

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE « SALHI AHMED » DE NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Energétique

Intitulé de Mémoire

**Estimation des Energies Solaires Reçues sur un Plan au
Site de Naâma (Application Maison Solaire)**

Présenté par :

Melle. ABED KHAWLA

Melle. BENKHEDA WAHIBA

Soutenu publiquement le : Mardi 23/05/2017 devant le jury :

Mr. Bessnouci Mohamed Zakarya	MAB	CU Naama	Président
Mr. Ziani Zakarya	MCB	CU Naama	Encadreur
Mr. Taibi Nour Eddine	Magister	U. Bechar	Co-Encadreur
Mr. Chabane Moustapha	MCB	CU Naama	Examineur

Année universitaire 2016-2017

Dédicace

*A mes Parents
Toute ma Famille Proche
Tous (tes) Ceux (celle)
qui me sont
Chers (es)*

Remerciement

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je glorifie ALLAH, le Tout-Puissant sans Sa volonté, rien ne peut se faire, Lui qui m'a accordé Son aide, le courage et la patience afin que ce travail puisse se réaliser.

En premier lieu, j'exprime mes vifs et sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon encadreur de mémoire, Mr. Ziani Zakarya, Maître de Conférences au Centre Universitaire de Naâma, pour ses conseils, ses orientations et ses initiatives dans ce domaine de recherche et pour toute la patience qu'il a su faire montrer.

Pour ses remarques, ses directives scientifiques et pédagogiques, ses encouragements et son soutien ont été pour moi d'une très grande utilité dans l'accomplissement de ce travail de recherche.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit du Monsieur Taibi Nour Eddine, Co-encadreur enseignant au centre Université Salhi Ahmed de Naâma qui nous a aidé à réaliser ce travail avec les remarques et l'orientation.

Aussi Mes remerciements à Mr Chabane Moustapha qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance.

Je ne saurais finir les civilités sans adresser mes sincères remerciements et mes respects dignes de mon examinateur Monsieur Bessnouci Mohamed Zakarya, qui, malgré leurs charges académiques et professionnelles m'ont fait l'honneur d'examiner mon mémoire.

Enfin, j'adresse mes remerciements aux personnels administratifs et académiques du Centre Universitaire de Naâma pour l'appui qu'ils ont su m'apporter pendant mes recherches. Mes remerciements vont à l'endroit de mes parents et de ma famille qui m'ont apporté leur concours tant moral que matériel.

Enfin, je dis merci à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Benkhada Wahiba

Abed Khaoula

Liste des Equations

Liste des Equations

Chapitre I

Équation I.1 : $\delta = 24.45 \sin 360365. n - 81$ (Basic Solar Geometry, 2010).....	14
Équation I.2 : $\sin h = \cos \delta . \cos \omega . \cos \phi + \sin \delta . \sin \phi$ (Ziani Z., 2003)	15
Équation I.3 : $\omega = \text{TSV} - 12.15$ (Estimation des Energies, 2003)	15
Équation I.4 : $S = I . k . n$ (BERNARD, 2008)	17
Équation I.5 : $\sin i, y = I . \sin i . \cos h . \cos a - \gamma + \cos i . \sin h$ (BERNARD, 2008)	17
Équation I.6 : $12 + 12 . \cos i = 12.1 + \cos i$ (BERNARD, 2008)	18
Équation I.7 : $1 - 12.1 + \cos i = 12.1 - \cos i$ (BERNARD, 2008)	18
Équation I.8 : $D_i = 1 + \cos i 2 . Dh + 1 - \cos i 2 . a Gh$ (BERNARD, 2008)	18

Chapitre II

Équation II.1 : $ff = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{cc}} = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{cc}}$	32
Équation II. 2 : $P_m = V_m \times I_m$	32
Équation II.3 : $\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{ff \times V_{oc} \times I_{cc}}{P_{in}}$	33

Chapitre III

Équation III.1 : $d=23.45 . \sin [0.980(N+284)]$	42
Équation III.2 : $\omega= 15(TS-12)$	42
Équation III.3 : $\sin(a) = \cos \delta . \sin(\omega) \cos(h)$	43
Équation III.4 : $h = \arccos(\cos \delta . \sin(\omega) \sin(a))$	43
Équation III.5 : $\beta = 90 - h$	43
Équation III.6 : $S = F . C$	44
Équation III.7 : $F=E_{sol} . \exp (-T_L / (0.9+9.4 . \sin (h)))$	44
Équation III.8 : $T_L=2.4+14.6 . B+0.4 (1+2B) . \ln(PV)$	44

Liste des Figures

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I.1 : Structure Interne du soleil (lunap.obs-besancon, 2017)	5
Figure I.2 : Tache Solaire (Wikipedia, 2017)	7
Figure I.3 : La couronne Solaire (K & J-M Lecleire, 2017)	8
Figure I.4 : La Structure de l'atmosphère (Meteo France, 2017)	11
Figure I.5 : Trajectoire de la terre autour du soleil. (R. Delclos, 2017)	12
Figure I.6 : Coordonnées géométriques (Vincent GODARD, 2017)	13
Figure I.7 : Coordonnées Horizontales (Jean-Eudes Arlot , 2017)	14
Figure I.8 : Spectre du Rayonnement Solaire (Wikipedia, 2017)	16
Figure I.9 : Définition des Angles par une Surface plane élémentaire éclairée par le soleil.	17
Figure I.10 : Effet de l'inclinaison i sur la réception du rayonnement diffus.....	18

Chapitre II

Figure II.1 : Analyse spectrale du rayonnement solaire ().	23
Figure II.2 : Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque (Iearreta, 2006).....	26
Figure II.3 : Cellule au Silicium Monocristallin (chenoufi, 2005).	26
Figure II.4 : Cellule au Silicium Polycristallin (chenoufi, 2005).	27
Figure II.5 : Cellule au Silicium amorphe (couche mince) (chenoufi, 2005).	27
Figure II.6 : Evolution de constructions des systèmes de production PV (chenoufi, 2005)	28
Figure II.7 : Caractéristique $I(V)$ d'un module solaire, $T=25^{\circ}\text{C}$ (2003).	28
Figure II.8 : Caractéristiques $P(V)$ d'un panneau solaire, $T=25^{\circ}\text{C}$ (2003).	29
Figure II.9 : Association des modules en série (P.H.nguyen).	29
Figure II.10 : Caractéristique résultante.	30
Figure II.11 : Association des modules en parallèle (2003).	30
Figure II.12 : Caractéristique résultante.	31
Figure II.13 : Association mixte des modules (belhadj, 2008).	31
Figure II.14 : Caractéristique résultante d'un groupement mixte (belhadj, 2008).....	32
Figure II.15 : Les différentes zones de la caractéristique $I(V)$, $T=25^{\circ}\text{C}$ (P.H.nguyen).....	34

Chapitre III

Figure III.1 : Mouvement apparent du soleil (D.Saheb-Koussa, 2007.)	41
Figure III.2 : Les rayons Solaires sur un plan incliné	42
Figure III.3 : Poursuite du soleil suivant deux axes	43

Figure III.4 : La carte interactive .	45
Figure III.5 : Image du logiciel de simulation PV solaire.	47
Figure III.6 : Données Météorologiques	47
Figure III.7 : Estimation des Energies Reçues Journalière durant l'Année	49
Figure III.8 : Estimation des Energies Reçues par Ciel bleu claire et Ciel Normal	52
Figure III.9 : Corse Solaire	53
Figure III.10 : Inclinaison optimale du panneau solaire.	54
Figure III.11 : Orientation Optimal des Panneaux pour le Site de Naâma.	55
Figure III.12 : L'orientation Idéal des panneaux par PVsyst	56
Figure III.13 : Modèle d'Orientation pour un Panneau Solaire	59
Figure III.14 : Schéma équivalent d'une Installation PV	59
Figure III.15 : Conception et Dimension du Système.	60
Figure III.16 : Mouvement Solaire dans le Ciel	61
Figure III.17 : Histogrammes de Pertes.	62

Symboles, Nomenclatures

Nomenclatures

Symbole	Notation principale
E	Eclairement (w/m^2)
H	Rayonnement (Wh/m^2)
C*	Constante solaire (w/m^2)
G	Rayonnement global (w/m^2)
λ	La longitude (degré)
L	La latitude (degré)
d	La déclinaison (degré)
a	Azimut (degré)
θ	Angle d'incidence des rayons solaires (degré)
β	Inclinaison du panneau (degré)
ω	L'angle horaire (degré)
TSV	Temps solaire vrai (heure)
TS	Temps solaire (heure)
ET	Equation du temps (minute)
TU	Le temps universel (heure)
TL	Le temps légal (heure)
AM	Masse d'air
PV	Photovoltaïque
I_{cc}	Courant du court-circuit
V_{co}	La tension de circuit ouvert
N_p	Nombre des cellules en parallèle
N_s	Nombre des cellules en série
T	Température
P_{max}	Puissance maximale
P_{inc}	Puissance incidente
I_M	Intensité maximale
V_M	Tension maximale
ff	Facteur de forme
η	Rendement
R_{opt}	Impédance optimale de charge
F	Flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires
B	Coefficient de trouble
N	Le nombre du jour de l'année
t	Coordonnée angulaire de la terre

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I

Le Gisement Solaire

I.1 Introduction	4
I.2 Le Soleil	4
I.2.1 Définition	4
I.2.3 Composition chimique du soleil	8
I.3 Le Couple Terre-Soleil	9
I.3.1 L'atmosphère :	9
I.3.2 Mouvement du soleil autour de la terre	12
I.3.2.1 Les coordonnées géométriques	13
I.3.2.2 Trajectoire apparente du soleil	14
I.4 Le Rayonnement Solaire	16
I.4.1 le rayonnement solaire due au sol	17
I.5 Conclusion	19

Chapitre II

Système Photovoltaïque

II.1 Introduction	22
II.2 Energie solaire	22
II.2.1 Rayonnement solaire	23
II.3 Conversion photovoltaïque	24
II.3.1 L'effet photovoltaïque	24
II.3.2 Le principe de conversion photovoltaïque	25
II.3.3 La cellule solaire	26
II.3.3.1 Cellule au silicium monocristallin	26
II.3.3.2 Cellule au silicium poly-cristallin	27
II.3.3.3 Cellule au silicium amorphe	27
II.3.4 Module photovoltaïque	27
II.3.5 Caractéristique d'un module solaire	28

II.3.5.1	Caractéristique courant-tension $I(V)$	28
II.3.5.2	Caractéristique puissance-tension $P(V)$	29
II.3.6	Groupement en série :	29
II.3.7	Groupement en parallèle	30
II.3.8	Groupement mixte (série-parallèle)	31
II.4	Facteur de forme	32
II.5	Rendement de conversion η	33
II.6	Zones de fonctionnement du module solaire	33
II.7	Fonctionnement optimal du générateur	34
II.8	Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	35
II.8.1	Les avantages	35
II.8.2	Les inconvénients.....	35
II.9	Avenir du photovoltaïque	36
II.10	Secteurs d'applications	36
II.10.1	Domaine spatial	36
II.10.2	Habitation isolée	36
II.10.3	Industrie isolée.....	37
II.10.4	Centrale de puissance	37
II.10.5	Résidence urbaine.....	37
II.10.6	Biens de consommation.....	38
II.11	Conclusion	38

