UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique

RAPPORT DE FIN D'ÉTUDES

Intitulé :

Énergie photovoltaïque et l'optimisation des factures d'électricités au sein de la FST Fès

Réalisé Par :

Et-taleby Abdelilah
Touali Amine

Encadré par :

P[r] El Markhi Hassane **(FST FES)**

Soutenu le 06 Juin 2017 devant le jury

Pr	**El Markhi Hassane**	**(FST FES)**
Pr	**Mechaqrane Abdellah**	**(FST FES)**
Pr	**Es-sbai Najia**	**(FST FES)**

REMERCIEMENTS

nous remercions, en premier, lieu le bon dieu de nous avoir donné la force et le courage d'arriver au bout de ce projet

nous exprimons également notre reconnaissance à notre encadrant Pr Hassane El Markhi de nous avoir pris sous son aile, nous le remercions pour tout le temps qu'il nous a consacré, tous ses précieux conseils et directives.

Nos remerciements s'adressent également aux doctorants Mohamed Azeroual , Youness et Yassir pour les précieuses informations qui nous ont aidé à réaliser le projet .

Et enfin nous remercions les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'évaluer, d'examiner et d'enrichir ce modeste travail.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE 6
CHAPITRE I : L'ENERGIE SOLAIRE ET LES SYSTEMES PHOTOVOTAIQUE 7
I. INTRODUCTION 8
II. LES RESSOURCES DES ENERGIES RENOUVELABLES 8
1. DEFINITION D'ENERGIES RENOUVELABLE 8
2. L'ENERGIE SOLAIRE 9
3. RAYONNEMENT SOLAIRE: 9
III. SYSTEME PHOTOVOTAIQUE 10
1. LES TYPES DES SYSTEMES PHOTOVOTAIQUES 10
2. LES COMPOSANTS D'UN SYSTEMES PHOTOVOTAIQUES 10
3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA CELLULE PHOTOVOTAIQUE 12
4. LES TYPES DE CELLULES PHOTOVOTAIQUES 13
CHAPITRE II :OPTIMISATION DES FACTURES D'ELECTRICITE A L'AIDE DE LA PUISSANCE SOUSCRITE 15
I. MODE DE LA FACTURATION MT GENERAL 16
1. LES ELEMENTS DE LA FACTURE 16
2. TARIF GENERAL MOYENNE TENSION 16
II. L'ANALYSE DES FACTURES 19
1. TABLEAUX RECAPITULATIFS DES CONSOMMATIONS 19
2. L'EVOLUTION DE LA PUISSANCE APPELEE DURANT LES ANNEES (2014,2015,2016) 20
II. OPTIMISATION DES FACTURES D'ELECTRICITE 22
1. LA REDUCTION DE LA PUISSANCE SOUSCRITE 22
IV. L'ANALYSE DES FACTURES DU POSTE EXTENSION DE LA FST 25
1. TABLEAUX RECAPITULATIFS DES CONSOMMATIONS 25
2. L'EVOLUTION DE LA PUISSANCE APPELEE ANNUELLE 26
3. L'OPTIMISATION DE LA PUISSANCE SOUSCRITE 27
CHAPITRE III :OPTIMISATION DES FACTURES D'ELECTRICITE A L'AIDE D'UNE INSTALLATION PV 29
I.CHOIX DES ELEMENTS DU SYSTEME PHOTOVOTAIQUE 30
1. CHOIX DE PANNEAUX PHOTOVOTAIQUE 30
2. CHOIX DE BATTERIE 31
3. CHOIX DE L'ONDULEUR 32
4. CHOIX DE REGULATEUR 32
5. CHOIX DES CABLES 33
II. DIMENSIONNMENT DE L'INSTALLATION PHOTOVOTAIQUE 34
1. CHAMP PHOTOVOTAIQUE 34
2. ESTIMATION DE LA PUISSANCE CRETE 35
3.CALCUL DU NOMBRE DES PANNAEUX A INSTALLER 36
4. LE DEVIS ESTIMATIF DES PRINCIPEAUX COMPOSANTS DE L'INSTALLATION 37
III.OPTIMISATION LE COUT DE LA FACTURE EN UTILISANT L'INSTALLATION PV 38
1. RESULTATS D'ETUDE D'UNE INSTALLATION DE 50KWH ,100KWH ET 150 KWH PAR JOUR. 39
2. INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE DE 150KWH/JOUR AVEC BATTERIES 40
3. LE GAIN ET LA PUISSANCE PRODUITE PAR DIFFERENTS NOMBRES DE PANNEAUX. 41
CONCLUSION GENERALE 44
BIBLIOGRAPHIES 45

Liste des Tableaux

Tableau 1 :Les postes horaires 17

Tableau 2 : Les tarifs de vente des différents postes horaires (2014) 17

Tableau 3 : Les tarifs de vente des différents postes horaires (2015) 17

Tableau 4 : Les tarifs de vente des différents postes horaires (2016) 17

Tableau 5 : Les tarifs de vente des différents postes horaires (2017) 18

Tableau 6 : Récapitulatifs des consommations (2014) 19

Tableau 7 : Récapitulatifs des consommations (2015) 19

Tableau 8 : Récapitulatifs des consommations (2016) 20

Tableau 9 : Pénalité payée (2014,2015 et 2016) 22

Tableau 10 : La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite(2014) 23

Tableau 11 : La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite(2015) 24

Tableau 12 : La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite(2016) 24

Tableau 13 : Récapitulatifs des consommations du poste extension 25

Tableau 14 : Récapitulatifs des consommations du poste extension du poste extension après l'ajout du bloc chimie 26

Tableau 15 : Les pénalités ,les dépassements et le gain du poste normal 27

Tableau 16 : Le gain après l'optimisation de la puissance souscrite.....27

Tableau 17 : Les prix des éléments de système photovoltaïque 37

Tableau 18 : La puissance consomme du poste normal avec et sans panneaux PV 38

Tableau 19 : La facture avant et après l'installation photovoltaïque 39

Tableau 20 : Le Gain net (sur 25 ans) des années (2014, 2015 et 2016) 39

Tableau 21 : Le prix des éléments d'un système photovoltaïque 40

Tableau 22 : Le gain net (sur 25 ans) des années (2014 ,2015 et 2016) 41

Tableau 23 :Le coût d'une installation PV de 150 KWh/jr avec batteries 41

Liste des figures

Figure 1 : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.....9
Figure 2 : les éléments de l'installation photovoltaïque.....11
Figure 3 : Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....12
Figure 4 : Cellule monocristalline 13
Figure 5 : Cellule polycristalline 13
Figure 6 : Cellule amorphe.....13
Figure 7 : Tableau comparatif des cellules photovoltaïques.....14
Figure 8 : Panneau solaire polycristallin.....31
Figure 9 : Batterie AGM 12V 100Ah 31
Figure 10 : Régulateur MPPT.....32
Figure 11 : L'inclinaison par rapport aux rayons du soleil 35
Figure 12 : L'irradiation pendant l'année (Dans la ville de Fès) 35
Figure 13 : Schéma électrique de l'installation.....37

Abréviations

AC : Courant Alternatif
DC : Courant Continu
MT : Moyenne Tension
MPPT : Maximum power point tracking
PF : Prime fixe annuelle
PS : Puissance souscrite
PV : Photovoltaïque
RADEEF : Régie Autonome de distribution d'Eau et d'Electricité de Fès
RC : Redevances de Consommation
RDPS : Dépassement des puissances souscrites
RP : Redevances de puissance
Wc : Watts Crête
Wh : Watt-heure
VA : Volt-ampere

Introduction Générale

L'électricité est l'une des verrous du développement, elle est définie comme une matière première ou un produit de base. Pour cela, le droit à l'énergie est un droit fondamental, et qu'à l'instar de l'accès aux soins médicaux, la légitimité de ce droit à l'énergie, devrait figurer parmi les droits fondamentaux de l'homme, qui pose par la suite plusieurs problèmes, notamment la gestion de la consommation d'électricité. L'objectif est alors de minimiser autant que possible les coûts relatifs à l'utilisation de cette énergie ; ce qui revient à dépenser moins pour un même niveau de performance : moins d'énergie consommée, moins d'investissement (réduire la consommation d'énergie : kWh, Joules, etc.) ou améliorer la performance à dépense d'énergie égale : plus de temps de fonctionnement utile, plus de productivité,…Il s'agit de réduire les coûts de non disponibilité de l'énergie ou des installations.

Notre projet porte sur l'optimisation des factures d'électricité au sein de la FST Fès en s'intéressant à deux solutions possibles : optimisation de la puissance souscrite et installation des panneaux photovoltaïques.

Concernant le premier chapitre on va donner des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques, l'énergie photovoltaïque ainsi que les différents types de systèmes photovoltaïques existants et les types des cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques .

Le deuxième chapitre est consacré à optimiser les factures d'électricités de la faculté des sciences et techniques de Fès à l'aide de la modification de la puissance souscrite .

Le troisième chapitre est dédié à l'étude de l'installation photovoltaïque à installer à la faculté des sciences de Fès et l'optimisation la facture de l'électricité de la FST Fès.

Chapitre I

L’Énergie Solaire et les Systèmes Photovoltaïques

I. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie [1]. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque.
Le nom photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties:

Photos : Lumière.

Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro volta.

Ce phénomène fut découvert au19ème siècle par le physicien [Alexandre Edmond Becquerel]. La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres au début des années 70. Le photovoltaïque fut utiliser pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications [2].
Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le Photovoltaïque prend une place prépondérante.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs ; matériaux de base des cellules photovoltaïques [3].

II. Les ressources des énergies renouvelables

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Ces énergies satisfont quant à elles 13 % de la demande, dont 10 % pour hydraulique. Comparées aux énergies classiques (fossiles et nucléaires), les énergies renouvelables présentent le double avantage de ne pas être source d'émissions de gaz à effet de serre lors de leur utilisation et de présenter des gisements renouvelables donc inépuisable. Ce sont des énergies de flux, par opposition aux énergies dites de stock (gaz, fioul, charbon, uranium, …) [4]. La production d'électricité décentralisée par sources d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement [5][6] .

1. définition d'énergies renouvelables

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) c'est-à-dire, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation[5], [7].
Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants

provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire, mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...), à l'échelle de la durée de vie de humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires [5], [8], [4] .

2. L'énergie solaire

La distance de la terre au soleil est environ 150 millions de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h , les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément priseéga le à 1360W/m2. Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/ m2 à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein à découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h.c}{\lambda}$$

h : la constante de Planck.
C : la vitesse de la lumière.
λ **:** longueur d'onde

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande.

3. Rayonnement solaire:

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

- **Le rayonnement direct** est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyrhéliomètre **[9]** .
- **Le rayonnement diffus** est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques **[9]**.
- **Le rayonnement solaire réfléchi** ou l'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige) **[9]**.
- **Le rayonnement global :**est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran **[9]**.

Les stations météorologiques généralement mesurer le rayonnement global horizontal par un Pyranomètre placé horizontalement à l'endroit requis .

