
- Lorsque les panneaux produisent un excédent, lors d'une absence des occupants, par exemple, l'énergie "en trop" est mise à la disposition des autres utilisateurs, et le compteur marchera "à l'envers". Mais dans la plupart des cas, ce sera un deuxième compteur qui enregistrera l'opération dans l'autre sens. Le propriétaire des panneaux se fait rembourser sa contribution au réseau.

c) Rôle du toit solaire

A couvrir tout ou la partie de la consommation électrique du bâtiment sur lequel il est installé. En pratique, la production solaire réduira la facture d'électricité et remplacera une partie de l'énergie « sale » issue de combustibles fossiles ou nucléaires par une énergie propre et respectueuse de l'environnement, améliorant ainsi, même modestement, la qualité écologique du courant au niveau du consommateur mais aussi au niveau de la compagnie d'électricité.

Un toit solaire peut apporter une aide précieuse pour améliorer la qualité du courant fourni par la compagnie locale dans les zones reculées où la grande longueur des câbles électriques occasionne fréquemment des baisses de tensions et de coupures [37].

d) Lieu d'installation du toit solaire

Sur le toit ou la façade de n'importe quel bâtiment raccordé au réseau et disposé d'une surface suffisante (avec un minimum raisonnable de 10m²), orienté le plus possible vers le sud (au moins entre sud-est et sud-ouest) [37].

e) Quantité d'électricité produite

La production annuelle d'électricité d'un toit solaire peut être calculée avec une marge d'erreur inférieure à 10%. Elle dépend :

- De l'ensoleillement annuel du site, qui peut être évalué aussi précisément pour presque tous les sites en Europe et même dans le monde entier.

- D'un facteur de correction calculé à partir de l'écart d'orientation par rapport au sud, de l'inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontale et le cas échéant, des ombrages relevés sur le site.

La puissance crête d'un toit solaire donnée en Wc ou KWc, mesure la puissance théorique maximale que ce toit peut produire dans des conditions standards d'ensoleillement.

f) Coût d'un toit solaire

Le coût du matériel (panneau et onduleurs) a diminué de 5 à 10% par an depuis une dizaine d'années et cette performance devrait être renouvelée sur la prochaine décennie. Le coût minimum pour un système complet de 1KWc (10m²) se situe aux environs de 7500 euros. La grande majorité de ce coût vient de l'investissement en matériel, et à l'intérieur de ce dernier, les panneaux représentent de loin la plus grande partie (70 à 80%). Les coûts de maintenance sont en principe très peu élevés [29].

2.5 Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau

a) Avantages

- N'ont pas besoin de stockage d'énergie et éliminent donc le maillon le plus problématique (et plus cher) d'une installation autonome. C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie [17].
- Pas de gaspillage - tout excédent est livré au réseau - particulièrement intéressant pendant les périodes d'absence de son domicile, pendant le week-end, pendant les vacances quand les modules continuent à travailler. On évite les pertes d'énergie associées au stockage en batterie lorsque la batterie est complètement chargée par exemple [20].
- On n'est pas obligé de calculer méticuleusement ses besoins en électricité, et de prévoir des niveaux de demande exceptionnellement très élevés, même si très rares [22].
- On peut commencer petit et agrandir par la suite sans problèmes de dimensionnement compliqués [17].
- On peut satisfaire à une partie ou à la totalité de ses besoins [22].

b) Inconvénients

C'est vraiment la voie royale qui permettra au photovoltaïque de faire sa percée dans nos vies cependant :

- La consommation risque de redevenir relativement "invisible," et on pourrait retomber dans le piège de la consommation irréfléchie [22].
- Les contraintes électriques imposées par les sociétés d'électricité peuvent être rigoureuses, et les onduleurs synchrones doivent répondre aux exigences techniques des compagnies de

production et de transport d'énergie, par exemple, il faut un mécanisme de coupure automatique du courant au réseau dans l'éventualité d'une panne pour éliminer tout risque à ceux qui font les travaux de réparation [23].

Mais le plus important, c'est la question du prix payé pour les kWh livrés au réseau... Il est difficile de dire combien de temps il faudra pour atteindre un niveau de prix où le Kwh photovoltaïque sera compétitif avec le KWh conventionnel, issu de combustibles fossiles (pétrole, gaz ou charbon) ou fissile (nucléaire). Il est évident que ce choix n'est aujourd'hui économiquement viable qu'avec un soutien de fonds publics significatifs, et c'est ce que ce passe dans la plupart des pays européens. Mais ce concept est tellement séduisant que de plus en plus de personnes sont intéressés et souhaitant participer à la démonstration qu'il est possible de produire soi-même d'électricité.

Au-delà des arguments rationnels, l'envie de devenir son propre producteur d'électricité et une motivation forte. Avec notre toit solaire, nous pourrons subvenir à une partie de nos besoins en ayant recourt au soleil, une source d'énergie abondante et renouvelable [30, 36].

2.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié l'énergie solaire recueillie par les panneaux solaires photovoltaïques, destinée à être acheminée vers un réseau électrique, qui doit être conditionnée ou traitée pour être utilisée par un onduleur connecté au réseau à travers un système photovoltaïque connecté au réseau et ces différents types d'installations. Nous avons étudié aussi les problèmes de connexion des systèmes photovoltaïques et mis l'accent sur l'onduleur MPPT et ces critères de choix et de dimensionnement qui est responsable sur la surveillance de la tension du réseau, la forme d'onde, et la fréquence.

Chapitre III

Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

3.1. Introduction

Le dimensionnement d'un générateur PV a pour but de déterminer l'optimum technico-économique entre la puissance crête du champ des panneaux solaires et la capacité de batterie associée à partir des besoins électriques de l'utilisateur d'une part, et d'autre part des données d'ensoleillement du site et du prix et de la qualité des composants dont on peut disposer sur le marché. Dans ce chapitre, le travail que nous avons effectué est penché vers le dimensionnement des composants de notre système PV :

- Le champ PV
- L'onduleur
- Régulateur
- Les câbles

Ceux-ci seront dimensionnés après l'évaluation des besoins, la détermination de la puissance à installer et le nombre total de panneaux.

3.1.1. Électricité PV en Algérie

L'Algérie a adopté près de 2000 kits solaires et 200 pompes installées dans les zones isolées et d'une manière volontaire un ambitieux programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique qui vise à produire une capacité d'origine renouvelable de 12 000 mégawatts, ce qui couvrira 40% de la consommation énergétique du pays à l'horizon 2030. Ce programme pris en charge principalement par le Ministère de l'Énergie est entré dans sa phase d'opérations pilotes, notamment avec la mise en service en 2014 d'une centrale photovoltaïque de 1.1 mégawatts à Ghardaïa et d'une centrale éolienne de 10 mégawatts à Adrar en plus de la centrale hybride gaz solaire de Hassi Rmel d'une capacité de 250 MW dont 25 MW en solaire déjà opérationnelle depuis juin 2011. Une vingtaine de centrales solaires d'une puissance globale de près de 400 MW furent installées en 2014 et un grand nombre de ces centrales sont opérationnelles depuis fin 2014. D'autres centrales photovoltaïques, éoliennes et solaires à concentration seront installées progressivement d'ici 2030 pour atteindre les objectifs fixés dans le programme.

Carte montrant la réalisation de la filiale commerciale ER2 du CDER pour l'électrification par l'énergie solaire photovoltaïque des foyers ruraux et l'installation des pompes fonctionnant avec l'énergie solaire photovoltaïque pour le pompage d'eau potable et d'irrigation.



Figure 3.1 : le projet solaire de l'Algérie et ces 28 station solaire prévue pour une production dépassant les 20MW chacune.

But de l'étude

Notre projet de fin d'étude Fu effectué à la ville de Mécheria, wilaya de Naama en Algérie. L'étude porte sur le fait de comment trouver des solutions techniques et ménagères, afin de diminuer la consommation électrique et en parallèle diminuer la charge sur le réseau d'alimentation. On présentera à la suite la constitution sur laquelle nous avons effectué notre étude de terrain.

3.2. Présentation du site étudié

a) **La ville de Mécheria** : est une commune de la wilaya de Naâma, située à l'ouest de l'Algérie, à la frontière avec le Maroc. Elle est voisine au nord avec les wilayas de Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès, à l'est celle d'El-Bayad et au sud celle de Béchar. Elle couvre une superficie de 736,25 km².

b) **Le primaire Les frères Chaâbane :**

Nous nous sommes dirigés vers le primaire Les frères Chaâbane le 30 mai 2020 situé à l'adresse : Mécheria le primaire Les frères Chaâbane a couté de route nationale numéro 06, afin de faire notre étude sur la consommation énergétique. Qui est présidé par monsieur le directeur Ben Ali Mohammed, Il s'étend sur une superficie de 11 510,15 m², contient : une salle de réunion, un magasin, 06 bureaux, un amphi, une salle des professeurs, 11 classes, un laboratoire, 4 dortoirs, un salon, une bibliothèque, 2 sanitaires, des couloirs, Restaurant et Logement.



Figure 3.2 : la plateforme d'accueil du primaire les « frères Chaâbane »

c) Localisation

Le primaire Les frères Chaâbane Mécheria, Algérie

33°32'30.1"N 0°16'39.1"W



Figure 3.3 : Photo par satellite de primaire « les frères Chaâbane »

3.3 Méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque :

3.3.1 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

adapter. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations pour un nombre d'années très grand (10 ans minimum). [43]

3.3.2 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. [44]

3.3.3 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. [43]

3.3.4 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. [45]

3.3.5 Méthode des heures équivalentes :

Elle considère que l'intensité fournie par un module photovoltaïque est proportionnelle à 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. [46]

3.3.6 Méthode itérative :

Connue aussi sous le nom de méthode « Ampère-heure » cette méthode consiste à déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire pour satisfaire la demande, puis peu à peu à réduire ce nombre, tout en calculant le pourcentage des besoins énergétiques annuels fournis par le générateur PV et ainsi à compléter le reste par l'énergie fournie par un générateur complémentaire.

[47]

3.3.7 Méthode utilisabilité solaire :

La méthode utilisabilité solaire est un outil très puissant pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. L'utilisabilité de la radiation solaire est définie comme étant la fraction

de la radiation totale incidente sur la surface des panneaux PV, et qui excéderait un niveau spécifique appelé niveau critique. [48]

3.3.8 Méthode simplifiée :

- **Etape 1 :** Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour. L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E_{cj} (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir les télévisions, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc...

- **Etape 2 :** Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV :

Les données de l'ensoleillement peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone. [49]

- **Etape 3 :** calcul du nombre de panneaux solaire
- **Etape 4 :** Choix de 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 : (charge et décharge). [45]

- **La régulation de charge (à l'entrée)** est fonction de la puissance du générateur, donc du courant produit par les modules.
- **La régulation de décharge (à la sortie)** est fonction de la puissance totale des récepteurs donc du courant consommé par ces derniers.
- **Etape 5 :** Choix de l'onduleur

Le dimensionnement sera basé sur : [44]

- **Le rendement :** c'est la conversion (DC/AC) qui atteint des valeurs assez élevées en fonctionnement nominal (égale à 0,8).
- **La consommation à vide :** c'est l'ensemble des pertes induites par l'onduleur en absence de charge, la diminution de ces pertes assure un bon stockage dans l'accumulateur.
- **La fréquence** sera 50Hz.
- **La tension d'entrée :** elle est égale à celle de la batterie.

3.4 Calcul de la 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. Ce travail doit aboutir à la consommation journalière optimisée mois par mois.