Chapitre III

Résultats et Discussions

III.1	Introduction	41
III.1.1	Mouvement Apparent du Soleil	41
III.1.2	Repérage de la position du soleil	42
III.1.3	Calcul du rayonnement solaire.....	43
III.1.4	Calcul du rayonnement solaire direct sur un plan	44
III.1.5	Présentation du logiciel de la simulation PVGIS.....	44
III.2	Résultats et discussions	47
III.2.1	Ville de Naama.....	47
III.2.2	Données météorologiques	47
III.2.3	Trajectoire du soleil	53
III.2.4	Orientation des modules PV	53
III.3	Le logiciel PVSYST	56
III.3.1	Présentation du logiciel	56
III.3.2	Les menus principaux	57
III.4	Site d'implantation	57
III.5	Maison Solaire pour le site de Naâma	58
III.5.1	Dimensionnement d'une centrale PV	58
III.5.2	Présentation de logiciel de simulation PVSYST	58

III.5.3	Simulation de systèmes PV avec le logiciel PVSYST	58
III.5.4	Orientation des modules PV	58
III.5.5	Schéma du système PV raccordé au réseau	59
III.6	Simulation de systèmes PV à simple jonction	59
III.6.1	Paramètres de simulation	59
III.7	Conclusion.....	69
 Conclusion Générale.....		70

Introduction Générale

Introduction Générale

De nos jours, l'homme a à sa disposition sur la Terre de nombreuses sources d'énergie. Les plus utilisées sont les énergies dites fossiles (charbon, pétrole, gaz) car non renouvelables et issues d'un long processus de transformation de la matière organique, parce qu'elles sont faciles à exploiter, et rentables. Cependant, pour différentes raisons, il s'avère que ces énergies ne peuvent plus être utilisées. Tout d'abord, les réserves d'énergie fossiles commencent à s'amoinrir. Ensuite, en raison de la très forte demande en provenance des pays en voie de développement comme la Chine, les prix de ces énergies ne cessent d'augmenter, les rendant inabordables pour certaines personnes. Et puis, lors de leur utilisation, ces énergies émettent une grande quantité de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, notamment) qui participent fortement au réchauffement planétaire, qui devient un problème grandissant pour la Terre et les êtres vivants. De nombreuses énergies non polluantes, ou renouvelables, ou abondantes partout à la surface du globe pourraient pourtant être utilisées par l'homme.

Entre autres, on distingue l'énergie éolienne, l'énergie nucléaire, l'énergie hydroélectrique et l'énergie solaire. Mais l'énergie éolienne n'est pas assez rentable, au sens qu'elle ne permet pas de produire beaucoup d'énergie par unité de surface. L'énergie nucléaire, même si elle a un fort rendement, produit des déchets très polluants et peu dégradables. De plus elle fait peur en raison des graves accidents qui peuvent se produire (catastrophe de Tchernobyl), et en raison du risque de prolifération nucléaire. L'énergie hydroélectrique a un bon rendement mais, un fort impact écologique et humain, n'est pas disponible partout, et la plupart des espaces qui lui sont propices sont déjà saturés de barrages. L'énergie solaire, elle est disponible partout à la surface du globe, en quantité égale dans l'année, et a un bon rendement grâce à la technologie actuelle. Elle est de plus facile à exploiter. Elle semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir. C'est pour cela que nous avons décidé de l'étudier plus en détail.

Le soleil peut satisfaire tous nos besoins si nous apprenons à exploiter rationnellement l'énergie qu'il rayonne vers la terre. Il brille dans le ciel depuis presque 5 milliards d'années et les scientifiques ont calculé qu'il est à la moitié de son existence. Nous avons du mal à imaginer qu'au cours d'une année le soleil diffuse vers la terre quatre mille fois plus d'énergie que celle

consommée par toute la population mondiale. Aujourd'hui il paraît insensé de ne pas en profiter car nous avons les moyens technologiques nécessaires. De plus il faut considérer que cette source d'énergie est gratuite, propre et inépuisable. Cette énergie pourrait par ailleurs nous libérer de notre dépendance aux énergies fossiles ou aux autres alternatives peu sûres ou polluantes. Cette énergie peut être directement exploitée ou transformée en électricité.

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et du rendement énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle énergétique durable.

Le programme des énergies renouvelables et du rendement énergétique en Algérie est développé en cinq volets :

1. Les capacités à installer par domaine d'activité.
2. Le programme du rendement énergétique.
3. Les capacités industrielles.
4. La recherche et le développement.
5. Les mesures incitatives et réglementaires.

L'objectif de ce travail est la recherche d'innovations dans le domaine de l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque afin d'améliorer les performances de cette technologie.

Notre travail porte essentiellement sur quatre chapitres à savoir :

Pour le premier chapitre on s'intéresse à la description générale sur le gisement solaire. Les notions des semi-conducteurs et le système photovoltaïque feront l'objet de notre deuxième chapitre.

Grâce au logiciel de simulation PVGIS, PVSYST on a pu réaliser une carte solaire idéale pour le site de Naâma des énergies reçues par les capteurs, entre autres la simulation d'une maison solaire écologique, dans le dernier chapitre et la dernière partie de notre travail.

Chapitre I

Gisement solaire et position terrestre

Chapitre I

Le Gisement Solaire

Sommaire

I.1 introduction	4
I.2 Le soleil	4
I.2.1 Définition	4
I.2.3 Composition chimique du soleil	8
I.3 Le couple Terre-Soleil	9
I.3.1 L'atmosphère :	9
I.3.2 Mouvement du soleil autour de la terre	12
I.3.2.1 Les coordonnées géométriques	13
I.3.2.2 Trajectoire apparente du soleil	13
I.4 Le rayonnement solaire	15
I.4.1 le rayonnement solaire due au sol	16
I.5 Conclusion	19

I.1 introduction

Dans ce chapitre, on commence à citer quelques notions théoriques sur l'énergie solaire et leurs utilisations, ainsi le gisement solaire que nous obtenons.

L'énergie solaire c'est l'énergie la plus présente et utiliser dans le domaine de l'énergie renouvelables. Elle est facile a utilisé comme une énergie alternative à la lumière par les panneaux solaire. Et aussi considéré peu coûteux et économique dans les domiciles.

I.2 Le soleil

I.2.1 Définition

Le soleil est le cœur de notre système solaire, c'est très important pour la vie humaine et animale et végétale, C'est lui qui permet, par son attraction gravitationnelle, aux corps du système solaire de rester ensembles et qui fournit l'énergie nécessaire à divers processus

physiques et chimiques ayant lieu dans le système solaire. Sans lui, le système solaire n'aurait jamais pu être tel qu'il est maintenant, et nous ne serions pas là pour en discuter. (Groupe l'Univers, 2017)

Le soleil (étoile centrale du système solaire), c'est la plus proche de la Terre, dont elle est distante d'environ 150 millions de kilomètres. Le soleil est une étoile de type G2. (Futura-Sciences, Groupe MadeInFutura, 2017)

I.2.2 Structure du soleil :

Bien que le Soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul plus de 99 % de la masse du système solaire. Sa forme est presque parfaitement sphérique, avec un aplatissement aux pôles estimé à neuf millièmes, ce qui signifie que son diamètre polaire est plus petit que son diamètre équatorial de seulement dix kilomètres. (Oryx de la Grange, 2017)

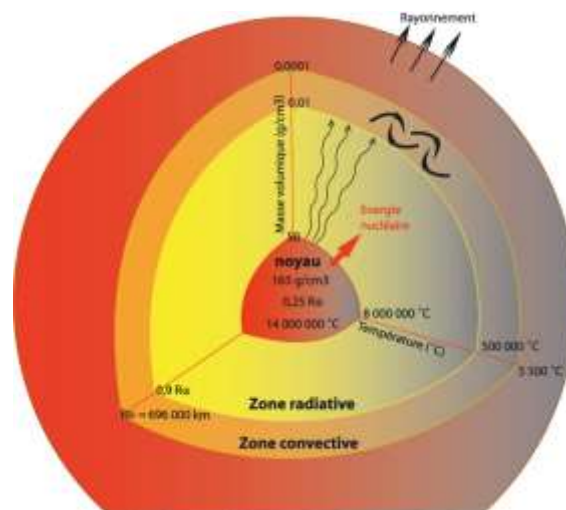


Figure I.1 : Structure Interne du soleil (lunap.obs-besancon, 2017)

a- La structure interne :

- **Le noyau du soleil (cœur) :** On considère que le cœur du Soleil s'étend du centre à environ 0,2 rayon solaire. Sa masse volumique est supérieure à $150\,000 \text{ kg m}^{-3}$, et sa température approche les 15 millions de degrés kelvins. C'est dans le cœur que se produisent les réactions thermonucléaires exothermiques (fusion nucléaire) qui transforment, dans le cas du soleil, l'hydrogène en hélium.

Le cœur est la seule partie du Soleil qui produise une quantité notable de chaleur par fusion : le reste de l'étoile tire sa chaleur uniquement de l'énergie qui en provient. La totalité de l'énergie qui y est produite doit traverser de nombreuses couches successives jusqu'à la photosphère, avant de s'échapper dans l'espace sous forme de rayonnement solaire ou de flux de particules. (Al., 2011)

- **La zone de radiation** : La zone de radiation ou zone radiative se situe approximativement entre 0,2 et 0,7 rayon solaire. La matière solaire y est si chaude et si dense que le transfert de la chaleur du centre vers les couches les plus extérieures se fait par la seule radiation thermique. L'hydrogène et l'hélium ionisés émettent des photons qui voyagent sur une courte distance avant d'être réabsorbés par d'autres ions. Dans cette zone, il n'y a pas de convection thermique car bien que la matière se refroidisse en s'éloignant du cœur, le gradient thermique reste inférieur au gradient thermique adiabatique. La température y diminue à deux millions de kelvins. (Al., 2011)
- **La zone de convection** : La zone de convection ou zone convective s'étend de 0,7 rayon solaire du centre à la surface visible du Soleil. Elle est séparée de la zone de radiation par une couche épaisse d'environ 3 000 kilomètres. Dans la zone de convection la matière n'est plus ni assez dense ni assez chaude pour évacuer la chaleur par radiation : c'est donc par convection, selon un mouvement vertical, que la chaleur est conduite vers la photosphère. La température y passe de 2 millions à 6 000 kelvins. La matière parvenue en surface, refroidie, plonge à nouveau jusqu'à la base de la zone de convection pour recevoir la chaleur de la partie supérieure de la zone de radiation, etc. Les gigantesques cellules de convection ainsi formées sont responsables des granulations solaires observables à la surface de l'astre. Les turbulences survenant dans cette zone produisent un effet dynamo responsable de la polarité magnétique nord-sud à la surface du Soleil. (Al., 2011)

b- La structure externe (les couches externes) :

Les couches externes du Soleil constituent son « atmosphère ».

