

REMERCIEMENTS

Avant de commencer, Je remercie chaleureusement **Monsieur Mohamed Ouchibou**, Directeur au sein de l'entreprise 2CF-RINA, pour son accueil, et l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'il m'a fait vivre durant ma période de stage.

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude et mes remerciements les plus vifs au **Pr Mhammed Lahbabi**, enseignant à la Faculté des Sciences et Techniques l'université SIDI Mohamed BEN ABDELLAH de Fès, de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je tiens aussi à remercier le jury de sa présence pour évaluer et participer à la conclusion de ce modeste travail.

Enfin mes remerciements s'adressent à tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*J'ai le plaisir de dédier ce
travail à Allah : pour la
protection, la santé, la
force, le courage et soutien
« malgré toutes les
difficultés » pour être là
aujourd'hui entraîné de vous
présenter ce modeste
travail*

A toute ma famille

A mes ami(e)s

*A tous ceux et celles qui me
sont chère(s)*

❖ Sommaire :

❖ Introduction générale :	7
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise	9
Introduction :	9
1.1. Généralité :	9
1.2. Fiche Technique :	9
1.3. Organigramme :	9
1.4. Les activités :	10
1.5. Les produits et services :	10
1.6. Cahier de charge :	10
Conclusion :	10
Chapitre 2 : Les systèmes photovoltaïques	11
Introduction :	11
2.1. Généralités sur le photovoltaïque :	11
2.2. Energie solaire :	11
2.3. Rayonnement solaire :	11
2.3.1. Semi-conducteur :	13
2.3.2. Effet photovoltaïque :	13
2.4. Composition d'un système photovoltaïque :	14
2.5. L'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires photovoltaïques :	15
2.5.1. L'angle d'incidence :	16
2.5.2. L'angle d'inclinaison :	16
Conclusion :	17
Chapitre 3 : Solution photovoltaïque injection réseau	18
Introduction :	18
3.1. Gisement solaire au Maroc :	18
3.2. Situation du site du projet et données :	18
3.2.1. Situation géographiques et astronomiques du site :	18
3.2.2. Données météorologiques :	18
3.3. Partie calcul du projet :	19
3.3.1. Consommation journalière et puissance crête :	19
3.3.2. Choix du panneau solaire :	21
3.3.3. Choix d'onduleurs :	23
3.3.4. Choix des câbles	24
3.3.5. Schéma d'installation :	24

3.4.	Présentation du logiciel de simulation PV système	25
3.4.1.	Gestion de projet :	25
3.4.2.	Conception et dimensionnement du projet :	25
3.4.3.	Simulation et rapport :	26
3.4.4.	Comparaison des résultats trouvés par calcul et par le simulateur PV système : ..	28
3.5.	Etude économique et financière :	28
3.6.	Etude écologique :	29
	Conclusion :	29
❖	Conclusion générale:	30
	Références Bibliographiques	31
	Webographie	31
	Annexes	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Rayonnement solaire	11
Figure 2 : Analyse spectrale du rayonnement solaire	12
Figure 3 : Les types de rayonnement solaire	13
Figure 4 : Le Silicium	13
Figure 5 : Effet photovoltaïque	13
Figure 6 : Composition d'un système photovoltaïque	14
Figure 7 : Types de cellules photovoltaïques	14
Figure 8 : Batterie d'accumulateur	14
Figure 9 : Régulateur	15
Figure 10 : Onduleur	15
Figure 11 : Orientation d'un panneau solaire	16
Figure 12 : Angle d'incidence	16
Figure 13 : Angle d'inclinaison des panneaux solaires	17
Figure 14 : Carte d'irradiation solaire globale au Maroc en Wh/m ²	18
Figure 15 : Vue par satellite de la ville	18
Figure 16 : Trajectoire du soleil à Meknès	19
Figure 17 : Histogramme de la consommation mensuelle	20
Figure 18 : Secteurs de la moyenne journalière.....	20
Figure 19 : Panneau solaire de puissance 400 wc.....	22
Figure 20 : Distance entre deux strings	22
Figure 21 : Strings.....	23
Figure 22 : Onduleur Kehua France 125kw/160kw	23
Figure 23 : Schéma de l'installation.....	25
Figure 24 : Coordonnées géographiques de la ville	25
Figure 25 : Configuration du système dans PVSYST V7.2	26
Figure 26 : Résumé du projet.....	26
Figure 27 : Paramètre de simulation du système photovoltaïque.....	27
Figure 28 : Diagramme des pertes dans le système photovoltaïque	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : La météo mensuelle à Meknès	19
Tableau 2 : Tableau de la consommation énergétique	20
Tableau 3 : Caractéristique géométriques du module	22

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX EN ANNEXE

Annexe 1 : Fiche technique du panneau	32
Annexe 2 : Domaine des tensions.....	32
Annexe 3 : Fiche technique de l'onduleur.....	32
Annexe 4 : Le coût total d'investissement.....	33
Annexe 5 : Energie incidente de référence sur le plan des panneaux	33
Annexe 6 : Diagramme journalier Entrée/Sortie du système photovoltaïque (PV)	34
Annexe 7 : Principaux résultats de simulation du système photovoltaïque	34
Annexe 8 : Condition de dimensionnement champ/onduleur dans PVSYST V7.2	35

LISTE DES IMAGES

Image 1 : Entreprise 2CF-RINA.....	9
Image 2 : Installation photovoltaïque	10

Les mots clés

Photovoltaïque

Cellule photovoltaïque

Module photovoltaïque

Champ photovoltaïque

Onduleur

Courant continu-alternatif

Irradiation

Ensoleillement

Semi-conducteur

Câble

L'orientation et l'inclinaison

Puissance

❖ Introduction générale :

Ce rapport de stage est le fruit d'un stage de PFE de deux mois au sein de l'entreprise 2CF-RINA, visant l'obtention du Diplôme de Licence en Génie Electrique à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

De nos jours, la problématique énergétique se révèle être de plus en plus nécessaire. Face à l'augmentation des besoins énergétiques dans le monde et à l'épuisement des ressources d'énergies fossiles ainsi qu'à la dégradation de l'environnement, le développement de sources d'énergies renouvelables sont nécessaires (solaire, éolien, hydroélectricité, géothermique, biomasse). L'électricité photovoltaïque fait partie des solutions envisagées pour remplacer les sources d'énergies fossiles au même titre que l'éolien, l'hydraulique, la géothermie. Cependant, elle est freinée par le cout élevé de la production des cellules solaires en silicium.

Malheureusement, lors de la conversion photovoltaïque, nous n'utilisons que 20% de l'énergie solaire le reste se transforme en chaleur, cependant les cellules solaires font actuellement l'objet de multiples recherches dans le but de réaliser le meilleur rapport entre le rendement énergétique et le prix de revient.

Face à la hausse des factures d'électricité dues aux présences des équipements électriques à grande puissance, plusieurs industries proposent l'installation de système photovoltaïque pour produire une partie de leur besoin énergétique peu dispendieuse et moins polluante. C'est dans ce contexte que s'inscrit le travail effectué dans ce projet de fin d'étude. En effet, l'entreprise m'a proposé d'étudier et de mettre en place un système photovoltaïque injection réseau.

Ce travail consiste d'abord à effectuer le dimensionnement d'un système photovoltaïque, par calcul théorique et par une simulation en utilisant le logiciel PVsyst. Ensuite l'installation et les tests du système.

Ce manuscrit est constitué de trois chapitres, il est organisé comme suit :

- Le premier chapitre est consacré sur la présentation de l'entreprise, sur son histoire, sa fiche technique, son organigramme, ses activités et ses produits et services.
- Le deuxième chapitre parle sur les systèmes photovoltaïques, leurs principes de fonctionnement, leurs compositions etc...
- Le troisième chapitre est porté sur la réalisation du projet.

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise

Introduction :

Dans ce chapitre, je commence par une présentation générale du lieu de mon stage. Il s'agit de présenter l'entreprise 2CF-RINA, sa fiche technique, son organigramme, ses produits et services ainsi que ses activités. Ensuite je présenterai le contexte général du projet (cahier de charge) qui m'a été attribué pendant la durée du stage.

1.1. Généralités :

La Société 2CF-RINA fait l'installation et la distribution du matériel électrique, appareillage tertiaire bâtiment et industriel, éclairage, fils & câbles, Courant fort – Courant faible, Energie renouvelable et thermique [1].