3.4.1. Les besoins de l'application en énergie

Il est indispensable de connaître précisément le besoin en énergie d'une installation avant de passer au dimensionnement afin de concevoir un système photovoltaïque adapté. Au vu du coût encore élevé du watt solaire, Il est souhaitable d'éviter de surdimensionner le système photovoltaïque en privilégiant l'économie d'énergie au niveau des récepteurs. La puissance photovoltaïque du générateur à installer est déduite du calcul de la consommation de l'application. Le calcul de dimensionnement prend en compte la puissance, la tension des appareils ainsi que la durée d'utilisation. Tous les consommations disponibles (lampes, radio, réfrigérateur, ordinateur, etc.) sont listées en précisant leur tension, leur puissance et leur durée d'utilisation par jour. Les appareils à faible consommation d'énergie et à haute rendement sont préférés même si leur coût d'investissement est plus élevé. Pour un meilleur rendement énergétique et d'économie financière, il est préférable d'utiliser des récepteurs fonctionnant en courant continu (12 ou 24 VDC) puisque ce dernier, produit par les panneaux photovoltaïques et/ou stocké dans les batteries, est directement utilisé par les récepteurs CC sans transformation préalable du courant. En revanche, en présence de récepteurs en 230 VAC, il faut rajouter un onduleur CC/CA, devenant lui-même un consommateur d'énergie non négligeable (marche/mode veille) à prendre en compte dans le bilan global de la consommation. Sur le marché, il existe un grand choix de récepteurs CC : lampes, réfrigérateurs, ventilateurs, pompes à eau, postes de radio, téléviseurs etc. Cependant, certains appareils n'existent pas en courant continu ou n'offrent pas la tension souhaitée : dans ce cas, l'onduleur est nécessaire afin de faire fonctionner les récepteurs VAC. Pour chaque appareil consommateur, la consommation journalière (en Wh/j), est définie à partir de sa puissance (en W) et de sa durée d'utilisation (en h/j), afin d'en déduire la consommation totale journalière. Cette dernière est ensuite réajustée en fonction du taux d'occupation de l'habitat au cours d'une année (week-end, vacances, etc.). A partir de cette valeur, il est possible de calculer la puissance photovoltaïque (pour en

déduire le nombre de panneaux à installer) et de dimensionner le stockage (calcul de la capacité de la batterie et de la profondeur de décharge), le régulateur et de câblage. [42]

3.4.1.1. Besoins de l'utilisation des différents appareils (Tableau 3.2)

Tableau 3.1 : Différents appareils de consommation

		NOMBRE	PUISSANCE (WATT)	Durée utilisation (Heures)	ENERGIES (Wattheure /jour)
Les Lampes	Bureau de directeur	04	10	10	400
	Bureau 01	02	10	08	160
	Bureau 02	02	10	08	160
	Bureau 03	02	10	08	160
	Bureau 04	01	10	08	80
	Bureau 05	02	10	08	160
	Les classes (11)	88	10	08	7040
	Couloir	40	10	12	4800
	Restaurent	65	10	08	5200
	Dortoir	176	10	06	10560
	Amphi	60	10	1.5	900
	Salle de réunion	02	10	03	60
	Magasin	04	10	02	80
	Sanitaire	22	10	05	1100
	Bibliothèque	02	10	08	160
	La clinique	13	10	08	1040
	Salle d'attente	02	10	02	40
	Labo informatique	08	10	08	640
	Salle d'inviter	04	10	04	160
	Logement	11	10	08	880
Garage	03	10	02	60	
Ap par	Climatiseur	29	1100	03	95700
	Pc	21	350	09	66150

	Imprimante	08	750	02	12000
	Fauteuil dentaire	01	900	6	5400
	Data show	01	550	1.5	825
	Réfrigérateur	01	160	12	1920
	Chambre froid	1	350	12	4200
	Télévision	02	95	04	760
	Haut-parleur	02	125	0.25	62.5
	Total de consommation kWh/jour				220.8575

Après la consommation globale journalière, il faut étudier sa variation dans le temps (hebdomadaire, mensuelle voire saisonnière) en fonction de l'utilisation des exploitants. Le dimensionnement des panneaux photovoltaïques dépend de la fréquence d'occupation de l'habitat et le dimensionnement du système photovoltaïque.

Pour une consommation de week-end, le calcul du dimensionnement est fondé sur une valeur moyenne de consommation obtenue en multipliant la consommation totale journalière par 2/7, soit la consommation de 2 jours étalée sur 7 jours. Ce raisonnement est applicable pour différentes échelles de temps : saisonnière, mensuelle, etc.

On a: $B_j = 220.8575 \text{ KWh}$

$$B_h = B_j \times 7 \quad (3.1)$$

$$B_m = B_h \times 4 \quad (3.2)$$

$$B_a = B_m \times 12 \quad (3.3)$$

Tableau 3.2: les besoins du système PV dans les temps

	Besoins journaliers (B_j)	Besoins Hebdomadaire (B_h)	Besoins Mensuels (B_m)	Besoins Annuels (B_a)
Besoins d'énergie en (KWh)	220.8575	1546.0025	6184.010	74208.120

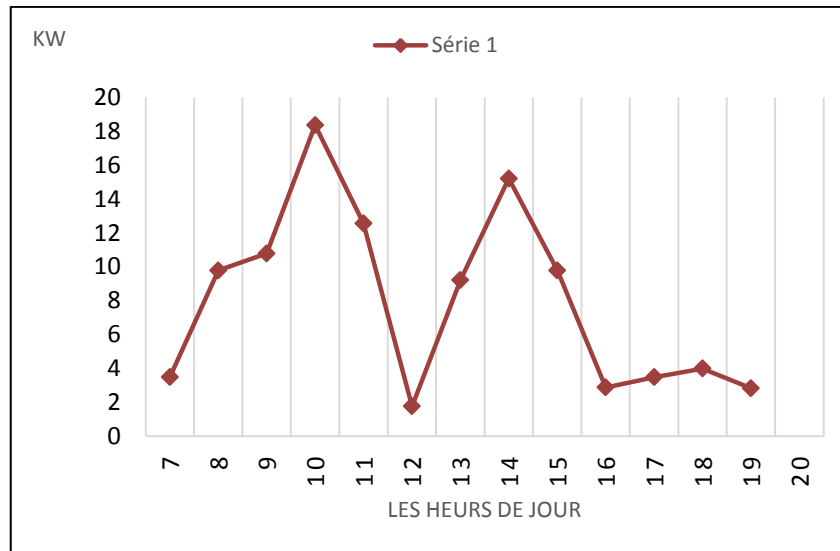


Figure 3.4 : Bilan de la consommation énergétique journalière

3.5 Détermination d'irradiation du site pour le dimensionnement

3.5.1. Période de l'ensoleillement

Plus la puissance lumineuse (ensoleillement) augmente, la puissance générée par la cellule PV augmente aussi. Au contraire, plus la température des cellules augmente, la puissance générée par les cellules est faible. La carte ci-dessous nous montre l'ensoleillement moyen annuel.

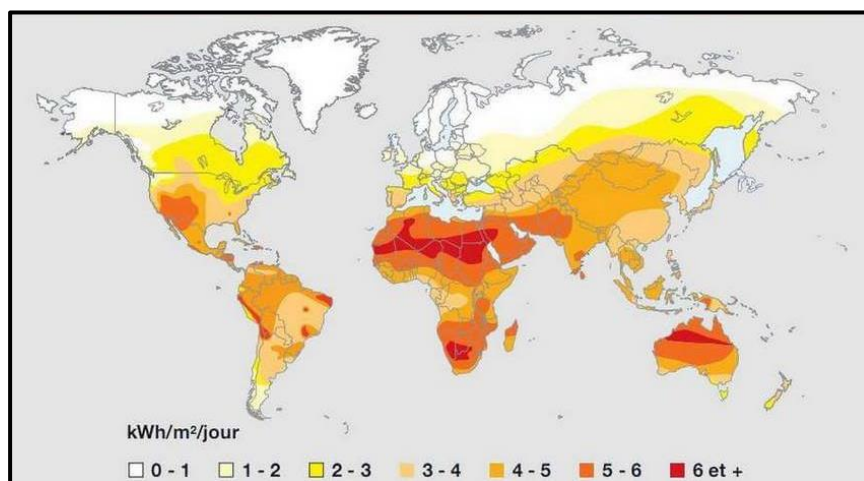


Figure 3.5 : carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

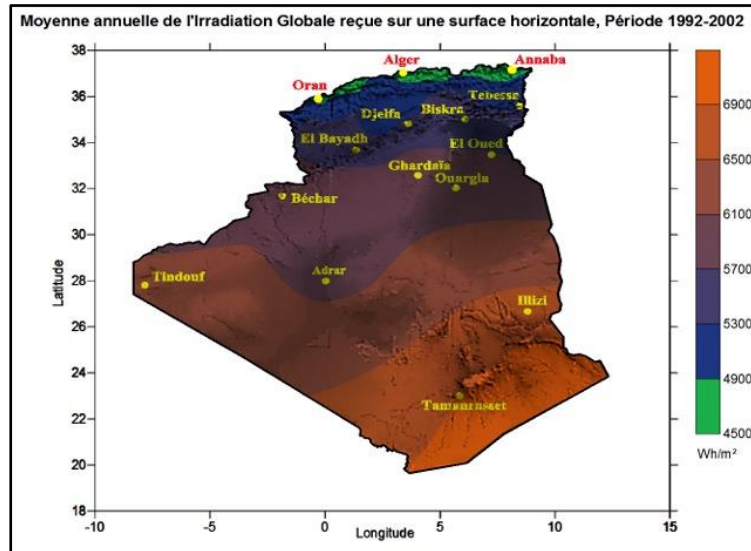


Figure 3.6: l'irradiation globale en Algérie

Sur cette directive, nous choisisons la période la moins ensoleillée dans l'année, le mois de Janvier dans notre cas. La figure (3.6) Représente l'irradiation moyenne en Algérie, Mécheria fait partie de l'intervalle [5300-5700] (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).

$$\text{Ensol} = N_e \times 1000 \tag{3.4}$$

(Soit $N = N_e 1000$)

Avec : L'ensoleillement du site (Wh/m2/jour)

N_e : Nombre d'heures équivalentes (h/jour)

Soit $N_e = E_{sol}/1000$

3.5.2. Le coefficient de perte

Plusieurs pertes interviennent dans les systèmes photovoltaïques tels que :

Tableau 3.3: les différents types des pertes [42]

Nature de perte		Perte (%)	Observations
Pertes par salissure		5-10	Pertes dépendant de L'inclinaison des panneaux et de la fréquence d'entretien
Pertes liées aux composants électriques	Régulateur	2	Pertes dépendant des caractéristiques internes des composants et de la technologie utilisée (en série, MPT) Pertes en fonction du
	Onduleur	10	
	Diode en série	3-6	

			nombre de branches
Pertes ohmiques liées aux câbles		3 voire 1	Pertes à réduire au minimum en réalisant un dimensionnement du câblage adéquat
Pertes thermiques		05%/°C	Pertes à minimiser par une ventilation adaptée Pertes affectant surtout les systèmes en pays chauds
Pertes de dispersion de puissance nominale d'un module		3-10	Pertes selon les fabricants Difficile à vérifier
Perte d'appairage en série		3	Pertes à réduire au minimum en réalisant le bon tri des modules
Pertes liées à la batterie		10	Pertes dépendant des caractéristiques internes et de la technologie utilisée (tubulaire, plaques, etc.)
Pertes liées au faible éclairnement		Faible	Pertes à minimiser en fonction de la technologie des modules
Coefficient global de perte		Compris entre 0.65 et 0.90	

D'où en faisant des recherches approfondies on a constaté que les pertes sont égales :

$$C_p = 0.65 \quad (3.5)$$

3.5.3 Irradiation moyenne dans l'année (CDER DATA 2019)

Tableau 3.4 : Irradiation moyenne dans l'année (CDER DATA 2019)

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
(KWh/m ² /jour)	3.66	4.55	5.98	7.53	8.63	9.13
Ne (h/jour)	3.66	4.55	5.98	7.53	8.63	9.13
Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
9.11	8.6	6.62	5.28	4.7	3.78	6.47
9.11	8.6	6.62	5.28	4.7	3.78	6.47

3.6 Détermination et importance de l'orientation et d'inclinaison des panneaux

Pour optimiser au mieux la production l'énergie d'une installation solaire. Il est très important de ne pas sous-estimer l'importance de l'inclinaison et d'orientation du panneau solaire.

Les critères à prendre en compte pour un rendement optimal des panneaux. Avant de commencer nous expliquons brièvement les termes:

- **L'inclinaison** est l'angle entre le plan du panneau solaire et le sol. Un panneau incliné 0° est à plat contre le sol ou horizontal, un panneau à 90° est à la verticale.
- **L'orientation** est l'angle entre le panneau solaire et l'axe plein Sud.

A 0° l'angle de l'orientation correspond à un panneau faisant face au Sud, à l'Est ou l'Ouest, 180° au Nord.

3.6.1 Détermination de la puissance crête des panneaux

La puissance d'un panneau solaire s'exprime en watts-crête (WC) ou kilowatts-crête (KWC). Cette puissance crête d'un panneau solaire correspond à la puissance maximale de production électrique qu'il peut délivrer. Il s'agit d'une puissance idéale fournie dans des conditions optimales :

Un ensoleillement de 1000 W de lumière/m²

- Une température extérieure de 25°C .
- Une bonne orientation des panneaux et aucun ombrage.