- **La photosphère** : La photosphère est une partie externe de l'étoile qui produit entre autres la lumière visible. Elle est plus ou moins étendue : de moins de 1 % du rayon pour les étoiles

naines (quelques centaines de kilomètres) à quelques dizaines de pourcent du rayon de l'étoile pour les plus géantes. (Al., 2011)

A ce niveau, la matière du Soleil, opaque à l'intérieur, devient transparente. Les « bulles » de matière de la zone convective éclatent à la surface et forment les granules. On y observe en lumière blanche les taches solaires, entre autres phénomènes. (Maratrey, 2006)



Figure I.2 : Tache Solaire (Wikipedia, 2017)

- **La chromosphère** : est l'atmosphère du soleil. La chromosphère est la couche de gaz de couleur rose, transparente pour la lumière visible, qui entoure la photosphère. Elle n'est visible que lors d'une éclipse totale de Soleil ou à l'aide d'un coronographe. Sa couleur rose est due à l'émission lumineuse de l'hydrogène ionisé à la longueur d'onde H_{α} . () Elle a une épaisseur d'environ 8000 km et une température de 20 000 kelvins environ. (BERNARD, 2008)

La chromosphère émet elle-même un rayonnement. Cette émission est le fait des spicules, sorte de petits jets longilignes de matière de 300 à 1 000 km de diamètre, et de 10 à 15 000 km de hauteur. (Maratrey, 2006)



Figure I.3 La couronne Solaire (K & J-M Lecleire, 2017)

- **La couronne** : C'est la haute atmosphère du Soleil. Elle est observable lors d'une éclipse ou à l'aide d'un coronographe. C'est la diffusion de la lumière dans l'atmosphère terrestre, et la très forte luminosité du disque solaire qui nous empêche de voir en lumière blanche ce gaz ionisé peu lumineux. (Maratrey, 2006)
 - ✓ L'aspect et les dimensions de la couronne varient avec le temps, selon l'activité solaire. La couronne est constituée d'un plasma très dilué et décroît avec l'éloignement du Soleil. (MARATREY, 2006)
 - ✓ La zone de transition entre la chromosphère et la couronne est le siège d'une élévation rapide de température, qui peut approcher un million de kelvins. Cette élévation est liée à une transition de phase au cours de laquelle l'hélium devient totalement ionisé sous l'effet des très hautes températures. ()

I.2.3 Composition chimique du soleil

Le Soleil a une composition chimique proche de celle du nuage primordial :

- Hydrogène : 73,8 %
- Hélium : 24,4
- Le reste : 1,8 %

La composition chimique du Soleil est connue grâce à son spectre.

La composition chimique du Soleil n'est la même dans tout son volume. Par exemple, la quantité de l'hélium varie au cours du temps. Elle est plus importante dans le cœur, lieu de création de cet élément. (MARATREY, 2006).

I.3 Le couple Terre-Soleil :

I.3.1 L'atmosphère :

L'atmosphère c'est l'enveloppe gazeuse qui entoure la Terre. Bien que très mince en comparaison au rayon terrestre, son rôle de filtre du rayonnement solaire est essentiel à la présence de la vie sur Terre. C'est la plus dynamique et instable de cette planète.

Ce milieu contrôle la distribution de l'énergie à la surface du globe, et beaucoup de transformations chimiques, en particulier d'origine photochimique, surviennent à ce niveau. De plus, c'est là que s'effectuent les échanges de matière (et d'énergie) avec le reste du système solaire et l'espace en général. D'autre part, il est en contact très étroit avec les océans, la biosphère terrestre et la lithosphère, et fonctionne comme un milieu de transfert de matières d'une sphère à l'autre. ()

a) Composition chimique de l'atmosphère :

Gaz	Concentration % ou ppm	Temps de résidence
Azote (N ₂)	78.084 %	-
Oxygène(O ₂)	20.946 %	-
Argon (Ar)	0.934 %	-
Eau (H ₂ O)	(0.4 to 400) *10 ² ppm	10 jours
Dioxyde de Carbone (CO ₂)	370 ppm (280 ppm)*	4 ans
Néon (Ne)	18.18 ppm	-
Hélium (He)	5.24 ppm	~ 2.10 ⁶ ans
Méthane (CH ₄)	1.75 ppm (0.7 ppm) **	~10 ans
Krypton (Kr)	1.14 ppm	-
Hydrogène (H ₂)	0.4to 1.0 ppm (??)	-
Xénon (Xe)	0.087 ppm	-

Tableau I.1 : Composition de l'atmosphère au niveau du sol (Al., 2011).

b) Différentes Couches de l'atmosphère :

L'atmosphère terrestre correspond à la couche d'air entourant la terre. La variation de température dans l'atmosphère terrestre ne sont pas régulières. Dans certaines zones, elle diminue et dans d'autres elle augmente, ce qui a conduit à distinguer plusieurs couches.

(BASIC SOLAR GEOMETRY, 2010)

- **La troposphère** : C'est la couche atmosphérique la plus proche du sol, et la couche la plus basse, c'est-à-dire celle dans laquelle nous vivons. C'est aussi la plus dense. Sa température décroît de 6°C par kilomètre d'altitude. C'est à ce niveau que volent les avions de ligne et qu'interviennent les phénomènes météorologiques : vents, formation des nuages, pluie, neige...

La limite supérieure de la troposphère se nomme la tropopause.

- **La stratosphère** : est située au-dessus de la troposphère. L'altitude au-dessus du sol de la tropopause peut varier entre 5 et 15 km. Contrairement à la troposphère, la stratosphère contient très peu de vapeur d'eau (à cause des températures très basses rencontrées à la tropopause) mais la majorité de l'ozone O₃. L'absorption par l'ozone du rayonnement solaire ultraviolet, de longueur d'onde moindre que le rayonnement visible et plus énergétique, explique que la température dans la stratosphère est d'abord isotherme, puis augmente avec l'altitude jusqu'à un maximum à la stratopause. Cette structure verticale très stable inhibe fortement les mouvements verticaux, ce qui explique que la stratosphère soit organisée en couches horizontales (comme l'indique l'étymologie de son nom). Le temps de résidence de particules dans la stratosphère est très long à cause de l'absence de nuages et précipitations. (SPIGA, 2013-2014)

- **La mésosphère** : voit sa température décroître selon la verticale. Contrairement à la troposphère, elle ne contient pas de vapeur d'eau et contrairement à la stratosphère, elle ne contient que peu d'ozone. Elle se situe sur Terre à des altitudes entre 50 et 85 km. La mésopause est souvent le point le plus froid de l'atmosphère terrestre, la température peut y atteindre des valeurs aussi basses que 130 K. (SPIGA, 2013-2014)

- **La thermosphère** : voit sa température décroître selon la verticale. Contrairement à la troposphère, elle ne contient pas de vapeur d'eau et contrairement à la stratosphère, elle

ne contient que peu d'ozone. Elle se situe sur Terre à des altitudes entre 50 et 85 km. La mésopause est souvent le point le plus froid de l'atmosphère terrestre, la température peut y atteindre des valeurs aussi basses que 130 K. (SPIGA, 2013-2014)

- **L'Exosphère** : C'est la couche la plus élevée de l'atmosphère. Elle se dissipe peu à peu dans l'espace interplanétaire et l'air y devient extrêmement rare. Les ondes radio y sont réfléchies et beaucoup de satellites artificiels gravitent autour de la Terre dans cette zone.

()

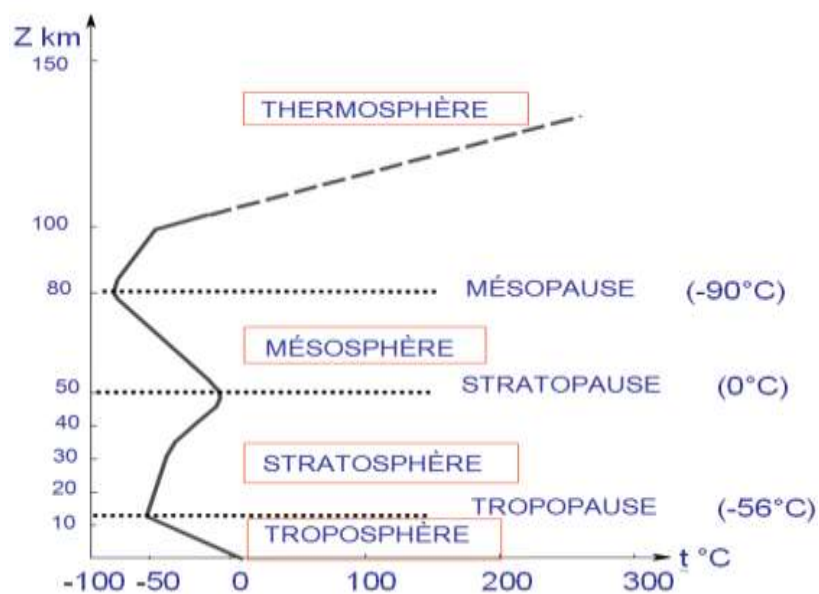


Figure I.4 : La Structure de l'atmosphère (Meteo France, 2017)

c) Rôle de l'ozone :

- L'atmosphère terrestre a joué et joue toujours un rôle essentiel pour la protection de la vie sur Terre.
- L'atmosphère terrestre nous protège des météorites, cette dernière sont des blocs de glace et de roche provenant de l'espace dans lequel ils se déplacent à des vitesses souvent très élevées
- Les météorites de grande taille peuvent cependant atteindre le sol et provoquer des dégâts qui dépendent de leur taille et leur vitesse. (2015)

- La couche d'ozone nous protège de rayonnement dangereux car il située dans la stratosphère cette couche épaisse seulement de 3 mm en moyenne arrête une partie des rayons ultraviolets (U V) nocifs pour les êtres vivants.
- L'atmosphère terrestre maintient une température idéale pour la vie. (2015)

I.3.2 Mouvement du soleil autour de la terre :

La terre décrit autour du soleil une ellipse située dans un plan appelé plan de l'écliptique. L'excentricité e de cette ellipse est très faible ($e \approx 0.017$) ; aussi peut-on l'assimiler à un cercle en première approximation. Cela explique la faible variation de la constante solaire $C^* = 1366 \pm 3.4\%$ w/m^2 (BERNARD, 2008)

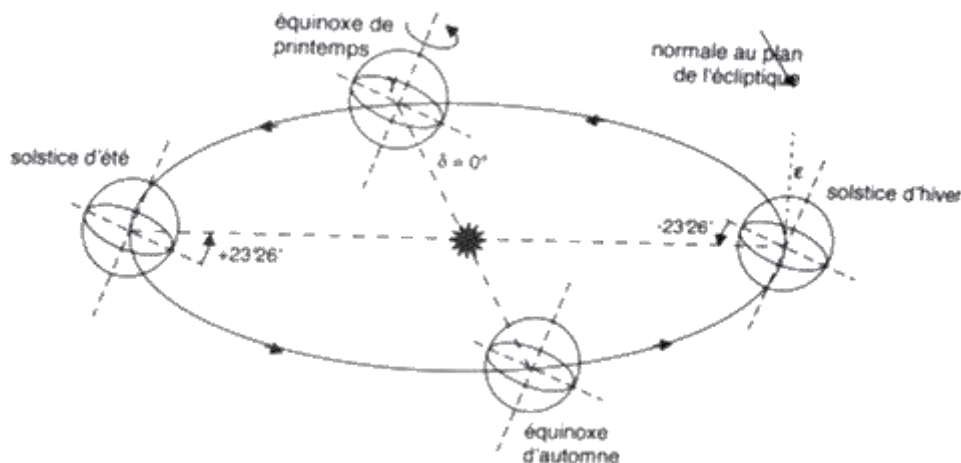


Figure I.5 : Trajectoire de la terre autour du soleil. (R. Delclos, 2017)

L'angle que fait le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil est appelé la déclinaison δ . Cet angle varie tout au long de l'année de façon symétrique de $-23^\circ 26'$ à $+23^\circ 26'$. L'angle ϵ que fait la normale au plan de l'écliptique avec l'axe de rotation de la terre (ou axe du monde) vaut évidemment $23^\circ 26'$. (BERNARD, 2008)