1.2. Fiche Technique :

Fiche signalétique de l'entreprise [1]

Raison social	2CF-RINA
Forme juridique	Société à Responsabilité Limitée (SARL)
Date de création	2013
Gérant	MOHAMED OUCHIBOU
Capital social	100 000 ,00 dhs
Activité	Courant faible, Courant fort, automatisme, Energie renouvelable, thermique et Irrigation
Siège social	RDC Lot LAFARGE n° 80 Ouislane 50080 Meknès
Téléphone	06.61.37.87.63
Fax	05.35.54.98.77
Site Web	www.2cfrina.com
Email	2cf.rina@gmail.com
Identification fiscal	14408957
Patente	17040185
Registre de commerce	35053
CNSS	9390345
ICE	1892430000111

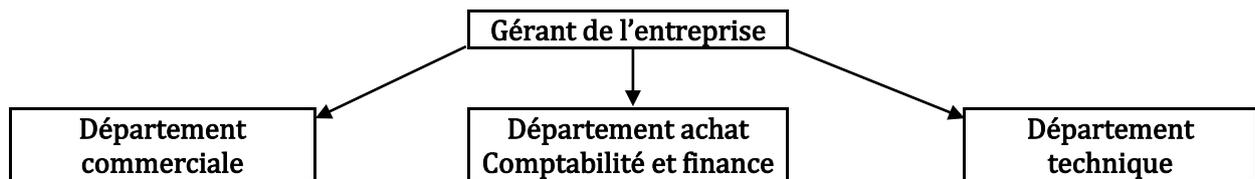


Image 1 : Entreprise 2CF-RINA [1]

1.3. Organigramme :

C'est le directeur ou bien le gérant qui prend les décisions nécessaires de chaque projet. La société est composée de trois départements :

- ✓ Le département technique qui est composé d'ingénieurs et de techniciens qui offrent à leurs clients les meilleures solutions.
- ✓ Le département commercial qui fait la commercialisation des produits.
- ✓ Le département achat, comptabilité et finance qui fait l'achat des produits la facturation avec un suivi des projets [1].



1.4. Les activités :

L'entreprise ZCF-RINA est spécialisée dans les domaines suivants :
L'électricité, la régulation, l'instrumentation, l'énergie solaire, la climatisation, l'irrigation et la piscine [1].



Image 2 : Installation photovoltaïque [1]

1.5. Les produits et services :

La société a développé son offre de produit et service dans les domaines suivants :

- Electricité-installations : Electricité industrielle moyenne et basse tension, Installations électrique d'usines,
- Courants faibles : Installation électriques, Electricité générale de bâtiment, Préfabrication électrique, Assemblage et Maintenance électrique, Régulation industrielle, Automatismes (travaux), Energies alternatives études et matériel,
- Energie solaire : Solution d'économie d'énergie, Solution d'énergie renouvelable,
- Composants pour Piscines : Equipements généraux (piscines), accessoires pour piscines, construction, installation et maintenance de piscines [1].

1.6. Cahier de charge :

Afin de résoudre le problème de la hausse des factures d'électricité de l'entreprise dues aux différents équipements électriques, l'entreprise a opté pour l'installation d'un système photovoltaïque **injection réseau**. Pour réaliser ce projet on doit faire une étude des besoins énergétique suivie d'un dimensionnement.

Ce dimensionnement consiste à connaître :

- ✓ Le nombre de panneau photovoltaïque à utiliser
- ✓ Le nombre et la puissance de l'onduleur
- ✓ La section des câbles et les coffrets protections (AC et DC)
- ✓ L'orientation et l'angle d'inclinaison des panneaux

Ceci constitue les différentes tâches qui m'ont été attribuées dans cette mission de stage et fera l'objet du travail développé dans la suite de ce rapport.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'entreprise le lieu du stage, ensuite le problème qu'elle m'a proposé de résoudre. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter le système photovoltaïque et les éléments qui le composent.

Chapitre 2 : Les systèmes photovoltaïques

Introduction :

Chaque jour, la terre reçoit sous forme d'énergie solaire l'équivalent de la consommation électrique de 6 milliards de personnes pendant 30 ans. La technologie photovoltaïque permet la transformation d'une partie du rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

Alors dans ce chapitre, je vais présenter une généralité sur le photovoltaïque, l'effet photovoltaïque, les principaux composants d'un système photovoltaïque, ainsi que l'orientation et l'inclinaison d'un système photovoltaïque.

2.1. Généralités sur le photovoltaïque :

Lorsque la lumière atteint une cellule photovoltaïque, une partie de l'énergie incidente est convertie directement en électricité sans aucun mouvement ou réaction produisant des déchets ou des pollutions. L'énergie photovoltaïque fait partie des énergies renouvelables, contrairement aux énergies fossiles qui sont des sources d'énergies finis et polluant, les énergies renouvelables sont des sources d'énergies renouvelable ou quasi infinis. Cette priorité remarquable est au cœur de toute installation photovoltaïque [2].

2.2. Energie solaire :

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante. La quantité d'énergie libérée par le soleil et captée par la planète terre pendant une heure, pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an. Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre pour une distance moyenne terre-soleil de 150 Millions de km, c'est ce que l'on appelle la constante solaire qui est égale à 1367 W/m^2 . La partie d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air (AM). Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000 W/m^2 et est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air "1" (ou AM1). Lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air, et perdant plus d'énergie. Puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps, la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à 1000 W/m^2 [2].

2.3. Rayonnement solaire :

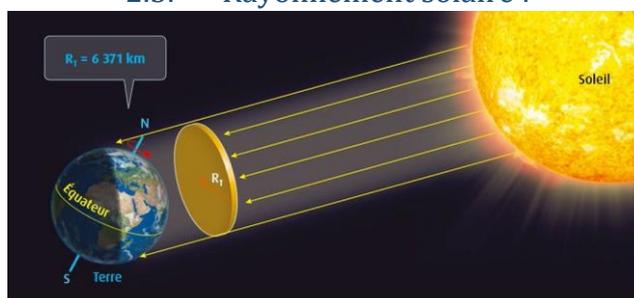


Figure 1 : Rayonnement solaire [5]

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de $0,22 \mu\text{m}$ à $10 \mu\text{m}$. La figure (2) représente la variation de la répartition spectrale énergétique.

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement à :

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

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré (kW/m^2), a plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement 1200 W/m^2 . La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon l'altitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus [2].

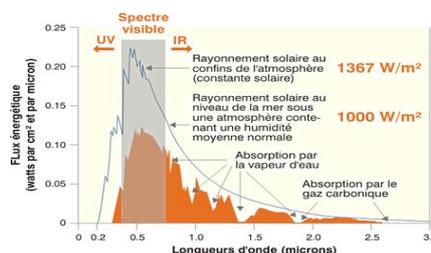


Figure 2 : Analyse spectrale du rayonnement solaire [9]

L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie pose un problème bien particulier. En effet, le rayonnement solaire n'est pas toujours disponible, on ne peut ni l'emmagasiner ni le transporter. Le concepteur d'un système qui emploie le rayonnement solaire comme source d'énergie doit donc déterminer la quantité d'énergie solaire disponible à l'endroit visé ainsi que le moment où cette énergie est disponible.

Il y a quatre types de rayonnement :

- 1) Rayonnement direct : c'est le rayonnement reçu directement du soleil. Il peut être mesuré par un pyrhéliomètre.
- 2) Rayonnement diffus : c'est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère ainsi qu'à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil.
- 3) Rayonnement solaire réfléchi (Albédo du sol) : c'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).
- 4) Rayonnement global : c'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 [2].

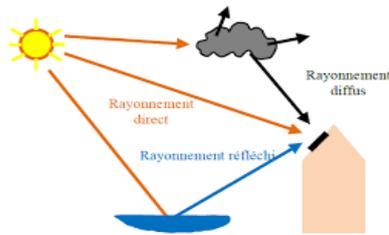


Figure 3 : Les types de rayonnement solaire [8]

2.3.1. Semi-conducteur :

Un semi-conducteur est un composé chimique solide, qui peut conduire l'électricité dans certaines conditions mais pas dans d'autres, ce qui en fait un bon moyen de contrôler un courant électrique. En effet, ses propriétés électriques lui permettent à la fois d'être conducteur (comme les métaux) et isolant. C'est en chauffant, éclairant (principe du panneau photovoltaïque) ou en soumettant à une tension électrique le matériau que celui-ci devient conducteur.

Le Silicium a été choisi pour réaliser les cellules solaires photovoltaïques pour son abondance naturelle et pour ses propriétés électroniques. Les quatre électrons de valence du silicium (colonne IV du tableau de Mendeleïev) permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin. Dans ce cas, tous les électrons sont utilisés et aucun n'est disponible pour créer un courant électrique [6].



Figure 4 : Le Silicium [6]

2.3.2. Effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un des effets photoélectriques. Il permet la production d'électricité à partir du rayonnement solaire et est mis en œuvre en particulier dans les cellules photovoltaïques.