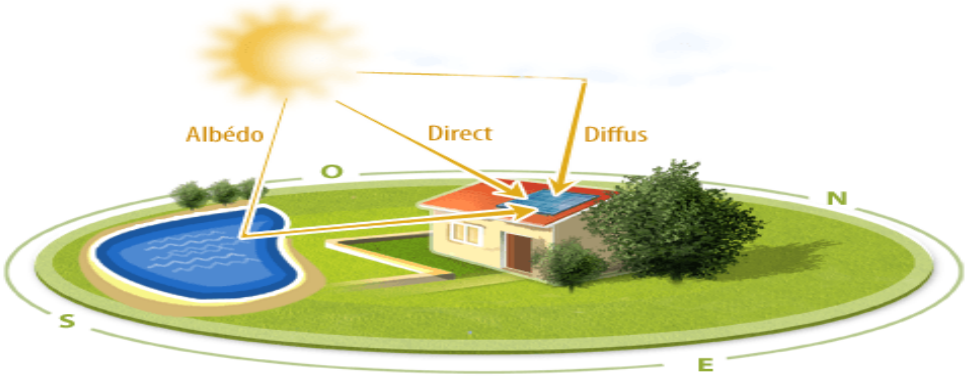


Figure 1: Composante du rayonnement global sur un plan horizontal

III. système photovotaique

L'électricité photovoltaïque est une technologie remarquable qui transforme le rayonnement lumineux en électricité. L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel. Cette filière s'est ensuite développée par la nécessité d'approvisionner en électricité solaire les satellites.

1. les types des systèmes photovotaiques

Il existe deux types d'installations PV:

1-Système raccordé au réseau :

Par système photovoltaïque connecté au réseau, on entend un système couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un onduleur. Ce type de système offre beaucoup de facilité pour le producteur/consommateur puisque c'est le réseau qui est chargé de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité.

2-Système isolé (autonome) :

Un système photovoltaïque isolé alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. C'est bien souvent le seul moyen de s'électrifier lorsque le courant du réseau n'est pas disponible : les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne...

Ce type de système nécessite l'utilisation de batteries pour le stockage de l'électricité et d'un contrôleur de charge pour assurer la durabilité des batteries.

2. les composants d'un système photovotaique

- **Les panneaux photovoltaïques** produisent un courant électrique continu.
- **Le régulateur** optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.

- **L'onduleur** transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteurs AC.
- **Les batteries** sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.
- **Des récepteurs DC** spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes.
- **Câblage électrique** *:* Câble en cuivre, connecteurs DC, boite de jonction ou boitier de raccordement constituent le câblage électrique du système photovoltaïque à raccorder à l'application.
- **Dispositifs de protection** *:* Une application photovoltaïque exige des protections électriques. Cependant, elles doivent être conformément aux normes applicables à une installation électrique photovoltaïque. Les appareils électriques doivent être protégés par une mise à la terre, par des fusibles, disjoncteurs, parafoudres, interrupteurs, sectionneurs contre tous les défauts électriques pouvant survenir dans les circuits de l'application (surtension, surcharge, fuite de courant, court-circuit, etc...).
- **Dispositifs de comptage** *:* Ces éléments permettent de quantifier la quantité d'énergie électrique injectée dans le réseau public.

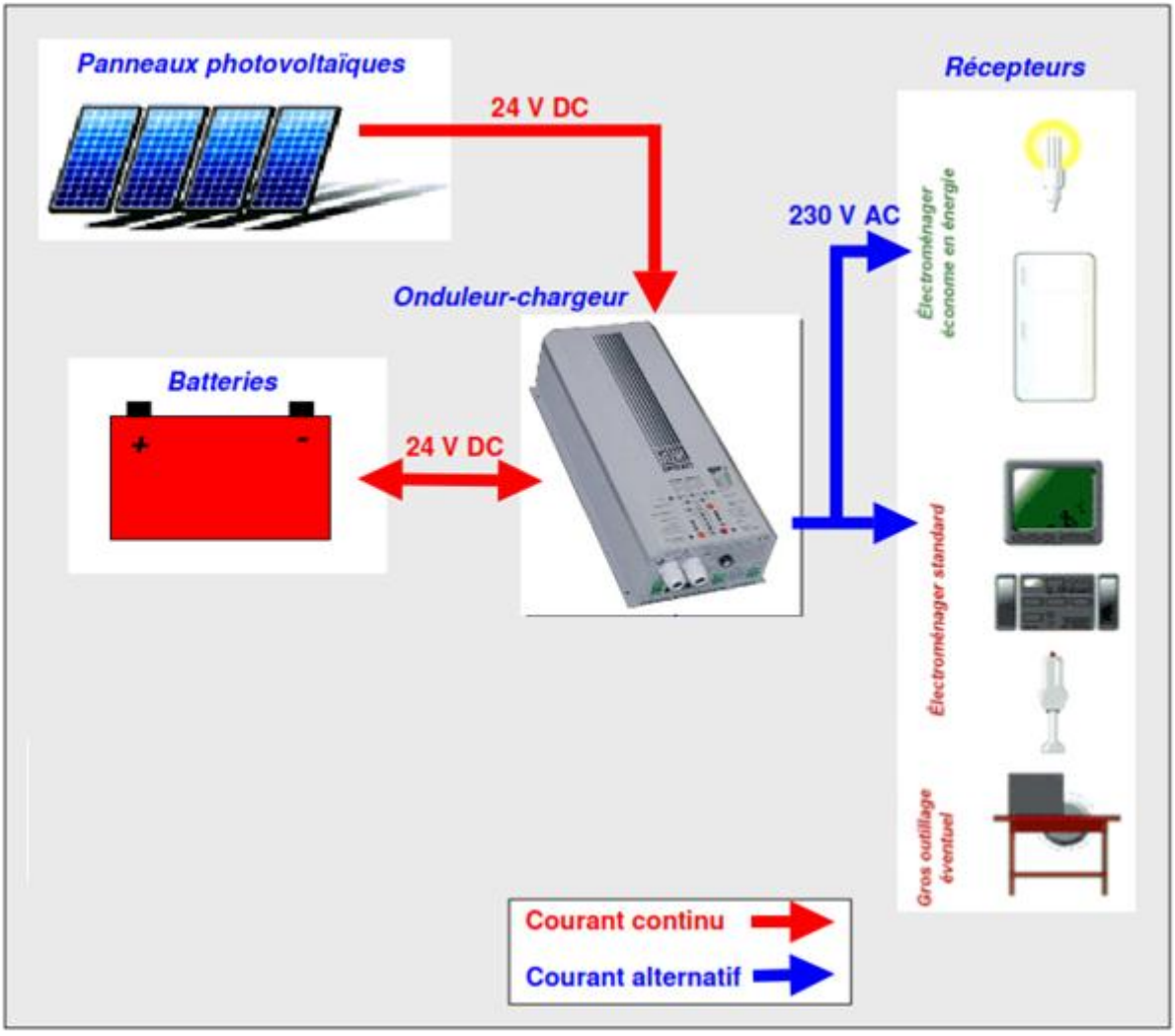


Figure 2: Les éléments de l'installation photovoltaïque

3. Principe de fonctionnement de la cellule photovotaique

Les cellules sont assemblées sous forme de panneaux photovoltaïques, elles produisent l'électricité chaque jour à partir du rayonnement solaire, la figure 1.6 présente le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque .

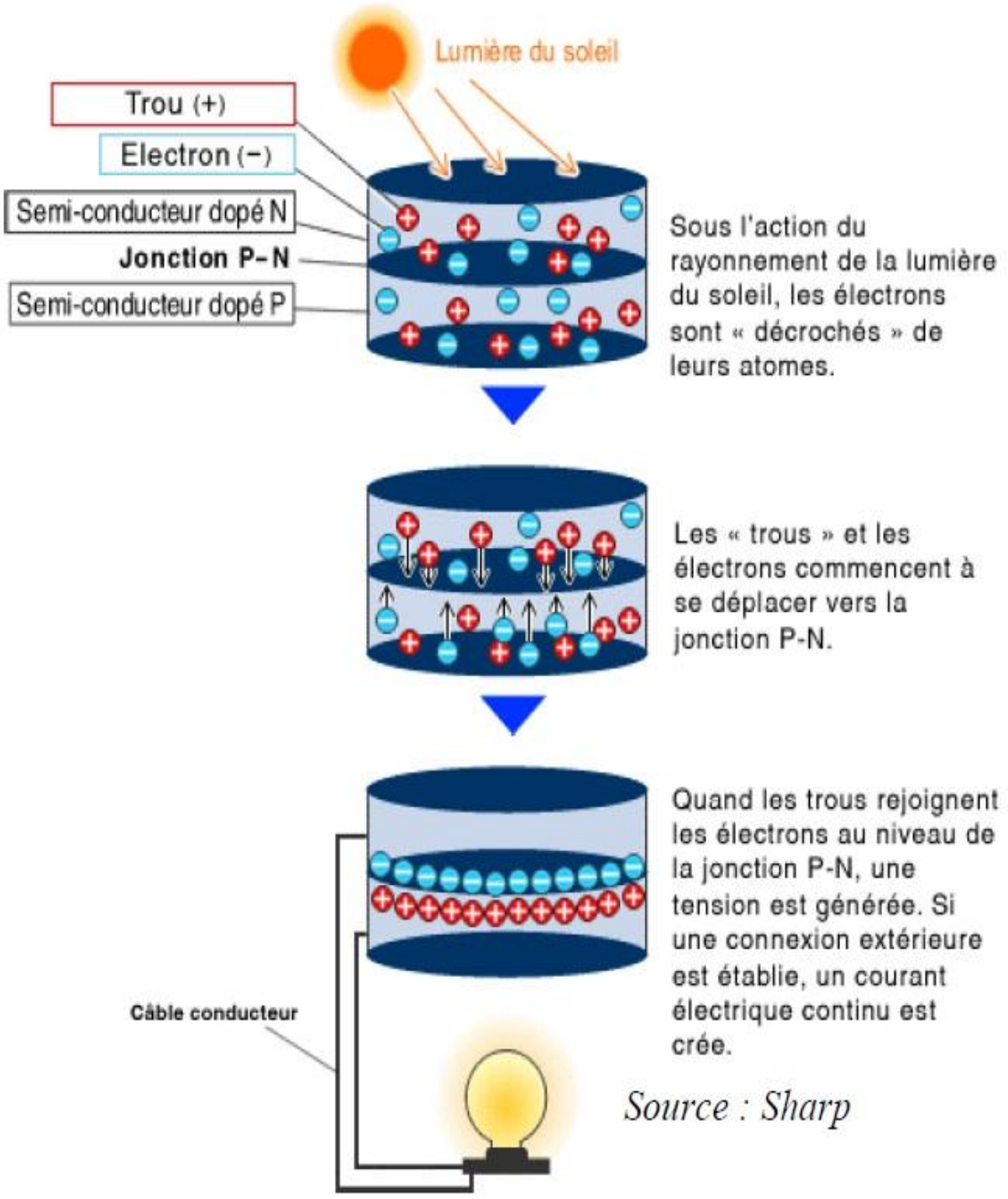


Figure 3: Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque .

4. Les types de cellules photovotaiques

- **Cellules monocristallines** :ce sont des cellules élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal.