I.3.2.1 Les coordonnées géométriques :

Pour repérer un site donné à la surface terrestre, on définit les grandeurs suivantes :

- a- **La latitude L** : c'est l'angle L que fait la verticale du lieu avec le plan équatorial. Si $L > 0$, le site se trouve dans l'hémisphère nord, sinon le site est dans l'hémisphère sud.
- b- **La longitude λ** : c'est l'angle λ formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré. La longitude est comprise entre -180 (vers l'ouest) et $+180$ (vers l'est). Comme la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle-même (360°), chaque heure représente 15° d'écart de longitude et donc, chaque degré de longitude représente 4 minutes.
- c- **L'altitude** : c'est la distance verticale exprimé en mètres, séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence. (*fariza*)

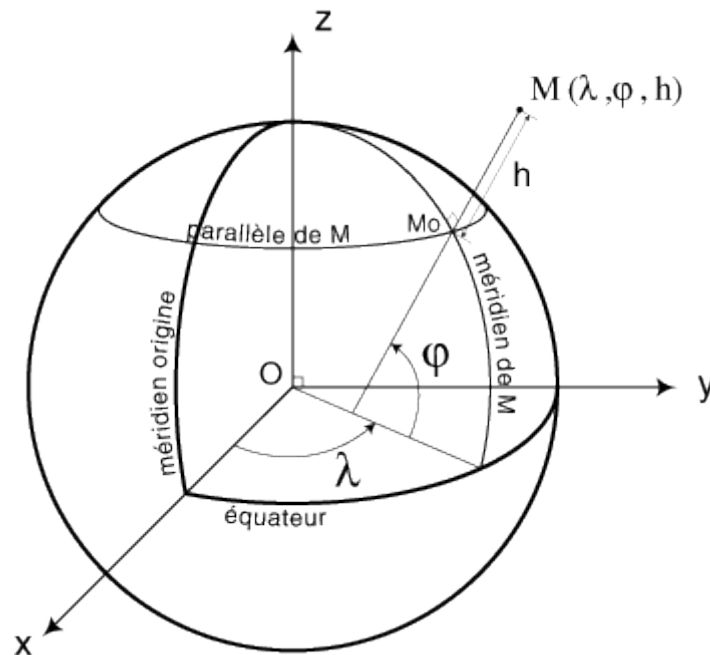


Figure I.6 : Coordonnées géométriques (Vincent GODARD, 2017)

I.3.2.2 Trajectoire apparente du soleil :

- I. **Coordonnées équatoriales** : utilisées principalement en astronomie, sont quant à elles indépendantes du lieu d'observation. Ce sont la déclinaison δ et l'ascension droite α angle que fait le plan contenant le cercle horaire passant par l'astre et celui passant par le point vernal γ et contenant l'axe du monde. (BERNARD, 2008)

- a. **Ascension droite α** : est un des deux termes associés au système de coordonnées équatoriales avec la déclinaison. Elle est l'équivalent sur la sphère céleste de la longitude terrestre.
- b. **Déclinaison δ** : La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire) par rapport au plan équatorial *. La valeur de la déclinaison peut être obtenue (en degrés) avec une bonne précision par la formule suivante où l'argument de la fonction sin en degrés et n le numéro du jour de l'année. (BERNARD, 2008)

$$\text{Équation I.1 : } \delta = 24.45 \text{ Sin } \left[\frac{360}{365} \cdot (n - 81) \right] \quad (\text{Basic Solar Geometry, 2010})$$

La déclinaison est maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre). (BERNARD, 2008)

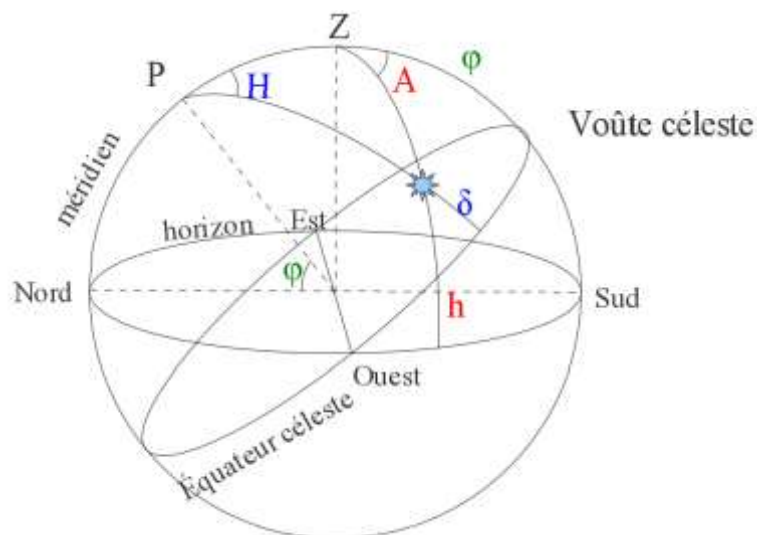


Figure I.7 Coordonnées Horizontales (Jean-Eudes Arlot , 2017)

II. **Coordonnées horizontales** : la position d'un astre dans l'espace peut être repérée par ses coordonnées horizontales définies sur la sphère céleste à savoir :

- a. **Azimut a** : correspondant à l'angle que fait le plan du méridien local avec le plan vertical passant par l'astre. L'azimut est compté négativement vers l'est, positivement vers l'ouest.

L'azimut à est déterminée grâce à l'équation :

b. Hauteur angulaire h : qui est l'angle que fait la direction de l'astre avec le plan horizontal (c'est-à-dire tangent au sol) (BERNARD, 2008)

La hauteur donnée par la formule :

$$\text{Équation I.2 : } \sin h = \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \phi + \sin \delta \cdot \sin \phi \quad (\text{Ziani Z., 2003})$$

III. Coordonnée horaire : à partir de la déclinaison δ et de l'angle horaire ω , on définit les coordonnées horaires.

a. L'angle horaire ω : est l'angle que fait le plan contenant le cercle horaire de l'astre avec le plan contenant le méridien céleste. Il est compté sur l'équateur, positivement à l'ouest et négativement à l'est. (BERNARD, 2008)

On donne l'angle horaire par la formule suivante :

$$\text{Équation I.3 : } \omega = (\text{TSV} - 12) \cdot 15 \quad (\text{Estimation des Energies Incidentes sur les Capteurs a Concentration, 2003})$$

b. La sphère céleste : La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps. (Ismail, 2014)

I.4 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le soleil. En plus des rayons cosmiques, particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées, « Ce rayonnement peut être capté par un panneau solaire thermique qui produira de l'eau chaude ou par un panneau photovoltaïque qui fournira de l'électricité. (6) le soleil émet des ondes électromagnétiques dont le spectre s'étend des ondes radio aux rayons gamma, en passant par la lumière visible. ()

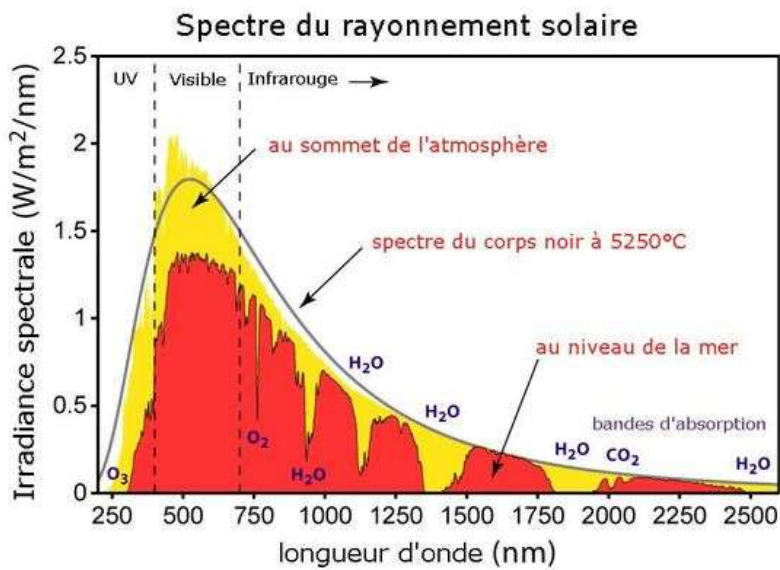


Figure I.8 : Spectre du Rayonnement Solaire (Wikipedia, 2017)

Ce rayonnement transporte l'énergie solaire, indispensable à toute vie terrestre. Les réactions de fusion nucléaire qui ont lieu au cœur du soleil libèrent une énergie colossale qui nous parvient 8 minutes plus tard sous la forme du rayonnement solaire. (BERNARD, 2008)

I.4.1 le rayonnement solaire due au sol :

- **Le rayonnement solaire direct $S^*(i,\gamma)$:**

C'est le rayonnement solaire qui on a obtient à partir des rayons parallèles résultant par le soleil sans influence de l'atmosphère.

Le rayonnement direct est un phénomène qui se produit à travers un plan donné puis un regard d'un petit coin en se concentrant sur le disque solaire et voir son arrivée en ligne droit mais à condition le ciel soit clair.

Considérons un capteur élémentaire incliné d'un angle i par rapport à l'horizontale et orienté d'un angle γ par rapport au sud. L'éclairement direct S^* est la composante normale au capteur, de l'éclairement solaire I^* . (BERNARD, 2008)

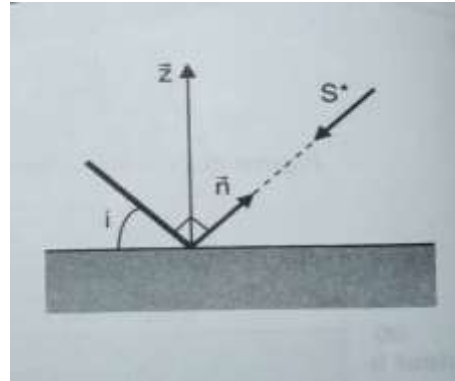
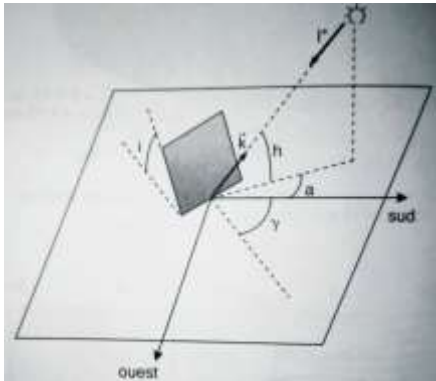


Figure I.9 : Définition des Angles par une Surface plane élémentaire éclairée par le soleil.
(BERNARD, 2008)

On peut écrire le rayonnement direct S^* par la formule suivante :

$$\text{Équation I.4 : } S = I \cdot \vec{k} \cdot \vec{n} \quad (\text{BERNARD, 2008})$$

Où \vec{n} représente le vecteur unitaire normal à la surface élémentaire :

$$\vec{n} (\sin \gamma \cdot \sin i, \cos \gamma \cdot \sin i, \cos i) \quad (\text{BERNARD, 2008})$$

Et \vec{k} le vecteur unitaire donnant la direction du soleil :

$$\vec{k} (\cos h \cdot \sin a, \cos h \cdot \cos a, \sin h). \quad (\text{BERNARD, 2008})$$

D'où il vient :

$$\text{Équation I.5 : } S(i, \gamma) = I \cdot [\sin i \cdot \cos h \cdot \cos(a - \gamma) + \cos i \cdot \sin h] \quad (\text{BERNARD, 2008})$$

- **Le rayonnement solaire diffus $D^*(i)$** : c'est le rayonnement solaire qui tombe du soleil et qui se propage et change sa direction pendant passant sur l'atmosphère.