3.6.1.1 Calcul pratique de la puissance photovoltaïque

a) Calculons l'énergie à produire :

$$E_p = \frac{B_I}{C_p} = \frac{E_{\text{total}}}{C_p} \quad (3.6)$$

$$E_p = \frac{220.8575}{0.65} = 339.7808 \text{ KWh}$$

b) Calcul la puissance crête :

$$P_c = \frac{E_p \times N}{N_c} \quad (3.7)$$

N_c = irradiation moyenne de 5 kwh/m/ jour pour (la période estivale de fonctionnement)

$$P_c = \frac{339.7808}{5} = 67.9561 \text{ KWc}$$

3.6.1.2 Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation

Les panneaux photovoltaïques choisis sont de type mono cristallin, leurs caractéristiques sont consignées dans la figure ci-dessous :

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM320M-72-V		JKM325M-72-V		JKM330M-72-V		JKM335M-72-V		JKM340M-72-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	320Wp	238Wp	325Wp	242Wp	330Wp	246Wp	335Wp	250Wp	340Wp	254Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	37.8V	35.9V	38.0V	36.3V	38.2V	36.4V	38.4V	36.6V	38.7V	36.8V
Maximum Power Current (Imp)	8.47A	6.62A	8.55A	6.67A	8.64A	6.75A	8.72A	6.82A	8.79A	6.89A
Open-circuit Voltage (Voc)	46.3V	44.1V	46.5V	44.5V	46.7V	44.8V	46.9V	45.2V	47.1V	45.5V
Short-circuit Current (Isc)	8.95A	7.15A	9.03A	7.19A	9.11A	7.24A	9.18A	7.29A	9.24A	7.33A
Module Efficiency STC (%)	16.49%		16.75%		17.01%		17.26%		17.52%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	15A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.05%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

Figure 3.7 : Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation

Mechanical Characteristics	
Cell Type	Mono-crystalline 156×156mm (6 inch)
No.of cells	72 (6×12)
Dimensions	1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch)
Weight	26.5 kg (58.4 lbs)
Front Glass	4.0mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² , Length:900mm or Customized Length

Figure 3.8 : Caractéristiques mécaniques de panneau solaire

3.6.1.3 Calcul du nombre de panneaux

Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation est déterminé par l'équation suivante :

$$NB = \frac{P_c}{\text{Puissance de panneau}} = \frac{67956.1}{340} \approx 200 \quad (\text{III.9})$$

Avec :

Nb : Nombre de panneau solaire = 200 modules

a) Le nombre de modules connectés en série :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_N} \quad (\text{III.10})$$

$$N_s = \frac{48}{38.7} = 1.24 \approx 2$$

Donc on utilise 2 panneaux de 340 Wc connectés en séries.

b) Le nombre de modules connectés en parallèle :

$$N_p = \frac{N_M}{N_S} \tag{III.11}$$

$$N_p = \frac{200}{2} = 100$$

Donc on utilise 100 panneaux de 340 Wc connectés en parallèle.

3.7 Dimensionnement du régulateur et de l'onduleur

3.7.1 Choix du régulateur

La régulation de charge sera dimensionnée pour l'installation de 48 V comme suit :

$$I_{Max} = \frac{P_{C/champ}}{U} \tag{III.12}$$

$$P_{C/champ} = P_C \times N_p \times N_S \tag{III.13}$$

$$P_{C/champ} = 340 \times 100 \times 2 = 68000 \text{ Wc}$$

$$I_{Max} = \frac{68000}{48} = 1415 \text{ A}$$

3.7.2 Choix de l'onduleur

Les caractéristiques de l'onduleur utilisé doivent être compatibles avec une installation ayant une tension de 48 V et une demande de puissance de 68400 Wc.

$$P_{onduleur} = (P_{C/champ}^2 + P_r^2)^{1/2} \tag{III.14}$$

$$P_r = P_{C/champ} \times \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \tag{III.15}$$

P_r : Puissance réactive [KVAR]

P : Puissance crête du champ photovoltaïque

On prend : $\cos \beta = 0,8$ et $\sin \beta = 0,6$

Ce qui donne:

$$P_r = 68000 \times \frac{0,6}{0,8} = 51000 \text{ KVA}$$

$$P_{onduleur} = (68^2 + 51^2)^{1/2} = 85 \text{ KVA}$$

Les résultats du dimensionnement pour le système sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3.5 : Résultats du dimensionnement pour le système

Dimensionnement		Système
Puissance crête à installer (WC)		220.8575
Tension de l'installation (V)		48
	Total	200

Nombre de modules	En série	2
	En parallèle	100
Régulateur de charge		$I_{max}=1415$
Puissance de l'onduleur (KVA)		85 KVA

3.8 Étude de faisabilité

Installer un système solaire photovoltaïque est donc une réelle opportunité pour minimiser son impact environnemental, réduire sa facture d'énergie sur le long terme et concrétiser un engagement durable. Pour cela le projet doit être validé, dimensionné, adapté à la situation du site, à ses besoins et à son environnement (localisation, expositions, masques solaires, albédos, obstacles, météo, ...).

3.9 Conclusion :

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque est essentiel pour son bon fonctionnement et pour la satisfaction de l'utilisateur. Dans tous les cas, il est nécessaire de connaître le besoin à savoir : le gisement d'énergie solaire du lieu concerné ; le choix des modules PV, leur implantation et la structure support ; le choix des composants électriques assurant la régulation, la protection du système et des usagers ; ainsi que la mise en œuvre (câblage, maintenance). Dans le chapitre suivant, on va entamer la simulation pour déterminer les composants adéquats.

Chapitre IV

Simulation et discussion des résultats

4.1. Introduction :

En énergie renouvelable, il est important de signaler qu'il faut respecter un certain nombre d'étapes. Ces dernières sont facilement déterminées si nous utilisons un logiciel relatif de simulation pour définir les différents éléments constituant un système PV.

4.2. PV SYSTEM :

PVsystem est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverses informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète. Le dimensionnement du système est basé sur une procédure simple et rapide :

- Indiquer la puissance souhaitée ou la surface disponible.
- Choisir un module PV dans la base de données interne (liste déroulante).
- Choisir un onduleur dans la base de données (liste déroulante).

PVsystem proposera une configuration de modules / système permettant de réaliser une première simulation préliminaire. Le logiciel inclut un système de code d'erreurs ou d'avertissement coloré. [50]. Dans ce chapitre on expliquera comment utiliser le logiciel PVsystem pour un système photovoltaïque (site connecté au réseau), l'étude d'évaluation économique du système.

4.3. Etude sur le site connecté au réseau choisi :

4.3.1. Partie I : Présentation de logiciel PVSYS :

4.3.1.1. Organigramme de logiciel PVSYS:

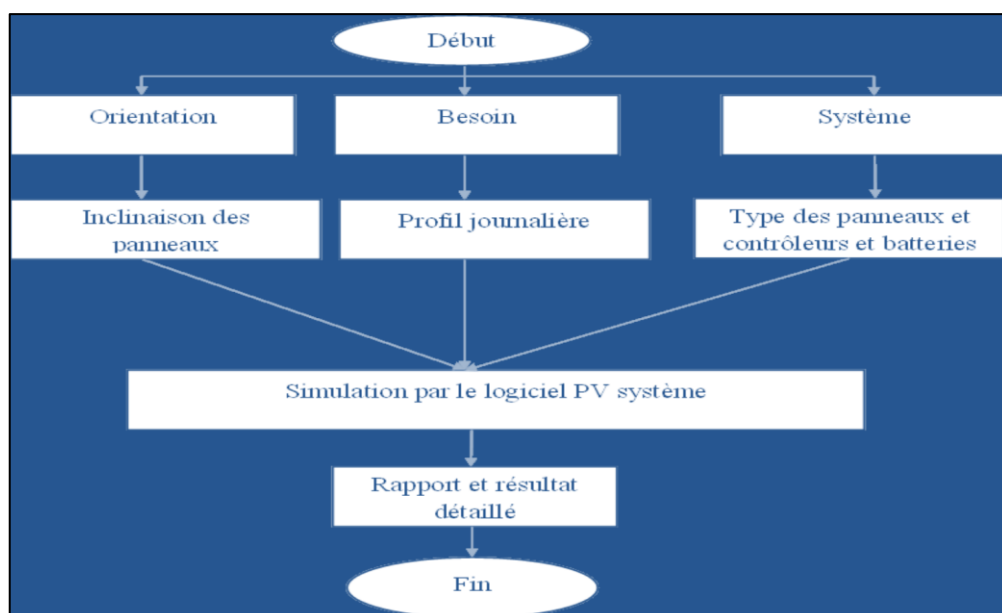


Figure 4.1 : Présentation de logiciel PVSYS.

4.3.1.2. Présentation de projet :

Dans ce projet, nous avons présenté une installation PV connecté au réseau pour alimenter une école primaire « Les frères Chaâbane ». Le site étudié est situé au niveau de la cité de Mécheria le couté de route nationale numéro 06.

4.3.1.3. Données géographiques :

Tableau 4.1 : Tableau des données géographique du site d'école primaire (Les frères Chaâbane).

Caractéristiques	Latitude en degré °	Longitude en degré °	Altitude en m
L'école primaire Les frères Chaâbane -Naama- (gmt+1)	33.542 N	-0.278 W	1145

4.3.1.4. Coordonnée geographies:

Un site géographique est défini par :

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

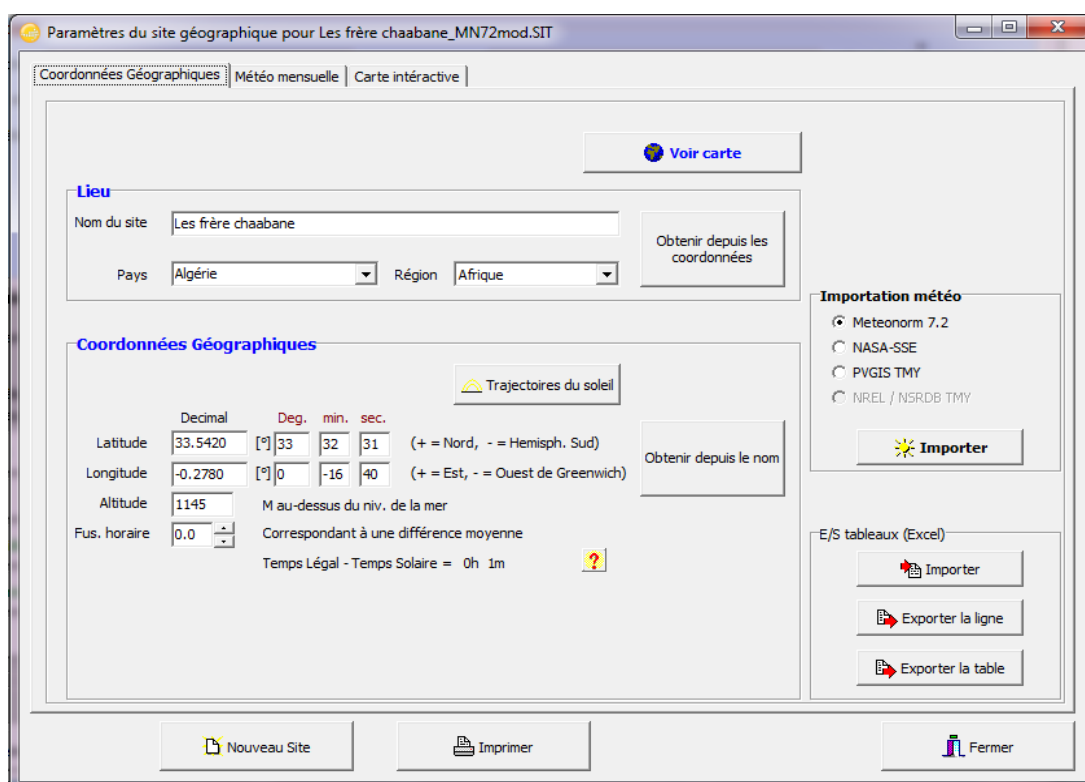


Figure 4.2 : Coordonnée géographique d'école primaire Les frères Chaâbane MECHRIA-NAAMA.

Latitude et longitude :

Latitude (φ) permet de repérer la distance angulaire d'un point quelque par rapport à l'équateur. Longitude (λ) d'un lieu (ou méridien) est valeur angulaire, expriment le positionnement Est-Ouest d'un lieu par rapport au méridien d'origine (méridien de Greenwich).

Alors si:

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

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

L'altitude :

L'altitude exprime un écart entre un point donné et le niveau de la mer (ou niveau0).

Le Fuseau horaire :

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

4.3.1.5. Données météorologiques :

Ces données sont caractéristiques climatiques (l'irradiation et la température) du site d'école primaire Les frères Chaâbane, Il est conseillé de définir soigneusement la source des données Site/CDER-DATA2019.