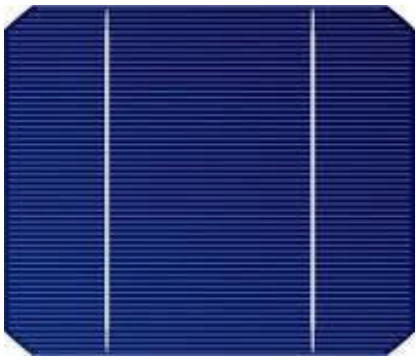


Figure 4: Cellule monocristalline

- **Cellules poly cristallines** : ce sont des cellules élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples, les cristaux sont orientés d'une manière aléatoire,

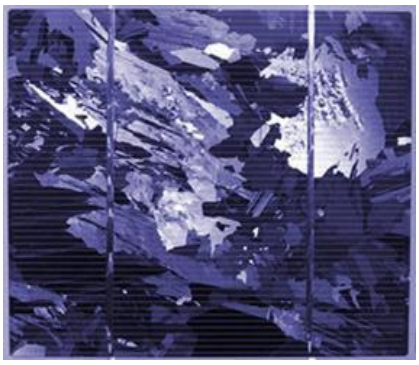


Figure 5: Cellule polycristalline

- **Cellules amorphes** : Ces cellules sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique sur lequel est disposée une fine couche de silicium (l'organisation des atomes n'est plus régulière comme dans un cristal).

-

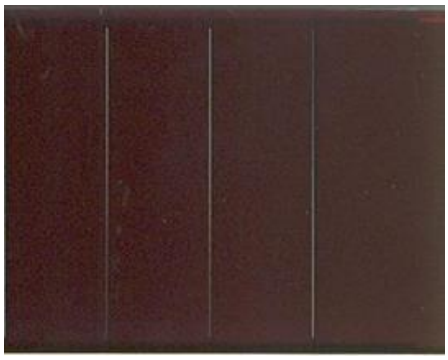


Figure 6: Cellule amorphe

Tableau comparatif des différents types de cellules photovoltaïques

Technologie	Monocristallin	Polycristallin	Amorphe
Rendement	Très bon rendement : 14 à 20 %.	Bon rendement : 11 à 15 %.	Rendement faible : 5 à 9 %.
Durée de vie	importante (30 ans)	importante (30 ans)	importante (20 ans)
Coût de fabrication	élevé.	meilleur marché que les panneaux monocristallins	peu onéreux par rapport aux autres technologies
Puissance	100 à 150 Wc/m². 7 m²/kWc	100 Wc/m². 8 m²/kWc.	50 Wc/m². 16 m²/kWc.
Caractéristiques	-Rendement faible sous un faible éclairement. - Perte de rendement avec l'élévation de la température.	- Rendement faible sous un faible éclairement. - Perte de rendement avec l'élévation de la température.	- Fonctionnement correct avec un éclairement faible. - Peu sensible aux températures élevées. -Rendement faible en plein soleil. -Performances diminuant avec le temps.
Fabrication	-Elaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal - Couleur bleue uniforme.	-Élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux. - Ces cellules sont bleues, mais non uniformes : on distingue des motifs créés par les différents cristaux.	Couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.
Par du marché	43 %	47 %	10 %

Figure 7 : Tableau comparatif des cellules photovoltaïques[10].

Le tableau comparatif (figure 7) révèle que le monocristallin a un très bon rendement, mais aussi le plus chère, le polycristallin a un bon rendement et moins cher que le monocristallin, et enfin l'amorphe a un rendement faible en plein soleil, mais son fonctionnement n'est pas sensible aux faibles éclairements.

Chapitre II

Optimisation des factures d'électricité à l'aide de la puissance souscrite

Introduction

L'augmentation constante du prix de l'énergie électrique incite les consommateurs à réduire leur facture d'électricité par tous les moyens possible. Cette réduction peut être obtenue grâce à la réduction de la consommation d'énergie (en kWh), mais elle peut aussi être obtenue grâce à une meilleure gestion du contrat liant le consommateur au distributeur d'énergie électrique.

Dans ce chapitre, on va aborder l'analyse du profil de consommation annuelle de l'énergie électrique des factures de type moyenne tension de la FST Fès, de définir quelques notions de base dans la facture, maitriser les facteurs énergétiques et par la suite diminuer les coûts et éviter les pénalités sur le dépassement de la puissance souscrite, en faisant des simulations numériques pour pouvoir définir les valeurs optimales des pics de consommations.

I. Mode de la facturation MT GÉNÉRAL

La facturation moyenne tension couvre l'ensemble des opérations effectuées, en vue de l'établissement des factures MT correspondants à une période mensuelle de consommation d'électricité. La facture est basée sur le relevé mensuel des compteurs numériques. Ces compteurs sont programmés pour mémoriser les index anciens et nouveaux **[11]**.

I.1 Les éléments de la facture

Le montant à facturer à chaque client moyenne tension pour ses consommations mensuelles d'électricité, est la somme des redevances calculées en fonction des éléments suivants :

- **L'option tarifaire** : MT GÉNÉRAL.
- **La puissance souscrite** : une caractéristique du contrat de fourniture d'électricité. Il s'agit d'une indication de puissance maximale qui ne doit pas être franchie.
- **La puissance appelée** : C'est la puissance maximale demandée par le client.
- **Le facteur de puissance** : C'est le quotient de la puissance active consommée par l'installation sur la puissance apparente fournie à l'installation.

2. Tarif général moyenne Tension

La tarification de la **RADEEF** est définie dans le cadre de la politique énergétique nationale, elle doit englober toutes les charges d'investissement et d'exploitations relatives à la production de l'électricité. Cette tarification actuelle présente trois postes horaires durant douze mois.

a- <u>Les postes horaires sont définis comme suit :</u>

Le tableau ci-dessous montre les différents postes horaires

Postes Horaires	Hiver Du 01/10 au 31/03	Eté Du 01/04 au 30/09
Heures de pointe (HP)	17h à 22h	18 h à 23h
Heures normales (HN)	07h à 17h	07h à 18h
Heures Creuses (HC)	22h à 07h	23h à 07h

Tableau 1 : Les postes horaires.

b- Tarifs de vente :

Les tableaux ci-dessous montrent les tarifs de vente des différents postes horaires.

a) Du 01/08/2014 au 31/12/2014

	Prix-unitaire DH-HT	TAUX TVA	MONTANT TVA	Prix Unitaire DH-TTC
prime fixe	337,9/annuelle	14%	47,31	385,21
Heures pointe (kwh)	1,15263	14%	0,1614	1,314
Heures pleines (kwh)	0,76096	14%	0,1065	0,8675
Heures creuses (kWh)	0,48754	14%	0,0683	0,5558

Tableau 2 : Les tarifs de vente des différents postes horaires (2014).

b) Du 01/01/2015 au 31/12/2015

	Prix-unitaire DH-HT	TAUX TVA	MONTANT TVA	Prix Unitaire DH-TTC
prime fixe	371,62/annuelle	14%	52,03	423,65
Heures de pointe (kwh)	1,16465	14%	0,1614	1,3277
Heures pleines (kwh)	0,81351	14%	0,1139	0,9274
Heures creuses (kwh)	0,53632	14%	0,0751	0,6114

Tableau 3 : Les tarifs de vente des différents postes horaires (2015).

c) Du 01/01/2016 au 31/12/2016

	Prix-unitaire DH-HT	TAUX TVA	MONTANT TVA	Prix Unitaire DH-TTC
prime fixe	408,79/annuelle	14%	57,23	466,02
Heures de pointe (kwh)	1,20632	14%	0,1689	1,3752
Heures pleines (kwh)	0,84904	14%	0,1689	0,9679
Heures creuses (kwh)	0,59000	14%	0,0826	0,6726

Tableau 4 : Les tarifs de vente des différents postes horaires (2016).

d) À partir du 01/01/2017

	Prix-unitaire DH-HT	TAUX TVA	MONTANT TVA	Prix Unitaire DH-TTC
prime fixe	449,67/annuelle	14%	62,95	512,62
Heures de pointe (kwh)	1,24184	14%	0,1739	1,4157
Heures pleines (kwh)	0,88605	14%	0,1241	1,0101
Heures creuses (kwh)	0,64895	14%	0,0,0909	0,7398

Tableau 5 : Les tarifs de vente des différents postes horaires (2017).

c-Redevances de Consommation (RC) :

La redevance de consommation est facturée mensuellement comme suit :

$$RC = (Prix\ HP \times Cons\ HP) + (Prix\ HN \times Cons\ HN) + (Prix\ HC \times Cons\ HC) \quad (1)$$

Où : -Prix HP: Prix du KWH pendant les heures de pointes ;

-Prix HN: Prix du KWH pendant les heures normales ;

-Prix HC: Prix du KWH pendant les heures creuses ;

-Cons HP: Énergie active consommée pendant les heures de pointes ;

-Cons HN: Énergie active consommée pendant les heures normales ;

-Cons HC: Énergie active consommée pendant les heures creuses ;

d-Redevances de puissance (RP) :

La redevance de puissance (RP) est facturée mensuellement en fonction de la puissance souscrite selon la formule suivante :

$$RP = PF / 12 \times PS \quad (2)$$

Avec PF : Prime fixe annuelle

PS : Puissance souscrite

e- Dépassement des puissances souscrites :

La puissance appelée par la FST ne doit pas dépasser la puissance souscrite, au cas de dépassement de cette puissance la FST paye une pénalité.

Si, durant un mois d'année, la puissance maximale appelée (PA) dépasse la valeur de la puissance souscrite (PS), la différence positive des deux puissances nous donne la redevance dite de dépassement de puissance souscrite (RDPS) déterminée comme suit :

$$RDPS = 1,5 \times PF / 12 \times (PA - Ps) \quad (3)$$

Où : PA : puissance maximale appelée pendant le mois ;

II. L'analyse des factures

1. Tableaux récapitulatifs des consommations

On a ci-dessous des tableaux contenants la consommation des années (2014-2015-206):

2014	Heures Normales(KWh)	Heures Creuses(KWh)	Heures Pointe(KWh)	Total (KWh)	Puissance Appelée(KVA)	Dép. Puiss (KVA)	Montant(DH)
Janvier	18 489,00	9 883,00	7 754,00	36 126,00	121,68	2,71	35 052,94
Février	19 139,00	8 743,00	7 277,00	35 159,00	139,78	5,01	35 265,08
Mars	19 172,00	8 207,00	6 698,00	34 077,00	133,54	4,24	34 013,12
Avril	16 999,00	6 159,00	4 571,00	27 729,00	126,67	3,33	28 234,82
Mai	17 469,00	6 432,00	4 835,00	28 736,00	114,19	1,77	28 485,03
Juin	18 303,00	6 221,00	4 757,00	29 281,00	122,93	2,87	29 369,83
Juillet	13 743,00	6 805,00	4 835,00	25 383,00	118,56	2,32	25 890,41
Août	8 402,00	5 998,00	4 276,00	18 676,00	33,70	0,00	20 718,31
Septembre	15 571,00	5 848,00	4 571,00	25 990,00	105,46	0,68	27 503,57
Octobre	17 930,00	7 337,00	5 643,00	30 910,00	124,80	3,10	32 718,37
Novembre	17 526,00	7 371,00	6 620,00	31 517,00	127,30	3,41	33 789,99
Décembre	18 000,00	8 000,00	7 000,00	33 000,00	127,00	3,00	34 789,99
Moyenne	**16 728,58**	**7 250,33**	**5 736,42**	**29 715,33**	**116,30**	**2,70**	**30 485,96**
moyenne journalière	**557,62**	**241,68**	**191,21**	**990,51**			

Tableau 6 : Récapitulatifs des consommations (2014)