Le rayonnement diffus est divisé en deux parties la première c'est le rayonnement diffus dans le ciel et la deuxième c'est le rayonnement réfléchi par la surface de la terre.

On suppose que le rayonnement diffus provenant du ciel ou bien du sol est isotrope. De plus on considère que le sol est horizontal.

Chapitre I : Le Gisement Solaire

Lorsque le capteur est horizontal ($i=0^\circ$) il reçoit le rayonnement diffusé par le ciel soit Dh^* .

S'il est incliné d'un angle i , il "voit" moins de ciel mais par contre reçoit du sol une fraction de la quantité $a^* \cdot Gh^*$ où a^* est l'albédo du sol pour le rayonnement solaire. (BERNARD, 2008)

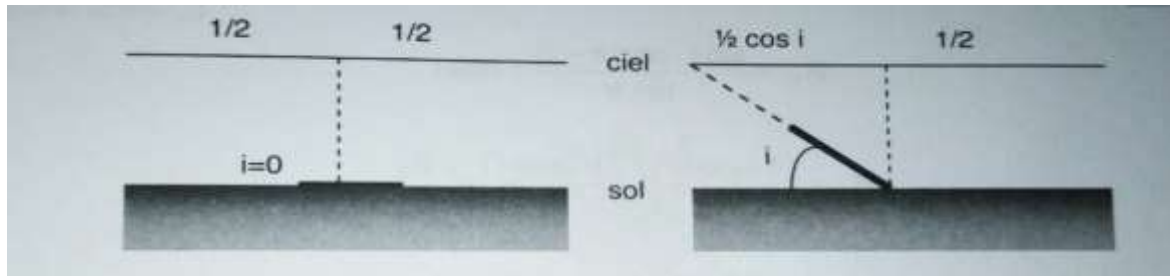


Figure I.10 : Effet de l'inclinaison i sur la réception du rayonnement diffus (BERNARD, 2008)

La figure ci-dessus montre que la fraction de Dh^* reçue par le capteur en provenance du ciel s'écrit :

$$\text{Équation I.6 : } \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \cos i = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos i) \quad (\text{BERNARD, 2008})$$

Quant à la fraction de ($a^* \cdot Gh^*$) en provenance du sol, elle s'écrit : (14)

$$\text{Équation I.7 : } 1 - \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos i) = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos i) \quad (\text{BERNARD, 2008})$$

Finalement on obtient :

$$\text{Équation I.8 : } D(i) = \left(\frac{1 + \cos i}{2} \right) \cdot Dh + \left(\frac{1 - \cos i}{2} \right) \cdot a Gh \quad (\text{BERNARD, 2008})$$

Le rayonnement solaire global $G^*(i, \gamma)$: c'est la somme des rayonnement direct et diffus . (BERNARD, 2008)

$$G^* = S^* + D^*$$

On tire: $Dh^* = Gh^* - I^* \sin h$ (BERNARD, 2008)

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a cité des notions sur le gisement solaire et leur relation avec la terre et l'atmosphère terrestre et nous avons aussi déterminé quelque définition des éléments nécessaire

Par ailleurs le soleil est la seule source d'énergie, thermique et électrique pour notre planète, et son mouvement est très important à le connaître, afin d'amélioré la réception d'une grande énergie chaque année

Finalement, le gisement solaire ou bien l'énergie solaire est une des cinq énergies renouvelables qui permet d'obtenir de la chaleur et l'électricité par conversion PV et la plus dominante.

Chapitre II

Généralité sur le Système Photovoltaïque

Chapitre II

Généralités sur le Système Photovoltaïque

Sommaire

II.1	Introduction	22
II.2	Energie solaire	22
II.2.1	Rayonnement solaire	23
II.3	Conversion photovoltaïque	24
II.3.1	L'effet photovoltaïque	24
II.3.2	Le principe de conversion photovoltaïque	25
II.3.3	La cellule solaire.....	26
II.3.3.1	Cellule au silicium monocristallin.....	26
II.3.3.2	Cellule au silicium poly-cristallin	27
II.3.3.3	Cellule au silicium amorphe	27
II.3.4	Module photovoltaïque	27
II.3.5	Caractéristique d'un module solaire.....	28
II.3.5.1	Caractéristique courant-tension I(V).....	28
II.3.5.2	Caractéristique puissance-tension P(V)	29
II.3.6	Groupement en série :	29
II.3.7	Groupement en parallèle.....	30
II.3.8	Groupement mixte (série-parallèle)	31
II.4	Facteur de forme	32
II.5	Rendement de conversion η	33
II.6	Zones de fonctionnement du module solaire	33
II.7	Fonctionnement optimal du générateur	34
II.8	Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	34
II.8.1	Les avantages	35
II.8.2	Les inconvénients.....	35
II.9	Avenir du photovoltaïque	35
II.10	Secteurs d'applications	36
II.10.1	Domaine spatial	36
II.10.2	Habitation isolée	36
II.10.3	Industrie isolée.....	36
II.10.4	Centrale de puissance	37
II.10.5	Résidence urbaine.....	37
II.10.6	Biens de consommation.....	37
II.11	Conclusion	38

II.1 Introduction

Les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produite des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité, et c'est cette dernière, énergie solaire photovoltaïque, qui fait l'objet de ce chapitre.

Une installation photovoltaïque réussie passe par une conception et une installation rigoureuse avec des composants qui répondent aux besoins et tiennent leurs promesses. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. Il existe plusieurs types de sources d'énergies renouvelables parmi eux : l'énergie hydroélectrique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque. Les sources d'énergies renouvelables proviennent directement ou indirectement du soleil. Elles sont donc disponibles indéfiniment tant que celui-ci brillera. L'énergie photovoltaïque est la plus jeune des énergies renouvelables, elle a l'avantage d'être non polluante, souple et fiable. (eiker, 2001) Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies ensuite avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker d'énergie électrique pendant les heures sans soleil. (djelloul, 2012)

II.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 est captée par la planète terre pendant une heure et 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 1367W/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) (A.zerga, 1998). Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000W/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 ().

II.2.1 Rayonnement solaire

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 (II-1) représente la variation de la répartition spectrale énergétique.

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

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4$ 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 par 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 la latitude, 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 ().

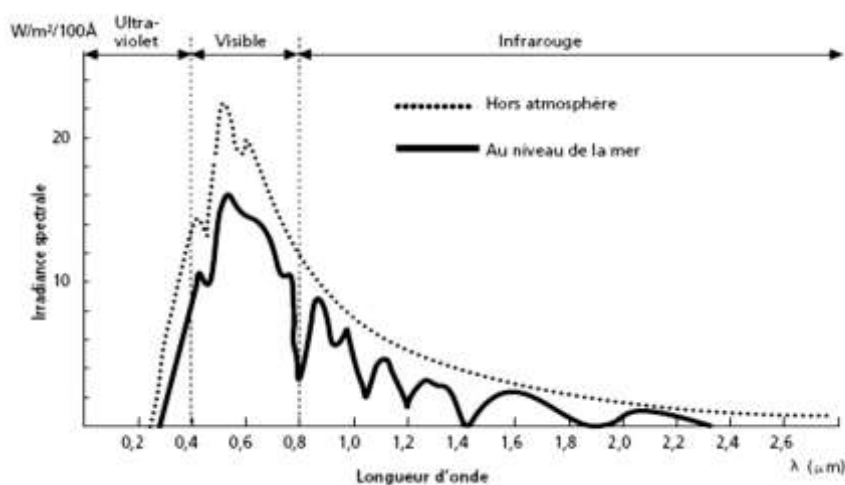


Figure II.1 : Analyse spectrale du rayonnement solaire ().

Il y a quatre types de rayonnement :

1. **Rayonnement direct** : rayonnement reçu directement du soleil. Il peut être mesuré par un **Pyrano-Mètre**
2. **Rayonnement diffus** : 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 et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un **Pyrano-Mètre** avec écran masquant le soleil.
3. **Rayonnement solaire réfléchi** ou l'albédo du sol : 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** : 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 **Parano mètre** ou un **Solari mètre** sans écran. ()

À noter que certains capteurs solaires concentrent le rayonnement solaire afin d'augmenter le rendement du capteur par rapport à une surface donnée. Ces capteurs à concentration ne peuvent utiliser que le rayonnement direct provenant du soleil. Dans les endroits avec une forte proportion d'ensoleillement diffus, ces capteurs ne peuvent pas fonctionner efficacement car l'ensoleillement diffus ne peut être concentré en un point (A.zerga, 1998) (2003).

II.3 Conversion photovoltaïque

La possibilité de transformer directement l'énergie lumineuse, et en particulier le rayonnement solaire en énergie électrique est apparue en 1954 avec la découverte de l'effet photovoltaïque. Cet effet utilise les propriétés quantiques de la lumière permettant la transformation de l'énergie incidente en courant électrique dont la cellule solaire ou photopile, est l'élément de base de cette conversion photovoltaïque (P.H.nguyen).

II.3.1 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un processus de transformation de l'énergie émise par le soleil, sous forme de photons, en énergie électrique à l'aide de composant semi-conducteur appelé cellule solaire (belhadj, 2008).

L'effet photovoltaïque ne peut se produire que s'il existe une barrière de potentiel dans le semi-conducteur avant qu'il ne soit éclairé. Une telle barrière existe, par exemple, à l'interface entre deux volumes dopés différemment c'est à dire où l'on a introduit deux types différents

d'impuretés à concentration différente, par exemple de type P-N. Si ce matériau est éclairé, les charges électriques, rendus mobiles par la lumière (l'effet photoélectrique), seront séparées par la barrière avec d'un côté les charges positives et de l'autre côté les charges négatives (2003).

Parmi les matériaux semi-conducteurs les plus utilisés on trouve le silicium, le germanium, le sulfure de Gallium et l'arséniure de Gallium.

II.3.2 Le principe de conversion photovoltaïque

Comment fonctionne une cellule solaire photovoltaïque ?

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (p-n) a été formée (2003).

En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un pair électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel le courant électrique circule (), voir la figure (II-2).

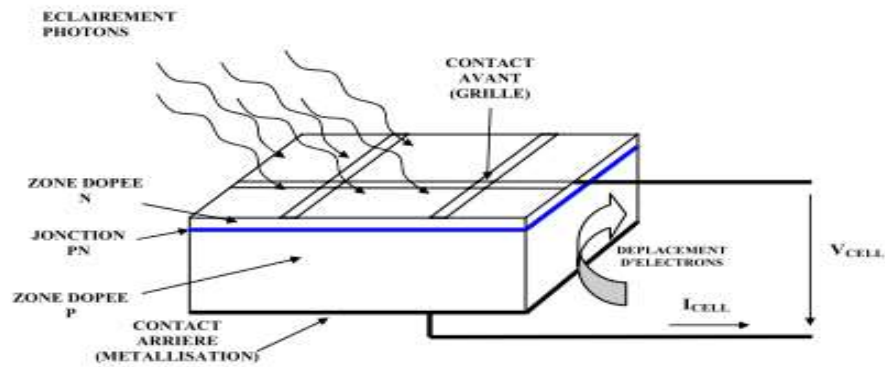


Figure II.2 : Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque (Iearreta, 2006)

II.3.3 La cellule solaire

On appelle cellule solaire un convertisseur qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque ()

Il existe trois grands types de silicium : mono cristallin, poly cristallin et amorphe.

