

*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*

*Département de Génie Industriel*

*LST de Génie Industriel*

## **Projet de Fin d'Etudes**

Dimensionnement d'une installation  
photovoltaïque

**Lieu : Société MTCM**  
**Référence : 10/19GI**

**Préparé par :**

**-Ouassima Zdih**

**Soutenu le 12 Juin 2019 devant le jury composé de :**

- Pr. Driss Tahri (Encadrant FST)
- Pr. Ikram Tajri (Examinatrice)
- Pr. Bouchra Rzine (Examinatrice)
- Mme. Hanae Jabri (Encadrante Société)

# Remerciement

## Remerciement

Le présent mémoire est le fruit de travail réalisé dans le cadre de mon stage de fin d'études. Ce stage a été fait dans le domaine de confection.

Mes remerciements vont, tous d'abord, à monsieur le directeur de MTCM Monsieur Dairi Madani. Aussi, je tiens à remercier l'ensemble de personnel qui m'a facilité les échanges et les conditions de travail durant ce stage, plus particulièrement, Madame Hanae Jabri qui m'a encadrée durant la période du stage.

J'exprime aussi mon profond respect et mes remerciements chaleureux à tous ce qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrent Monsieur Driss Tahri, professeur à la Faculté de Sciences et Techniques, pour son orientation et ses conseils.

Pour conclure, je remercie tous les membres du jury qui on bien voulu examiner ce travail.

# Dedicace

Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté

A mes chers parents, source de tendresse, de noblesse et d'affection. Puisse cette étape constituer pour vous un motif de satisfaction.

A mes frères et ma sœur, en témoignage de la fraternité, avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès.

Et à tous les membres de ma famille.

A tous mes amis, tous mes professeurs

Et à tout qui compulse ce modeste travail.

Ouassima ZDIH

# Sommaire

## Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviation utilisé

Introduction générale.....1

### Chapitre 1 : présentation de l'entreprise

1. Présentation de l'entreprise MTCM.....	3
1.1. Fiche technique de MTCM.....	3
1.2. Organigramme de fonction.....	3
1.3. Activité du MTCM.....	5
1.4. Problématique.....	5

### Chapitre 2 : système photovoltaïque

1. Système photovoltaïque.....	7
1.1. Définition.....	7
1.2. Type de Système photovoltaïque.....	7
1.3. Composants du système photovoltaïque autonome.....	7
1.4. Composants du système photovoltaïque raccordé au réseau.....	8
1.5. Technologie des modules photovoltaïque.....	8
1.6. Maintenance et entretien d'installation photovoltaïque.....	10

### Chapitre 3 : dimensionnement d'une installation photovoltaïque

1. Dimensionnement d'une installation photovoltaïque.....	12
1.1. Introduction.....	12
1.1.1. Dimensionnement d'une installation photovoltaïque raccordé au réseau.....	12
1.1.1.1. Détermination un besoin énergétique .....	12
1.1.1.2. Etude de l'inclinaison et de l'orientation des panneaux.....	13
1.1.1.3. Dimensionnement des modules photovoltaïque.....	15
1.1.1.4. Dimensionnement de l'onduleur.....	17
1.1.1.5. Dimensionnement de câble.....	22
1.1.2. Le rendement global de l'installation photovoltaïque.....	23
2.1. Rendement standard du module photovoltaïque.....	24

2.2.Rendement réel dû module photovoltaïque.....	24
2.3.Perte de rendement dû au mode d'intégration.....	24
2.4.Perte de rendement dû à l'échauffement des câbles.....	25
2.5.Perte de rendement dû à l'onduleur.....	25
2.6.Perte de rendement dû au suivi du MPP.....	25
2.7.Rendement global.....	26

#### Chapitre 4 : Etude économique de l'installation photovoltaïque

1. Le coût de l'installation photovoltaïque.....	28
2. Détermination du temps de retour sur investissement.....	28
Conclusion.....	30
Annexe.....	31
Bibliographie.....	33

# Liste des figures

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> organigramme de l'entreprise.....	4
<b>Figure 2 :</b> Composants d'une installation PV autonome.....	8
<b>Figure 3 :</b> Composants d'une installation PV raccordé au réseau.....	8
<b>Figure 4 :</b> Calcul de l'inclinaison par PVGIS.....	14
<b>Figure 5 :</b> Résultat de calcul de l'inclinaison dans PVGIS.....	15
<b>Figure 6:</b> Courbes caractéristiques d'un module PV.....	18
<b>Figure 7 :</b> Illustration de la plage de tension MPP.....	19
<b>Figure 8:</b> modélisation d'un câble.....	22

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Fiche technique de l'entreprise.....	3
<b>Tableau 2</b> : Comparaisons des trois principales technologies de cellule.....	9
<b>Tableau 3</b> : Besoin énergétique de l'entreprise.....	13
<b>Tableau 4</b> : irradiation solaire de ville de Fès (quartier industriel sidi Brahim) (source :PVGIS).....	15
<b>Tableau 5</b> : Tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête....	16
<b>Tableau 6</b> : le ratio de performance d'un générateur .....	24
<b>Tableau 7</b> : le ratio de performance en fonction du type d'intégration.....	25
<b>Tableau 8</b> : le coût de l'installation PV .....	28

# Abréviation utilisé

**MTCM** : Mediterranean Trading Company of Morocco.

**S.A.R.L**: Société à responsabilité limitée.

**PV** : Photovoltaïque.

**Pb** : Plomb-acide.

**Nicd** : Nickel-cadmium

**Kwc** : Kilowatt-crête.

**AC** : Courant alternatif (alternative current).

**DC** : Courant continu (direct current).

**MPPT** : Maximum power point tracking.

**MPP** : Point de puissance maximale.

**TRI** : Temps de retour sur investissement.

# Introduction

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Une nette tendance à la réorientation vers les énergies renouvelables est constatée depuis la fin de XX<sup>ème</sup> siècle, en réponse à un début de raréfaction du pétrole et à la dangerosité du nucléaire. Par conséquent le coût de l'énergie et de plus en plus élevé dans les pays comme le Maroc qui souffre d'un manque de ressources fossiles.

MTCM m'a proposé le problème de la hausse des factures d'électricité, dues aux présences des équipements électriques à grande puissance. Mon travail consiste donc à faire une étude de conception d'un système d'énergie solaire, afin de réduire la consommation dans l'usine.

La diminution du coût des systèmes PV passe nécessairement par le choix d'une technologie adéquate aux besoins de l'utilisateur. Lorsqu'on s'équipe en énergie renouvelable, il est important de respecter certain nombre d'étapes. Ces dernières permettront, grâce à des calculs simples, de dimensionner l'installation. Cette dernière nécessite plusieurs étapes, dont la première est d'estimer la consommation d'électricité et de déterminer à quel moment on a besoin. Puis on calcul le coût de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique. Avec ces données, il sera possible de connaître le nombre des modules PV nécessaires, ainsi que l'onduleur le mieux adapté, et en fin le câblage adéquat.

Dans mon travail, j'ai effectué le dimensionnement d'un système PV, connecté au réseau de distribution public. Pour mener bien ce travail, mon rapport comporte quatre chapitres :

Le premier sera consacré à la présentation du MTCM, le deuxième est dédié à la présentation des systèmes PV, le troisième décrira la procédure de dimensionnement du système photovoltaïque raccordé au réseau, le dernier présentera l'étude économique de l'installation.



*Chapitre 1 :*  
*Présentation de*  
*l'entreprise*

**1. Présentation de l'entreprise :**  
**1.1.Fiche technique de MTCM :**

La société MTCM a été fondée en 1987 par Mr. Mohamed Dairi. L'activité de cette entreprise est consacrée à la confection. Le tableau 1 présente les diverses activités ainsi que les caractéristiques principales de l'entreprise.