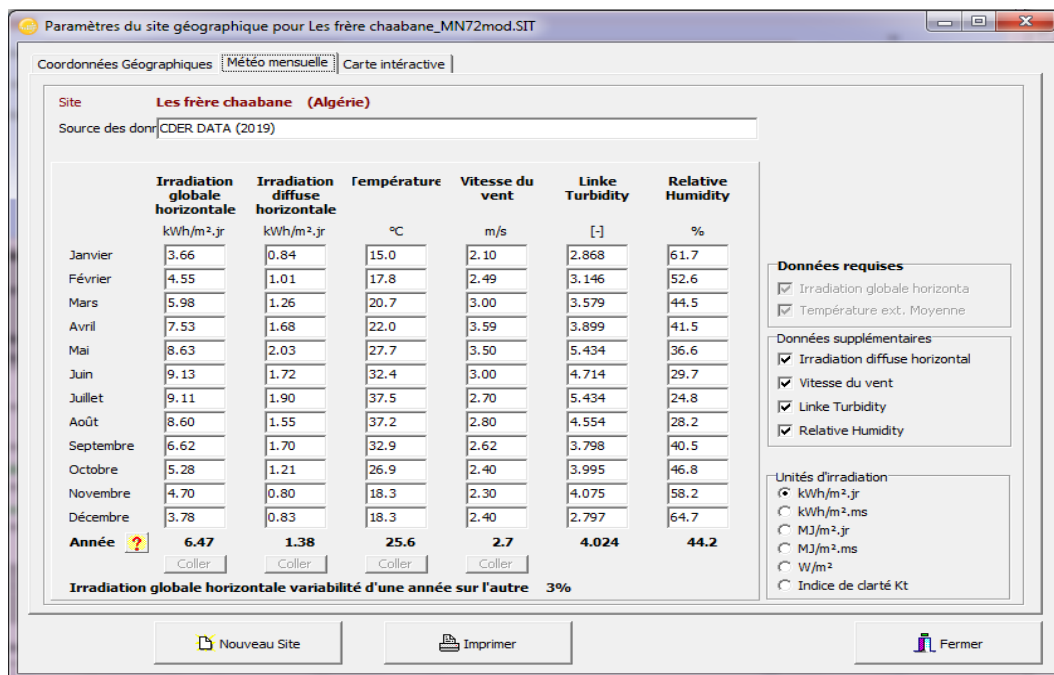


Figure 4.3 : Paramètre climatique d'école primaire les frères Chaâbane- MECHRIA-(CDER-DATA2019).

4.4. Conception du projet :

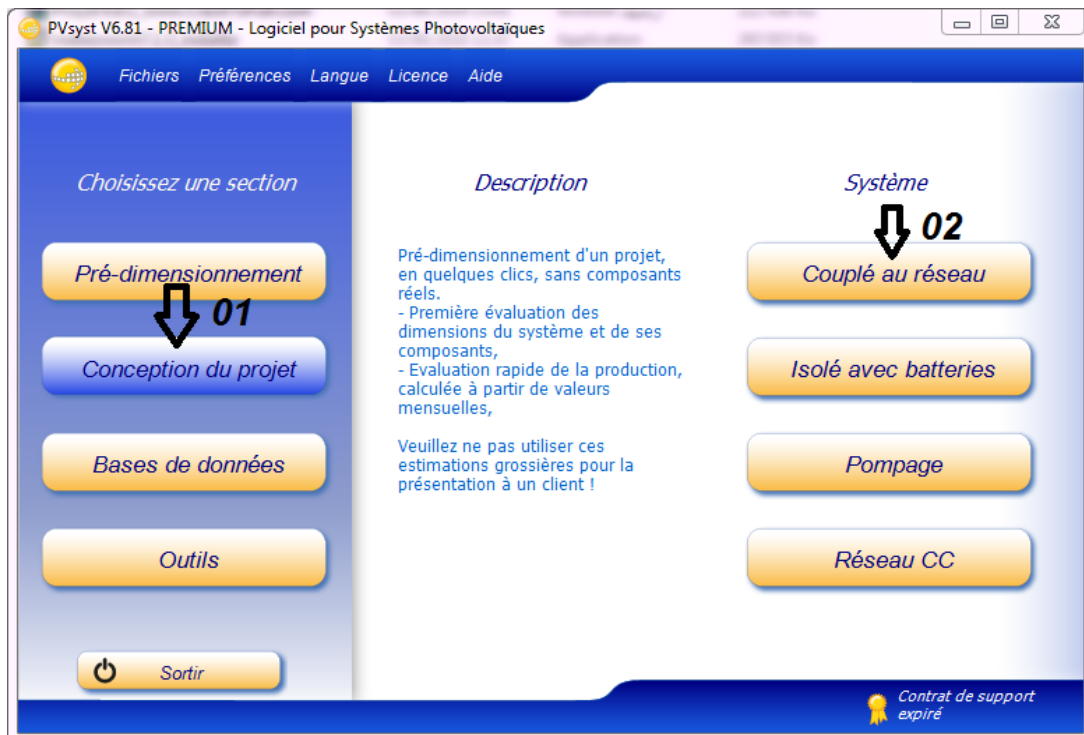


Figure 4.4: Conception du projet.

4.4.1. Étapes pour une conception du projet (connecté au réseau) :

Cela donne une procédure étape par étape lors de la définition d'un système connecté au réseau en PVsyst.

4.4.2. Première étape :

4.4.2.1. Orientation des modules PV :

Pour choisir les modules PV il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie, nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison 33.5° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure (4.5) c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVsyst, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

4.4.2.2 Plan incliné fixe :

Il est défini par l'inclinaison de l'avion et de l'azimut.

4.4.2.3. Le facteur Transposition :

C'est le rapport de l'irradiation incidente sur le plan, à l'irradiation horizontale.

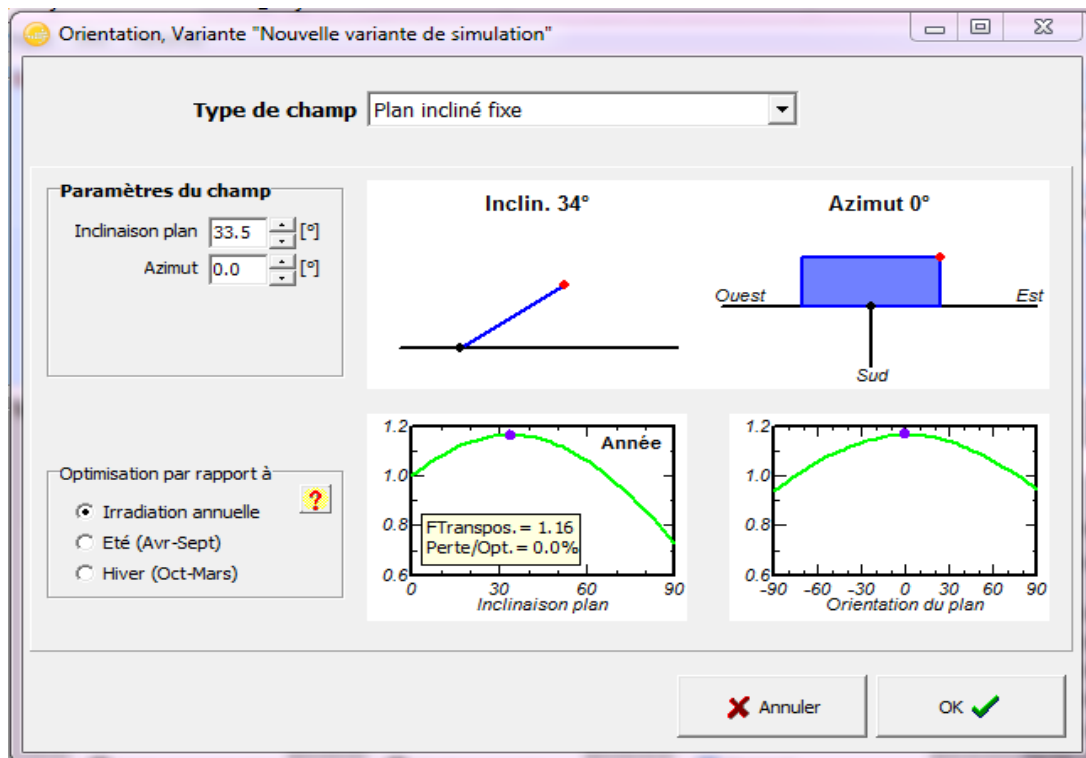


Figure 4.5 : Angle d'orientation.

4.4.3. Définition d'un profil de l'horizon :

C'est une opération très simple avec l'outil graphique PVSYST. L'horizon est une ligne brisée superposée sur le diagramme de trajectoire du soleil, qui peut contenir un nombre quelconque de hauteur / points d'azimut.

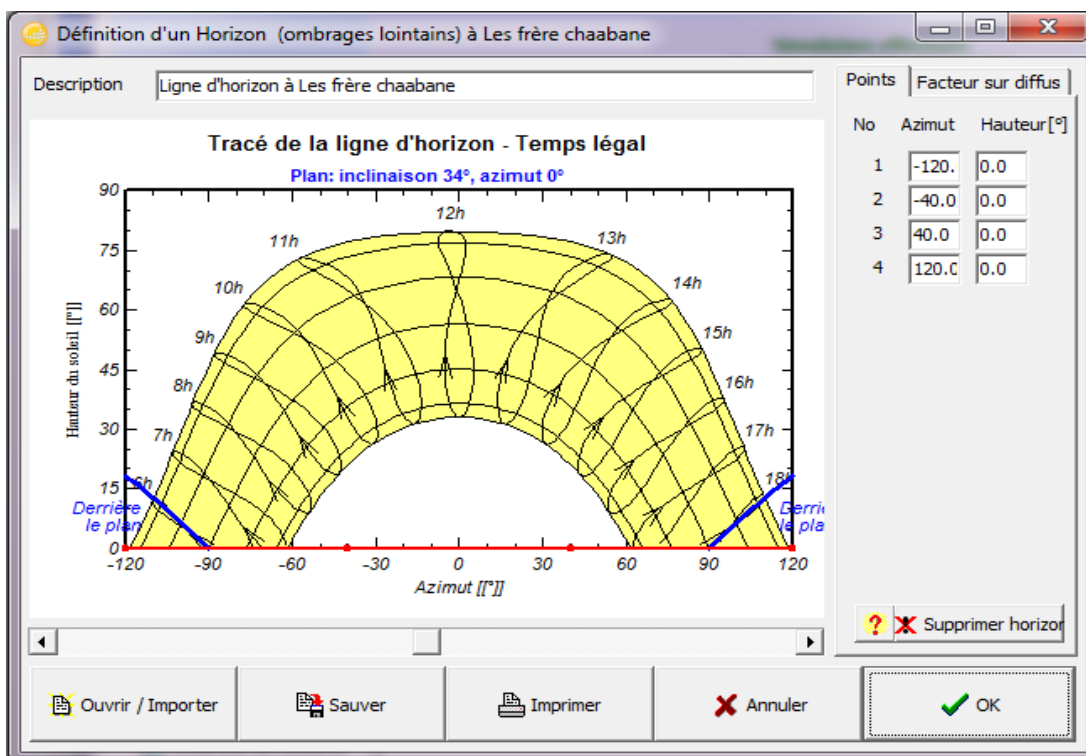


Figure 4.6 : Horizon d'école primaire Les frères Chaâbane- MECHRIA-

4.5. Deuxième étape :

4.5.1. La définition des besoins de l'utilisateur :

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

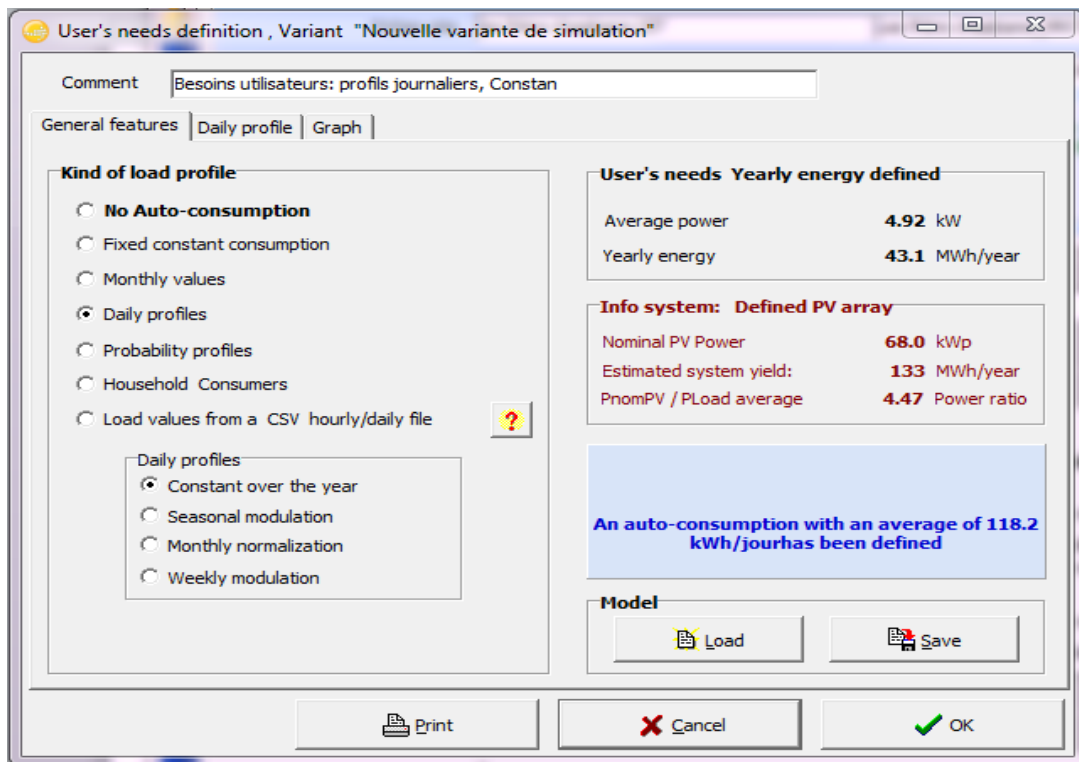


Figure 4.7 : La consommation.