L'effet photovoltaïque a été découvert par le physicien français **Edmond Becquerel** en 1839.

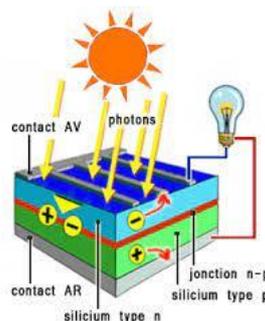


Figure 5 : Effet photovoltaïque [3]

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les photons constituant la lumière « attaquent » les atomes exposés au rayonnement. Les électrons des couches électroniques supérieures, appelés aussi électrons de valence ont tendance à être arrachés. Dans les cellules du photovoltaïque, une partie des électrons ne revient pas à son état initial et les électrons « arrachés » créent une tension électrique continue et faible [3].

2.4. Composition d'un système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque est généralement constitué de :

- Champ de modules
- Parc des batteries
- Système de régulation
- Onduleur
- Câbles électriques

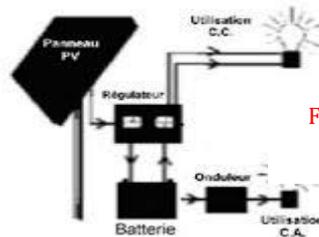


Figure 6 : Composition d'un système photovoltaïque [7]

a) Champ de modules

Technologie et Aspect physique	Rendement d'un module	Durée de vie	Avantages	Inconvénients	Surface PV nécessaire 1 kWc
Monocristallin (coins arrondis) 	13 – 17 %	20 ans à 90% P_c 30 ans à 80% P_c	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Meilleur rapport puissance /surface (~150 Wc/m²) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Chère et forte consommation en énergie pour la production ◆ Performance diminue en cas de faible luminosité. 	7 à 8 m ²
Polycristallin (forme carrée) 	9– 15 %	10 ans à 90% P_c 25 ans à 80% P_c	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bon rapport coût puissance /surface (~100 Wc/m²) ◆ Assez chère, 2 à 3 fois moins d'énergie pour la production que le mono 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Faible rendement sous un faible éclairage. 	9 à 11 m ²
Amorphe (calculatrice) 	4 – 9 %	10 ans	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Meilleur coût par Wc ◆ Moindre perte de rendement : <ul style="list-style-type: none"> - Si la T° augmente - Si le ciel est couvert ◆ Intégration sur supports souples ou rigides 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Faible rendement (~60 Wc/m²) donc grande surface de capteurs, ◆ Performance diminue au cours du temps. ◆ Faible durée de vie. 	16 à 20 m ²

Figure 7 : Types de cellules photovoltaïques [6]

b) Parc de batteries

Dans un système photovoltaïque, la ressource solaire ne pouvant être disponible à tout moment, il est indispensable de stocker de manière journalière/saisonnnière de l'énergie électrique produite par les panneaux solaires. Pour cela, on utilise des batteries accumulateurs.

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement :

- ✓ Les batteries au plomb : Elles constituent l'écrasante majorité du marché des accumulateurs. Sa bonne maîtrise technologique, son bas coût de revient, son bon rendement énergétique de charge/décharge. Ses conditions d'utilisation non difficiles à satisfaire militent en faveur de sa large utilisation.
- ✓ Les batteries au Nickel Cadmium : Elles sont les plus chers, mais aussi très résistant aux surcharges et aux décharges, et résistent bien aux basses températures [3].



Figure 8 : Batterie d'accumulateur [3]

c) Régulateur :

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes, afin de maximiser sa durée de vie.

Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation [3].



Figure 9 : Régulateur [3]

d) Onduleur :

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un dispositif électronique statique de conversion ou convertisseur DC/AC est utilisé pour la transformation du courant continu en courant alternatif [3].



Figure 10 : Onduleur [3]

e) Câbles électriques

Les câbles relient électriquement tous les éléments du système photovoltaïque. Le câblage est un point critique de toute installation photovoltaïque. Il est très important de bien dimensionner les conducteurs afin d'éviter la circulation d'un courant très fort dans les câbles, même pour des petites puissances dans le cas d'utilisation de faibles tensions. Le choix des câbles dont le gain est adapté aux conditions d'utilisation [3].

2.5. L'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires photovoltaïques :

Le rendement d'un module photovoltaïque varie en fonction de l'angle d'incidence des rayons solaires. Il est possible de déterminer la position la plus adéquate des panneaux solaires pour obtenir le meilleur rendement énergétique.

La position d'un panneau solaire se détermine selon deux critères :

- L'orientation, aussi appelée Azimut.
- L'inclinaison, ou angle horizontal établit sur un axe nord/sud [6].

Orientation optimale d'un panneau solaire :

L'orientation varie en fonction de l'hémisphère dans lequel nous nous trouvons mais également en fonction des saisons et des heures de la journée. De ce fait, c'est toujours au Sud que nos panneaux solaires capteront le maximum de rayonnement solaire si nous nous trouvons dans l'hémisphère Nord. Si nous habitons dans l'hémisphère Sud, il nous faudra en toute logique orienter nos panneaux photovoltaïques vers le nord [6].

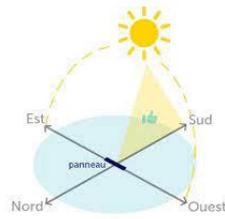


Figure 11 : Orientation d'un panneau solaire [10]

Inclinaison optimale d'un panneau solaire :

De manière générale, il conviendra de déterminer le mois bénéficiant du moins d'ensoleillement. Après des services météorologiques, il sera possible d'obtenir les chiffres de l'irradiation journalière ou rayonnement journalier (en $\text{Wh/m}^2/\text{jour}$) selon l'inclinaison. Il sera alors important de déterminer une inclinaison optimale (90° par rapport au rayon solaire) pour le mois le plus ensoleillé. Ainsi, si le rendement est optimisé pour ce mois de faible rayonnement, il en sera de même pour les mois cléments [6].

2.5.1. L'angle d'incidence :

Cela correspond au plan formé entre le panneau photovoltaïque et les rayons solaires. Cet angle a une grande importance. L'angle d'incidence optimal correspond à un angle de 90° . Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface en m^2 du panneau solaire exposé aux rayons lumineux diminue et donc en partant de la puissance du panneau solaire, le rendement diminue aussi.

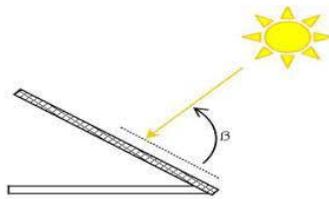


Figure 12 : Angle d'incidence [6]

L'angle d'incidence joue un rôle majeur pour les rendements du panneau. Il est défini selon l'équation suivante :

$$R = 100 * \sin (\beta)$$

Avec ;

R : Le rendement en (%)

β : L'angle d'incidence en ($^\circ$)

Ainsi, le rendement est maximal lorsque les rayons arrivent perpendiculairement sur le panneau solaire. Alors que pour un angle de 45° , le rendement n'est que de 70% [6].

2.5.2. L'angle d'inclinaison :

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale.

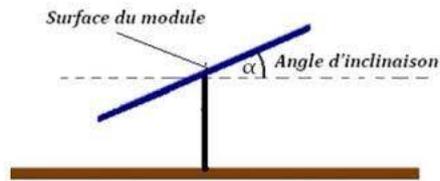


Figure 13 : Angle d'inclinaison des panneaux solaires [6]

L'évolution de la trajectoire du soleil varient selon les saisons, l'angle d'inclinaison (pour un module photovoltaïque n'étant pas muni d'un système rotatif) est plus réduit en été et plus importante en hiver. L'inclinaison d'un module photovoltaïque par rapport à l'horizontale est donnée par la relation suivante :

$$\alpha = L - \sin^{-1} \left(0.4 * \left(N * \frac{360}{365} \right) \right)$$

Avec ;

L : Latitude du lieu

N : Nombre de jour entre l'équinoxe de printemps 21 mars de chaque année) et le jour considéré.

Cette relation permettant un rendement supérieur n'est valable que lorsque le module solaire en question est muni d'un système qui lui permet de s'incliner [6].

Conclusion :

J'ai présenté dans ce chapitre les différentes notions qui entrent dans la constitution d'un système photovoltaïque, ainsi que ses composants. Dans le chapitre suivant je vais faire un dimensionnement, l'étude économique et écologique de notre projet.

Chapitre 3 : Solution photovoltaïque injection réseau

Introduction :

La réalisation des installations photovoltaïques exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision.

Ce chapitre est divisé en trois parties : la première est consacrée au calcul de dimensionnement des différents composants de notre installation photovoltaïque à savoir les panneaux solaires, les onduleurs et la section des câbles (DC et AC), la deuxième partie est consacrée à l'étude économique et financière et la dernière est pour l'analyse écologique.