II.3.3.1 Cellule au silicium monocristallin

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique.

Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher (2003).

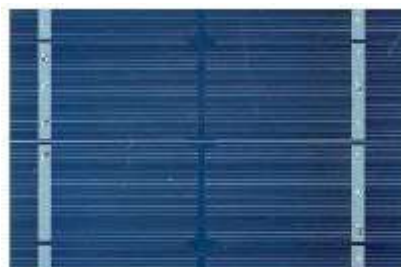


Figure II.3 : Cellule au Silicium Monocristallin (chenoufi, 2005).

II.3.3.2 Cellule au silicium poly-cristallin

Le silicium poly-cristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux (que le monocristallin). Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser (2003).

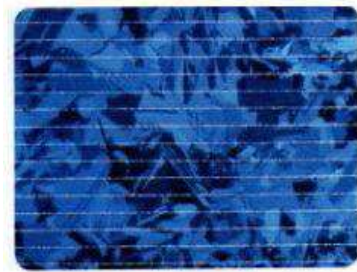


Figure II.4 : Cellule au Silicium Polycristallin (chenoufi, 2005).

II.3.3.3 Cellule au silicium amorphe

Le silicium absorbe le rayonnement solaire jusqu'à 100 fois mieux qu'en état cristallin, les cellules sont constituées par des couches très minces (P.H.nguyen)

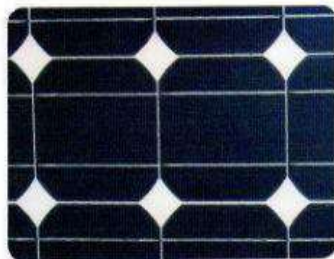


Figure II.5 : Cellule au Silicium amorphe (couche mince) (chenoufi, 2005).

II.3.4 Module photovoltaïque

Afin d'augmenter la tension d'utilisation, les cellules PV sont connectées en série. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge, les modules ont généralement 36 cellules. De plus, la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique. Le tout est appelé un module photovoltaïque.

Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. Toutefois, il importe de prendre quelques précautions car

l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dus à de l'ombrage, de la poussière, etc.) peuvent endommager les cellules de façon permanente (P.H.nguyen)

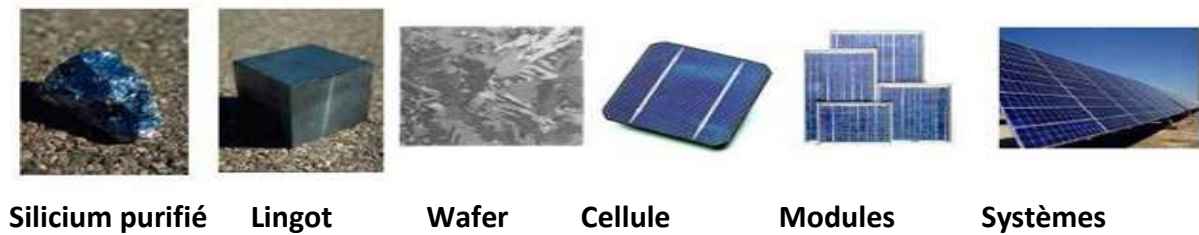


Figure II.6 : Evolution de constructions des systèmes de production PV (chenoufi, 2005)

II.3.5 Caractéristique d'un module solaire

II.3.5.1 Caractéristique courant-tension I(V)

C'est une caractéristique fondamentale du module solaire type MSX62 d'un nombre de cellule ($N_s=36$) définissant cet élément comme générateur. Elle est identique à celle d'une jonction P-N avec un sens bloqué, mais décalé le long de l'axe du courant d'une quantité directement proportionnelle à l'éclairement. Elle se trace sous un éclairement fixe et une température constante figure (II.7).

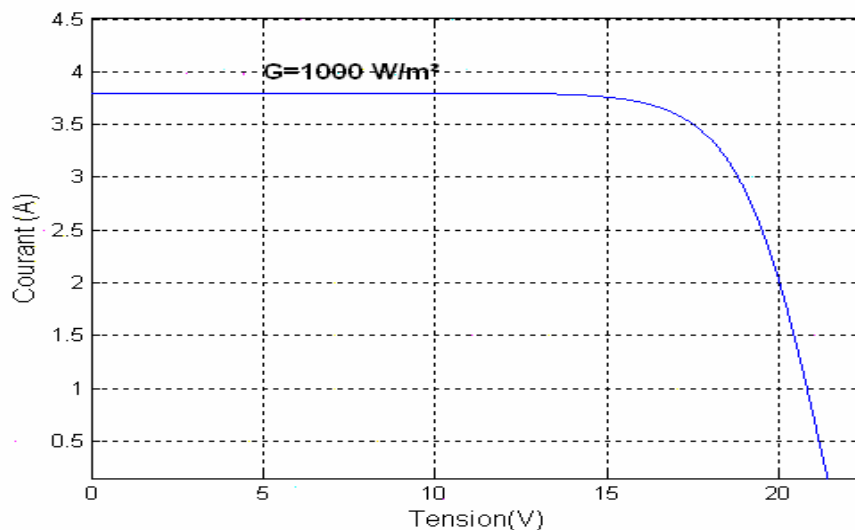


Figure II.7 : Caractéristique I(V) d'un module solaire, $T=25^{\circ}\text{C}$ (2003).

II.3.5.2 Caractéristique puissance-tension P(V)

La puissance débitée par le module photovoltaïque dépend du point de fonctionnement de cette dernière ; c'est le produit de l'intensité de courant et de la tension entre ses bornes figure (II-8). Le point « M » représente la puissance maximale débitée par le module.

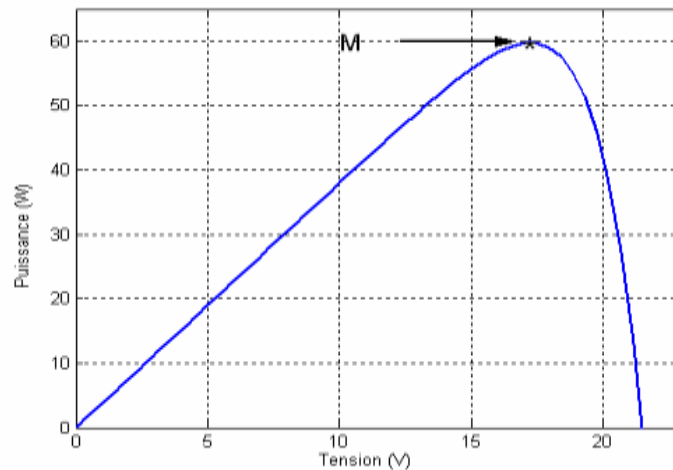


Figure II.8 : Caractéristiques P (V) d'un panneau solaire, T=25°C (2003).

II.3.6 Groupement en série :

Dans un groupement en série figure (II-9-a), les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par l'addition des tensions à courant donné. La figure (II-9-b) montre la caractéristique résultante (I_s, V_s) obtenue par l'association en série (indice s) de ns cellules identiques (I_{cc}, V_{co}).

Avec :

$I_{scc}=I_{cc}$: le courant de court-circuit.

$V_{sco}=nsV_{co}$: la tension de circuit ouvert

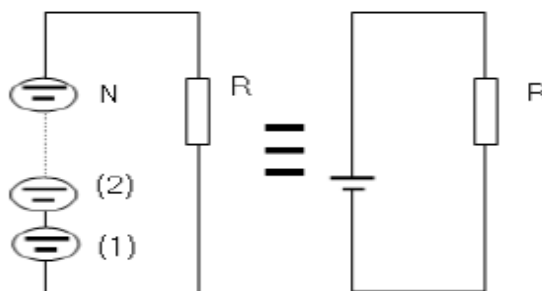


Figure II.9 : Association des modules en série (P.H.nguyen).

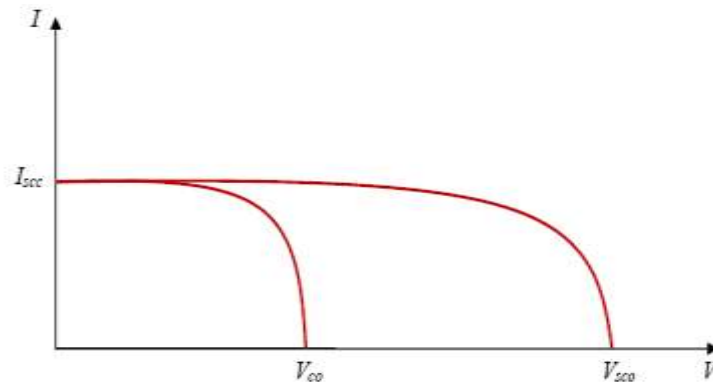


Figure II.10 : Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques (2003).

II.3.7 Groupement en parallèle

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle figure (II-10-a), les cellules étant soumises à la même tension, les intensités s'additionnent : la caractéristique résultante est obtenue par addition de courants à tension donnée. La figure (II-10-b) montre la caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) np cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).

$I_{pcc} = nI_{cc}$: le courant de court-circuit.
 $V_{pco} = V_{co}$: la tension de circuit ouvert.

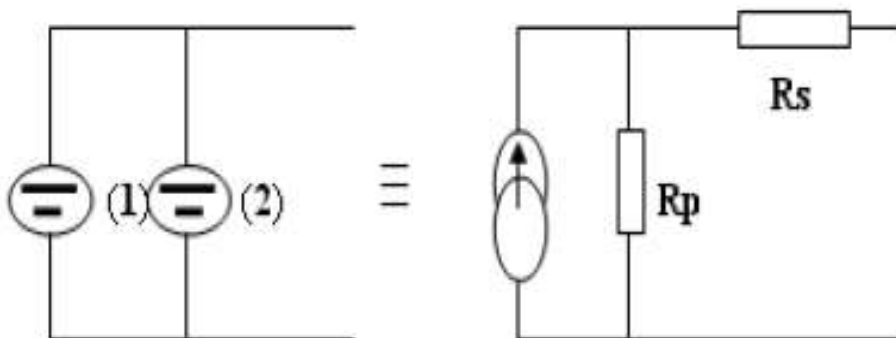


Figure II.11 : Association des modules en parallèle (2003).

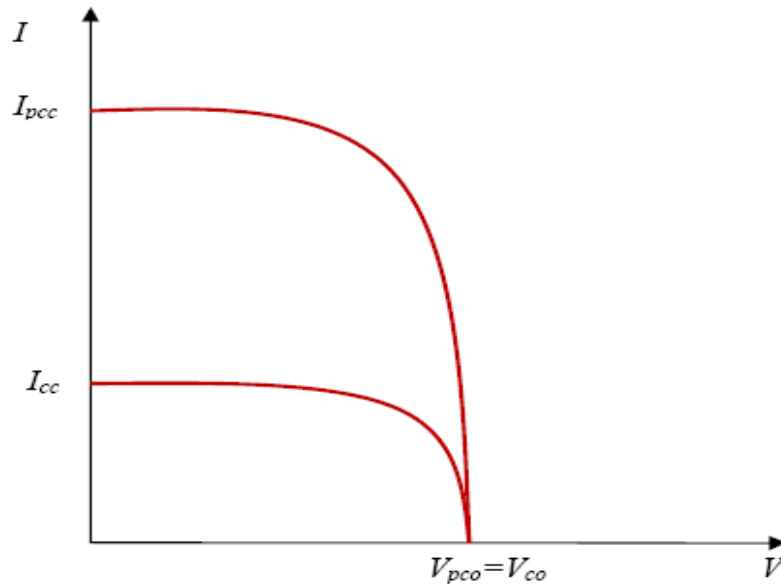


Figure II.12 : Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n. cellules identiques (2003).