4.5.2. Profil horaire :

Un profil horaire au cours de la journée, afin de mieux correspondre le comportement de la batterie. Donc l'énergie moyenne journalière consommée par cette école est de 118.2 kWh/jr.

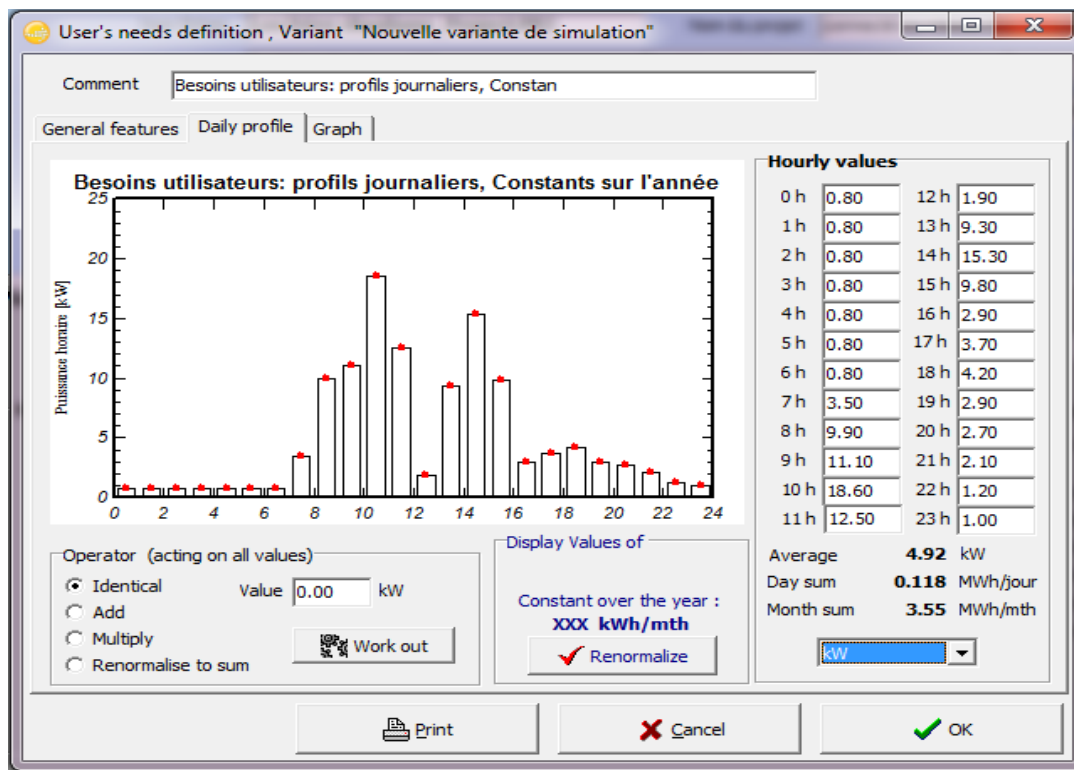


Figure 4.8 : Le profil de charge et le temps d'utilisation.

4.6. Troisième étape :

On a choisi le type de panneau qui convient à une puissance de 340Wp/33V JKM 340M-72 puis l'onduleur de PVI 10KW-600 ; on obtenait comme résultat 200 panneaux pour une surface de 388 m² (8 panneaux en série et 25 chaînes et 06 onduleur).

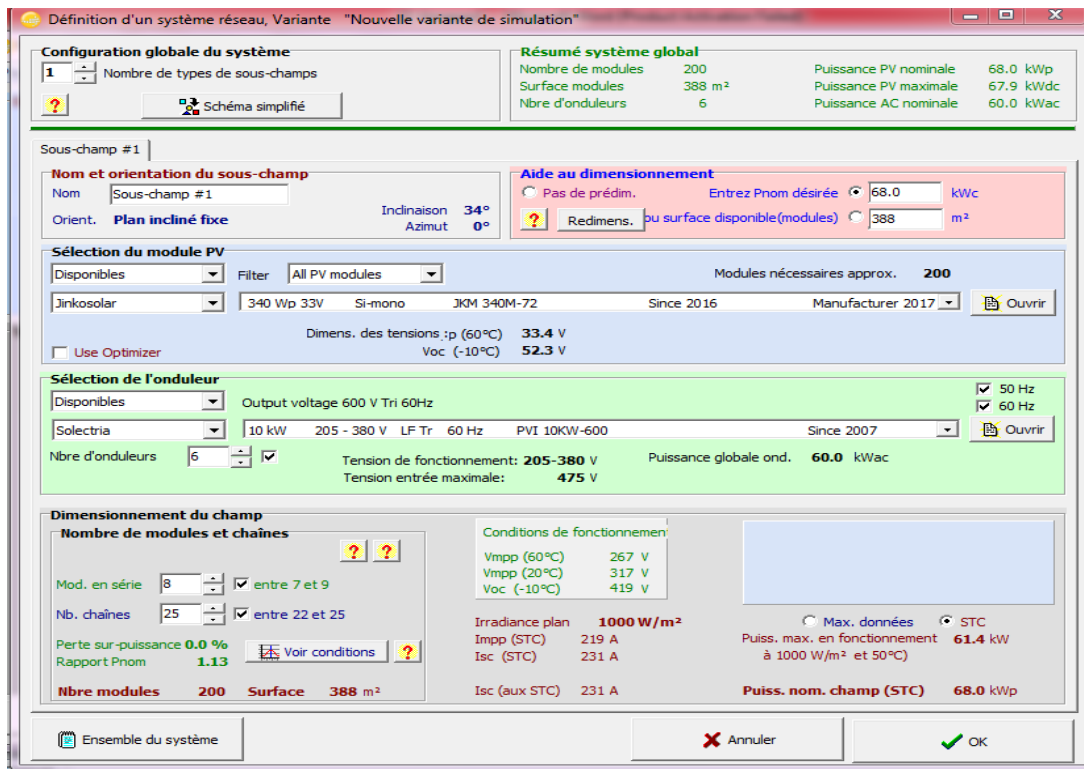


Figure 4.9 : Dimensionnement du champ PV.

4.6.1. Les informations de panneau JKM 340M-72 :

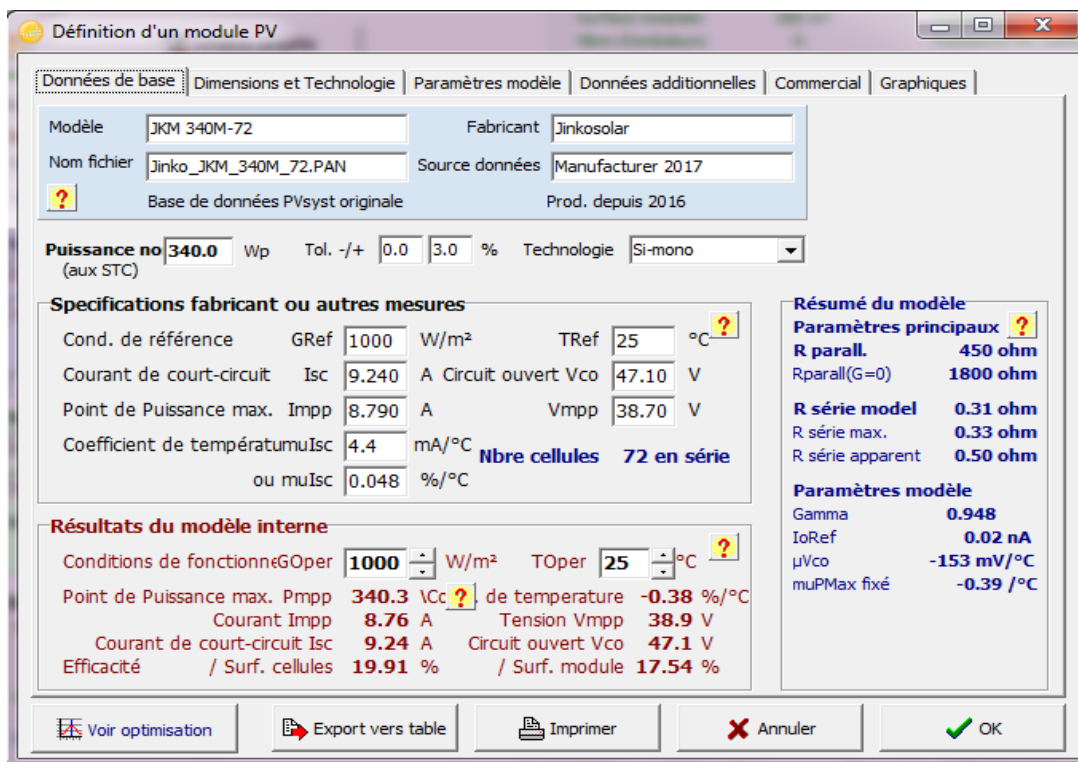


Figure 4.10 : Définitions d'un module PV.

4.6.2. Les informations de L'onduleur PVI 10KW-600 :

Figure 4.11 : Définitions d'un onduleur pour le réseau.

4.7. Quatrième étape :

La figure (4.12) ci-dessus nous montre les branchements complets d'un système photovoltaïque avec un onduleur, et des appareils de protection comme le fusible Diode by passe qui est tous reliée à des différents récepteurs.

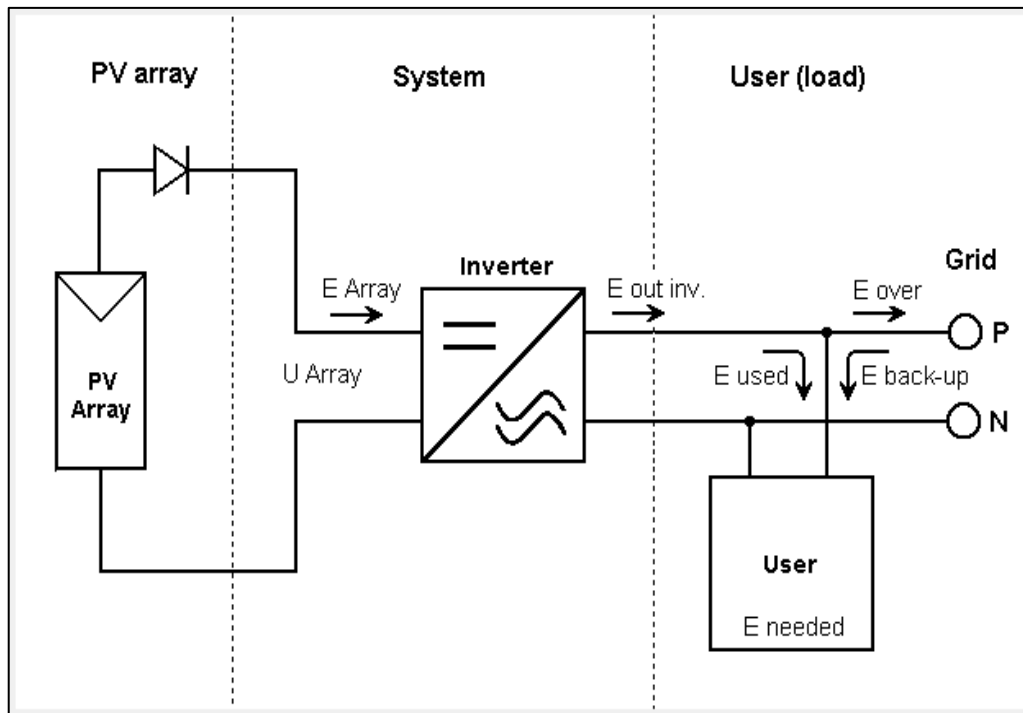


Figure 4.12 : Schéma simplifié d'une centrale PV connecté au réseau (PVSystem).

4.8. Partie II : Résultats et discussions de la simulation :

4.8.1. Paramètres du système (connecté au réseau) :

Orientation plan capteurs Inclinaison 34° Azimut 0°

4.8.2. Caractéristiques du champ de capteurs :

Tableau 4.2 : Caractéristiques du champ de capteur.