2015	Heures Normales(KWh)	Heures Creuses(KWh)	Heures pointe(KWh)	Total (KWh)	Puissance Appelée(KVA)	Dép. Puiss (KVA)	Montant(DH)
Janvier	20 290,00	9 883,00	8 064,00	38 237,00	160,99	7,62	43 591,75
Février	19 822,00	8 991,00	7 520,00	36 333,00	145,39	5,67	41 063,99
Mars	20 600,00	7 896,00	7 195,00	35 691,00	155,38	6,92	41 214,07
Avril	18 365,00	5 848,00	4 385,00	28 598,00	127,30	3,41	32 671,33
Mai	19 766,00	6 681,00	5 208,00	31 655,00	127,30	3,41	35 572,61
Juin	20 849,00	6 718,00	5 192,00	32 759,00	197,18	12,15	40 281,04
Juillet	19 890,00	7 861,00	5 643,00	33 394,00	183,46	10,43	39 960,62
Août	8 899,00	6 681,00	4 711,00	20 291,00	43,68	0,00	23 390,00
Septembre	12 404,00	5 848,00	4 509,00	22 761,00	92,98	0,00	25 863,10
Octobre	19 482,00	7 524,00	6 077,00	33 083,00	122,93	2,87	36 749,65
Novembre	19 264,00	7 061,00	6 248,00	32 573,00	132,29	4,04	36 987,09
Décembre	19 400,00	8 500,00	7 400,00	35 300,00	140,00	5,40	38 000,99
Moyenne	**18 252,58**	**7 457,67**	**6 012,67**	**31 722,92**	**135,74**	**5,16**	**36 278,85**
moyenne journalière	**608,42**	**248,59**	**200,42**	**1057,43**			

Tableau 7 : Récapitulatifs des consommations (2015)

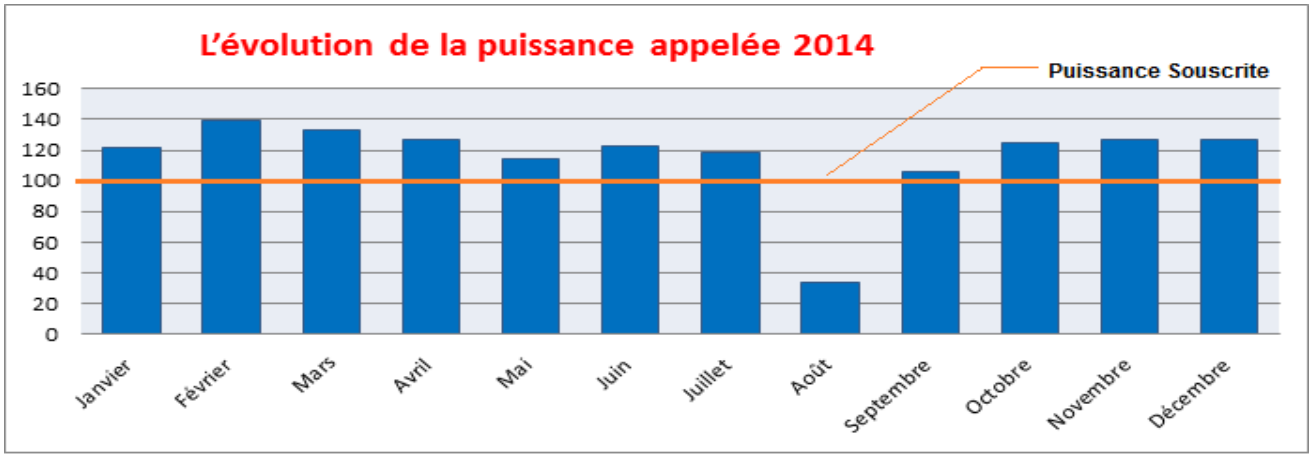
2016	Heures Normales(KWh)	Heures Creuses(KWh)	Heures Pointe(KWh)	Total (KWh)	Puissance Appelée (KVA)	Dép. Puiss (KVA)	Montant(DH)
Janvier	16 439,00	9 076,00	6 512,00	32 027,00	162,67	3,33	37 673,59
Février	20 164,00	8 398,00	6 977,00	35 539,00	163,49	7,94	43 610,82
Mars	23 767,00	8 890,00	7 568,00	40 225,00	142,27	5,28	47 002,24
Avril	17 061,00	5 972,00	4 633,00	27 666,00	107,95	0,99	32 513,00
Mai	16 972,00	5 935,00	4 711,00	27 618,00	100,00	0,00	32 048,25
Juin	18 179,00	5 972,00	4 447,00	28 598,00	146,64	5,83	35 595,26
Juillet	16 100,00	5 823,00	4 332,00	26 255,00	140,50	3,22	32 596,26
Août	7 843,00	5 252,00	3 717,00	16 812,00	39,94	0,00	21 385,89
Septembre	12 838,00	4 668,00	3 640,00	21 146,00	92,98	0,00	25 721,90
Octobre	17 806,00	5 723,00	5 022,00	28 551,00	118,56	2,32	34 221,74
Novembre	20 755,00	6 191,00	5 751,00	32 697,00	144,14	5,52	39 884,68
Décembre	22 339,00	7 710,00	6 574,00	36 623,00	169,10	8,64	45 025,29
Moyenne	**17 521,92**	**6 634,17**	**5 323,67**	**29 479,75**	**127,35**	**3,59**	**35 606,58**
moyenne journalière	**584,06**	**221,14**	**177,46**	**982,66**			

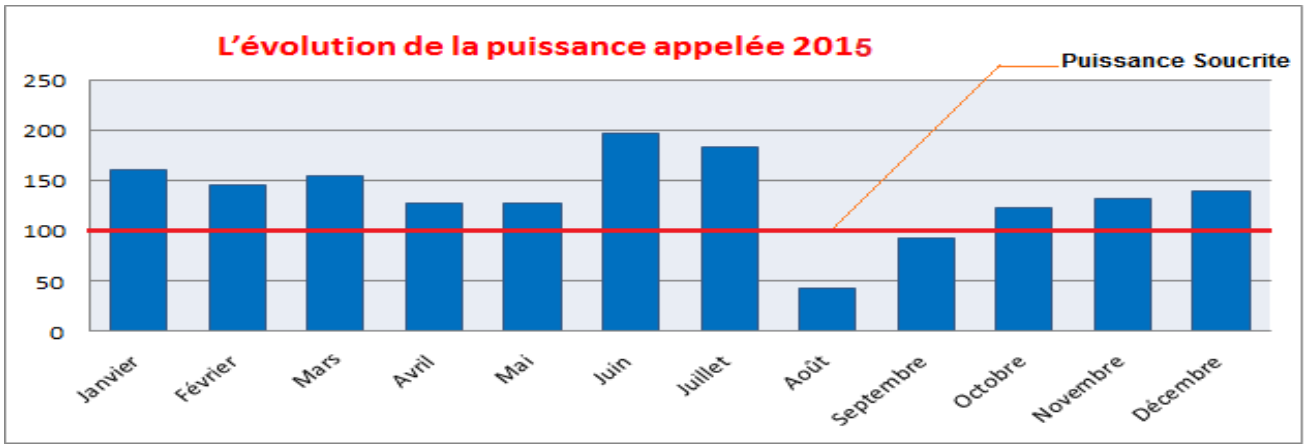
Tableau 8 : Récapitulatifs des consommations (2016)

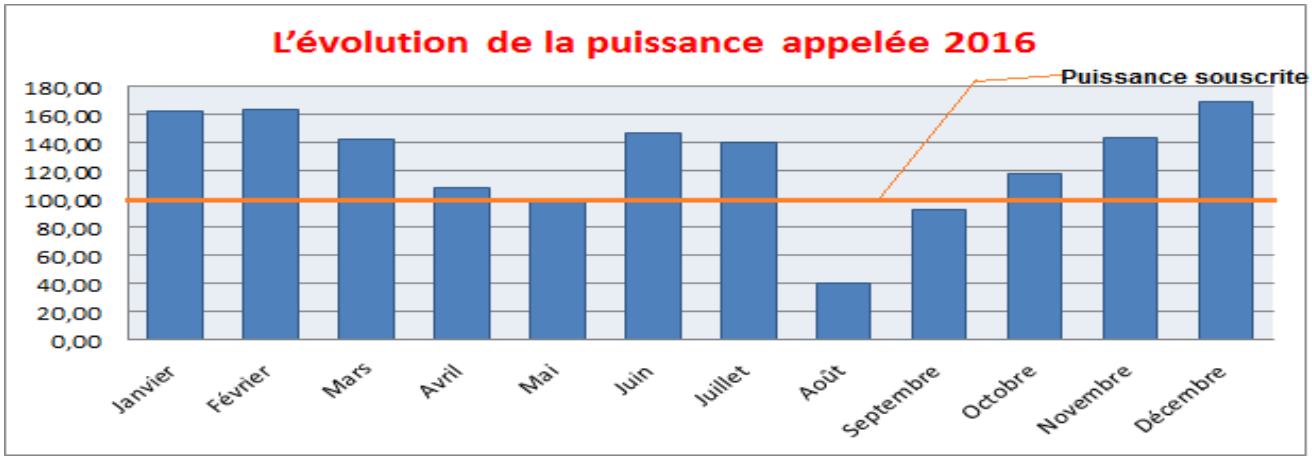
L'analyse des tableaux nous permet de déduire les conclusions suivantes :

- ✓ La consommation moyenne (2014) est de 29 715 kWh/ mois , ainsi la puissance appelée est en moyenne de 116 KVA.
- ✓ La consommation moyenne (2015) est de 31 722 KWh/ mois , ainsi La puissance appelée est en moyenne de 135 KVA.
- ✓ La consommation moyenne (2016) est de 29 479 KWh/mois, ainsi la puissance appelée est en moyenne de 127 KVA.
- ✓ D'après les tableaux on remarque que la consommation augmente pendant les mois Janvier, Février, Mars, Octobre, Novembre et Décembre (la période d'études) , par contre la consommation diminue pendant les mois Juillet , Août et Septembre (la période des vacances d'été) .
- ✓ la puissance souscrite est fixée en 100 KVA.

2. L'évolution de la puissance appelée durant les années (2014,2015,2016)







- L'analyse des graphes nous permet de déduire les conclusions suivantes :
  - ✓ Durant l'année 2014, la FST a dépassé la puissance souscrite dans toute l'année (sauf Août) dans laquelle elle a payé des pénalités.
  - ✓ Durant l'année 2015, la FST a dépassé la puissance souscrite dans toute l'année sauf (Août et Septembre) dans laquelle elle a payé des pénalités.
  - ✓ Durant l'année 2016, la FST a dépassé la puissance souscrite dans toute l'année (sauf Août et Septembre) dans laquelle elle a payé des pénalités.
- les Pénalités payées en 2014 ,2015 et 2016 :

pour calculer la pénalité on utilise la relation suivante :

$$RDPS = 1{,}5 \times PF / 12 \times (PA - Ps) \qquad (4)$$

Où PA : puissance maximale appelée pendant le mois ;
PF : Prime fixe annuelle
PS : Puissance souscrite

Le tableau suivant présente le dépassement et la pénalité annuelle pour les trois années 2014, 2015 et 2016 :

	Dépassement de puissance souscrite Total (KVA)	Pénalités (DH)
2014	35,14	11 842,81
2015	61,92	22 972,32
2016	43,07	17 606,58

Tableau 8 : Pénalités payées (2014, 2015 et 2016).

On constate d'après le tableau que suite au dépassement de la puissance souscrite, des pénalités ont été payées dont le montant est relatif au dépassement.