3.1. Gisement solaire au Maroc :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement probable d'un système photovoltaïque et donc faire un dimensionnement comme le cas de notre étude.

La connaissance du gisement solaire d'une région est plus au moins précise, selon le pas du temps des données (mois, jours, heure), et selon la nature des données : durées d'ensoleillement, composante directe, diffuse et globale du rayonnement solaire.

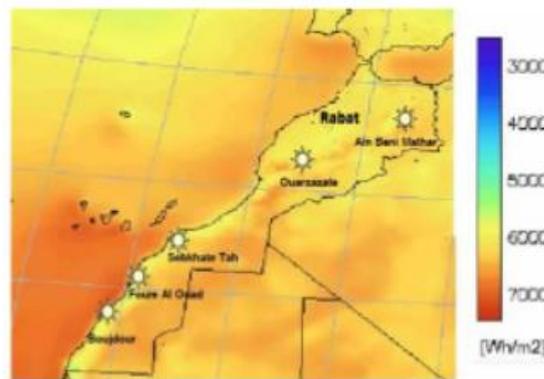


Figure 14 : Carte d'irradiation solaire globale au Maroc en Wh/m² [11]

3.2. Situation du site du projet et données :

3.2.1. Situation géographique et astronomiques du site :

La ville de *MEKNES* est située au nord-ouest du MAROC, à 140 Km à l'est de la capitale administrative RABAT.

Location :

- Latitude : 33.895000
- Longitude : -5.554722
- Altitude : 530 m



Figure 15 : Vue par satellite de la ville [12]

3.2.2. Données météorologiques :

A l'instar de toute étude de conception d'un système photovoltaïque, il est primordial de mesurer certaines données du site comme :

a. Le rayonnement solaire global :

La moyenne du rayonnement globale mensuelle de la ville de Meknès entre 2010 et 2020:

	Irradiation globale horizontale kWh/m ² /mois	Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² /mois	Température °C	Vitesse du vent m/s	Turbidité Linke [-]	Humidité relative %
Janvier	93.1	28.5	10.0	2.90	2.740	72.6
Février	110.4	34.6	10.7	2.99	3.158	74.6
Mars	154.2	56.4	13.4	3.10	3.775	70.4
Avril	183.0	65.1	15.2	2.99	3.940	70.3
Mai	206.4	82.5	19.4	2.89	4.431	58.9
Juin	223.5	79.8	23.0	2.69	5.071	53.9
Juillet	231.5	77.5	26.0	2.50	6.245	48.9
Août	212.9	70.4	26.7	2.60	5.638	47.6
Septembre	170.7	56.4	22.6	2.60	4.379	58.9
Octobre	135.5	45.3	19.8	2.70	3.866	59.0
Novembre	98.1	31.1	13.9	2.89	3.172	67.8
Décembre	86.6	27.6	11.2	3.00	2.844	72.0
Année	1906.1	655.3	17.7	2.8	4.105	62.9

Tableau 1 : La météo mensuelle à Meknès [19]

b. Trajectoire du soleil :

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est).

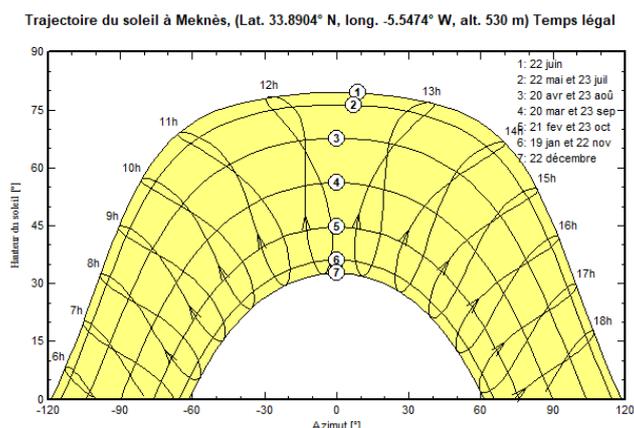


Figure 16 : Trajectoire du soleil à Meknès [19]

3.3. Partie calcul du projet :

3.3.1. Consommation journalière et puissance crête :

Avant d'effectuer le calcul de dimensionnement, il est indispensable d'établir le bilan énergétique, afin de déterminer la consommation journalière.

Le tableau ci-dessous, donne la consommation mensuelle d'une usine (X), ces informations permettront de calculer l'énergie journalière totale consommée, afin d'en déduire la puissance « Photovoltaïque installée » à mettre en place à cet effet.

Consommation journalière					
Ancienne date	Nouvelle date	Heures pleines (kwh)	Heures creuses (kwh)	Heures de pointes (kwh)	Réactif (kwh)
08/08/2019	28/08/2019		414	278	

28/08/2019	28/09/2019	25082	8379	6739	21510
28/10/2019	28/11/2019	81710	57258	34420	46015
28/11/2019	28/12/2019	63616	46058	27016	30784
28/12/2019	28/01/2020	55474	23154	15129	23475
28/01/2020	28/02/2020	65945	19298	13218	27485
28/02/2020	28/03/2020	61923	21637	14656	31233
Min		25082	8379	6739	21510
Max		81710	57258	34420	46015
Moyenne totale		58958,33333	29297,33333	18529,66667	30083,66667
Moyenne journalière		1901,88172	945,0752688	597,7311828	970,4408602

Tableau 2 : Tableau de la consommation énergétique

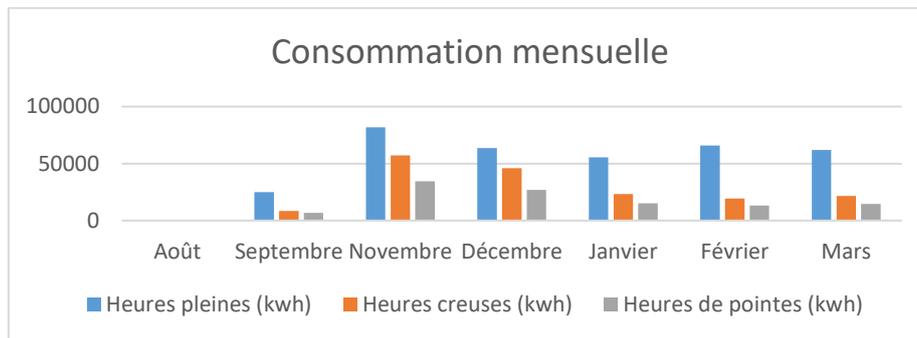


Figure 17 : Histogramme de la consommation mensuelle

Commentaire: On constate une très grande consommation énergétique au niveau les heures pleines.

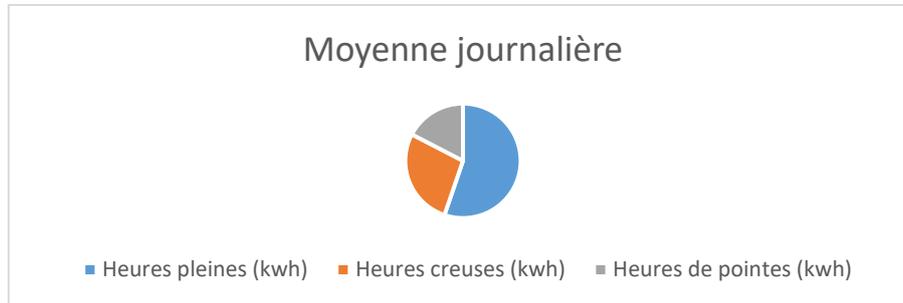


Figure 18 : Secteurs de la moyenne journalière

Commentaire: La moyenne journalière des heures pleines occupe plus de 60% du secteur.

Remarque : Comme on travaille avec les photovoltaïques, donc on va s'intéresser aux heures pleines, car c'est pendant cette période qu'on a le soleil.

Le mois Août c'est la période des vacances et l'usine travaille peu dans cette période. Donc, pour avoir une bonne précision dans les calculs on élimine le mois d'août.

Calcul de la puissance crête :

$$P_c = \frac{E \times P_i}{E_i \times P_R}$$

Avec ;

E : Energie journalière consommée (kwh/jr)

E_i : Energie solaire journalière à Meknès (kwh/m²/jr)

Pi : Puissance d'éclairement (kw/m²) aux conditions STC (condition de test standard)

PR : Ratio de Performance (sans unité)

Pc : Puissance crête (kwc)

$$Pc = \frac{1901.88172 \times 1}{5.43 \times 0.9}$$

Pc=389.172 kWc

Remarque : Le ratio de Performance PR tient compte des facteurs suivants :

- L'incertitude météorologique ;
- L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison ;
- Le pont de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par : la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des modules dans le temps (vieillessement et poussière) ;
- Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (90%) ;
- Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%) ;
- Les pertes dans les câbles et connexions.