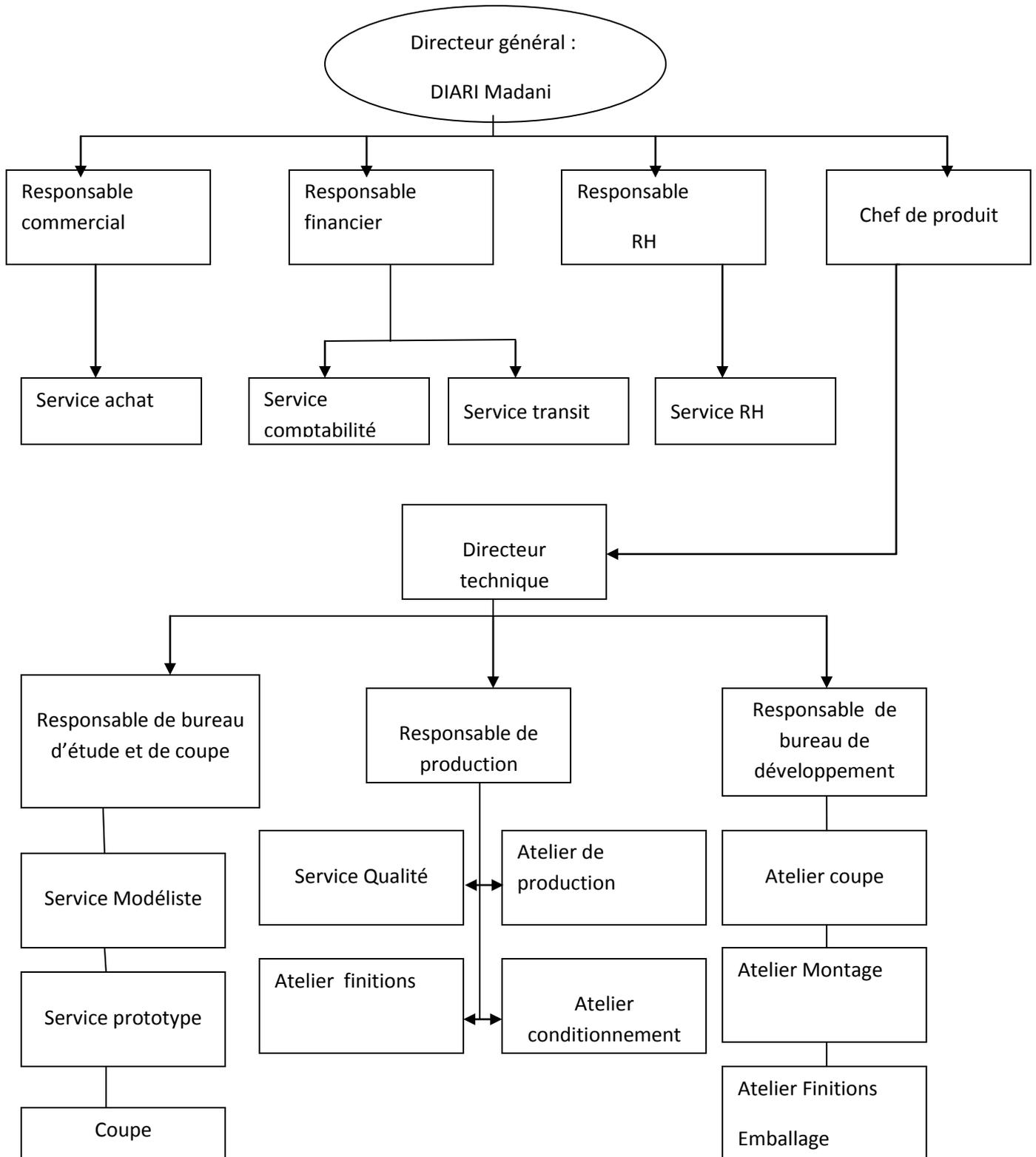


<b>Raison sociale</b>	<b>M.T.C.M (Mediterranean Trading Company of Morocco)</b>
<b>Forme juridique</b>	<b>S.A.R.L</b>
<b>Date de création</b>	<b>1987</b>
<b>Directeur générale</b>	<b>MOHAMMED DAIRI</b>
<b>Capital social</b>	<b>2 000 000 Dh</b>
<b>Adresse</b>	<b>10 RUE AL FARABI QI SIDI BRAHIM FES</b>
<b>Activités</b>	<b>Le prêt-à-porter féminin</b>  <b>Maroquinerie en cuir (ceintures et sacs artisanaux pour hommes et femmes)</b>  <b>Artisanat marocain : (Poufs, Babouches,...)</b>
<b>Principaux clients</b>	<b>France/Espagne/ANGLETERRE/Portugal/Italie /USA</b>
<b>Effectifs</b>	<b>360</b>
<b>Capacité de production/MOIS</b>	<b>chaîne et trame : 40000PCS MAILLE : 80000PCS</b>
<b>Zone d'exportation</b>	<b>Europe et USA</b>

**Tableau 1 : fiche technique de l'entreprise.**

## 1.2.Organigramme de fonction:

L'organigramme de fonction de l'entreprise MTCM est représenté comme suit :



**Figure 1** : organigramme de l'entreprise

### 1.3. Activité du MTCM :

Compte tenu de sa vocation, l'activité de la société MTCM reste étroitement liée à la confection.

Elle a pour objet de pratiquer les opérations d'export et d'import en fabricant tous les vêtements par exemple : chemises, pantalons, tee shirt....

En effet, c'est une Société sous-traitante et presque toutes ses transactions sont traitées sous le régime économique douanier (admission temporaire).

En plus, son marché est un peu large puisqu'elle traite seulement avec l'union européenne précisément avec des pays d'Europe (principalement la France) et USA.

Ainsi, elle partage le travail avec des autres sociétés sous-traitantes locales ou bien elle peut également céder les admissions temporaires.

Les moyens financiers de la société se concentrent sur la gestion portefeuille auprès de nombreuses sociétés (de crédits et de financement, immobilier...) la société MTCM figure aujourd'hui parmi les grandes sociétés dans le secteur de confection.

### 1.4. Problématique :

MTCM a le problème de la hausse des factures d'électricité qui vont jusqu'à 60000 DH, dues aux présences des équipements électriques à grande puissance comme presse thermo de puissance 3600 W, table à repassage de puissance 1600 W.... En plus de ça le nombre des machines vont jusqu'à 1196 machines, et donc mon travail consiste à faire une étude de conception d'un système d'énergie solaire, afin de réduire la consommation dans l'usine.

*Chapitre 2 :*

*Système  
photovoltaïque*

## 1. Système photovoltaïque.

### 1.1. Définition :

Le terme « photovoltaïque » peut désigner le phénomène physique (l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839) ou la technique associée. L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. Elle est dite renouvelable, car sa source (le soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. En fin de vie, le panneau photovoltaïque aura produit 20 à 40 fois l'énergie nécessaire à sa fabrication et à son recyclage.

La cellule photovoltaïque est le composant électronique de base du système. Elle utilise l'effet photoélectrique pour convertir en électricité les ondes électromagnétiques (rayonnement) émises par le soleil. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module solaire photovoltaïque et ces modules regroupés entre eux forment une installation solaire.

Une cellule photovoltaïque ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3W avec une tension de moins d'un volt.

Les cellules sont en général montées en série (la borne positive d'une cellule est reliée à la borne négative de la cellule suivante) pour former un module photovoltaïque. On obtient ainsi une tension plus élevée (en général 12 ou 24V).