3 Facteur de puissance

On remarque que le facteur de puissance est très bon (>0,8 d'après les normes) et c'est grâce aux batteries condensateurs qui compense l'énergie réactive, donc on n'a pas des pénalités à cause du facteur de puissance.

II. Optimisation des factures d'électricité

Cette partie traite des moyens et des mesures à mettre en œuvre pour obtenir des gains par une gestion des consommations électriques de la FST de Fès .

1. La réduction de la puissance souscrite

La modification de la puissance souscrite à condition de la garder dans une marge correcte pour éviter les pénalités (dépassement), est une action qui permet de réduire le coût de la facture d'électricité sans investissement.

On a essayé de chercher une nouvelle puissance à souscrire de sorte que les pénalités diminuent.
Pour obtenir la nouvelle puissance souscrite optimale, on a utilisé un outil dans **Excel** qui s'appelle ***SOLVER***, cet outil a pour but de calculer automatiquement la valeur optimale en entrant les formules concernant chaque paramètre.

Montant = ((Prix HP × Cons HP) + (Prix HN × Cons HN) + (Prix HC × Cons HC))+ ((Prix HP × Cons HP) + (Prix HN × Cons HN) + (Prix HC × Cons HC))x TVA+(DPS X PF)+ +(DPS X PF) x TVA +((PS/12) x PF) + ((PS/12) x PF) x TVA+ (EC+LC) (5)

-DPS : Dépassement de la puissance souscrite en KVA (DPS = (1.5/12) x (PS - PA)).

-PF : prime fixe annuelle.

-Prix HP : Prix du KWH pendant les heures de pointes.

-Prix HN : Prix du KWH pendant les heures normales.

-Prix HC : Prix du KWH pendant les heures creuses.

-Cons HP: Énergie active consommée pendant les heures de pointes.

-Cons HN: Énergie active consommée pendant les heures normales.

-Cons HC: Énergie active consommée pendant les heures creuses.

-EC : entretien comptage (638,8 DH).

-LC : location comptage (629,37).

1) La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite (2014)

2014	Puissance Souscrite(KVA)	Actuelle	Optimale
		100	119
Janvier	Le coût de consommation (DH)	35052,94	35092,95
Février		35265,08	34860,70
Mars		34013,12	33670,56
Avril		28234,82	27676,13
Mai		28485,03	28385,75
Juin		29369,83	28990,28
Juillet		25890,41	25360,78
Août		20718,31	21329,50
Septembre		27503,57	27852,82
Octobre		32718,37	32414,70
Novembre		33789,99	33487,29
Décembre		34789,99	34732,95
Total (DH)		**365831,46**	**363854,3919**
Gain annuel(DH)		**977,06**	

Tableau 10 : La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite (2014).

Pour l'année 2014, on a trouvé à l'aide de l'outil SOLVER que la valeur optimale de la puissance souscrite pour un gain maximal est : 119 KVA , ce qui nous permet d'obtenir un gain de 977 DH/an .

2) La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite (2015)

2015	Puissance Souscrite(KVA)	Actuelle	Optimale
		100	127
Janvier	Le coût de consommation (DH)	43 591,75	43118,16
Février		41 063,99	40590,39
Mars		41 214,07	40739,94
Avril		32 671,33	32197,20
Mai		35 572,61	35098,49
Juin		40 281,04	39804,80
Juillet		39 960,62	39486,50
Août		23 390,00	24344,67
Septembre		25 863,10	26817,71
Octobre		36 749,65	36488,41
Novembre		36 987,09	36510,33
Décembre		40 102,99	39454,07
Total(DH)		393856,49	391532,50
Gain annuel (DH)		2323,99	

Tableau 11 : La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite(2015)

- ✓ De la même manière on a trouvé (à l'aide de SOLVER) que la valeur optimale de la puissance souscrite pour obtenir un gain maximal est : 127 KVA , cette nouvelle valeur nous a permis de gagner 2323,99 DH /an .

3) La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite (2016)

2016	Puissance Souscrite(KVA)	Actuelle	Optimale
		100	110
Janvier	Le coût de consommation (DH)	37 673,59	37482,71
Février		43 610,82	43416,46
Mars		47 002,24	46811,37
Avril		32 513,00	32441,91
Mai		32 048,25	32438,15
Juin		35 595,26	35402,62
Juillet		32 970,26	32774,31
Août		21 385,89	21775,80
Septembre		25 721,90	26111,80
Octobre		34 221,74	34029,12
Novembre		39 884,68	39690,88
Décembre		45 025,29	44831,50
Total (DH)		427 652,92	427206,6319
Gain (DH)		446,29	

Tableau 12 : La facture avant et après l'optimisation de la puissance souscrite(2016)

De la même façon, on a trouvé (à l'aide de SOLVER) que la puissance souscrite optimale pour gagner un gain maximal est : 110 KVA , ce qui nous donne un gain de

446,29 DH/ an .

IV. L'analyse des factures du poste extension de la FST

1 Tableaux récapitulatifs des consommations

On a ci-dessous le tableau de la consommation fournie par le poste .

	Heures Normales(KWh)	Heures Creuses(KWh)	Heures Pointe(KWh)	Total (KWh)	Puiss Appelée (KVA)	Dép. Puiss (KVA)	Montant(DH)
Janvier	2 160,00	1 965,00	1 183,00	5 308,00	12,48	0,00	11 864,44
Février	2 241,00	1 851,00	913,00	5 005,00	6,24	0,00	11 026,50
Mars	2 367,00	1 965,00	976,00	5 308,00	6,24	0,00	10 765,00
Avril	2 493,00	1 719,00	1 152,00	5 364,00	6,24	0,00	10 303,91
Mai	2 976,00	1 769,00	976,00	5 721,00	12,48	0,00	10 562,99
Juin	3 942,00	1 719,00	1 359,00	7 020,00	27,04	0,00	11 991,07
Juillet	2 700,00	1 900,00	1 200,00	5 800,00	12,00	0,00	10 700,00
Août	2 562,00	1 769,00	976,00	5 307,00	8,32	0,00	10 162,28
Septembre	3 528,00	1 719,00	1 152,00	6 399,00	20,80	0,00	11 305,69
Octobre	2 781,00	1 965,00	1 183,00	5 929,00	12,48	0,00	10 790,76
Novembre	2 511,00	1 908,00	1 152,00	5 571,00	6,24	0,00	10 448,45
Décembre	2 781,00	1 965,00	1 183,00	5 929,00	12,48	0,00	10 790,76
Moyenne	**2 753,50**	**1 851,17**	**1 117,08**	**5 721,75**	**11,92**	0,00	**10 892,65**
moyenne journalière	**91,78**	**61,70**	**37,23**	**190,72**			

Tableau 13 : Récapitulatifs des consommations du poste extension.

L'analyse de tableau nous permet de déduire les conclusions suivantes :

- ✓ La consommation moyenne annuelle est de 5 721,75kWh, ainsi la puissance appelée est en moyenne de 11,92 KVA.
- ✓ La puissance souscrite est fixée à 100 KVA.
- ✓ On remarque que le dépassement de puissance souscrite est toujours nul, donc il n'y a pas des pénalités.
- ✓ Il y a une différence de 90 KVA entre la puissance souscrite et la puissance appelée moyenne annuelle, donc la puissance souscrite est très grande ce qui va augmenter le montant de la facture.

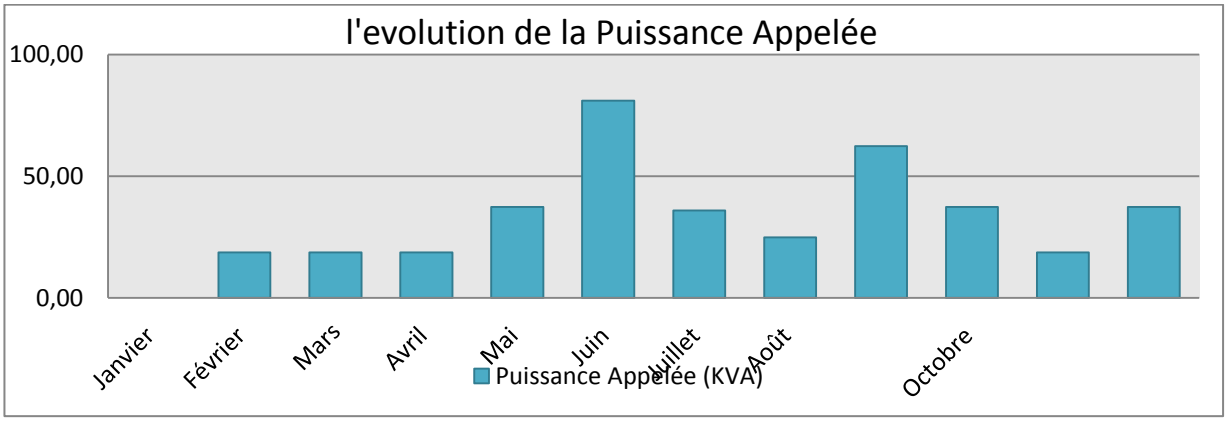
Dans la partie suivante, on va transférer la consommation du bloc chimie du poste normal vers le poste extension et on supposera que leur consommation est le double de la consommation du bâtiment administratif (seul alimente actuellement par le poste extension), dans le tableau suivant nous avons présenté les prévisions de consommation avec l'ajout du bloc chimie.

	heures Normale(KWh)	Heures Creuses(KWh)	Heures Pointe(KWh)	Total (KWh)	Puissance Appelée (KVA)	Dép. Puiss (KVA)	Montant (DH)
Janvier	6 480,00	5 895,00	3 549,00	15 924,00	37,00	0	26 258,05
Février	6 723,00	5 553,00	2 739,00	15 015,00	18,72	0	24 079,45
Mars	7 101,00	5 895,00	2 928,00	15 924,00	18,72	0	24 958,25
Avril	7 479,00	5 157,00	3 456,00	16 092,00	18,72	0	25 504,25
Mai	8 928,00	5 307,00	2 928,00	17 163,00	37,44	0	25 244,74
Juin	11 826,00	5 157,00	4 077,00	21 060,00	81,12	0	27 076,18
Juillet	8 100,00	5 700,00	3 600,00	17 400,00	36,00	0	25 738,72
Août	7 686,00	5 307,00	2 928,00	15 921,00	24,96	0	24 740,51
Septembre	10 584,00	5 157,00	3 456,00	19 197,00	62,40	0	26 066,90
Octobre	8 343,00	5 895,00	3 549,00	17 787,00	37,44	0	25 967,52
Novembre	7 533,00	5 724,00	3 456,00	16 713,00	18,72	0	25 967,99
Décembre	8 343,00	5 895,00	3 549,00	17 787,00	37,44	0	25 967,52
Moyenne	8 260,50	5 553,50	3 351,25	17 165,25	32,64	0	25 630,84
moyenne journalière	275,35	185,11	111,70	572,19			

Tableau 14 : Recapitulatifs des consommations du poste extension après l'ajout du bloc chimie

- ✓ La consommation moyenne journalière est de 572,19 KWh/jour.
- ✓ On remarque qu'il n'y a pas de dépassement de la puissance souscrite dans toute l'année.

2. L'évolution de la puissance appelée annuelle



- ✓ D'après le graphe on remarque qu'il n'y a pas des dépassements de la puissance souscrite, donc il n'y a pas des pénalités.