3.3.2. Choix du panneau solaire :

Le panneau solaire permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Nous avons choisi les panneaux solaires Monocristallin de marque (**JA SOLAR**) et de puissance unitaire 400 Wc. A partir de la puissance crête, nous allons déterminer le nombre des panneaux solaire nécessaires à l'installation.

Calcul du nombre de panneaux :

$$Np = \frac{Pc}{Pu} \text{ Avec ; } \begin{cases} Pc: \text{ Puissance crête (wc)} \\ Pu: \text{ Puissance unitaire (wc)} \end{cases}$$

$$Np = \frac{389172}{400} = 972.93$$

Np ≈ 973 Panneaux

Calcul du nombre de panneaux en série :

$$NMS = \frac{UMppT, Max}{Umpp \times k}$$

$$\text{Avec ; } \begin{cases} UMppT, Max: \text{ La plage de tension maximale de l'onduleur (V)} \\ Umpp: \text{ Tension optimale aux bornes d'un photovoltaïque (V)} \\ K: \text{ Coefficient de sécurité} \\ NMS: \text{ Nombre de panneau en série} \end{cases}$$

$$NMS = \frac{1300}{41.17 \times 1.15} = 27.46$$

NMS ≈ 27

Calcul du nombre de panneaux en parallèle :

$$NMP = \frac{Imax}{IMpp} \text{ Avec ; } \begin{cases} Imax : \text{ Le courant maximale admissible de onduleur (A)} \\ Impp : \text{ Courant optimale aux bornes d'un photovoltaïque (A)} \\ NMP: \text{ Nombre de panneau en parallèle} \end{cases}$$

$$NMP = \frac{180}{9,72} = 18.5$$

$$NMP \approx 19$$

On sait qu'un parallèle est égale à deux strings, donc on aura 38 strings



Figure 19 : Panneau solaire de puissance 400 wc [13]

Calcul de la surface des photovoltaïques :

Pour un bon fonctionnement du champ photovoltaïque, il est nécessaire de respecter une distance entre les panneaux solaires inclinés.

Longueur du module	1,979 m
Largeur du module	1,002 m
Epaisseur du module	0,040 m
Poids	22,50 Kg
Surface du module	1,983 m ²

Tableau 3 : Caractéristique géométriques du module

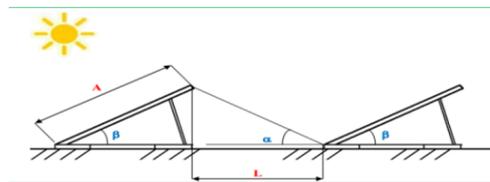


Figure 20 : Distance entre deux strings [14]

La distance occupée par un string incliné CD, indiquée sur la figure 20, est :

$$CD = A \times \left[\cos(\beta) + \frac{\sin(\beta)}{\text{tg}(\alpha)} \right]$$

Avec ;

- A : La largeur du string (dans notre cas on a placé les module PV en mode paysage donc la largeur du string se définit par la largeur du module [voir tableau 3])
- β : Angle d'inclinaison, pour Meknès on prend généralement $\beta = 33^\circ$
- α : Hauteur solaire minimum, généralement prise le jour du solstice d'hiver 21 décembre, dans notre cas : $\alpha = 32.3^\circ$.

Comme on l'a déjà trouvé dans la partie précédente, le nombre de panneaux en série est 27 panneaux et les panneaux en parallèle est 19 panneaux.

Pour minimiser la surface du champ photovoltaïque, on a visé de poser chaque string sous la forme affichée sur la figure ci-dessous. Ainsi qu'on ajoute des lames d'air de 6 cm entre chaque étage pour éviter le dommage créé par le vent.

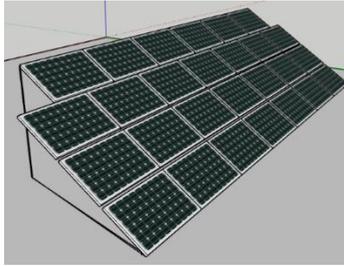


Figure 21 : Strings

Alors, $A = (3 \times 0.06) + (4 \times 1.002) = 4.188\text{m}$

Ainsi :

$$CD = 4.188 \times \left[\cos(33^\circ) + \frac{\sin(33^\circ)}{\tan(32.3^\circ)} \right] = 7.12\text{m}$$

Chaque string à une longueur de : $1.979 \times 7 = 13.853\text{m}$

Dans chaque ligne on fait trois strings linéaires avec une distance entre les deux de 1m ;

Alors la surface du champ photovoltaïque :

$$S = \text{Longueur} \times \text{largeur}$$

$$\text{Largeur} = (\text{Nbre de string par ligne} \times \text{longueur du string}) + \text{distance lineaire entre les strings}$$

$$\text{Largeur} = (3 \times 13.853) + 2 = 43.559\text{m}$$

$$\text{Longueur} = \frac{\text{Nbre de string en parallèle}}{\text{Nbre de string par ligne}} \times \text{distance occupée par un panneau incliné}$$

$$\text{Longueur} = \frac{19}{3} \times 7.12 = 45.09\text{m}$$

$$S = 43.559 \times 45.09 = 1964.07\text{m}^2$$

$$S = 1964.07\text{m}^2$$

3.3.3. Choix d'onduleurs :

L'onduleur permet de convertir le courant D.C (courant continu) en A.C (courant alternatif). Nous avons choisi les onduleurs de marque **KEHUA France**. La puissance de l'onduleur est comprise entre deux valeurs :

Calcul de la puissance de l'onduleur

$$0.8 \times P_c \leq P_{on} \leq 1.1 \times P_c$$

$$\text{Avec ; } \begin{cases} P_c: \text{Puissance crête (kwc)} \\ P_{on}: \text{Puissance de l'onduleur (kw)} \end{cases}$$

$$311.337 \leq P_{on} \leq 428.088$$

Pour notre installation nous allons utiliser deux onduleurs de 160kw.



Figure 22 : Onduleur Kehua France 125kw/160kw [17]

3.3.4. Choix des câbles

Les câbles relient électriquement tous les éléments du système photovoltaïque. Il est très important de bien dimensionner les conducteurs afin d'éviter la circulation d'un courant très fort dans les câbles, même pour des petites puissances dans le cas d'utilisation de faibles tensions [4].

Déterminons la section des câbles :

C'est la partie de l'installation dont les intensités sont les plus importantes entraînant des pertes joules et des chutes de tension des câbles.

On a deux types de câbles : DC qui transportent le courant-continu et AC qui transportent le courant alternatif [15,16].

Calcul de la section des câbles DC (courant-continu)		
$S = \frac{2L * \rho * I_{cc} * N_p}{V_{mpp} * N_s * \varepsilon}$	L: Longueur du câble en mètre (m)	150
	ε : Chute de tension admissible en volt (V)	0,03
	I _{cc} : courant de court-circuit d'un panneau, en ampère(A)	10,26
	N _s : Nombre de panneau en série	27
	V _{mpp} : Tension optimale aux bornes d'un panneau (v)	41,17
	N _p : Nombre de panneau en parallèle	19
	ρ : Résistivité du conducteur en $\Omega.m$ (cuivre=0,018 $\Omega.m$)	0,018
	S: Section du conducteur en mm ²	31,56667476
	S	35 m ²

Coffrets de protection DC :

- Parafoudre :
Nous avons choisi le **parafoudre SUNTREE de type 2 et de tension supérieur à 1500V.**
- Disjoncteur :
On a choisi un **Disjoncteur 4 pôles, 200 A, type T3 pour Symmetra PX250/500 kW**
- Porte fusible :
On a choisi un **Fusible & Porte Fusible DC SUNTREE 15A**
- Interrupteur-sectionneur :
On a choisi Eaton Interrupteur-sectionneur DC, 1000V, 20A

Calcul de la section des câbles AC (courant Alternatif)		
$S = \frac{2L * \rho * I_{out}}{V_{out} * \varepsilon}$	L : Longueur du câble en mètre (m)	10
	ρ : Résistivité du conducteur en $\Omega.m$ (cuivre=0,018 $\Omega.m$)	0.018
	I _{out} : courant de sortie d'un onduleur en ampère(A)	153.9
	ε : Chute de tension admissible en volt (V)	0.03
	V _{out} : Tension de sortie de l'onduleur (V)	600
	S: Section du conducteur en mm ²	3.078
	S	35mm ²

Coffrets de protection AC :

- Parafoudre :
Nous avons choisi le **parafoudre SUNTREE de type 2 et de tension supérieure à 1500V.**
- Disjoncteur :
On a choisi un **Disjoncteur 4 pôles, 200 A, type T3 pour Symmetra PX250/500 kW**

3.3.5. Schéma d'installation :

Notre système photovoltaïque est constitué essentiellement comme le montre la figure 23 des éléments suivants :

- ✓ Les modules photovoltaïques ;

- ✓ Onduleurs ;
- ✓ Coffret de projection DC et AC.