### 1.2. Types de système photovoltaïque :

Nous distinguons principalement deux types de systèmes photovoltaïques :

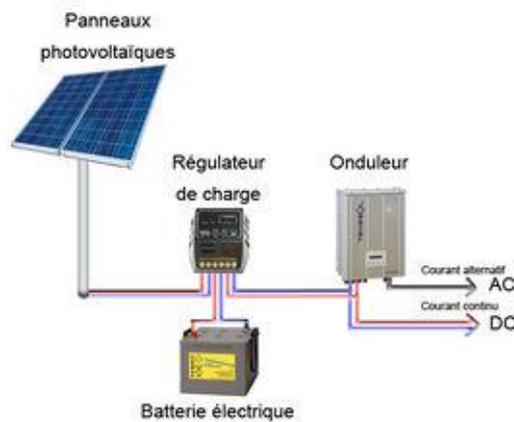
- Système photovoltaïque autonome : Le principe de ce type d'installations consiste à charger des batteries qui pourront stocker le surplus de la production électrique pour pouvoir le restituer.
- Système connecté au réseau de distribution électrique : Cette approche permet de produire l'électricité pour la consommer sur place et d'acheminer l'excédent d'énergie vers le réseau. Lorsqu'il y a déficit ou pendant les moments défavorables, le réseau alimente le site, ce qui élimine la nécessité d'utiliser des batteries, qui nécessitent un grand investissement financier et qui ont une durée de vie très limitée.

### 1.3. Composants du système photovoltaïque autonome :

Un système PV autonome est constitué des éléments suivants :

- Modules et panneaux : Les modules sont obtenus par l'assemblage des cellules afin de générer une puissance exploitable lors de l'exposition à la lumière puisque une cellule élémentaire ne génère qu'une tension allant de 0,5 à 1,5 Volt. Il faut donc plusieurs cellules pour générer une tension utilisable.

- Batterie de stockage : Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques autonomes est assuré par des batteries. Les batteries les plus utilisées pour des générateurs autonomes sont en générale de type au plomb-acide (Pb). Celles de type au nickel-cadmium (NiCd) sont parfois préférées pour les petites applications.
- Régulateur : Le régulateur est l'élément central d'un système photovoltaïque autonome car il permet de contrôler les flux d'énergie et de protéger la batterie contre les surcharges et décharges profondes dues à l'utilisation.
- Onduleur : Les onduleurs sont des appareils servant à convertir une tension et un courant continus en une tension et un courant alternatifs.

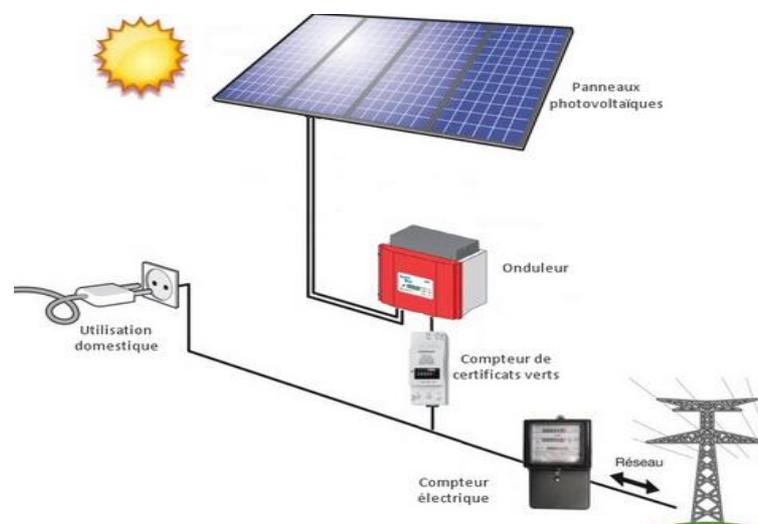


**Figure 2 :** Composants d'une installation PV autonome.

#### 1.4. Les composants du système PV raccordé au réseau :

Les principaux composants d'une installation PV raccordé au réseau sont :

- Les modules PV, composés de cellules PV principalement en silicium (semi-conducteur).
- un onduleur solaire, adapté aux spécificités de cette énergie.



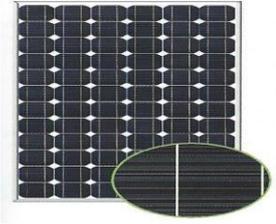
**Figure 3 :** Composants d'une installation PV raccordé au réseau.

### 1.5. Technologie des modules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules solaires. Chaque type est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules, à savoir : monocristallin, poly-cristallin (ou multi-cristallin), et amorphe.

- cellule en silicium monocristallin : ces cellules offrent le meilleur rendement parmi les panneaux solaires disponibles dans le commerce : entre 13% à 15%. Il faudra donc moins de cellules pour atteindre la puissance désirée, mais comme le silicium monocristallin est aussi le plus cher son seul avantage est finalement d'utiliser une surface réduite : il faut environ  $7\text{m}^2$  pour obtenir 1 kilowatt-crête (KWc).
- Cellule en silicium poly-cristallin : ces cellules ont en général un rendement compris entre 12% et 14%. Il faut environ  $8\text{m}^2$  de cellules pour obtenir 1 KWc. Ces cellules sont plus simples à fabriquer et moins chères que les cellules au silicium monocristallin. Les cellules poly cristallin sont reconnaissables aux formes irrégulières des cristaux qui apparaissent nettement à l'œil
- Cellule en silicium amorphe : ces cellules sont à couche mince, c'est-à-dire qu'elles sont fabriquées en déposant une fine couche de silicium sur un support (ou « substrat »), par exemple du verre. L'épaisseur de silicium utilisée est beaucoup plus faible que pour les cellules mono ou poly cristallines qui sont réalisées à partir de tranches silicium.

Comparaison des trois principales technologies de cellule :

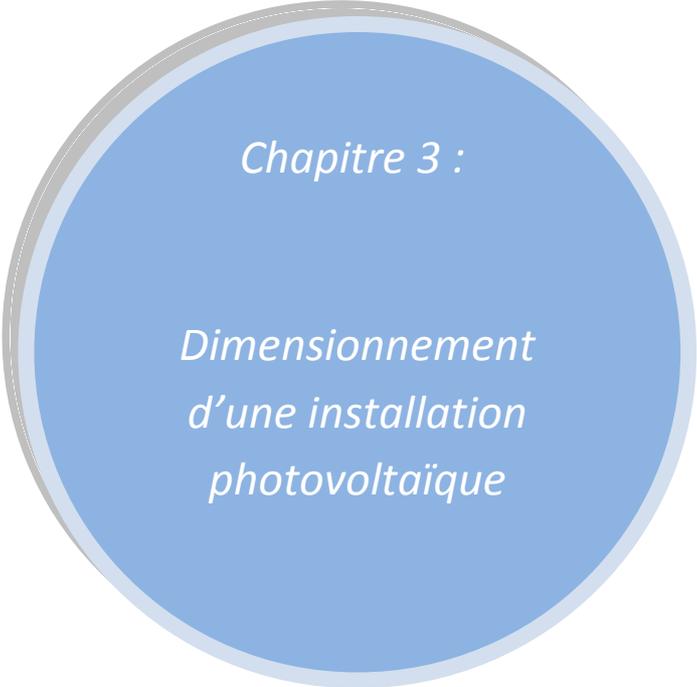
Technologie	Monocristallin	Poly-cristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	<p>Très bon rendement : 14 à 20%.</p> <p>Duré de vie : importante (30ans).</p> <p>Coût de fabrication : élevé.</p> <p>Rendement faible sous un faible éclairement.</p> <p>Perte de rendement avec l'élévation de la température.</p> <p>Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal.</p> <p>Couleur bleue uniforme.</p>	<p>Bon rendement : 11 à 15%.</p> <p>Duré de vie : importante (30ans).</p> <p>Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins.</p> <p>Rendement faible sous un faible éclairement.</p> <p>Perte de rendement avec l'élévation de la température.</p> <p>Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux.</p> <p>Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux.</p>	<p>Rendement faible : 5 à 9%.</p> <p>Duré de vie : assez importante (20ans).</p> <p>Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies.</p> <p>Fonctionnement correct avec un éclairement faible.</p> <p>Peu sensible aux températures élevées.</p> <p>Utilisables en panneaux souples.</p> <p>Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation.</p>
Part de marché	43%	47%	10%

**Tableau 2 :** comparaisons des trois principales technologies de cellule

## 1.6.Maintenance d'une installation PV.

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

- Un changement de l'onduleur est nécessaire tous les dix ans.
- Le nettoyage des modules est à faire éventuellement tous les trois ans.
- Une vérification périodique simple du matériel est à effectuer.
- Une assistance technique rapide en cas de problème majeur doit être prévue.