Notre objectif est de diminuer le dépassement de la puissance souscrite du poste normal de la FST ,c'est pour cela, nous avons analysé le résultat du transfert du bloc chimie au poste extension ,sachant que la consommation de ce bloc sera déduite du poste normal.

➢ Résultats de calculs du poste normal

Le tableau ci-dessous présente les pénalités et les dépassements pour chaque mois avant et après la transformation de consommation du bloc chimie du poste normal vers le nouveau poste d'extension.

	Avant		Après	
	Dépassement	Pénalité	dépassement	Pénalité
Janvier	7,83	3194,64	4,83	1972,17
Février	7,94	3239,52	6,38	2601,51
Mars	5,28	2154,24	3,72	1519,29
Avril	0,99	403,92	0,00	0,00
Mai	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	5,83	2378,64	0,00	0,00
Juillet	3,22	1313,76	2,06	841,50
Août	0,00	0,00	0,00	0,00
Septembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	2,32	946,56	0,00	0,00
Novembre	5,52	2252,16	3,96	1614,66
Décembre	8,64	3525,12	5,52	2251,14
somme	47,57	19 408,56	46,25	10800,27
Gain(DH)	**8 608,29**			

Tableau 15 : Les pénalités ,les dépassements et le gain dans le poste normal .

3. L'optimisation de la puissance souscrite pour le poste d'extension

	100 KVA	50 KVA	Gain (DH)
Janvier	21 471,27	19335,34	2 135,93
Février	20 317,00	18181,07	2 135,93
Mars	21 219,40	19083,46	2 135,94
Avril	21 802,73	19666,79	2 135,94
Mai	22 629,84	20493,91	2 135,93
Juin	27 072,77	24936,83	2 135,94
Juillet	23 035,57	20899,64	2 135,93
Août	21 375,30	19239,37	2 135,93
Septembre	24 939,08	22803,14	2 135,94
Octobre	23 353,08	21217,15	2 135,93
Novembre	22 276,74	20140,81	2 135,93
Décembre	23 353,08	21217,15	2 135,93
Total (DH	272 845,86	247214,66	25 631,20
Gian annuel (DH)	**25 631,20**		

Tableau 16 : Le gain après l'optimisation de la puissance souscrite.

Pour optimiser la puissance souscrite, nous avons utilisé l'outil SOLVER, les résultats obtenus montrent que la valeur optimale de la puissance souscrite pour obtenir un gain maximal est : 20 KVA , à l'avenir, nous allons ajouter d'autres charges au poste extension. Pour cela on a choisi 50 KVA comme valeur de la puissance souscrite.

➢ Conclusion

Ce chapitre est consacré à optimiser des factures d'électricités de la faculté des sciences et techniques Fès à l'aide de la modification de la puissance souscrite, la méthode que nous avons utilisée ne nous a pas donné un gain important pour le poste normal et le poste d'extension , cette méthode utilisée reste une méthode efficace à appliquer tous les trois ans pour vérifier le comportement de la puissance appelée par la FST afin de réadapter la puissance souscrite à celle qui est optimale. Dans le chapitre suivant, on va voir une autre méthode (utilisation installation photovoltaïque) d'optimisation du coût qui donnera un gain très important.

Chapitre III

Optimisation des factures d'électricité à l'aide d'une installation photovoltaïque

INTRODUCTION

La production de l'énergie électrique devient un investissement important et son efficacité ne sera assurée que si le consommateur se voit être approvisionné en puissance répondant aux exigences de son installation et sachons qu'actuellement nous visons à améliorer nos conditions de vie tout en réduisant le coût, ainsi le choix d'un des modes de production de l'énergie électrique se base sur le coût d'investissement et sur celui de fonctionnement. Ainsi donc ceci nous amène à faire appel aux énergies renouvelables pour la production de l'énergie électrique [12].

En se basant sur ces principes, dans notre travail nous cherchons à produire de l'énergie électrique par transformation directe de l'énergie solaire grâce aux cellules photovoltaïques [12].

I.Choix des éléments du système photovotaique de 25KWh/jour

Tout d'abord avant de dimensionner notre système photovoltaïque on doit choisir et préciser les éléments convenables avec notre installation photovoltaïque .

1. Choix de panneau photovotaique

Dans notre installation on va utiliser les panneaux solaires de types polycristallin.

Ses cellules sont fabriquées à partir de chutes de morceaux de silicium qui sont chauffés, fondus puis refroidis et assemblés par un processus plus rapide et plus économique. Elles présentent un aspect multi-facette bleutée typique de la présence de plusieurs cristaux de silicium. Le rendement d'un panneau solaire polycristallin va de 11 à 15 %. Néanmoins il possède un coefficient de température plus faible ce qui signifie qu'il sera plus performant dans une région à forte variation de température(c'est le cas de notre région) .

Avantages :

- Plus économique
- Empreinte écologique plus faible
- Moins sensible aux variations de température
- Meilleur rendement par forte température

La figure suivante montre les caractéristiques de panneau choisi :

Figure 8:Panneau solaire polycristallin

Caractéristiques techniques	
	TSM-PD05
Nombre de cellules	60
Dimensions "boîtier de dérivation frontal" (L x l x h)	1650 x 992 x 35 mm
Poids	18.6 kg
Puissance	270 Wp
Verre avant	Verre solaire trempée haute transparence 3.2 mm, traitement anti-réflection
Câbles de sortie	Résistant UV, câble 4,0 mm2 (AWG 11), 1000 mm
Connecteurs	Compatible MC4
Tension à Pmax (Ump)	28,6
Courant à Pmax (Imp)	6,89
Courant de court-circuit (Icc)	7,35

2. Choix de Batterie

Dans notre installation on va utiliser des Batteries solaires AGM 12V 100 Ah . (figure 12)

Figure 9: Batterie AGM 12V 100Ah

Une batterie AGM ne nécessite pas d'entretien, elle est étanche et il n'y a donc pas d'écoulement d'acide ni d'eau, et sa valve régulée gère automatiquement le très faible dégazage nécessaire (VRLA). Sa longévité est aussi très largement supérieure aux batteries

scellées standard, elle peut varier entre 10 et 15 ans, voir plus encore, suivant ses conditions d'utilisation. À la fois beaucoup moins assujettie aux risques de sulfatation, son taux d'autodécharge reste relativement faible, entre 1 et 3 % par mois de décharge, en cas d'inutilisation prolongée.

Concernant l'électrolyte elle est composée d'acide sulfurique et de gel, le tout dans un espace scellé, ce type de batterie AGM préfère être placée dans un endroit où la température se situe entre 15°C et 30°C (l'idéal restant entre 20 et 25°C).

3. Choix de l'onduleur pour l'installation PV de 25KWh/jour

Dans notre installation on va utiliser l'onduleur **SMA SUNNY ISLAND 4.4M.**

Le Sunny Island 4.4M est le produit idéal pour les systèmes autonomes ou raccordés au réseau dans la plage de puissances de 2 à 13 kW. Il stocke l'énergie solaire qu'il a lui-même produite. La classe de protection élevée, la plage de températures étendue et la capacité de surcharge assurent la sécurité nécessaire aux applications éloignées du réseau.

4. Choix de régulateur pour l'installation PV 25KWh/jour

Dans notre installation on va utiliser un Régulateur (MPPT) Ultra rapide (Maximum Power Point Tracking) .

Les contrôleurs de charge BlueSolar (MPPT) 150/70 et 150/85 chargeront une batterie de tension nominale inférieure depuis un champ de panneaux PV de tension nominale supérieure. Le contrôleur s'adapte automatiquement à une tension de batterie nominale de 12, 24 ou 48V.

Figure 10: Régulateur MPPT

Caractéristiques du régulateur

- Régulateur (MPPT) ultra rapide
- Pas de ventilateur
- Efficacité maximum de plus de 98 %
- Sonde de température intégrée
- Protection électronique contre la surchauffe, les court-circuits ou inversions de polarité des panneaux.

5. Choix des câbles

On va déterminer les sections des câbles entraînant le moins de chute de tension possible entre les panneaux et l'onduleur-chargeur, mais aussi entre les batteries et l'onduleur-chargeur.

Données:

- Chute de tension maximale entre panneaux – boîte de raccordement ; boîte de raccordement – onduleur et batterie – onduleur = $\Delta U = 2\%$
- Conducteurs en cuivre ($\rho = 1{,}6\ 10^{-8}\ \Omega.m$).

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

$I = P/U = 270 / 48 = 5{,}62$ A

b) Détermination de la section des conducteurs entre les panneaux et le boîtier de raccordement :

$\Delta U = 48 \times 0{,}02 = 0{,}96$ V donc R max de la ligne $R = \Delta U / I = 0{,}96 / 5{,}62 = 0{,}17\ \Omega$

$S = (\rho.L)/R = (1{,}6\ 10^{-8} . 14) / 0{,}17 = 1{,}31.10^{-6}$ m² soit un câble d'une section de 1 ,31 mm² on prendra donc des câbles de 2,5 mm²

c) Calcul du courant circulant entre le boîtier de raccordement et l'onduleur :

La puissance crête du champ photovoltaïque Pc = 37 x 270 = 9990 W

I = Pc / U = 9990 / 48 = 208,12 A

d) Détermination de la section des conducteurs entre le boîtier de raccordement et l'onduleur :

$\Delta U = 48 \times 0{,}02 = 0{,}96$ V donc R max de la ligne $R = \Delta U / I = 0{,}96 / 208{,}12 = 0{,}00461\ \Omega$

$S = (\rho.L)/R = (1{,}6\ 10^{-8} . 20) / 0{,}00461 = 67.10^{-6}$ m²

Soit un conducteur d'une section minimale de 67 mm² (section normalisée 70 mm²)

e) Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur lorsque celui-ci

débite sa puissance nominale :

I max batteries = P max onduleur / U batterie = 11500 / 48 = 121 A

f) Détermination de la section des conducteurs entre le parc batterie et l'onduleur :

ΔU = 48 x 0,02 = 0,96 V donc R max de la ligne R= ΔU /I = 0,96 / 121 = 0,00793 Ω

$S = (\rho.L)/R = (1{,}6\ 10^{-8} . 8) / 0{,}00793 = 16{,}14.10^{-6}\ m^2$

Soit un conducteur d'une section minimale de 25 mm²

II.Dimensionnement de l'installation photovoltaïque

Dans notre cas, nous avons choisi d'analyser 3 scénarios : installation PV de 25KWh, 50KWh, 100KWh et 150KWH sans et avec batteries. D'après le tableau 8 de consommation en 2016 pendant les heures normales qui coïncident avec la production des panneaux PV, on peut installer une puissance allant jusqu'à 200KWh et qui sera consommée localement sans injection sur le réseau RADEEF. Dans les 2 paragraphes suivants, on procédera au dimensionnement d'une installation PV de 25 KWh.

L'installation d'un système photovoltaïque nécessite tout d'abord son dimensionnement pour lequel il faut calculer à combien s'élève les besoins énergétiques que nous comptons satisfaire et calculer par la suite la puissance du champ photovoltaïque satisfaisant bien sûr ces besoins énergétiques et c'est ce qu'on va voir dans cette partie.

1. Champ photovotaique

Il s'agit ici de déterminer la puissance crête du champ photovoltaïque, et de réaliser le calepinage des modules photovoltaïques en toiture.

Le gisement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire disponible, dépend de la localisation, mais également de l'inclinaison et de l'orientation du champ photovoltaïque.