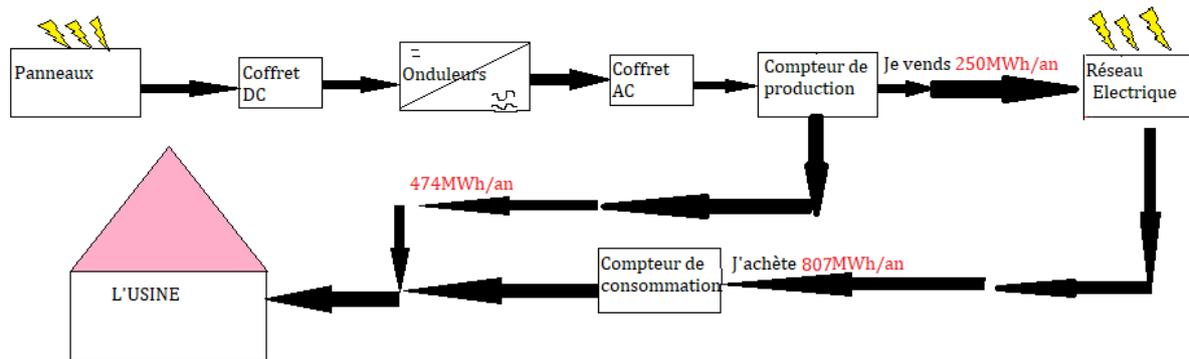


Figure 23 : Schéma de l'installation

3.4. Présentation du logiciel de simulation PV système

PVSYST est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires conçu pour être utilisées par les chercheurs et ingénieurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure, les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet.

3.4.1. Gestion de projet :

Nous allons définir la localisation géographique de la ville :

Lieu

Nom du site : Meknès

Pays : Maroc Région : Afrique

Coordonnées Géographiques

Trajectoires du soleil

Latitude : 33.8904 [°] 33 53 25 (+ = Nord, - = Hémisph. Sud)

Longitude : -5.5474 [°] -5 32 50 (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)

Altitude : 530 M au-dessus du niv. de la mer

Fus. horaire : 0.0 Correspondant à une différence moyenne Temps Légal - Temps Solaire = 0h 22m

Obtenir depuis le nom

Figure 24 : Coordonnées géographiques de la ville [19]

3.4.2. Conception et dimensionnement du projet :

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

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

Dans le dimensionnement de notre système photovoltaïque, voici le module photovoltaïque et l'onduleur que nous avons choisi :

Sous-champ

Nom et orientation du sous-champ
 Nom: Champ PV
 Orient. **Plan incliné fixe** Inclinaison **33°** Azimut **0°**

Aide au dimensionnement
 Pas de prédim. Entrez Pnom désirée **389.2** kWc
 Redimens. ... ou surface disponible(modules) **1953** m²

Sélection du module PV
 Disponibles: Tous les modules PV Modules nécessaires approx. **973**
 JA Solar 400 Wp 35V Si-mono JAM72-S10-400-PR Depuis 2020 Datasheets 2020 Ouvrir
 Utiliser optimiseur
 Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) **35.8** V
 Vco (-10°C) **54.5** V

Sélection de l'onduleur
 Disponibles: Tension de sortie 600 V Tri 50Hz 50 Hz 60 Hz
 Kehua France 160 kW 900 - 1300 V TL 50/60 Hz KF-SPI160K-8-H Depuis 2019 Ouvrir
 Nbre d'onduleurs **2** Tension de fonctionnement: **900-1300** V Puissance globale ond. **320** kWac
 Tension entrée maximale: **1500** V Onduleur "string" avec 16 entrées

Dimensionnement du champ
Nombre de modules et chaînes
 Mod. en série **27** entre 26 et 27
 Nb. chaînes **36** entre 30 et 36
 Perte surpuissance **0.5** % Rapport Pnom **1.22** Voir conditions
Nbre modules **972** **Surface** **1951** m²

Cond. de fonctionnement
 Vmpp (60°C) **965** V
 Vmpp (20°C) **1129** V
 Vco (-10°C) **1471** V

Irradiance plan **1000 W/m²**
 Impp (STC) **352** A
 Isc (STC) **369** A
 Isc (aux STC) **369** A

Max. données STC
 Puiss. max. en fonctionnement **355** kW
 (à 1000 W/m² et 50°C)

Puiss. nom. champ (STC) **389** kWc

Le courant Isc du champ est supérieur au courant d'entrée maximum de l'onduleur (soit (i.e. 180.0 A/entrée)). (Info, non important)

Figure 25 : Configuration du système dans PVSYST V7.2 [19]

3.4.3. Simulation et rapport :

La simulation calcule la distribution des énergies tout au long de l'année. Un rapport complet avec tous les paramètres impliqués et les résultats principaux. Après la simulation on obtient les résultats suivants :

Résumé des résultats					
Energie produite	724.0 MWh/an	Productible	1862 kWh/kWc/an	Indice perf. PR	85.50 %
Energie utilisée	1281.4 MWh/an			Fraction solaire (SF)	36.99 %

Table des matières	
Résumé du projet et des résultats	2
Paramètres généraux, Caractéristiques du champ de capteurs, Pertes système	3
Résultats principaux	4
Diagramme des pertes	5
Graphiques spéciaux	6

Figure 26 : Résumé du projet

Cette page du rapport de simulation nous montre :

- La quantité d'énergie produit par les panneaux par an est : 724 MWh/an
- La quantité d'énergie utilisée par l'usine par an est : 1281.4 MWh/an

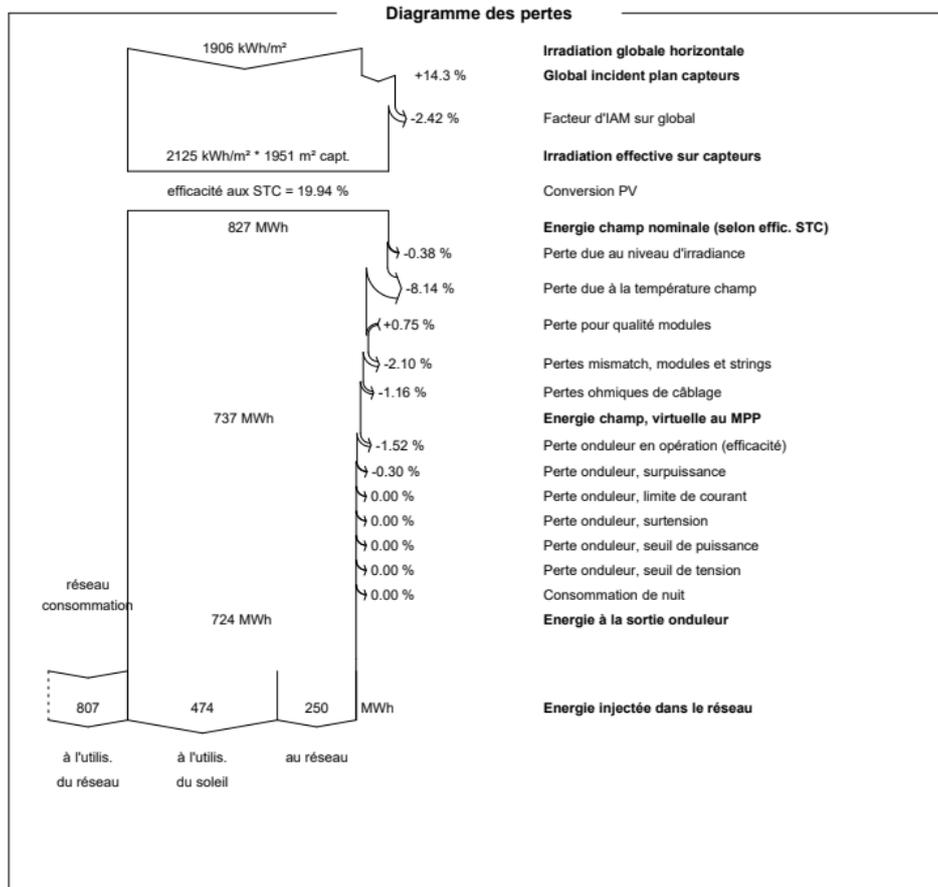


Figure 28 : Diagramme des pertes dans le système photovoltaïque

Cette page du rapport de simulation résume les pertes influençant la production du système photovoltaïque à savoir : les pertes ohmiques du câblage, effet d'incidence, pertes dues à la température du champ, les pertes dues à la qualité des modules, ...etc.