*Chapitre 3 :*

*Dimensionnement  
d'une installation  
photovoltaïque*

## 1 .Dimensionnement d'un système photovoltaïque :

### 1.1.Introduction :

On désigne par un dimensionnement la fixation de la taille, des caractéristiques optimales de chaque constituant d'un système dont on connaît la configuration. La conception d'un système photovoltaïque est le résultat d'une optimisation réalisée par itération car le dimensionnement est un processus relativement complexe vu le nombre considérable des paramètres à prendre en considération. Le dimensionnement se fait en passant par les étapes suivantes :

- Détermination des besoins de l'utilisateur ;
- Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique ;
- Détermination des modules photovoltaïques ;
- Définition de la capacité des batteries et choix de la technologie,
- Dimensionnement et choix du régulateur ;
- Dimensionnement de l'onduleur.

Dans le cadre de mon stage on va procéder à un dimensionnement suivant le type d'installation PV raccordé au réseau.

### 1.2.Dimensionnement d'une installation photovoltaïque raccordé au réseau :

Une installation photovoltaïque raccordée au réseau est une installation qui produit de l'électricité grâce au soleil et pour laquelle tout ou partie de l'électricité produite est injectée sur le réseau électrique. Elle est constituée essentiellement de modules photovoltaïques et des onduleurs.

Dans le cas du raccordement du réseau, notre installation sera composée de panneaux solaires photovoltaïques et d'onduleurs. De ce fait nous procédons au dimensionnement d'une manière un peu plus concrète que celle du système autonome.

#### 1.2.1. Détermination un besoin énergétique :

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

L'énergie est le produit de la puissance par le temps :

$$E_i = P_i * t_i$$

Avec :

$E_i$  : L'énergie journalière consommée d'un équipement (Wh/j).

Pi : La puissance de cet équipement (W).

ti : La durée d'utilisation de chaque équipement (h)

Cette relation permet de calculer le besoin journalier en énergie d'une application qui est le produit de la puissance consommée par le temps d'utilisation par jour.

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

$$E = \sum_i E_i$$

Le tableau 3 donne une estimation de la consommation détaillé pour l'entreprise :

Equipement	Nombre	Puissance(W)	Nombre d'heurs par jours(h)	Besoin énergétique E <sub>b</sub> (Kwh/j)
Machine coudre DC	à 212	500	4	424
Machine coudre AC	à 68	500	8	272
Table repassage DC	à 44	1600	4	281.6
Table repassage AC	à 21	1600	8	268.8
Presse thermo plissé	1	3600	8	28.8
TIP TOP	2	1000	2	4
Lampe	5	500	8	20
climatiseur	500	12	8	48
scie	5	1000	5	25
biais	2	800	4	6.4
Imprimante grande	1	800	4	3.2
Imprimante petite	3	700	3	6.3
ordinateur	10	300	3	9
total	25	500	8	100
				1497.1

**Tableau 3 :** Besoin énergétique de l'entreprise.

### 1.2.2. Etude de l'inclinaison et de l'orientation des panneaux.

La position d'un panneau est en fait :

- Son orientation ou bien l'azimut, c'est-à-dire l'angle qu'il fera avec l'axe nord-sud dans le plan horizontal.
- Son inclinaison, c'est-à-dire l'angle qu'il fera avec le plan horizontal.

- Pour l'orientation :

La position du soleil évolue au cours de la journée (et des saisons). Le matin à l'Est, au zénith en milieu de journée et à l'Ouest le soir. Mais il faut également considérer ici que l'axe de la terre n'est pas vertical.

Par conséquent :

- Si vous êtes dans l'hémisphère sud, il vous faudra orienter vos panneaux solaires vers le nord pour une installation totalement rentable.
- Si vous êtes dans l'hémisphère nord, une orientation plein sud de vos panneaux photovoltaïques vous permettra de capter un maximum d'énergie solaire.

- Pour l'inclinaison :

L'inclinaison optimale généralement décidée d'un panneau solaire est donc fixe. On la choisit de manière à favoriser la production énergétique du mois le moins ensoleillé de la période envisagée d'exploitation, face au sud dans l'hémisphère nord.

En se basant sur la situation géographique du site et également en consultant le site web du PVGIS, pour trouver l'inclinaison optimale.

Figure 4 : Calcul de l'inclinaison par PVGIS.

En clique sur calculer et il me donne le résultat suivant :

Système fixe: inclinaison=32 deg., orientation=0 deg. (Optimal à l'orientation donnée)				
Mois	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	805.00	25000	4.84	150
Fev	914.00	25600	5.50	154
Mar	1010.00	31400	6.36	197
Avr	998.00	29900	6.30	189
Mai	974.00	30200	6.28	195
Juin	1050.00	31500	6.83	205
Jui	1070.00	33200	7.08	220
Aug	1060.00	32700	7.03	218
Sep	983.00	29500	6.38	191
Oct	946.00	29300	6.02	187
Nov	804.00	24100	4.92	148
Dec	762.00	23600	4.62	143
Année	948.00	28800	6.02	183
Total pour l'année		346000		2200

Ed: Production d'électricité journalière moyenne par le système défini (kWh)

Em: Production d'électricité mensuelle moyenne par le système défini (kWh)

Hd: Moyenne journalière de la somme de l'irradiation globale par m<sup>2</sup> reçue par les modules du système défini (kWh/m<sup>2</sup>)

Hm: Somme moyenne de l'irradiation globale par m<sup>2</sup> reçue par les modules du système défini (kWh/m<sup>2</sup>)

Figure 5 : Résultat de calcul de l'inclinaison dans PVGIS.

Donc on oriente notre panneau vers le sud pour une inclinaison de 32°.

### 1.2.3. Dimensionnement des modules photovoltaïque.

- **Calcul de la puissance crête du système :**

Les installations photovoltaïques sont classées en fonction de la puissance crête donnée en WC, cette puissance représente la puissance maximale qui peut être fournie par la central dans des conditions standards d'ensoleillements .Les conditions standards d'ensoleillements sont définies par une irradiante de  $1000 \text{ W.m}^{-2}$  et une température de  $20^{\circ}\text{C}$ .

On calcul cette puissance de façon à satisfaire les besoins pendant la période la plus défavorable en utilisant la formule suivante :

$$Pc = \frac{Eb}{Ir * K}$$

*Eb*: L'énergie dont on a besoin (Wh/j).

*Ir*: Irradiation solaire du mois le plus défavorable ( $\text{Kwh/m}^2$ .jour).

*K*: Facteur de correction prenant en compte les divers rendements, a pour valeur moyen 0.75 (sans unité).