Module PV	JKM 340M-72	
Nombre de modules PV	En série 8 modules	En parallèle 25 chaînes
Nombre total de modules PV	200	Puissance unitaire 340 Wp
Puissance globale du champ	Nominal (STC) 68.0 kWp	Fonct à 50°C 61.4 kW
Caractéristiques de fonct.	V_{mpp} 272 V à 60°	I_{mpp} 219 A à 50°C
Surface totale	Surface modules 388 m ²	

4.8.3. Performance ratio:

La figure (4.13) représente l'indice de performance (Performance Ration)

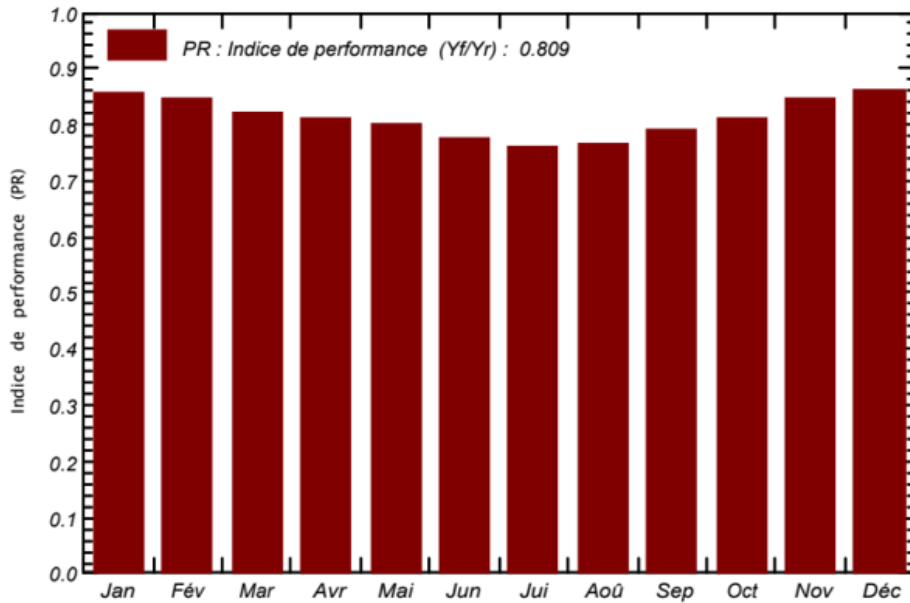


Figure 4.13 : Indice de performance.

4.8.4. Les productions normalisées :

La figure (4.14) montre l'énergie produite par l'installation photovoltaïque donnée par le logiciel PVsyst durant une année. Sur cette figure on remarquera que l'énergie maximale est produite durant la période d'été (juin –Août). L'énergie minimale est produite durant le mois de décembre.

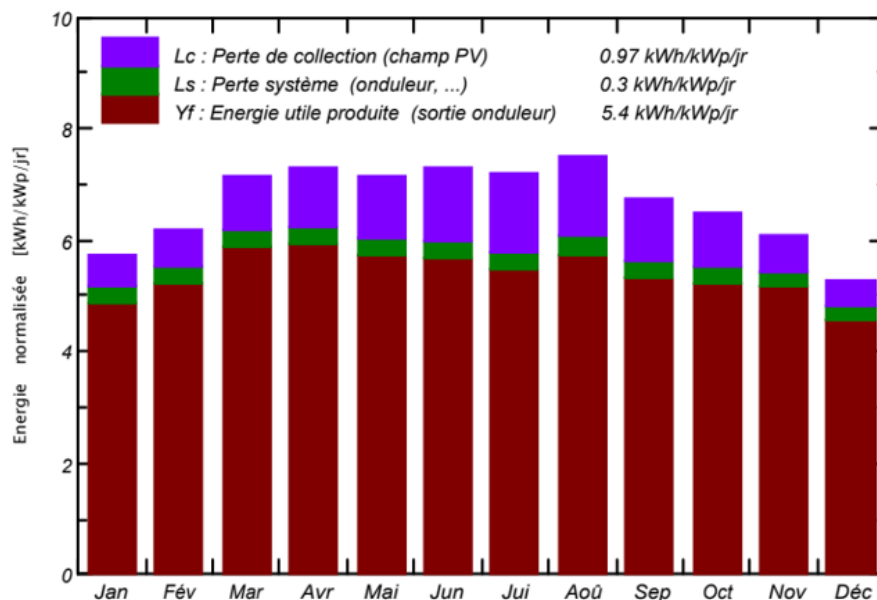


Figure 4.14: Productions normalisées (par kWp installé) : Puissance nominale 68.0 kWc.

4.8.5. Bilan énergétique :

Le tableau suivant représente le résumé le bilan de l'énergie reçu et délivrée par l'installation durant une année par mois

Tableau 4.3: Bilans et résultats principaux

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Janvier	107.8	25.93	6.64	177.0	173.4	10891	3664	2711	7606	952.8
Février	121.6	28.43	8.95	173.5	169.9	10517	3310	2600	7365	709.4
Mars	180.6	39.23	13.37	222.0	216.9	13068	3664	3023	9355	641.5
Avril	208.8	50.45	15.94	218.7	212.3	12733	3546	2945	9117	600.5
Mai	235.8	62.81	21.17	221.2	214.4	12720	3664	3098	8936	566.0
Juin	249.1	51.45	26.71	219.2	211.9	12261	3546	3038	8554	508.4
Juillet	245.5	58.90	31.11	222.8	215.7	12215	3664	3123	8432	541.4
Août	232.0	48.22	29.42	232.9	226.3	12782	3664	3082	9027	582.0
Septembre	177.8	51.10	23.36	202.1	196.7	11489	3546	2930	7954	615.7
Octobre	150.3	37.62	18.96	201.2	196.9	11670	3664	2911	8152	752.7
Novembre	114.4	24.11	11.37	183.1	179.4	11100	3546	2778	7750	767.6
Décembre	96.7	25.64	8.02	163.7	160.3	10122	3664	2744	6849	920.6
Année	2120.4	503.89	17.98	2437.2	2374.3	141567	43143	34984	99097	8158.5

4.8.6. Diagramme des pertes sur l'année entière :

La figure (4.15) montre les pertes d'énergie de l'énergie reçue jusqu'à l'énergie injecté au réseau. L'énergie injectée dans le réseau est de l'ordre de 99.1 MWh par ans.

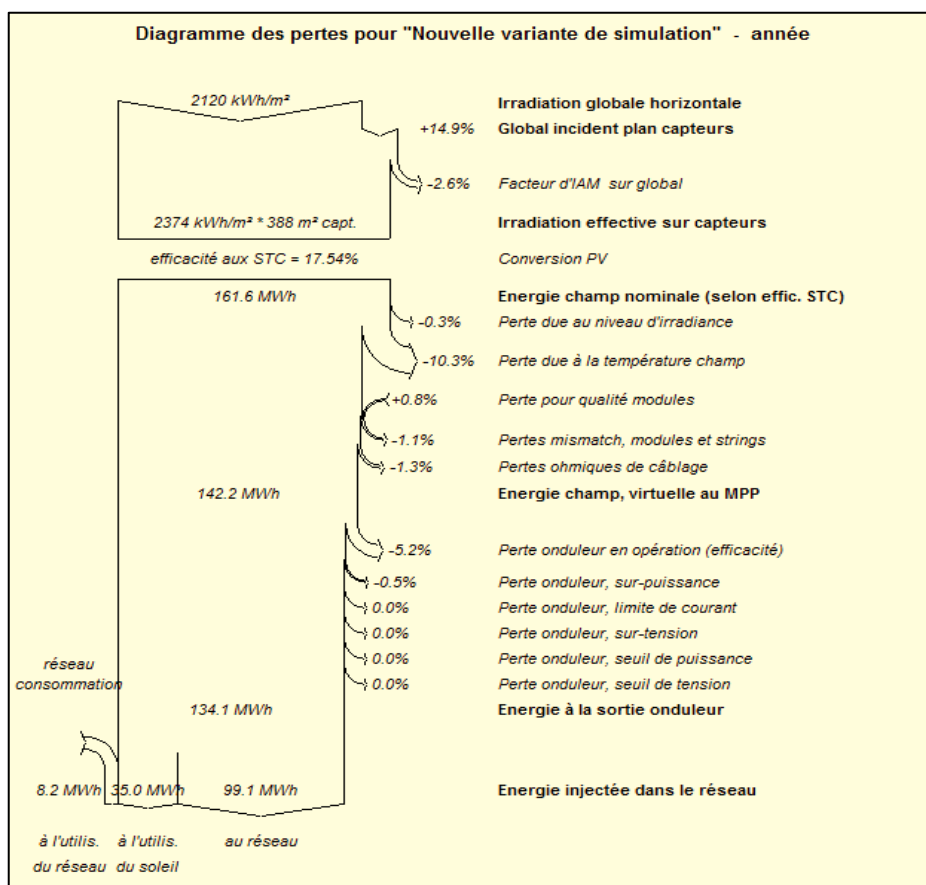


Figure 4.15 : Diagramme des pertes sur l'année entière

La Figure 4.16 montre l'énergie journalière produite de l'installation PV dimensionner pour alimenter l'école.

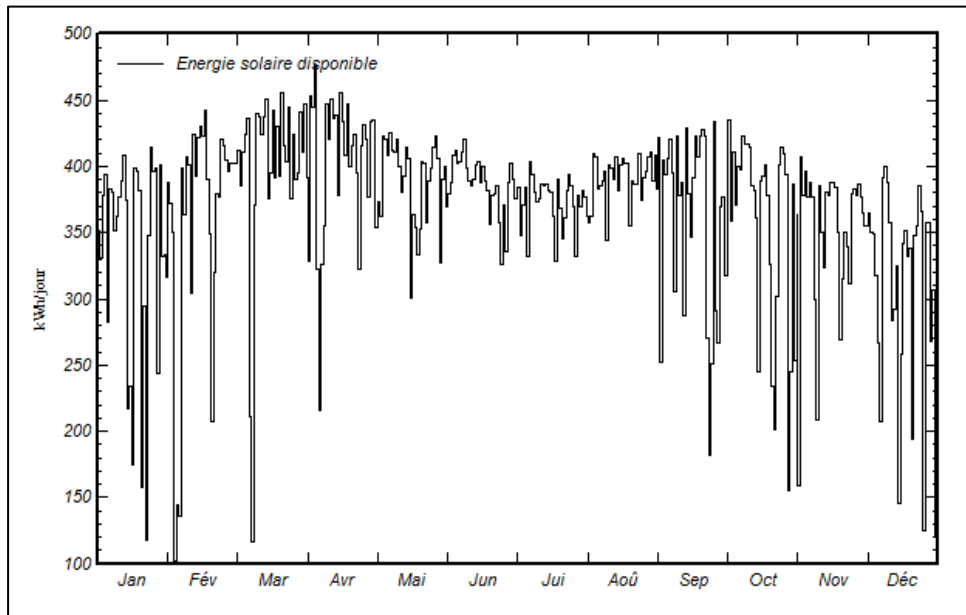


Figure 4.16 : énergie journalière à la sortie du système.

4.9. Evaluation économique :

a) Investissement :

Tableau (4.4) Evaluation économique résume une estimation en dinar le cout de l'installation

Modules PV (Pnom = 285 Wc)	200 unités	19000 DA/ unité	3800000 DA
Supports et intégration			200000 DA
Onduleurs (Pnom =10 kW ac)	06 unités	19500 DA / unité	117000 DA
Construction, câblage, ...			25000 DA
Investissement brut (sans taxes			4142000 DA

b) Coût de l'énergie:**Tableau (4.5):** Coût de l'énergie

Energie produite	99.1 0MWh / an
Coût de l'énergie produite	41.79 DA / kWh

Suivant le cout d'installation le prix de 1KWh est estimé à 41.79 DA.

4.10. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons établi une étude de l'installation photovoltaïque système couplé au réseau. Dans cette école primaire Les frères Chaâbane le montant de trimestre ente 220 milles DA et 250 milles DA, Les résultats obtenus montrent le gain gagné est atteint qu'après 04 ans par ce que le cout d'installation le prix de 1KWh est estimé à 41.79 DA.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne le dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'un primaire située à Mécheria. Avec un systèmes photovoltaïques couplés au réseau électrique. Ce dispositif est amené à connaître des développements importants liés essentiellement à une volonté de plus en plus affichée de diversification des moyens de production et d'un meilleur respect de l'environnement.

Les études ont été faites sur la base d'un bilan de consommation journalière établi au niveau de ce site. Notre système sert à couvrir les besoins énergétiques de site plus consommable d'électricité et de diminue la charge sur le réseau électrique dans notre. Ce système nécessite des modules photovoltaïques qui représentent le champ de captage des rayons solaires, un régulateur qui règle la valeur de la tension nominale, un onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif, et de câblage qui relie les différents composants de ce système.

Dans le premier chapitre, l'étude théorique nous a aidés à entamer notre travail. Sur les plans théoriques, ont permis de montrer : Concernant le générateur photovoltaïque, qu'un modèle mathématique (courant -tension) du circuit électrique équivalent, en tenant compte de la température, permet une estimation précise et rapide de la production d'énergie pour des conditions météorologiques données (ensoleillement et température).

Ensuite, nous avons représenté une étude approfondie de tout ce qui concerne les systèmes photovoltaïques connecté aux réseaux électriques, ces avantages et inconvénients avec des exemples réel.

Dans le troisième chapitre, nous avons appliqué une étude par application numérique de notre installation photovoltaïque de puissance 220 KW.

Dans le dernier chapitre le logiciel de simulations que nous avons utilisées PVsyst réponde correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec meilleurs perspectives.