II.3.8 Groupement mixte (série-parallèle)

Le générateur photovoltaïque est constitué d'un réseau série-parallèle de nombreux modules photovoltaïques regroupés par panneaux photovoltaïques figure (II-11-a). La caractéristique électrique globale courant/tension du GPV se déduit donc théoriquement de la combinaison des caractéristiques des cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par deux affinités de rapport n_s parallèlement à l'axe des tensions et de rapport n_p parallèlement à l'axe des courants, ainsi que l'illustre la figure (II-11-b), n_s et n_p étant respectivement les nombres totaux de cellules en série et en parallèle (belhadj, 2008).

$I_{gcc} = n_p \cdot I_{cc}$: courant de court-circuit du module résultant.

$V_{gco} = n_s \cdot V_{co}$: tension du circuit ouvert du module résultant.

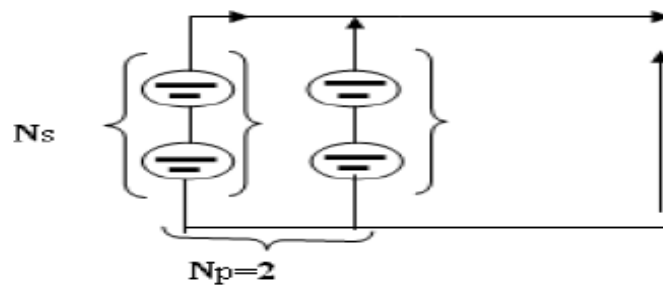


Figure II.13 : Association mixte des modules (belhadj, 2008).

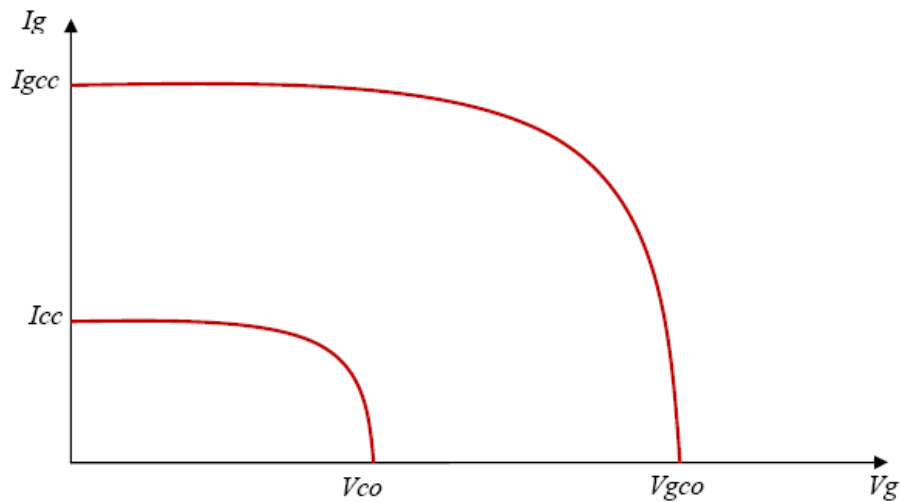


Figure II.14 : Caractéristique résultante d'un groupement mixte (belhadj, 2008).

Les générateurs photovoltaïques sont alors réalisés en vue d'augmenter la tension (Groupement en série) ou augmenter le courant (Groupement en parallèle) par l'association d'un grand nombre de cellules élémentaires de même technologie et de caractéristiques identiques. Le câblage série-parallèle est donc utilisé pour obtenir un module PV (ou panneau PV) aux caractéristiques souhaitées (courant et tension suffisants) (GERGAUD, 2002)

II.4 Facteur de forme

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée P_m) pour un point de fonctionnement PM (I_m, V_m) de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et I_{cc} et tension comprise entre 0 et V_{oc}). Ce point PM est obtenu en modifiant la valeur de la résistance externe, quand l'aire du rectangle défini par les axes Ox, Oy et les droites $x = I_m$ et $y = V_m$ passe par un maximum.

Le nom "facteur de forme" (fill factor) dérive de la représentation graphique. Il est défini par la relation suivante :

$$\text{Équation II.1 : } ff = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{cc}} = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{cc}}$$

La puissance maximale délivrée à la charge est présentée

$$\text{Équation II. 2 : } P_m = V_m \times I_m$$

II.5 Rendement de conversion η

Le rendement, η (efficacité) des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente P_{in} .

$$\text{Équation II.3 : } \eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{ff \times V_{oc} \times I_{cc}}{P_{in}}$$

P_{in} : Puissance incidente = P solaire = 100 W/cm².

La densité de puissance incidente égale à : $\frac{P_{in}}{A}$

A : section de la cellule.

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert.

Le rendement varie généralement entre 8 à 13% pour le silicium monocristallin, entre 7 à 11% pour le poly-cristallin et entre 4 et 9% pour la cellule au silicium amorphe (2003).

II.6 Zones de fonctionnement du module solaire

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairage et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement ; seule la courbe $I = f(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La figure (II.12) représente trois zones essentielles :

- **La zone (I)** : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- **La zone (II)** : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- **La zone (III)** : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension ().

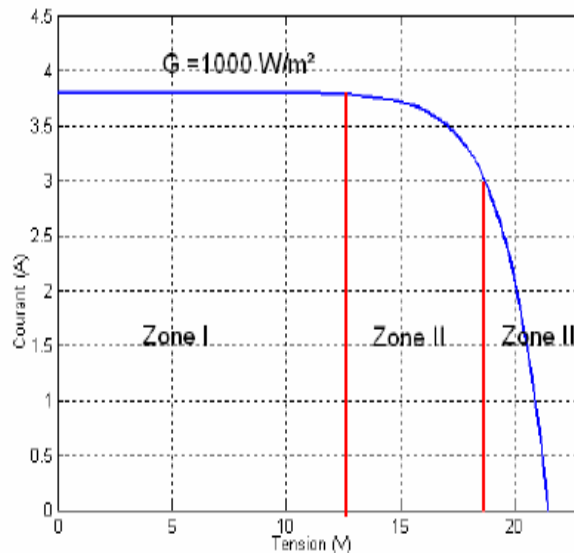


Figure II.15 : Les différentes zones de la caractéristique I (V), $T=25^\circ\text{C}$ (P.H.nguyen)

II.7 Fonctionnement optimal du générateur

Dans les conditions données, c'est au point de puissance maximale que l'on exploite au mieux la puissance crête installée. C'est pourquoi ce point est souvent qualifié de point de puissance optimale, terme traduisant mieux le caractérisé relatif aux conditions d'éclairement et de température de la puissance fournie, l'utilisation du générateur étant le plus souvent considérée comme optimal en ce point. Ce point est alors noté (V_{opt}, I_{opt}) .

Le point fonctionnement (V_p, I_p) du générateur est défini par l'intersection de sa caractéristique électrique avec celle de la charge. Seule une charge dont la caractéristique passe par le point (V_{opt}, I_{opt}) permet d'en extraire la puissance optimale disponible dans conditions considérées et l'impédance statique optimale de charge vaut alors $R_{opt} = V_m / I_m = V_{opt} / I_{opt}$.

Etant donné que ce point dépend totalement des conditions telles que l'éclairement G et la température, il en est de même de l'impédance de charge optimal (\cdot) .

L'utilisation optimale du générateur consiste alors à ce que sa charge conserve à chaque instant les valeurs optimales R_{opt} lorsque les conditions varient : il y a donc lieu d'effectuer en permanence l'adaptation d'impédance nécessaire (\cdot)

II.8 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Malgré les avantages qu'elle présente, l'énergie photovoltaïque présente certains inconvénients qui peuvent être résumés comme suit :

II.8.1 Les avantages

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages à savoir :

- une haute fiabilité
- elle ne comporte pas de pièces mobiles
- qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. D'où son utilisation sur les engins spatiaux.
- le caractère modulaire des panneaux photovoltaïque permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissance allant du milliwatt au Mégawatt ().
- le coût de fonctionnement est faible vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni personnel hautement spécialisé.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions (P.H.nguyen).

II.8.2 Les inconvénients

- la fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium est de 28%).
- les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée ().

Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis (P.H.nguyen)

II.9 Avenir du photovoltaïque

Source d'énergie 100% propre et faible pour des usages très variés, elle figurera à l'avenir parmi les principales sources mondiales. Son handicap majeur reste un coût encore élevé comparée aux sources conventionnelles et aux filières renouvelables ().

Ce coût diminue de 10% par an, et pour accélérer cette baisse, les autorités nationales et internationales doivent engagés une politique de soutien à long terme de la filière photovoltaïque (). C'est précisément l'objectif des programmes lancés depuis quelques années dans plusieurs pays industrialisés. Dans ce pays, l'application du PV reste encore modeste. La première utilisation été dans le domaine des télécommunications. Après, certain puits dans les hauts plateaux ont été équipés par des systèmes de pompages PV. A nos jours, quelques dizaines de village saharien de la région de Tamanrasset et Adrar jouissent des avantages de cette source d'énergie (ch.perrin de brichambaut c, 1982).

II.10 Secteurs d'applications

II.10.1 Domaine spatial

C'est de loin le secteur le plus ancien puisque les premières utilisations de cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes,...) remontent aux années soixante.

Depuis lors, des recherches et développements nombreux ont été réalisés dans le domaine militaire (NASA aux Etats-Unis) et public (ESA en Europe) pour accroître les performances électriques tout en réduisant le poids des modules.

II.10.2 Habitation isolée

L'approvisionnement en électricité dans les régions rurales isolées est un problème d'actualité, en particulier dans les pays en voie de développement. L'extension du réseau pour des demandes relativement faibles et isolées n'est pas rentable pour les sociétés d'électricité.

De nombreuses organisations internationales d'aide aux pays en voie de développement ont choisi la technologie photovoltaïque comme outil de développement social et économique pour fournir des services de base à la population, tels que :

- Le pompage de l'eau pour la consommation du village ou pour l'irrigation, la réfrigération pour la production de glace et la conservation de vaccins, sang, produits agricoles,...,
- l'éclairage (lampe portative, éclairage public, électrification villageoise...)

II.10.3 Industrie isolée

Beaucoup d'applications professionnelles exigent une source d'électricité hautement fiable, autonome, sans entretien et sans combustible. Le générateur photovoltaïque est de loin l'option la plus séduisante ; on l'utilise avec succès dans les télécommunications (stations relais

pour TV, radio, téléphonie, émetteur-récepteur,...), mais aussi pour d'autres applications telles que:

1. protection cathodique,
2. systèmes silencieux ou sans vibration,
3. éclairage, balises et signaux pour la navigation,
4. équipement de monitoring,
5. télémétrie, etc.

II.10.4 Centrale de puissance

Avec les applications photovoltaïques connectées au réseau d'électricité national, une nouvelle tendance se dégage ; elle est caractérisée par un fort potentiel de diffusion dans les pays industrialisés. La plupart des projets utilisent des champs de capteurs plans, mais on expérimente aussi les systèmes à concentration dans les régions riches en rayonnement direct.

Lorsque la pointe de la demande est en phase avec l'ensoleillement, la centrale photovoltaïque connectée au réseau permet de fournir les pointes. C'est le cas dans le sud des E.U. où la demande est maximum aux heures les plus ensoleillées à cause du conditionnement d'air omniprésent.