Le mois le plus défavorable à Fès est Décembre ; le jour typique de ce mois a une irradiation globale  $Ir=4.62$

Mois	jan	fév	mar	avr	Mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	déc
Irradiation solaire ( $\text{Kwh/m}^2/\text{jour}$ )	4.84	5.5	6.36	6.3	6.28	6.83	7.08	7.03	6.38	6.02	4.92	4.62

**Tableau 4 :** irradiation solaire de ville de Fès (quartier industriel sidi Brahim)  
(source :PVGIS)

Donc :

$$Pc = \frac{1497.1}{4.63 * 0.75}$$

$$Pc = 431.13 \text{ Kwc.}$$

- **Tension du champ photovoltaïque :**

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

Le tableau montre les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête.

Puissance crête	< 500Wc	500Wc – 2 kWc	> 2 kWc
Tension du système	12 VDC	24 VDC	48 VDC

**Tableau 5 :** Tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête.

- **Détermination de nombre de panneaux solaires :**

A partir de la puissance crête des panneaux polycristalin 290Wc (voir Annexe 1), nous déterminons le nombre des panneaux solaire nécessaire à l'installation.

Nous appliquons la formule suivante :

$$Np = \frac{Pc}{Ppv}$$

A.N :

$$Np = \frac{431130}{290}$$

$$Np = 1486$$

- Calcul de la surface A de toit disponible :

$$A = 50 * 30$$

$$A = 1500m^2$$

- Surface totale S du champ PV :

Dimension d'un module :

Longueur : 1956mm.

Largeur : 992mm.

Donc :  $S = 1.956 * 0.992$

$$S = 1.94m^2$$

La surface totale du champ PV :

$$St = 1.94 * 1486$$

$$St = 2882.84m^2$$

La surface totale du champ PV est supérieur à la surface du toit disponible, donc on utilise juste 50% de consommation.

$$\text{Alors } Eb = \frac{1497.1 \cdot 50}{100}$$

$$Eb = 748.55 \text{Kwh/j}$$

$$\text{La nouvelle puissance crête est : } Pc = \frac{748.55}{4.63 \cdot 0.75}$$

$$Pc = 215.56 \text{Kwc}$$

Le nombre de panneaux :

$$Np = \frac{215560}{290}$$

$$Np = 743.31 \approx 744 \text{ Panneaux}$$

Surface totale du champ PV :

$$St = 1.94 * 744$$

$$St = 1443.36 \text{m}^2$$

Alors la surface totale du champ est inférieure à la surface du toit disponible.

#### 1.2.4. Dimensionnement d'un onduleur :

Le dimensionnement des onduleurs repose sur trois critiques :

- compatibilité en tension.
- compatibilité en courant.
- Compatibilité en puissance.

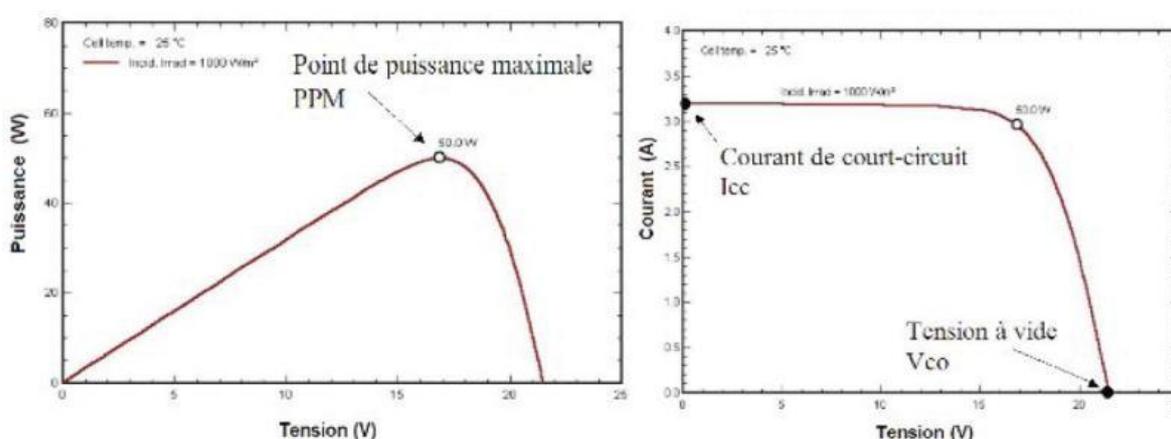
- Compatibilité en tension :  
Tension maximal admissible

Un onduleur est caractérisé par une tension d'entrée maximale admissible  $U_{max}$ . Si la tension délivrée par les modules est supérieur à  $U_{max}$ , l'onduleur risque d'être endommagé. Cette valeur maximale apparait sur la fiche technique de l'onduleur. Le nombre des modules photovoltaïque à mettre en série peut être déterminé par cette tension maximale et dépend aussi de la tension des modules photovoltaïque.

### Plage de tension MPPT :

Le dimensionnement implique d'assurer un fonctionnement en toute sécurité de l'onduleur mais aussi la recherche du point optimal de puissance pour garantir le meilleur rendement de l'installation.

La courbe caractéristique d'un module PV représentée ci-dessous permet de comprendre la nécessité du bon dimensionnement d'un onduleur.



**Figure 6 :** Courbe caractéristiques d'un module PV

Notons sur la courbe caractéristique d'un module PV deux points supplémentaires importants :

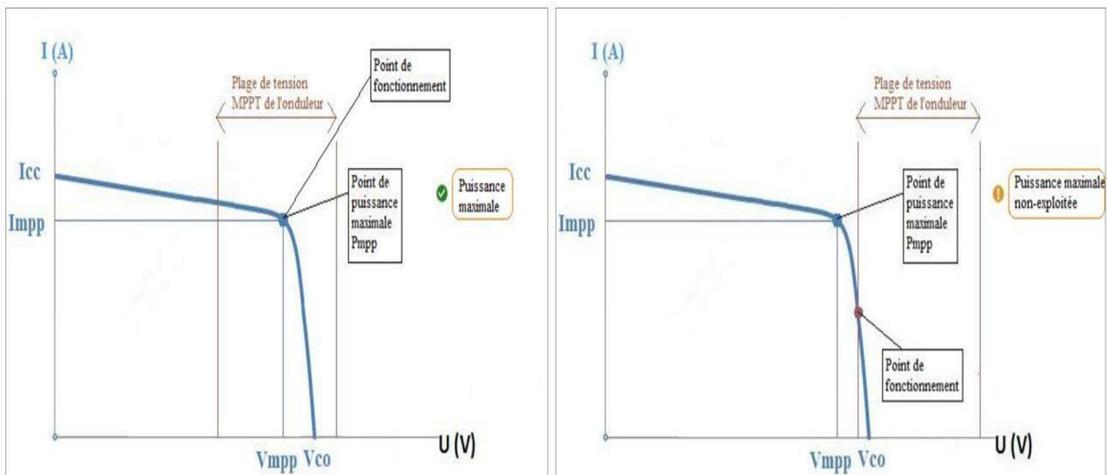
- Le point d'intersection avec l'axe horizontal noté  $U_{co}$ , la tension en circuit ouvert
- Le point d'intersection avec l'axe vertical noté  $I_{cc}$ , le courant de court-circuit

Le meilleur point de fonctionnement d'un système PV correspond au point de la courbe où la puissance, produit de la tension et du courant, est maximale (en anglais MPP ou *Maximum Power Point*). On note  $U_{MPP}$  la tension et  $I_{MPP}$  le courant en ce point. La puissance en ce point  $P_{MPP}$  est donnée par le fabricant.