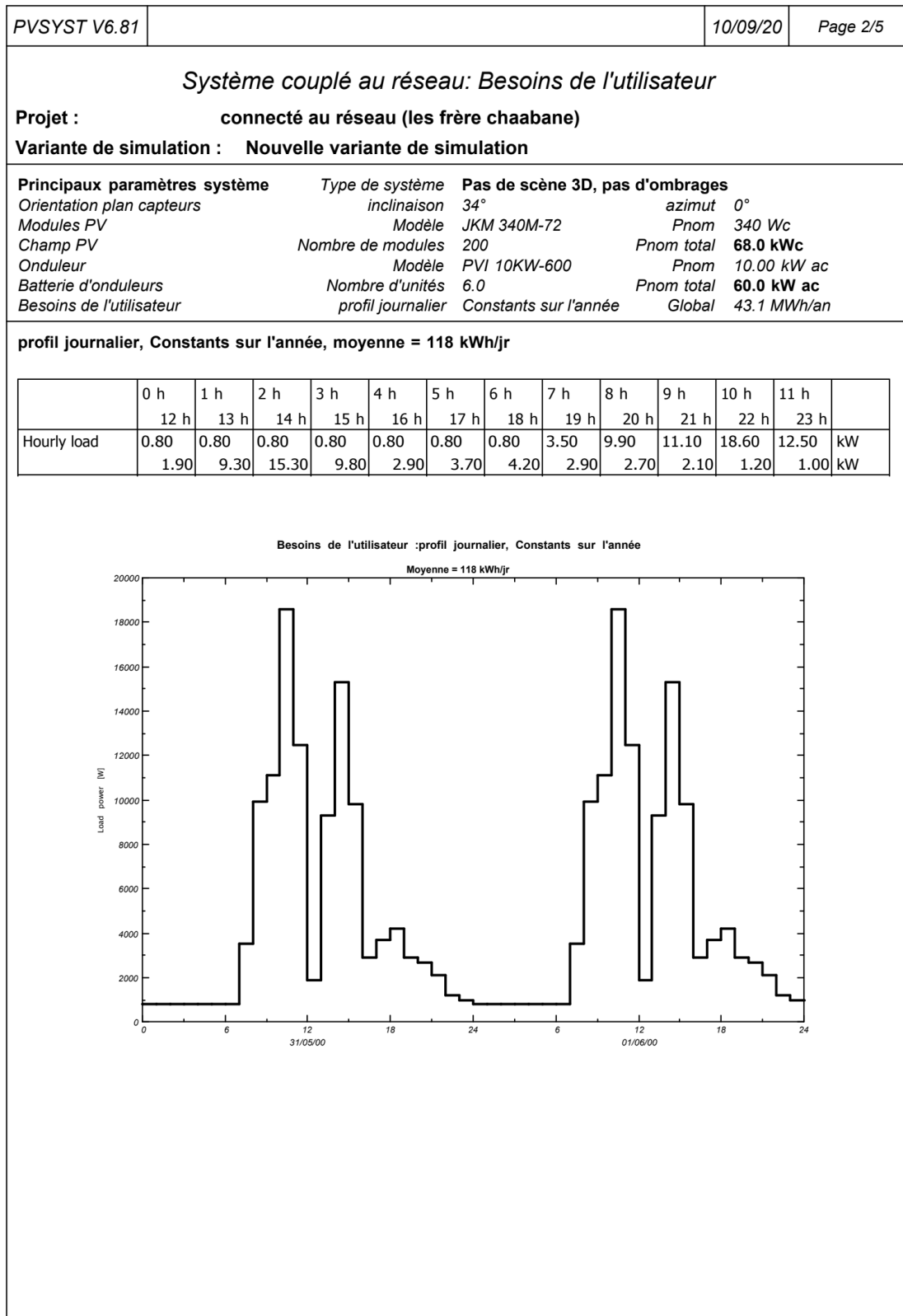
Enfin, en perspectives, nous proposons que notre étude soit complétée par un projet pratique.

Annexes

Annexes 1 : Paramètres de simulation.

PVSYST V6.81		10/09/20	Page 1/5										
Système couplé au réseau: Paramètres de simulation													
Projet : connecté au réseau (les frère chaabane)													
Site géographique	Les frère chaabane	Pays	Algeria										
Situation	<i>Latitude</i> 33.54° N	<i>Longitude</i>	-0.28° W										
<i>Temps défini comme</i>	<i>Temps légal</i> Fus. horaire TU	<i>Altitude</i>	1145 m										
	<i>Albédo</i> 0.20												
Données météo:	Les frère chaabane	Meteonorm 7.2 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique											
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation													
	<i>Date de la simulation</i>	10/09/20 à 21h16											
Paramètres de simulation	<i>Type de système</i>	Pas de scène 3D, pas d'ombrages											
Orientation plan capteurs	<i>Inclinaison</i>	34°	<i>Azimut</i> 0°										
Modèles utilisés	<i>Transposition</i>	Perez	<i>Diffus</i> Perez, Meteonorm										
Horizon	<i>Pas d'horizon</i>												
Ombrages proches	<i>Sans ombrages</i>												
Besoins de l'utilisateur :	<i>profil journalier moyenne</i>	Constants sur l'année 118 kWh/Jour											
	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	
Hourly load	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	3.50	9.90	11.10	18.60	12.50	kW
	1.90	9.30	15.30	9.80	2.90	3.70	4.20	2.90	2.70	2.10	1.20	1.00	kW
Caractéristiques du champ de capteurs													
Module PV	Si-mono	Modèle	JKM 340M-72										
Base de données PVsyst originale		Fabricant	Jinkosolar										
Nombre de modules PV		En série	8 modules										
Nombre total de modules PV		Nbre modules	200										
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	68.0 kWc										
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	280 V										
Surface totale		Surface modules	388 m²										
		En parallèle	25 chaînes										
		Puissance unitaire	340 Wc										
		Aux cond. de fonct.	61.4 kWc (50°C)										
		I mpp	219 A										
		Surface cellule	342 m ²										
Onduleur		Modèle	PVI 10KW-600										
Base de données PVsyst originale		Fabricant	Solectria										
Caractéristiques	Tension de fonctionnement	205-380 V	Puissance unitaire 10.00 kWac										
Batterie d'onduleurs	Nbre d'onduleurs	6 unités	Puissance totale 60 kWac										
			Rapport Pnom 1.13										
Facteurs de perte du champ PV													
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (vent) 0.0 W/m ² K / m/s										
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	21 mOhm	Frac. pertes 1.5 % 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										

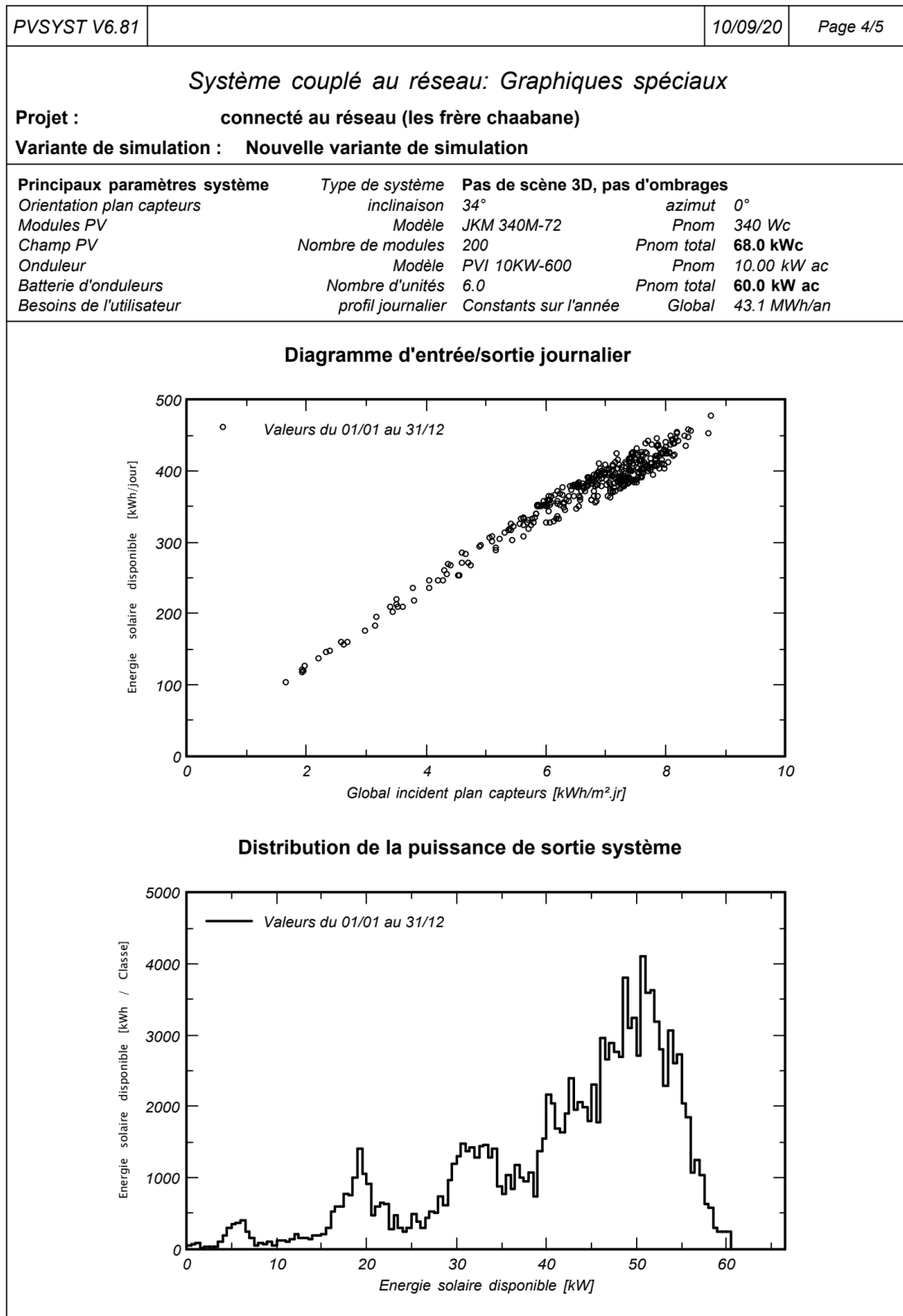
Annexes 2 : Besoins de l'utilisateur.



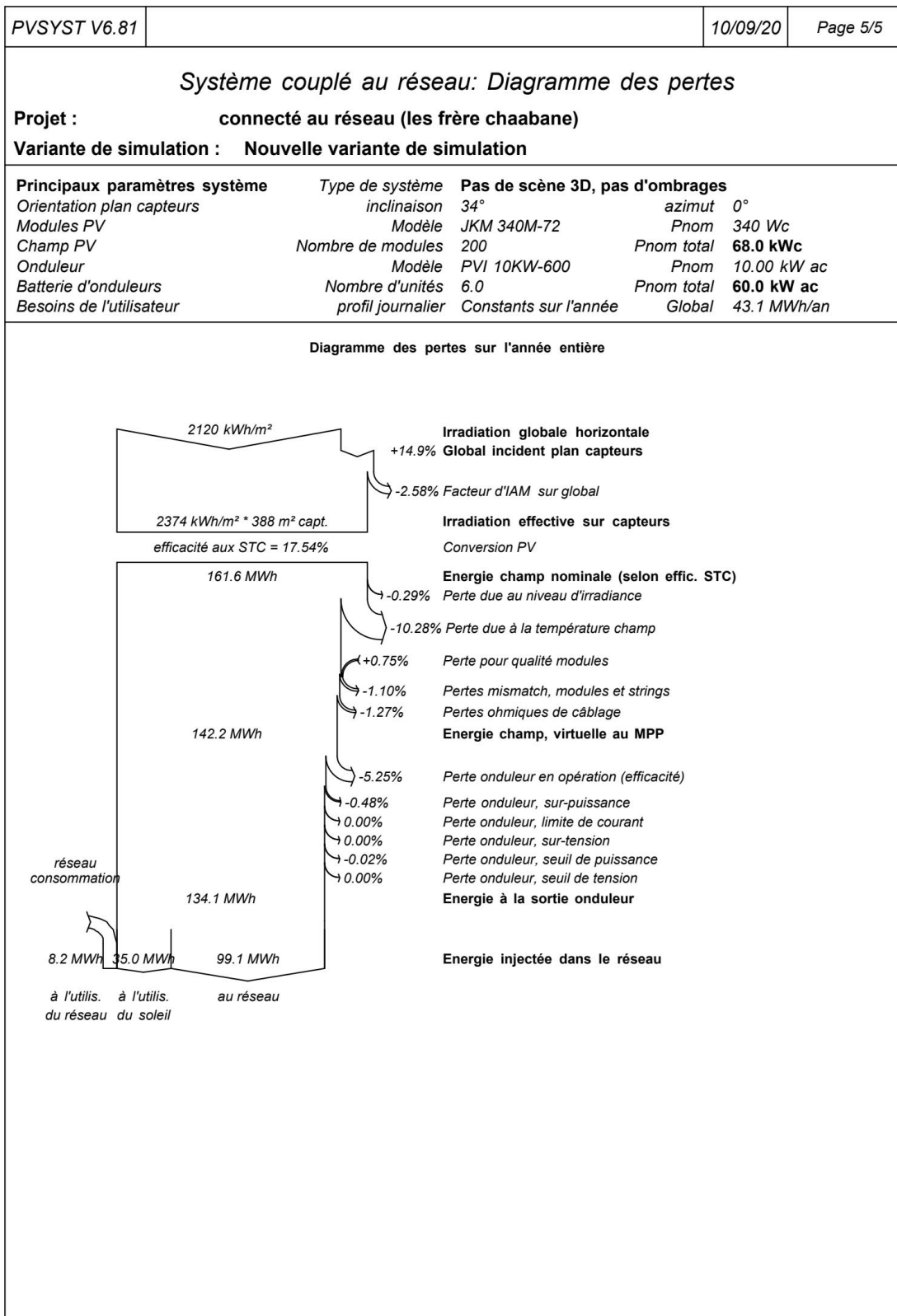
Annexes 3 : Résultats principaux.