1) Orientation

À Fès (Maroc), on privilégie une orientation du champ photovoltaïque vers le sud. Ainsi, il convient d'identifier où se trouve le Nord par rapport au site. Dans notre étude de cas, il apparaît qu'un pan de toiture est mieux orienté que l'autre. C'est sur cette partie de toiture que devra être implanté le champ photovoltaïque.

Il sera ainsi mieux exposé aux rayonnements du soleil, tout-au-long de l'année. À l'aide d'une boussole, on mesure précisément l'orientation de ce pan de toiture [13].

2) Inclinaison

L'angle formé par les rayons du soleil et le panneau solaire est appelé angle d'incidence (noté α). La production est maximale si les rayons du soleil atteignent la surface du panneau perpendiculairement à midi (heure solaire). Il convient également de mesurer l'inclinaison du pan de toiture destiné à recevoir le champ photovoltaïque .

Cette mesure s'effectue simplement grâce à un clinomètre.

En général, on cherche à optimiser la production pendant le mois de plus faible ensoleillement : il faut donc que les rayons du soleil soient perpendiculaires au panneau pendant ce mois.

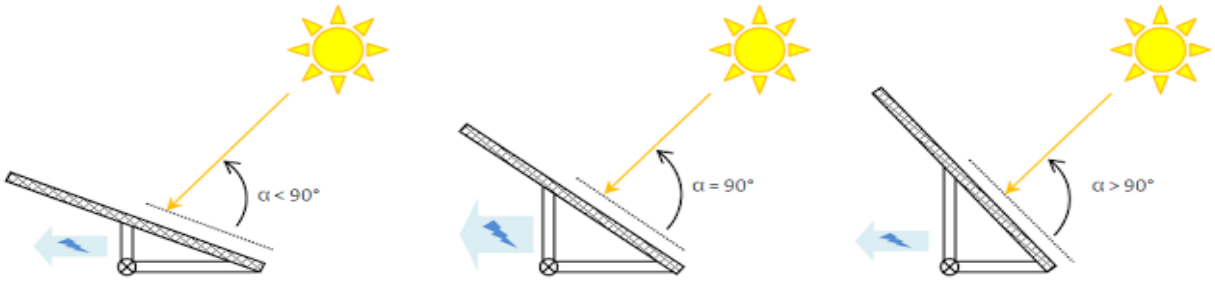


Figure 11 : L'inclinaison par rapport aux rayons du soleil

✓ **Inclinaison de 90° par rapport aux rayons du soleil (au centre) = production optimale**

2. Estimation de la puissance crête

Pour produire l'énergie, il sera nécessaire d'installer un générateur (panneaux solaires) d'une puissance crête égale à Pc. Cette puissance crête à installer dépend de l'irradiation du lieu.

D'Apres les données de satellite NASA-SSE on a les données suivantes concernant la ville de Fès :

Site Fes (Morocco)

Source des donn Données satellite NASA-SSE

	Irrad. Glob. kWh/m².jr	Diffus kWh/m².jr	Tempér. °C
Janvier	2.86	0.87	8.6
Février	3.69	1.13	10.7
Mars	4.85	1.48	13.8
Avril	5.65	1.91	16.0
Mai	6.42	2.15	19.6
Juin	7.37	2.03	24.1
Juillet	7.39	1.91	27.5
Août	6.66	1.74	26.7
Septembre	5.48	1.51	23.0
Octobre	3.94	1.28	18.8
Novembre	2.89	0.99	13.8
Décembre	2.47	0.84	10.2
Année	**4.98**	**1.49**	**17.7**
	Coller	Coller	Coller

Figure 12 : L'irradiation pendant l'année (dans la vile de Fès)

On calcule la puissance crête de façon à satisfaire les besoins pendant la période la plus défavorable en appliquant la formule suivante.

Avec :

$$P_c = \frac{E_p}{Ir} \qquad (6)$$

E_p : Énergie produite par jour [Wh/j].

P_c : puissance crête du champ photovoltaïque [Wc] .

lr : Irradiation moyenne mensuelle reçue par les capteurs photovoltaïques et correspondant au mois le plus défavorable [kWh/m².jour].

On prend comme valeur d'irradiation la valeur minimum pendant l'année : **Ir=2.47KWh/jr.m^2**

Donc :

$$\frac{\mathbf{25\,000}}{\mathbf{2.47}} = 10\,121{,}45\ Wc$$

3. Calcul du nombre de panneaux à installer

À partir de la puissance crête des panneaux BP Solaire on va détermine le nombre panneaux solaire nécessaires à l'installation.
Puissance crête d'un panneau est 270 Wc.

- Le nombre total de modules à installer se calcule par:

On applique cette relation :

$$N_m = \frac{P_c}{P_{c-\text{module}}} \qquad \mathbf{(7)}$$

$$\mathbf{Nm} = \frac{\mathbf{10\ 121{,}45}}{\mathbf{270}} = \mathbf{37}\ \text{Panneaux}$$

- Le nombre de modules connectés en série sera égal à:

$$N_s = \frac{V_{c-inst}}{V_n} = \frac{48}{12} = 4 \qquad (8)$$

Avec $V_{c\text{-inst}}$: la tension de fonctionnement du champ photovoltaïque.

V_n: la tension nominale d'un panneau photovoltaïque .

- Le nombre de modules connectés en parallèles sera égal à:

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} = \frac{37}{4} = 10 \qquad (9)$$

- La surface nécessaire pour installer 37 panneaux est : 70 m^2

4. Le devis estimatif des principaux composants de l'installation PV (25 KWh/jour).

L'élément	NOMBRE	PRIX UNITAIRE (DH)	Total (DH)
Panneaux photovoltaïques	37	2000	74000
Onduleur	1	40000	40000
Câbles	300	40	12000
Boite de raccordement PV	1	750	750
Prix Total (DH)			**126 750**

Tableau 17 : les prix des éléments de système photovoltaïque

- ✓ Donc le prix total d'une installation photovoltaïque pour produire 25 KWh/jour est de126 750 DH.
- ✓ **Exemple schéma électrique d'une installation photovoltaïque .**

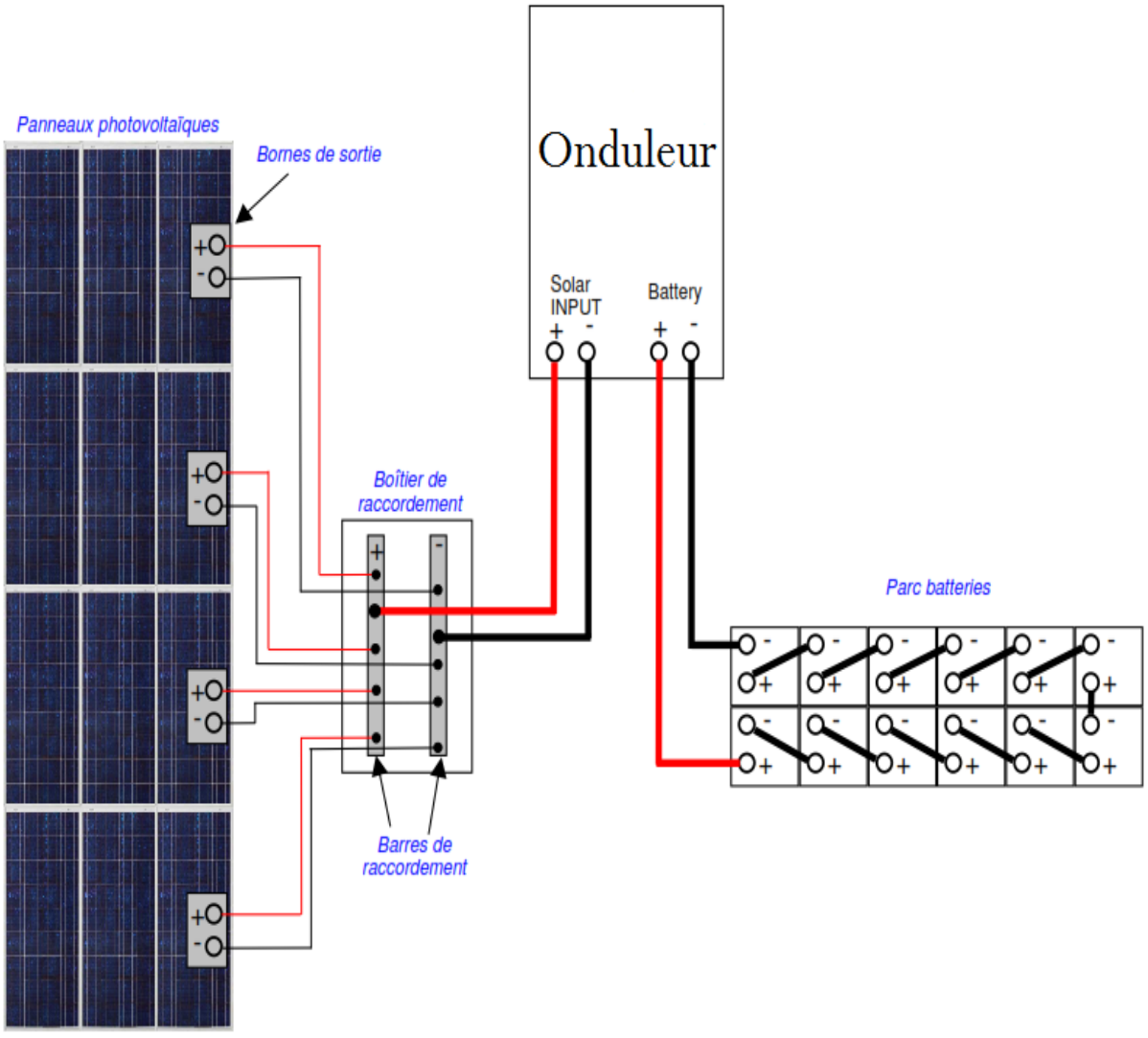


Figure 13 : Schéma électrique de l'installation

III. Optimisation du coût de la facture en utilisant l'installation photovoltaïque

L'installation photovoltaïque demande une surface très importante et un coût très élevé si le nombre de panneaux augmente, c'est pour cela on a pris en considération ces obstacles qui posent problème à notre étude pour lesquelles on a choisi une installation de 25 KWh par jour .

Les panneaux photovoltaïques produisent 25 KWh par jour soit 750 KWh par mois.

le tableau ci-dessous de puissance du poste normal pendant les heures normales avec et sans les panneaux photovoltaïques.

2016	Consommation pendant les Heures Normales sans panneaux photovoltaïques (KWh)	Consommation pendant les Heures Normales avec panneaux photovoltaïques (KWh)
Janvier	16 439,00	15 689,00
Février	20 164,00	19 414,00
Mars	23 767,00	23 017,00
Avril	17 061,00	16 311,00
Mai	16 972,00	16 222,00
Juin	18 179,00	17 429,00
Juillet	16 100,00	15 350,00
Août	7 843,00	7 093,00
Septembre	12 838,00	12 088,00
Octobre	17 806,00	17 056,00
Novembre	20 755,00	20 005,00
Décembre	22 339,00	21 589,00
Moyenne	**17 521,92**	**16 771,92**

Tableau 18 : La puissance consommée du poste normal avec et sans les panneaux photovoltaïques

L'utilisation des panneaux photovoltaïques permet de diminuer la puissance venant du poste normal pendant les Heures normales.