Elle montre aussi, l'énergie produite par an par les champs 724 MWh/an, l'énergie injectée au réseau 250 MWh/an, l'énergie produite par les champs et utilisée par l'usine 474 MWh/an et l'énergie achetée par l'usine 807 MWh/an.

3.4.4. Comparaison des résultats trouvés par calcul et par le simulateur PV système :

	Résultat par calcul	Résultat par simulation	Ecart en pourcentage(%)
Nombre de panneau	973	972	0.1
Nombre de panneau en série	27	27	0
Nombre de string	38	36	5.26
Surface (m ²)	1964	1951	0.66
		Ecart Total	1.5

Nous pouvons constater que l'écart total est inférieur à 10%, ce qui signifie que nos calculs sont corrects.

3.5. Etude économique et financière :

L'analyse économique et financière va nous permettre de juger la faisabilité de notre projet et d'estimer sa rentabilité dans les vingt premières années. En effet, nous avons adopté un calcul très simple, qui va nous permettre d'estimer notre projet, à savoir : le gain, le coût total d'investissement et le temps de retour d'investissement.

On a :

- Production annuelle du système photovoltaïque : 724MWh/an
- Prix d'électricité, en moyenne tension dans les heures pleines : 0.95 Dhs/kWh

Le gain de la production photovoltaïque (PV) = 724 MWh/an×0.95 Dhs/kWh= 687800 Dhs.

Le coût total d'investissement de notre installation (voir annexe 4) est =2339420,8 DHs

Temps du retour d'investissement (TRI) = $\frac{\text{Coût total d'investissement}}{\text{Le gain de la production PV}}$

Temps du retour d'investissement (TRI) = 2339420,8/687800 = 3.5 ans

Sachant que l'usine paye chaque année : 781519 Dhs, concernant la facture d'électricité.

3.6. Etude écologique :

La technologie photovoltaïque n'a que très peu d'impact négatif sur l'environnement, par rapport à ce qu'elle peut apporter comme bénéfices en matière d'écologie. Premièrement, le photovoltaïque est une production d'énergie propre puisqu'il n'engendre aucun rejet de gaz à effet de serre, responsables du réchauffement climatique. Deuxièmement, la production d'électricité via une installation de panneaux photovoltaïque est entièrement silencieuse et n'engendre aucune nuisance sonore.

Les émissions de CO2 par kWh d'électricité varient d'un pays à l'autre en fonction des sources d'énergie utilisée pour la production d'électricité. Au Maroc, il est estimé à 0.708 Kg pour 1 kWh par l'ONEE (Office Nationale d'électricité) [18].

L'électricité produite par le système photovoltaïque est d'environ 724 MWh/an.

Notre installation photovoltaïque évitera un taux d'émission de CO2 égale à :

$$724 \text{ MWh/an} \times 0.708 = 512592 \text{ Kg de CO2 par an}$$

Sachant que la durée de vie de notre système photovoltaïque estimée pour une installation photovoltaïque raccordée au réseau est de plus de 20 ans, la masse de CO2 évitée sera d'environ : 10251.84 tonnes/20 ans.

Conclusion :

Dans ce chapitre, j'ai choisi et dimensionner les composants de l'installation par calcul et par simulation par PVSYST V7.2, ce qui permis donner des résultats, à savoir la production énergétique annuelle.

Finalement, nous avons fait une étude économique et écologique afin de connaître la rentabilité et la durabilité de notre installation photovoltaïque. L'installation photovoltaïque s'avère très intéressante de point de vue économique mais aussi écologique.

❖ Conclusion générale :

Faire une étude de dimensionnement d'un système d'énergie solaire commence toujours par une étude de faisabilité, en premier lieu nous avons présenté l'entreprise 2CF-RINA.

En deuxième lieu nous avons cités les différents composants du système photovoltaïque, ainsi que les facteurs qui influencent sur le rendement des panneaux, à savoir l'orientation, l'inclinaison, l'ensoleillement et le rayonnement global ... etc.

En troisième lieu nous avons développé notre projet, d'abord nous avons dimensionné le projet par calcul manuelle ensuite par PVSYST V7.2.

Au vu des résultats de notre étude, nous pouvons dire que **la solution photovoltaïque injection réseau** est très économique et écologique pour les entreprises qui souffrent de la hausse des factures d'électricité. Le développement de cette source d'énergie est une réponse nécessaire aux questions énergétiques actuelles.

Références Bibliographiques

- [1] Manuel de Présentation de l'entreprise « 2CF-RINA »
- [2] Etude et Simulation des paramètres électriques d'une cellule solaire photovoltaïque à base de Silicium (MeklicheSaid.pdf)
- [3] toaz.info-rapport-de-stage-technique (Dimensionnement et simulation d'une installation photovoltaïque autonome.
- [4] Rapport Stage Conception et dimensionnement Photovoltaïque Dorothee Micheau 2010.

Webographie

- [5] https://manuelnumeriquemax.belin.education/enseignement_scientifique-premiere/topics/ens-scient1-c05-082-a_le-rayonnement-solaire-recu-par-la-terre consulté le 29/04/2022
- [6] https://fr.slideshare.net/RIDAADARDAK1/rapport-du-stage-projet-fin-dtude?from_action=save consulté le 29/04/2022
- [7] <http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/view.php?id=2448&chapterid=1537> consulté le 29/04/2022
- [8] https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01077761/file/estimation_de_production_des_installations_pv_pour_différentes_inclinaisons_basee_sur_un_modele_densoleillement.pdf consulté le 08/05/2022
- [9] <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/> consulté le 08/05/2022
- [10] <https://terresolaire.com/Blog/batiment-solaire/inclinaison-panneau-solaire-orientation/> consulté le 08/05/2022
- [11] <https://fr.slideshare.net/rcreee/day1-session3-morocco-country-paper-in-the-field-of-certification-and-standardization-of-swhsauthored-andor-presented-by-dr-abdulali-dakkina-cder> consulté le 15/05/2022
- [12] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meknes_Morocco-WFB-cs.jpg consulté le 15/05/2022
- [13] <https://www.monkitsolaire.fr/product/panneau-solaire-ja-solar-405-wc/2592.html> consulté le 15/05/2022
- [14] https://www.volta-org.be/sites/default/files/2017-09/NITE_002_PV-v01c.pdf consulté le 15/05/2022
- [15] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/dimensionnement-photovoltaïque-autonome/dimensionnement-cables-photovoltaïques.php consulté le 16/05/2022
- [16] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/maison-photovoltaïque-autonome/calculer-section-cable.php consulté le 21/05/2022
- [17] <https://cleanergymaroc.com/produit/onduleurs-kehua-france> consulté le 19/05/2022
- [18] https://www.wavestone.com/app/uploads/2018/07/Wavestone_Rapport-Bilan-Carbone-2018_VF.pdf consulté le 13/06/2022
- [19] <https://www.pvsyst.com/fr/> consulté le 27/05/2022

Annexes

Caractéristique électrique (STC)	
Puissance maximale (Pmax)	400 w
Tension à puissance maximale (Vmp)	41.33 V
Courant à puissance maximale (Imp)	9.68 A
Tension Circuit ouvert (Voc)	49.58 V
Courant Circuit ouvert (Isc)	10.33 A
Efficacité module	19.9%
Dimension du module	1979mm×1002mm×40mm
Poids	22.5 kg

Annexe 1 : Fiche technique du panneau

DOMAINES DE TENSION		VALEUR DE LA TENSION en VOLTS	
		En courant alternatif	En courant continu
Très basse tension TBT		$U < 50$	$U \leq 120$
Basse tension BT	BTA	$50 < U \leq 500$	$120 < U \leq 750$
	BTB	$500 < U \leq 1000$	$750 < U \leq 1500$
Haute tension HT	HTA	$1000 < U \leq 50\ 000$	$1\ 500 < U \leq 75\ 000$
	HTB	$U > 50\ 000$	$U > 75\ 000$