PVSYST V6.81		10/09/20	Page 3/5							
Système couplé au réseau: Résultats principaux										
Projet : connecté au réseau (les frère chaabane)										
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation										
Principaux paramètres système	Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages								
Orientation plan capteurs	inclinaison	azimut	0°							
Modules PV	Modèle	Pnom	340 Wc							
Champ PV	Nombre de modules	Pnom total	68.0 kWc							
Onduleur	Modèle	Pnom	10.00 kW ac							
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	Pnom total	60.0 kW ac							
Besoins de l'utilisateur	profil journalier	Constants sur l'année	Global 43.1 MWh/an							
Principaux résultats de la simulation										
Production du système	Energie produite	134.1 MWh/an	Productible 1972 kWh/kWc/an							
	Indice de performance (PR)	80.90 %	Fraction solaire (SF) 81.09 %							
Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 68.0 kWc										
<p> Lc : Perte de collection (champ PV) 0.97 kWh/kWp/jr Ls : Perte système (onduleur, ...) 0.3 kWh/kWp/jr Yf : Energie utile produite (sortie onduleur) 5.4 kWh/kWp/jr </p>		<p>PR : Indice de performance (Yf/Yr) : 0.809</p>								
Nouvelle variante de simulation										
Bilans et résultats principaux										
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Janvier	107.8	25.93	6.64	177.0	173.4	10.89	3.664	2.711	7.606	0.953
Février	121.6	28.43	8.95	173.5	169.9	10.52	3.310	2.600	7.365	0.709
Mars	180.6	39.23	13.37	222.0	216.9	13.07	3.664	3.023	9.355	0.641
Avril	208.8	50.44	15.94	218.7	212.3	12.73	3.546	2.945	9.117	0.601
Mai	235.8	62.81	21.17	221.2	214.4	12.72	3.664	3.098	8.936	0.566
Juin	249.1	51.45	26.71	219.2	211.9	12.26	3.546	3.038	8.554	0.508
Juillet	245.5	58.90	31.11	222.8	215.7	12.21	3.664	3.123	8.432	0.541
Août	232.0	48.22	29.42	232.9	226.3	12.78	3.664	3.082	9.027	0.582
Septembre	177.8	51.10	23.36	202.1	196.7	11.49	3.546	2.930	7.954	0.616
Octobre	150.3	37.62	18.96	201.2	196.9	11.67	3.664	2.912	8.152	0.753
Novembre	114.4	24.11	11.37	183.1	179.4	11.10	3.546	2.778	7.750	0.768
Décembre	96.7	25.64	8.02	163.7	160.3	10.12	3.664	2.744	6.849	0.921
Année	2120.4	503.89	17.98	2437.2	2374.3	141.57	43.143	34.984	99.097	8.159
Légendes: GlobHor Irradiation globale horizontale				GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages						
DiffHor Irradiation diffuse horizontale				EArray Energie effective sortie champ						
T_Amb Température ambiante				E_User Energie fournie à l'utilisateur						
GlobInc Global incident plan capteurs				E_Solar Energie du soleil						
				E_Grid Energie injectée dans le réseau						
				EFrGrid Energie du réseau						

Annexes 4 : Graphiques spéciaux.



Annexes 5 : Diagramme des pertes.



Module (panneau) : 340Wp/33V



L'onduleur : PVI 10KW-600



Bibliographie:

Bibliographie :

- [1] E.Schiller. "Le pompage photovoltaïque, manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens". Université d'Ottawa, 1998.
- [2] Z.Bendjellouli. "Contribution à la modélisation d'une cellule solaire". Mémoire de Magister. Université de Bechar, 2009.
- [3] A.Zerga. "Optimisation du rendement d'une cellule solaire à base de silicium monocristallin de type n+p". Mémoire de Magister. Université de Tlemcen, 1998.
- [4] A.BiskeretM.Chiri. "Commande d'un système photovoltaïque en mode isolé et en mode Connecté au réseau". Mémoire de Master école nationale polytechnique, 2012.
- [5] Alain Ricaud, "Systèmes photovoltaïques" Polytech' Savoie Oct 2011.
- [6] Alain Ricaud, " Modules et systèmes photovoltaïques" Polytech' Savoie Sep 2008
- [7] Patrick HOUÉE " Une installation photovoltaïque en site isolé" RESSOURCES POUR LES STI2D SEPTEMBRE- OCTOBRE 2011
- [8] YaëlThiaux. Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides - Evaluation de la technologie Li-ion. Sciences de l'ingénieur [physics]. École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2010.
- [9] Violaine Didier. Les Onduleurs pour Systèmes Photovoltaïques Fonctionnement, Etat de l'Art et Etude des Performances - Août 2007
- [10] Belhadj Mohammed, « Modélisation d'un Système de Captage Photovoltaïque Autonome », Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar, Institut des Sciences Exactes, 2008.
- [11] FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé » livre édité par : EDISUD, 1983.
- [12] I. BENSEFIA & S. MAMOUN, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'une Maison Autonome Appliquée au Site de Tlemcen », Mémoire de fin d'étude présenté pour l'obtention du Diplôme Licence LMD en Physique Energétique, Université de Tlemcen, Juillet 2008.
- [13] Falk ANTONY, Christian DÜSHNER et Karlheinz REMMERS, « Le photovoltaïque pour tous Conception et réalisation d'installation », livre édité par : INES), 2006
- [14] Emmanuel RIOLET, « L'énergie solaire et Photovoltaïque pour le particulier », livre édité par : EYROLLES), 2009.
- [15] Anne LABOURET et Michel VILLOZ, « Energie Solaire Photovoltaïque », livre édité par : DUNOD), 2006.
- [16] Rick DEGUNTHER, "Solar Power Your Home for DUMMIES" livre édité par: Wiley Publishing, Inc, 2008.

Bibliographie :

- [17] Wernher Swigers and Johan H.R.Enshin “An integrated Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Panels” Press Poly techniques et Universitaires Romandes 1999.
- [18] Betka Achour “Optimisation d’un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil” Thèse de Magister, université de Biskra.
- [19] W. Maranda, G. De Mey and A. Evost “Optimisation of the Master –Slave inverter System for Grid-Connected Photovoltaic Plants” Energy convers. Mgmt Vol. 39, No. 12, pp : 1239-1246, 1998.
- [20] Noureddine Golea “Commande par la logique floue”, Thèse de Magister, université de Sétif 1994.
- [21] T. Senju and K. Uezato “Maximum Power Point Tracker Using Fuzzy Control for Photovoltaic Arrays” IEEE Int. Conf. On Tech. 1994 pp : 143-147.
- [22] M. G. Simoes, N.N.France schetti and M.Fried hofer “A Fuzzy logic based Photovoltaic Peak Power tracking Controller” IEEE Energy Convers. Mgmt 1998 pp : 300-305.
- [23] J. H. R. Enslin and all “Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 6 Decembre 1997 pp : 769-773.
- [24] M. M. Saied (SM) and all “Optimal Design Parameters for a PV array coupled to a DC Motor Via a DC-DC Transfomer” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 6, No. 4, December 1991 pp : 593-598.
- [25] Tomas Markvart “Solar Electricity” Unesco 1997.
- [26] H. S. Kim, N. Okada and K. Takigawa “A Study on Utility Interactive PV System in Harmony with Utility” IEEE Transactions on Conversion Energy 2000 pp : 1179-1184.
- [27] J.C.Hermondez, P.G. Vidal and G. Almonacid “Photovoltaic grid connected buildings.Sizing and economic Analysis” Renewable Energy 15 (1998) pp : 562-565.
- [28] C. eskander and E. Scerri “Interfacing A Solar Photovoltaic System with the National Elictricity Grid in Malta” Renewable Energy 15 (1998) pp : 578-580.
- [29] Paul D. Maycock “Cost Reduction In PV manufacturing Impact in Grid-connected and Building Integrated Markets” Solar Energy Materials and Solar cells 47 (1997)pp :37-45.
- [30] Fouad Kamel “Perspectives on Grid- connected Photovoltaic solar Generators” Renewable Energy, Vol.6, No.5-6, (1995) pp : 515-520.
- [31] Bettina Culver “Grid-connected photovoltaic plants in Vienna” Renewable Energy, Vol. 7, No. 2, (1996) pp : 153-163.
- [32] M. Ohnishi and A. Takeoka “Advanced photovoltaic Technologies and Residential Applications” Renewable Energy, Vol. 6, No. 3 (1995) pp : 275-282.

Bibliographie :

- [33] R. J. Spigel, E. C. Kern, JR and D. Greenberg “Demonstration of the environmental and demand-side management benefits of grid-connected photovoltaic power systems” Solar Energy, Vol. 62, No. 5 (1998) pp.345-358.
- [34] A. Payne, R. Duke and R. H. Williams “Accelerating residential PV expansion: Supply analysis for competitive electricity markets” Energy Policy 29 (2001) pp : 787-799.
- [35] H. S. Kim, N. Okada and K. takigawa “Advanced grid-connected system with functions to suppress disturbance by PV output variation and customer load change” Solar Energy Materials and Solar cells 67 (2001) pp: 560-569.
- [36] E. D. Spooner and G. Harbidge “Review of international standards for grid-connected photovoltaic systems” Renewable Energy 22 (2001) pp : 235-239.
- [37] E. Wiemken, H. G. Beyer, W. Heydenreich and K. Kiefer “Power characteristics of PV ensembles: experiences from the combined power production of 100 grid-connected PV systems distributed over the area of Germany” Solar Energy, Vol. 70, No. 6 (2001) PP.513-518.
- [38] Abbassen Lyes, ”étude de la connexion au réseau électrique d’une centrale photovoltaïque”, Mémoire de Magister, Université de Tizi Ouzou,05/05/2011.
- [39] Touzani Youssef, ” Commande aléatoire du convertisseur Buck-Boost triphasé à prélèvement sinusoïdal du courant”, thèse de Doctorat, Université de Clermont-Ferrand, 10/07/2006.
- [40] Anne Labouret et Michel Viloz , “Installations photovoltaïques Conception et dimensionnement d’installations raccordées au réseau ”5eme édition livre édité par : DUNOD),- Paris, 2012
- [41] Hamida CHOHRAOUI & Ratiba HADBI, “modélisation et simulation d’un système photovoltaïque connecté au réseau” Mémoire de Master. Université de Tlemcen, 2016.
- [42]. Sylvain Brigand << Installations solaires photovoltaïque >> Dimensionnement Installation et mise en œuvre Maintenance “ Groupe Moniteur (Editions du Moniteur) Paris, 2011
- [43] ZIDANE Ammar, (2012). «Etude et dimensionnement d’une installation photovoltaïque au niveau d’un puits de gaz». Mémoire de master. Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.
- [44] IAMARENE Samir, (2012). «Dimensionnement d’une installation photovoltaïque pour un site (BTS, BSC) du réseau télécom watania». Mémoire de master. Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.
- [45] DJILAT Zahra et BOURAS Sarra, (2019). Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de M'sila. Mémoire master. Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA.

Bibliographie :

- [46] B.ChIKH-BLED, I.SARI-ALI Et B. BENYOUCEF, (2010). « Méthode de dimensionnement optimal d'une installation photovoltaïque »Revue Internationale technique, N° 41 page 25-30, Université Abou-Bakr Belkaïd, Faculté des Sciences.
- [47] DHAKER Abbes, (2012). « Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome ». Thèse de doctorat. Université de Poitiers, Disponible sur Internet <<http://theses.univ-poitiers.fr>>.
- [48] http://bibfac.univ-tlemcen.dz/bibfs/opac_css/doc_num.php?explnum_id=277
- [49] BOUKHLIF Hamza, (2017). « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque de 300kw ». Mémoire de master. Université M'hamed Bougara de Boumerdes.
- [50] Fellah Nadia, Sidibe Oumar, (2019). Etude et dimensionnement de l'installation photovoltaïque du DECANAT de la faculté ST. Mémoire master. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.