Pour cela, les onduleurs utilisés pour le photovoltaïque disposent d'une unité de régulation, constituée d'un ou plusieurs *MPP Trackers* (MPPT), qui assure un fonctionnement du générateur PV au point de rendement optimal. Concrètement, le MPPT est une unité d'électronique de puissance intégrée à l'onduleur et placée en amont du convertisseur DC/AC. Certains onduleurs disposent d'un seul *tracker* (onduleurs *mono-tracker*), et d'autres en sont dotés de plusieurs (onduleurs *multi-trackers*).

La méthode est basée sur la régulation instantanée du courant et de la tension de façon à exploiter le générateur PV sur son point de puissance maximal. En effet, dans la mesure où le MPP dépend de la température et de l'intensité du rayonnement, il doit être recalculé en permanence.

Cependant, le système MPPT ne fonctionne que pour une plage de tension d'entrée d'onduleur définie par le fabricant. Ainsi, la courbe suivante permet de comprendre facilement que si la tension d'entrée de l'onduleur est inférieure à la tension minimale MPPT alors l'onduleur fournit au réseau la puissance correspondante à la tension minimale MPPT cela induit une perte de puissance du groupe PV.



**Figure 7 :** Illustration de la plage de tension MPP

Il faut s'assurer que la tension délivrée par le groupe PV est comprise dans la plage de tension MPPT de l'onduleur. Si ce n'est pas le cas, l'installation risque une perte de puissance.

Cette plage de tension MPPT va donc également avoir un impact sur le nombre de modules PV en série. En effet, quelque soit la température des modules, l'idéal est d'obtenir une tension délivrée par le groupe PV comprise dans la plage MPPT.

Ainsi, pour calculer le nombre de modules en série nécessaires, les deux critères suivants doivent être respectés :

- La tension MPP délivrée par la chaîne PV, à une température des modules de  $-20^{\circ}\text{C}$  et sous une irradiation de  $1000\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , doit être inférieure à la valeur maximale de la plage de tension MPPT de l'onduleur. Cette condition permet la détermination du nombre maximum de modules PV en série.
- La tension MPP délivrée par la chaîne PV, à une température des modules de  $70^{\circ}\text{C}$  et sous une irradiation de  $1000\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , doit être supérieure à la valeur minimale de la plage de tension MPPT de l'onduleur. Cette condition permet la détermination du nombre minimum de modules PV en série.

Pour calculer ces deux nombres min et max (modules en séries), nous nous sommes basés sur les formules suivantes :

$$\text{Nombre minimale de modules en série} = E + \left[ \frac{U_{mppt,min}}{U_{mpp} * 0.85} \right].$$

$$\text{Nombre maximale de modules en série} = E - \left[ \frac{U_{mppt,max}}{U_{mpp} * 1.15} \right].$$

A.N :

$$\text{Nombre minimale de modules en série} = E + \left[ \frac{420}{35.75 * 0.85} \right] = 14$$

$$\text{Nombre maximale de modules en série} = E - \left[ \frac{800}{35.75 * 1.15} \right] = 19$$

Avec :

- $E+[X]$  : la partie entière inférieure du nombre X.
- $E-[X]$  : la partie entière supérieure du nombre X.
- $U_{mppt,min}$  : la valeur minimale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.
- $U_{mppt,max}$  : la valeur maximale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.
- $U_{mpp}$  : la tension de puissance maximale du module.
- Le coefficient 0.85 est un coefficient de minoration permettant de calculer la tension MPP à 70°.
- 1.15 : un coefficient de sécurité impose par la norme UTE C15-712.

- Compatibilité en courant :

Un onduleur est caractérisé par un courant maximal admissible en entrée. Ce courant d'entrée limite correspond au courant maximal que peut supporter l'onduleur côté DC.

Ainsi, lorsque le courant d'entrée de l'onduleur côté DC est supérieur au courant maximal admissible par l'onduleur celui-ci continue de fonctionner mais fournit au réseau la puissance correspondante à son courant maximal.

Le courant débité par le groupe PV ne devra pas dépasser la valeur du courant maximal admissible  $I_{max}$  par l'onduleur. Lors du dimensionnement, le courant délivré par la chaîne PV est égal au courant de court-circuit des modules PV, noté  $I_{cc}$  et indiqué sur la fiche technique des modules PV. La valeur de  $I_{max}$  va déterminer le nombre maximum de chaîne PV en parallèle. Cela dépendra évidemment du courant délivré par une chaîne PV.

Le nombre maximum de chaînes PV en parallèle se calcule par la formule simple suivante :

$$\text{Nombre maximale de chaînes en parallèles} = E - \left[ \frac{I_{max}}{I_{mpp}} \right].$$

A.N :

$$\text{Nombre maximale de chaînes en parallèles} = E - \left[ \frac{75}{8.12} \right] = 9$$

Avec :

- $E-[X]$  : La partie entière inférieure du nombre X.
- $I_{max}$  : Le courant maximal admissible par l'onduleur.
- $I_{mpp}$  : Le courant de puissance maximale du module.

- Compatibilité en puissance :

Les onduleurs sont également caractérisés par une puissance maximale admissible en entrée.

Lorsque la puissance en entrée de l'onduleur est supérieure à la puissance maximale admissible par l'onduleur, il fournit au réseau sa puissance maximale. Cependant, cette puissance n'est pas la puissance maximale pouvant être délivré par les modules, car l'onduleur se règle sur un point de fonctionnement (couple tension-courant) ne correspondant pas au point de puissance maximale. Le groupe PV ne délivre alors pas toute sa puissance : il est sous-exploité par rapport à sa capacité. La puissance maximale admissible est indiquée sur la fiche technique de l'onduleur.

Il faut veiller que la puissance du groupe PV ne dépasse pas la puissance maximale admissible en entrée. Etant donné que la puissance délivrée par le groupe PV varie en fonction de la luminosité et de la température, on prendra en compte la puissance crête des

modules pour le calcul de dimensionnement. Il faudra alors s'assurer que la somme des puissances crêtes de tous les modules du groupe PV soit inférieure à la puissance maximale admissible par l'onduleur. Idéalement, la puissance délivrée par le groupe PV doit être sensiblement égale à la puissance maximale admissible de l'onduleur.

- Détermination de nombre des onduleurs :

A partir de la puissance crête de l'onduleur sunways pt 30k (voir Annexe 2), nous déterminons le nombre des onduleurs nécessaire à l'installation.

Nous appliquons la formule suivante :  $N_o = \frac{P_c}{P_o}$

A.N :  $N_o = \frac{215.56}{31} = 6.95 \approx 7$

- Calcul du nombre de module pour chaque onduleur :

$$\frac{N_p}{N_o} = \frac{744}{7} = 106$$

- ❖ Vérification de la compatibilité en puissance :

On a 106 modules de 290Wc=30740<31000 (OK)

- ❖ Vérification de la tension d'entrés :

14\*V<sub>co</sub>\*=632.8<700V (OK)

- ❖ Vérification de la plage MPP de l'onduleur :

(420V\_800V)/14= (30V\_57.14V) et on a V<sub>mpp</sub>=35.75 (OK)

- ❖ Vérification de la compatibilité en courant :