- Le tableau suivant contient les résultats de la facture (avec et sans l'utilisation des panneaux photovoltaïques) pour les trois années (2014 , 2015 et 2016).

Remarque :

Le gain net est : le gain après 25 ans calculé par la formule suivant :

$$\textbf{Gain net} = \textbf{Gain annuel} * 25 - \textbf{Prix de l'installation PV} \quad (10)$$

25 ans c'est la durée de vie moyenne des panneaux photovoltaïques polycrisrallin.

Coût de consommation	2014		2015		2016	
	sans panneaux PV	avec panneaux PV	sans panneaux PV	avec panneaux PV	sans panneaux PV	avec panneaux PV
Janvier	35052,94	34604,78	43591,75	42899,21	37 673,59	36950,95
Février	35265,08	34372,53	41063,99	40371,43	43 610,82	42884,71
Mars	34013,12	33182,39	41214,07	40520,99	47 002,24	46279,62
Avril	28234,82	27187,96	32671,33	31978,25	32 513,00	31790,74
Mai	28485,03	27774,2	35572,61	34879,54	32 048,25	31323,87
Juin	29369,83	28502,11	40281,04	39585,85	35 595,26	34870,86
Juillet	25890,41	24861,32	39960,62	39267,54	32 970,26	32242,55
Août	20718,31	18568,92	23390,00	22695,90	21 385,89	20661,52
Septembre	27503,57	25232,29	25863,10	25168,95	25 721,90	24997,52
Octobre	32718,37	30010,97	36749,65	36053,92	34 221,74	33497,37
Novembre	33789,99	31027,3	36987,09	36291,37	39 884,68	39159,12
Décembre	34789,99	32279,71	38000,99	39235,11	45 025,29	44299,74
Somme (DH)	365831,46	347604,48	435346,24	428948,13	427 652,92	418958,57
gain annuel (DH)	7 877		6 398,10		8 694,35	
Gain net (DH)	**70 175**		**33 200**		**90 608**	

Tableau 19 : la facture avant et après l'installation photovoltaïque(2014, 2015 , 2016)

D'après ce tableau on a obtenu un gain net différent chaque année : 70 175 DH en 2014 , 33 200 DH en 2015 est 90 608 DH en 2016 .

1. Résultats d'étude d'une installation de 50KWh ,100KWh et 150 KWh par jour.

La même procédure de dimensionnement est appliquée pour les cas des installations de 50KWh , 100KWh et 150KWh par jour.

		installation photovoltaïque de 50 KWh	installation photovoltaïque de 100 KWh	installation photovoltaïque de 150 KWh
Nombre de panneaux PV		75	150	225
Nombre d'onduleurs		2	4	5
Surface (m^2)		138	277	415
le coût (DH)		245 000	460 000	670 000
Gain net (DH)	**2014**	172 127	322 500	502 800
	2015	141 416	309000	481 550
	2016	190 000	410 000	636 250

Tableau 20 : Le Gain net (sur 25 ans) des années (2014, 2015 et 2016)

Lorsque le nombre de panneaux augmente, le gain net (sur 25 ans) devient plus important d'après l'analyse du tableau 16 .

2. Installation photovoltaïque de 150KWh/jour avec batteries.

Dans cette partie, on va utiliser une installation photovoltaïque qui produit 150 KWh/jour, on utilise 100 KWh directs pendant les heures normales et on stocke 50 KWh pour les heures de pointe.

Calcule la capacité des accumulateurs nécessaires à ce système ainsi que leur nombre :

$$C = \frac{Ec.N}{D.U} \qquad (11)$$

C : capacité de la batterie en ampère. Heure (Ah).
EC : énergie consommée par jour (Wh/j).
N : nombre de jours d'autonomie.
D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb).
U : tension de la batterie (V).
Application :

$$C = \frac{50000.2}{0{,}8.48} = 2604 \text{ Ah}$$

Calcul le nombre de batteries :
La batterie on va utiliser dans notre installation est : AGM 12V 100 Ah
donc le nombre de batteries est : $\frac{2604}{100} = 26$

- **Le coût de l'installation**

L'élément	NOMBRE	PRIX UNITAIRE (DH)	Total DH)
Panneaux photovoltaïques	225	2000	450 000
Onduleur	5	40000	200 000
Câbles	300	40	12 000
Boite de raccordement PV	1	750	750
Batteries de stockage	26	2000	52 000
Régulateur	1	4000	4 000
Prix Total (DH)			**718 750**

Tableau 21 : Le coût d'une installation PV de 150 KWh/jr avec batterie

✓ Le coût d'une installation photovoltaïque de 150 KWh/jour avec des batteries est 718 750 DH.

		installation photovoltaïque de 150 KWh
Nombre de Batteries		26
Nombre de panneaux PV		225
le coût (DH)		718 750
Gain net (DH)	**2014**	457 625
	2015	212 458
	2016	364 600

Tableau 22 : Le gain et les éléments d'une installation de 150KWh/ jour avec batteries

Le coût d'une installation photovoltaïque avec des batteries est plus élevé à cause de prix des batteries qui est très cher, d'après le tableau 20 et 21, on remarque que le gain net augmente si on utilise une installation PV sans batteries , donc l'installation PV sans batterie reste une solution plus efficace pour obtenir un gain important .

3. Le gain et la puissance produite chaque mois par différents nombres de panneaux.

L'irradiation n'est pas constante, chaque jour a une valeur différente ,c'est pour cela dans cette partie, on a essayé de calculer la puissance produite et le gain de chaque mois par différents nombres de panneaux, les résultats dans le tableau suivant :

		37 panneaux		75 panneaux		150 panneaux	
Mois	Irrad,Global KWh/m²jour	puissance produite (KWh/mois)	Gain(DH)	puissance produite (KWh/mois)	Gain (DH)	puissance produite (KWh/mois)	Gain (DH)
Janvier	2,86	868,42	737,32	1736,85	1474,65	3473,70	2949,31
Février	3,69	1120,44	951,30	2240,90	1902,61	4481,80	3805,23
Mars	4,85	1472,67	1250,36	2945,36	2500,73	5890,71	5001,45
Avril	5,65	1715,59	1456,60	3431,19	2913,22	6862,38	5826,43
Mai	6,42	1949,39	1655,11	3898,80	3310,24	7797,60	6620,48
Juin	7,37	2237,85	1900,03	4475,73	3800,07	8951,45	7600,14
Juillet	7,39	2243,93	1905,18	4487,87	3810,38	8975,75	7620,77
Août	6,66	2022,27	1716,98	4044,55	3433,99	8089,10	6867,97
Septembre	5,48	1663,97	1412,77	3327,95	2825,56	6655,90	5651,12
Octobre	3,94	1196,36	1015,75	2392,72	2031,52	4785,45	4063,03
Novembre	2,89	877,53	745,06	1755,07	1490,12	3510,14	2980,25
Décembre	2,49	756,07	641,94	1512,15	1283,88	3024,30	2567,76
Total		18124,48	15388,41	36249,14	30776,97	72498,28	61553,94
Gain net(DH)		371 652,27		753 309,10		1 546 618,19	

Tableau 23 : Le gain et la puissance produite par différent nombre de panneaux

- ✓ La puissance totale produite par 37 panneaux est : 18124 KWh/an ,ainsi que le gain (sur 25 ans) net est **371 652** DH .
- ✓ La puissance totale produite par 75 panneaux est : 36249 KWh/an ,ainsi que le gain (sur 25 ans) net est :**753 309** DH.
- ✓ La puissance totale produite par 150 panneaux est : 72498 KWh /an ,ainsi que le (sur 25 ans) gain net est : **1 546 618** DH.

En comparant les résultats du gain net en DH sur 25 ans ceux obtenus avec l'irradiation minimale et l'irradiation mensuelle, on peut dire qu'avec l'irradiation mensuelle le gain sera 4 fois plus important.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu que l'utilisation des systèmes photovoltaïques donne un gain très important, donc on peut dire que les systèmes PV peuvent jouer un rôle très important en apportant une solution réellement économique pour couvrir les besoins de base en électricité.

Conclusion Générale

Dans le but de diminuer le coût des factures et de production d'énergie électrique par voie photovoltaïque, plusieurs études et travaux sont menés autour du dimensionnement des systèmes PV. Dans notre travail, l'étude qu'on a réalisée était dirigée dans ce sens.

Dans un premier temps, nous avons donné un aperçu général sur l'énergie solaire et ses caractéristiques, l'énergie photovoltaïque ainsi que les différents types de systèmes photovoltaïques existants. La définition et le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque, son rendement, les différents types de cellules disponibles.

Dans un deuxième temps, nous avons abordé l'analyse du profil de consommation annuelle de l'énergie électrique des factures de type moyenne tension général, de définir quelques notions de base dans la facture, maitriser les facteurs énergétiques et par la suite diminuer les coûts et éviter les pénalités sur le dépassement de la puissance souscrite, en faisant des simulations numériques pour pouvoir définir les valeurs optimales des pics de consommations.

Dans un troisième temps , nous avons fait une étude pour dimensionner une installation photovoltaïque connectée au réseau située dans la FST de Fès. Nous avons détaillé la méthode du dimensionnement du système PV, et par la suite on a vu comment utilise cette installation pour réduire les factures d'électricité de la FST de Fès .

Références

[1] : http://www.solarserver.de/gclid=CJWA1ruS-K4CFS4NtAodSzY7xw.

[2] : "BOUALEM DENDIB" Technique conventionnelle et avancée de poursuite MPPT pour des applications photovoltaïques : étude comparative." Université Ferhat Abbes-Sétif mémoire de magister, Département d'électronique TS4/6338,2007.

[3] :S. NAOUAL, "modélisation et extraction automatique des Paramètres d'un générateur," université Ferhat abbas de sétif mémoire de magister, département d'électrotechnique, 2010.

[4] : baroud kendo li, « état de l'art et modélisation des microcentrales », magister en électrotechnique de l'université mentouri de constantine 2007.

[5] : Olivier Gergaud**, «** Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », Thèse de doctorat en Électrotechnique de l'École Normale Supérieure de Cachan, 2002.

[6]: Belhadj Mohammed, « Modélisation d'un Système de captage photovoltaïque autonome », Mémoire de Magister en Microélectronique –Photovoltaïque, centre universitaire de Bechar, 2008.

[7]: http://www.scribd.com/doc/46661921/Les-energies-renouvelables,

[8]: B .Flèche, D. Delagnes, « énergie solaire photovoltaïque », STI ELT, juin 2007, énergie solaire photovoltaique.pdf, consulté janv. 2014.

[9]: Touil Nacer Eddine,Slimane Ghenbazi , « Modélisation et simulation d'un Système photovoltaïque », Mémoire de Magister Academique –Photovoltaïque, Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued, 2015.

[10]: Moustahsine Smail, «Étude comparative de panneaux Solaire photovoltaïques a Ifran», Mémoire de PFE licence – Université Sidi mohamed ben Abdellah ,FST Fès, 2015 .

[11]: Dchiyech Asmae, «L'optimisation de la consommation d'énergie électrique au sein du centre hospitalier universitaire HASSAN II de Fès», Mémoire de PFE – Université Sidi mohamed ben Abdellah ,FST Fès, 2015.

[12]:http://www.memoireonline.com/05/12/5865/m_Etude-et-dimensionnement-dun-systeme-photovoltaque-autonome-pour-une-alimentation-permanente1.html

[13]:http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-autonome-1/calculer-section-cable.php