Annexe 2 : Domaine des tensions

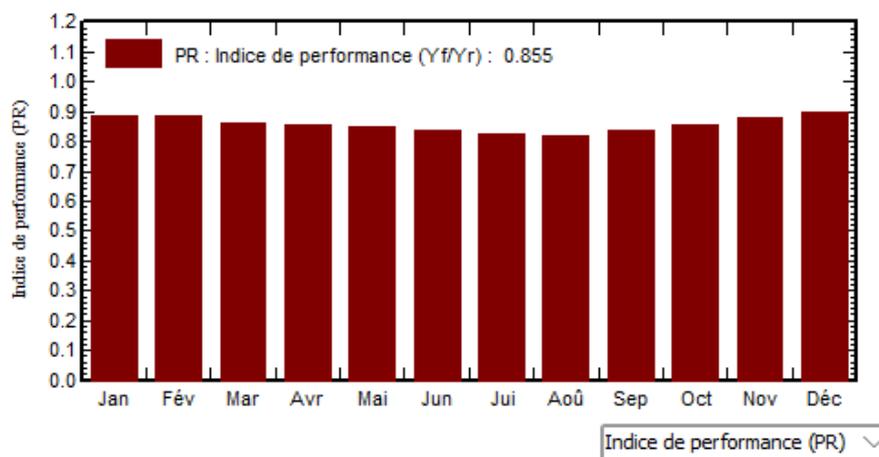
Caractéristique électrique (STC)	
Tension d'entrée PV max (Vdc)	1500
Courant d'entrée max (A)	180
Nombre d'entrées	16
Nombre de MPPT	1
Plage de tension MPPT (V)	900-1300
Efficacité MPPT	99.9%
Puissance nominale de sortie AC (kw)	160
Poids (kg)	80
Courant de sortie AC max (A)	153.9
Tension nominale AC (Vac)	600

Annexe 3 : Fiche technique de l'onduleur

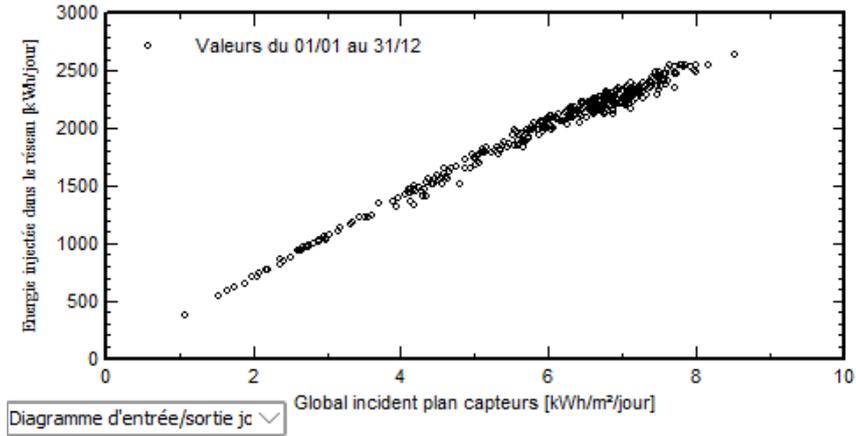
Calcul du coût total d'investissement						
N°	Désignation	Référence	Quantité	U/F	Prix unitaire HT(MAD)	Prix total HT(MAD)
1	Panneau solaire JA solar (400Wc)	JAM72S10	973	U	1700	1654100
2	Support de fixation des panneaux		973	U	350	340550
3	Onduleur(Kehua France) 160k	SPI160k-B-H	2	U	70600	141200
4	Eaton Interrupteur-sectionneur DC, 1000V, 20A	P-SOL20	38	U	608	23104
5	Disjoncteur 4 pôles, 200 A, type T3		2	U	380	760

6	Parafoudre 10KA Scheider	ME15613701	2	U	1600	3200
7	Fusible & Porte Fusible DC SUNTREE 16A	SRD-16	76	U	44	3344
8	Câble solaire avec connecteurs		1	F	5000	5000
9	Compact NS250L- disjoncteur		2	U	3734	7468
10	Câble électrique MT(moyenne tension) et la mise à la Terre		1	F	3800	3800
11	Coffret de protection		2	F	5000	10000
12	Boîte de raccordement des strings		38	F	400	15200
13	Accessoires divers		1	F	4000	4000
14	Clé wifi pour monitoring de onduleur		2	U	750	1500
15	SMART METER Triphasé		2	U	2000	4000
16	Installation, Configuration et la mise en service			U		30000
17	Transport			F		2000
					Total HT(MAD)	2249226
					TVA	90194,8
					Total TTC(MAC)	2339420,8

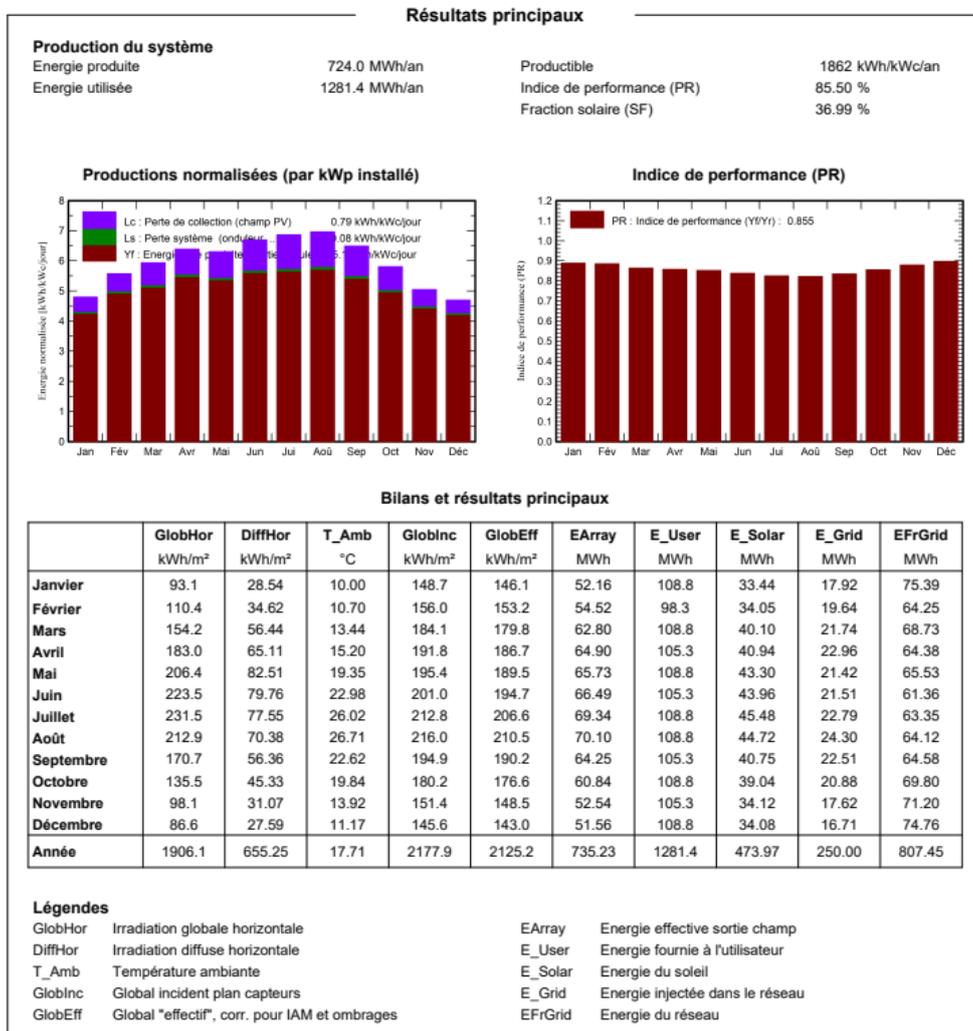
Annexe 4 : Le coût total d'investissement



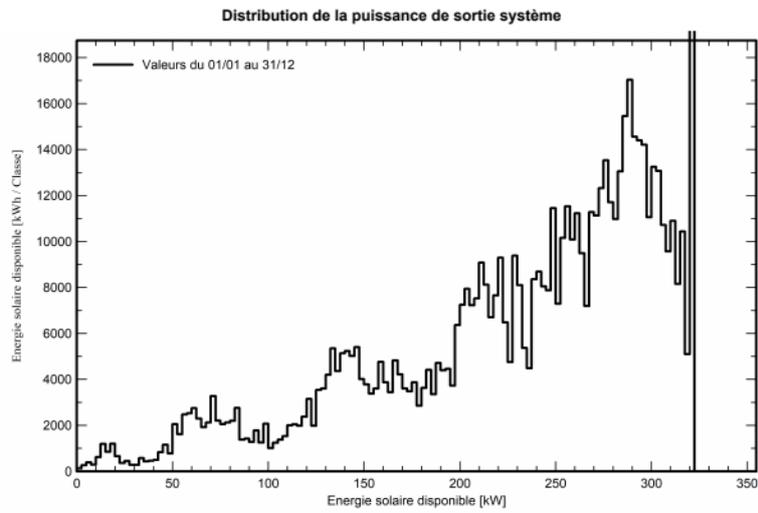
Annexe 5 : Energie incidente de référence sur le plan des panneaux



Annexe 6 : Diagramme journalier Entrée/Sortie du système photovoltaïque (PV)



Annexe 7 : Principaux résultats de simulation du système photovoltaïque



Annexe 8 : Condition de dimensionnement champ/onduleur dans PVSYST V7.2