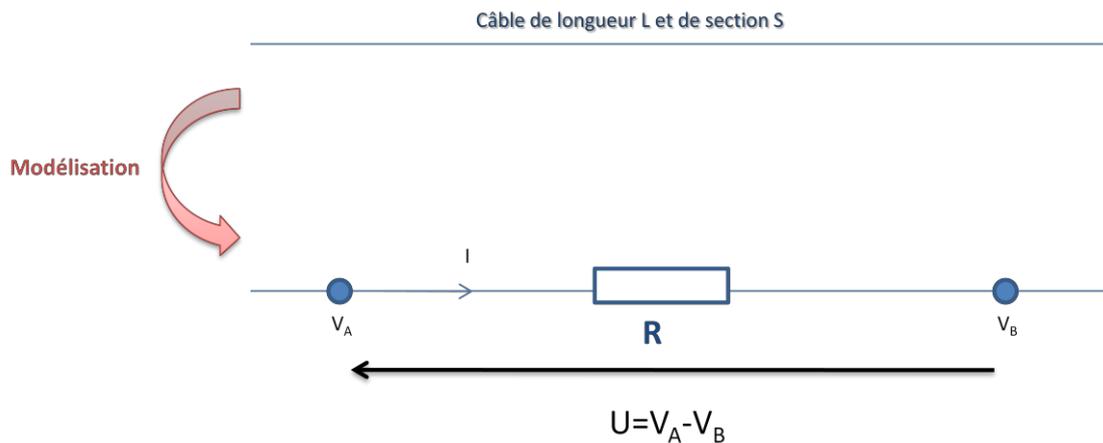
I<sub>mpp</sub>\*N<sub>c</sub>=8.12\*9=73.08A<75A (OK).

### 1.2.5. Dimensionnement des câbles :

Le choix de la section des câbles s'effectue selon les deux critères majeurs : la chute de tension admissible dans le câble et le courant admissible I<sub>z</sub> dans le câble.

- la chute de tension :

En théorie, un câble est un conducteur parfait de résistance nulle. En pratique, il n'est pas un parfait conducteur et se modélise par une résistance comme représenté sur la figure 8.



**Figure 8:** modélisation d'un câble.

La résistance  $R$  du câble va provoquer une chute de potentiel entre les deux points A et B du câble. En effet, d'après la loi d'Ohm :

$$U = V_A - V_B = R * I$$

Ainsi, si le câble était parfaitement conducteur, on aurait :  $R = 0 \Rightarrow U = 0 \Rightarrow V_A = V_B$

Or, en réalité  $R > 0$ , ce qui implique :  $V_A > V_B$  on a une chute de potentiel plus communément appelée chute de tension. Cette chute correspond physiquement à une dissipation d'énergie par effet Joule, c'est-à-dire à un échauffement du câble.

Dans une installation photovoltaïque, l'échauffement induit des pertes de puissance. Le guide de l'UTE C15-712 relatif aux installations PV indique que la chute de tension devra être inférieure à 3%, idéalement 1%.

Formule de calcul de la section du câble :

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\epsilon * V}$$

Avec :

- $S$  : section du câble ( $\text{mm}^2$ ).
- $\rho$  : résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) en service normal.  
( $\rho = 0.02314 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )
- $L$  : longueur du câble (m).
- $I$  : courant circulant dans le câble (A).

- $\varepsilon$  : chute de tension ( $\varepsilon=0.03$ ).
- $V$  : tension à l'origine du câble.

A.N :

$$S = \frac{2*0.02314*15*8.12}{0.03*35.75} = 5.25\text{mm}^2 \approx 6\text{mm}^2$$

$$\varepsilon' = \frac{2*0.02314*15*8.12}{6*35.75} = 0.026.$$

❖ **Vérification de la chute de tension :**

On constate que la chute de tension est inférieure à 3% ( $2.6\% < 3\%$ ) (OK).

• **Courant admissible :**

Le courant admissible d'un câble est la valeur maximale de l'intensité du courant pouvant parcourir en permanence, un conducteur, sans que sa température soit supérieure à sa température spécifié.

En fonctionnement normal, le courant maximal d'emploi doit être pris égal  $1.25 * I_{CC}$ . En présence de jonctions parallèles de plusieurs chaînes PV, les courants s'ajoutent.

**2. Le rendement global de l'installation photovoltaïque :**

Comme tout système de conversion d'énergie, la performance d'une installation PV est caractérisée par son rendement. C'est le calcul du ratio de performance qui permet de rendre compte de la qualité de fonctionnement d'une installation indépendamment de l'irradiation ou de la puissance crête des modules.

Le rendement global du système inclut l'ensemble des pertes provoquées par ses composants, des modules jusqu'au point d'injection du courant alternatif sur le réseau de distribution.

Pour trouver la valeur du rendement global de l'installation nous allons déterminer le rendement de chaque équipement de l'installation à savoir :

- Rendements standard des modules PV.
- Rendement réel des modules PV en tenant compte de l'inclinaison et de l'orientation.
- Perte dû au mode d'intégration.
- Perte dû à l'échauffement des câbles.
- Perte dû à l'onduleur.

### 2.1.Rendement standard du module PV :

Le rendement standard du module PV ( $\eta_{\text{module}}$ ) est indiqué sur la fiche technique de module.

$$\eta_{\text{module}} = 14.95\%.$$

### 2.2.Rendement réel du module PV :

Le rendement réel dû module PV varie continuellement, en fonction de la latitude, de l'inclinaison et de l'orientation.

Le tableau ci-dessous donne la ration de performance en fonction de l'orientation et l'inclinaison noté P1 :

inclinaison	Orientation				
	Est	Sud-Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest
0°	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
30°	0.9	0.96	1	0.96	0.9
60°	0.78	0.88	0.91	0.88	0.78
90°	0.55	0.66	0.68	0.66	0.55

**Tableau 6** : le ratio de performance d'un générateur PV.

Le rendement du panneau PV sera donné par la relation suivante :

$$\eta_2 = P1 * \eta_{\text{module}}$$

D'après le tableau 4, en effet pour une orientation sud et une inclinaison de 32° le ratio de performance P1 est égale à 1 c'est le cas idéal.

$$\eta_2 = 1 * 14.95$$

$$\eta_2 = 14.95\%$$

### 2.3.Perte de rendement dû au mode d'intégration :

Ce sont des pertes dues à une élévation de la température des modules PV. La tension électrique d'un module diminue d'environ 0.45% par degré de température à partir de 25°C. Un module bien ventilé aura une température plus faible qu'un module moins ventilé.

Le tableau ci-dessous donne un ratio de performance moyen P2, selon la méthode de mise en œuvre :

Ratio de performance en fonction du type d'intégration				
Type d'intégration	Modules très peu ventilés	Modules peu ventilés	Modules ventilés	Modules très ventilés
Ratio de performance	0.7	0.75	0.8	0.85

**Tableau 7** : le ratio de performance en fonction du type d'intégration.

Notre cas correspond au module faiblement ventilé, en effet l'indice de performance est égale à :

$$P2 = 0.75$$

#### 2.4. Perte de rendement dû à l'échauffement des câbles :

La perte d'énergie dans les câbles va encore induire une diminution du rendement globale. On induit un nouveau ratio P3 correspondant à la perte dans les câbles. P3 est de l'ordre de 0.98. Nous pourrions considérer que la valeur de P3 est toujours égale à 0.98, quelle que soit l'installation PV. En effet, la section des câbles est dimensionnée par rapport à une chute de tension dans les câbles de 1 à 3%. La valeur de P3=0.98 est donc une approximation très correcte.

$$P3 = 0.98$$

#### 2.5. Perte de rendement dû à l'onduleur :

Un rendement de 100% signifie que la puissance délivré en sortie de l'onduleur (alternatif) est égale à la puissance fournie par le groupe PV en entrée. Ce cas idéal ne peut pas exister car il existe des pertes apparait lors de la conversion du courant continu en courant alternatif. Le rendement ( $\eta_{\text{onduleur}}$ ) est inscrit sur la fiche technique de l'onduleur. Il est généralement légèrement supérieur à 95%.

$$\eta_{\text{onduleur}} = 98\%$$

## 2.6. Perte de rendement dû au suivi du Point de Puissance Maximale (MPP) :

Les pertes par suivi du MPP sont occasionnées par la latence de l'onduleur lorsqu'il s'agit d'adapter son fonctionnement à des variations de l'ensoleillement. Elles sont de l'ordre de 9%. On retiendra  $P4=0.91$ .

$$P4 = 0.91$$

## 2.7. Rendement global :

On tient compte des différentes pertes citées ci-dessus le rendement global de l'installation PV est calculé par la formule suivante :

$$\eta_{global} = \eta_2 * \eta_{onduleur} * P2 * P3 * P4$$

On trouve :

$$\eta_{global} = 0.1495 * 0.98 * 0.75 * 0.98 * 0.91$$

Donc :

$$\eta_{global} = 9.79\%$$



*Chapitre 4 :*  
*Etude économique de*  
*l'installation*  
*photovoltaïque*

## 1. Le Coût d'installation PV :

Pour déterminer le coût d'installation PV, il est indispensable de connaître, le prix du modules PV, le coût des onduleurs PV et le coût des câbles électriques PV.

Ensuite, on ajouter le coût de la main d'œuvre, qui représente une part essentiel dans la qualité d'une installation PV, sans oublié les frais de transport, d'entretien de l'installation PV.

Auprès du fournisseur de photovoltaïque, on détermine le cout d'installation PV, le tableau ci-dessous figure les prix des différents constituants de l'installation PV :

Equipement	Prix unitaires (Dhs)	Nombre d'unité	Prix (Dhs)
Module PV	1300	744	967200
Onduleur	40000	7	280000
Supports	400	744	297600
Total 1			1544800
30% de T1 (câbles, main d'œuvre, transport...)			463440
coût total			2008240

**Tableau 8** : le coût de l'installation PV

## 2. Détermination le temps de retour sur investissement :

Le temps de retour sur investissement est le nombre d'années nécessaire pou récupérer le montant de l'investissement initial. Il se calcule par la formule suivant :

$$TRI = \frac{\text{investissement}}{\text{le gain}}$$

On a notre investissement égal à : 2008240Dhs.

L'énergie annuelle consommée:  $748.55 \times 302 = 226062.1 \text{Kwh/j}$

Le coût d'énergie électrique annuelle :  $226062.1 \times 1.143 = 258388.98 \text{Dhs}$ .

$$\text{Donc : } TRI = \frac{2008240}{258388.98} = 7.77 \approx 8$$

Donc d'après les résultats de l'analyse financière, le TRI est de 8ans.

L'étude nous permet de conclure que les grandes installations photovoltaïques peuvent être considérées comme un mode de production propre. Le temps de retour sur investissement est d'approximation 8 ans sur une durée de vie d'installation qui est entre 20 et 30 ans, et donc le retour sur investissement est incomparable.

# conclusion

D'après notre étude approfondie, nous avons conclu que l'intégration des panneaux PV à l'industrie d'une manière partielle est un bénéfice économique pour la société et un gain pour l'environnement.

En plus cette couverture partielle peut s'élargir à une couverture totale des besoins énergétiques.

L'énergie solaire est toutefois une solution d'avenir qui vaut le coup d'être plus exploitée, d'autant plus que de nombreuses améliorations sont encore possibles.

# Annexes

## Annexes

### Annexe 1 : fiche technique de module elysun polycristallin 290 Wc

Rendement maximum (Pmax) pour STC *	290W±3%
MPP voltage (Vmpp)	35,75 V
MPP courant (Impp)	8,12 A
Voltage à charge vide (Voc)	45,2 V
Courant coupe-circuit (Isc)	8,55 A
Coefficient de température (Pmpp)	-0,5% / °C
Coefficient de température (Voc)	-0,35% / °C
Coefficient de température (Isc)	+0,04% / °C
Voltage du système maximum	1000 V
Cellules monocristallines	72
Dimensions des cellules	156 x 156 mm
Cellules	CEEG / JA Solar
Type de connecteur	MC4
Dimensions du module L x l x h	1956 x 992 x 45 mm
Poids	23 Kg
Rendement du module	14,95%

## Annexe 2 : fiche technique de l'onduleur sunways pt 30k :

Données techniques	PT 30K
<b>Entrée DC</b>	
Puissance nominale DC	31000 W
Courant DC maximum	75 A
Tension nominale DC	700 V
Plage de tension MPP	420 V - 800 V
Tension DC maximum	1000 V
Nombre de raccordement DC par tracker MPP	1 x bloc de jonction Wago 35 mm <sup>2</sup>
Nombre de tracker MPP	1
<b>Sortie AC</b>	
Puissance de sortie nominale AC	30000 W
Puissance AC maximum	30000 W
Courant nominal AC	43,5 A par phase
Courant AC maximum	50 A par phase
Charge de courant admissible du point d'alimentation	Au moins 100 A par phase
Fréquence nominale	50 Hz
Fréquence plage de tolérance	47,5 - 51 Hz
Tension réseau	400 V
Plage de tension AC	-20% ... +15% (selon DIN VDE 0126-1-1)
Facteur de distorsion harmonique	< 3%
Facteur de puissance (cos phi)	1 ou ajustable entre -0,9 et +0,9
Surveillance de tension réseau	Triphasé (selon DIN VDE 0126-1-1)
Surveillance de mise à la terre	RCD
Surveillance d'isolation, de fréquence et de courant continu	
Phases nécessaires raccordement réseau	Intégré selon DIN VDE 0126-1-1 3 (L1, L2, L3, N, PE)
Nombre de phases d'alimentation (230V monophasé)	3
<b>Performance</b>	
Consommation en stand-by	< 4 W
Consommation nocturne	0 W
Rendement maximum	98 %
Rendement euro max.	97,6 %
Rendement MPP (statique)	> 99 %
Concept de commutation	HERIC, triphasé, sans transformateur
<b>Divers</b>	
Commutateur DC	Intégré
Raccordement secteur conception de sécurité	3 x 63 A (16 mm <sup>2</sup> )
Interfaces de données	Ethernet, CAN, RS485, relais de sign. sans potentiel, S0, modem
Interfaces de capteurs	Rayonnement, température
Affichage	Ecran LCD , rétro éclairage, 128*64 pts
Surveillance de l'installation	Alarme active par e-mail, Sunways Brower, Sunways
Bloc secteur protégé sur PCB	T2A/250 V
Degré de protection IP selon IEC 60529	IP42 / IP54 (en option)
Classe de climat	4K4H (selon EN 60721-3-4)
Refroidissement	Refroidissement forcé par ventilateurs
Température ambiante	-25°C ... 40°C (en pleine charge)
Comportement de surcharge	Décalage de point de travail
Dimensions L x l x h (mm)	1000 x 600 x 400
Poids	155 Kg
Type d'installation	Montage mural
Niveau de bruit	70 dB(A) / 100% rendement des ventilateurs
Garantie standard	5 ans (avec contrat de maintenance jusqu'à 25 ans)
Certificats	CE, DIN VDE 0126-1-1

# Bibliographie

## Bibliographie

Ouvrages et articles :

Rapport de stage OUATTARA\_ABU Adobe Reader.

Rapport de stage de Ramzi El idrissi dimensionnement d'une installation PV raccordé au réseau.

FPO-TEER-stage-professionnel-2015-2016-eljaouhari-riadi-youftan.

Sites internet :

[www.sma-france.com](http://www.sma-france.com)

[www.PVGIS.com](http://www.PVGIS.com)

[www.elysun-poycristallin290wc.com](http://www.elysun-poycristallin290wc.com)

[www.sunways-pt-30k.com](http://www.sunways-pt-30k.com)