II.10.5 Résidence urbaine

Le générateur photovoltaïque connecté au réseau est aussi envisagé en zone urbaine avec l'installation de modules sur les toits et façades de bâtiments.

La façade photovoltaïque suscite beaucoup d'enthousiasme en Europe et aux E.U.; le recouvrement des façades de bâtiments commerciaux - où la consommation est essentiellement diurne - correspond mieux aux heures d'ensoleillement. L'orientation verticale (ou quasi) peut être avantageuse dans nos régions de haute latitude pour rehausser la production au creux de l'hiver. Cependant, l'apport énergétique d'une façade recouverte de modules photovoltaïques risque d'être assez négligeable par rapport aux consommations de bâtiments commerciaux. En réalité, l'enthousiasme découle du fait que le revêtement à l'aide de panneaux solaires photovoltaïques reviendrait pratiquement au même prix qu'un recouvrement à l'aide de matériaux classiques.

II.10.6 Biens de consommation

L'électronique moderne requiert de très petites puissances - du milliWatt à la dizaine de Watt de sorte que beaucoup de petits appareils peuvent être alimentés par une petite surface

de cellules photovoltaïques. Les calculatrices et les montres sont de loin les applications les plus connues. Les chargeurs de batteries, radios, lampes de poche, luminaires de jardin, systèmes d'alarme, jouets, fontaines, tondeuses à gazon, etc., sont d'autres exemples et cette liste n'est pas limitative.

La plupart de ces mini-générateurs photovoltaïques utilisent des cellules au silicium amorphe, bon marché et mieux appropriées aux faibles illuminations et petites puissances. Ils constituent une alternative très intéressante aux piles qui comportent des risques divers de contamination de l'environnement par les métaux lourds principalement. Le Japon est le principal producteur et consommateur de ces articles ([htt](#)).

II.11 Conclusion

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie renouvelable qui provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein des matériaux bien particuliers tels que les semi-conducteurs (le silicium, le Germanium, l'Arséniure des Galium,...). Afin de la rendre réalisable physiquement, elle nécessite un équipement complémentaire dit Système photovoltaïque, contenant les composants d'amélioration nécessaires qui rendent l'électricité produite consommable (régulation, conversion CC/AC...).

Dans ce chapitre on a présenté des notions générales sur les systèmes photovoltaïques, synthèse d'assemblage des panneaux et une spécification des différentes zones de fonctionnement et les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

Chapitre III

Résultats et Discussions

Chapitre III

Résultats et Discussions

Sommaire

III.1	Introduction	41
III.1.1	Mouvement Apparent du Soleil	41
III.1.2	Repérage de la position du soleil	42
III.1.3	Calcul du rayonnement solaire.....	43
III.1.4	Calcul du rayonnement solaire direct sur un plan	44
III.1.5	Présentation du logiciel de la simulation PVGIS.....	44
III.2	Résultats et discussions	47
III.2.1	Ville de Naama	47
III.2.2	Données météorologiques	47
III.2.3	Trajectoire du soleil	53
III.2.4	Orientation des modules PV	53
III.3	Le logiciel PVSYST	56
III.3.1	Présentation du logiciel	56
III.3.2	Les menus principaux.....	57
III.4	Site d'implantation	57
III.5	Maison Solaire pour le site de Naâma	58
III.5.1	Dimensionnement d'une centrale PV	58
III.5.2	Présentation de logiciel de simulation PVSYST	58
III.5.3	Simulation de systèmes PV avec le logiciel PVSYST	58
III.5.4	Orientation des modules PV	58
III.5.5	Schéma du système PV raccordé au réseau	59
III.6	Simulation de systèmes PV à simple jonction	59
III.6.1	Paramètres de simulation	59
III.7	Conclusion	70

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous sélectionnons les équations théoriques qui nous permettent de réaliser l'algorithme de calcul du rayonnement global reçu par un panneau photovoltaïque monocristallin avec les différentes inclinaisons au site de Naâma, pour des journées définies et des horaires précises, et par la suite on va appliquer nos données dans la simulation d'une maison solaire.

L'objectif du programme de calcul est l'inclinaison de panneau avec le mouvement du soleil du levé jusqu'au couché dans le but d'obtenir l'angle d'inclinaison adéquat (R. MAOUEDJ, DECEMBRE 2005.).

III.1.1 Mouvement Apparent du Soleil

Le repérage de la position du Soleil s'effectue par l'intermédiaire de deux angles :

L'azimut a : C'est l'angle que fait la direction de la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du sud, cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest et varie de $[-90^\circ$ à $+90^\circ]$.

La hauteur h du Soleil : C'est l'angle que fait la direction du soleil avec la projection sur un plan considéré. (D.SAHEB-KOUSSA, 2007.)

Ces deux angles sont représentés sur la figure III.1

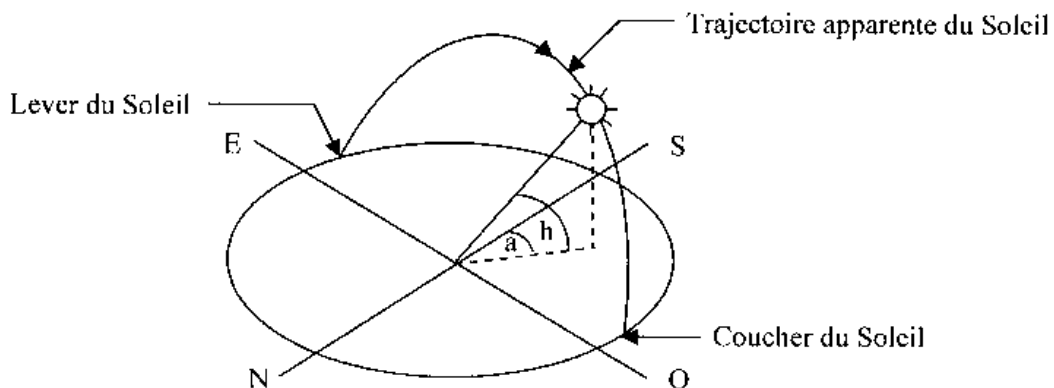


Figure III.1 Mouvement apparent du soleil (D.Saheb-Koussa, 2007.).

Ces deux angles sont fonction de :

- la latitude (L) du lieu considéré
- la date ou le numéro du jour de l'année (N)
- Temps solaire (TS) de la journée.

La latitude L et la date N servent à déterminer la trajectoire du Soleil et l'heure donne la position d'un point donné sur cette trajectoire.

L'angle de déclinaison (d) formé par la direction du soleil avec le plan équatorial peut être calculé par la relation suivante (D.SAHEB-KOUSSA, 2007.) :

$$\text{Équation 1 : } d=23.45.\sin [0.980(N+284)]$$

On définit également l'angle horaire (ω), cet angle est compté positivement l'après-midi par :

$$\text{Équation 2 : } \omega = 15(TS-12)$$

III.1.2 Repérage de la position du soleil

Le repérage de la position du Soleil s'effectue par les deux angles l'azimut a et la hauteur h qui se calculent par les formules théoriques suivantes :

III.1.2.1 L'azimut a

Trois cas peuvent se présenter : le panneau en position horizontale, le panneau incliné fixe et le panneau perpendiculaire suivant la trajectoire des rayons solaires. Nous désirons dans notre étude d'orientation et de simulation de maintenir le panneau perpendiculaire aux rayons solaires.

Les rayons solaires forment un angle incident θ avec la normale au plan considéré, comme le montre la figure suivante :

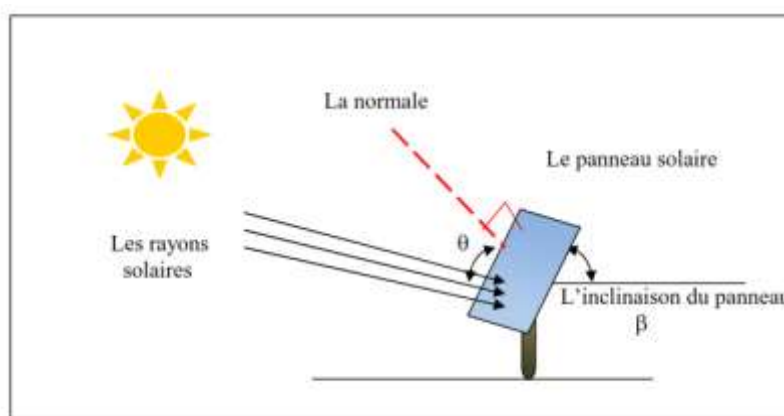


Figure III.2 : Les rayons Solaires sur un plan incliné (Mohammed Sadok, 2015).

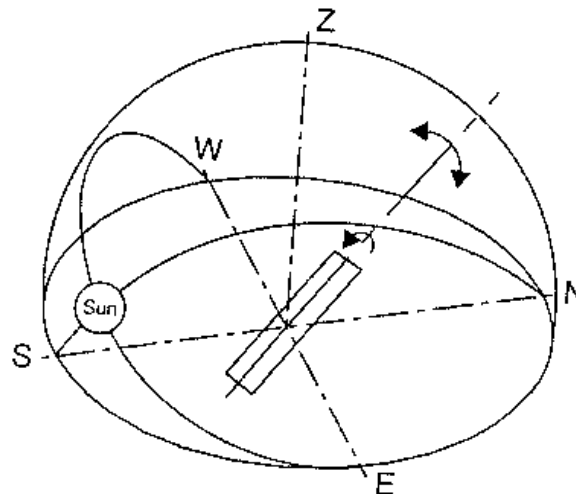


Figure III.3 : Poursuite du soleil suivant deux axes (Mohammed Sadok, 2015).

Ce qui nous amène à résoudre deux équations non linéaires pour les différentes valeurs de l'angle horaire ω . Au moyen du programme réalisé sous Matlab et avec le choix des conditions initiales nous obtenons ainsi les valeurs de l'azimut du soleil (a).

III.1.2.2 La hauteur h :

La hauteur du soleil h peut alors se déduire par la relation suivante :

$$\text{Équation 3 : } \sin(a) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\cos(h)}$$

Avec

$$\text{Équation 4 : } h = \arccos\left(\frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\sin(a)}\right)$$

III.1.2.3 L'inclinaison du panneau β

L'inclinaison du panneau se détermine finalement par la relation suivante :

$$\text{Équation 5 : } \beta = 90 - h$$

III.1.3 Calcul du rayonnement solaire

Le manque de données sur les constituants de l'atmosphère ne permet pas de calculer avec précision le rayonnement au sol. Des formules empiriques développées par les

météorologistes restent des outils commodes pour évaluer le rayonnement au sol, elles ont besoin d'être validé dans certains cas par des mesures expérimentales.

III.1.4 Calcul du rayonnement solaire direct sur un plan récepteur perpendiculaire, sur un plan incliné fixe et sur un plan horizontal

III.1.4.1 Rayonnement solaire direct sur un plan incliné

Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est possible de l'estimer par la formule suivante (D.SAHEB-KOUSSA, 2007.)

$$\text{Équation 6 : } S = F \cdot C$$

Où F est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires et peut être évalué par :

$$\text{Équation 7 : } F = E_{\text{sol}} \cdot \exp(-T_L / (0.9 + 9.4 \cdot \sin(h)))$$

Avec $E_{\text{sol}} = 1370 \text{ w/m}^2$ et T_L le facteur de trouble de Linke défini comme suit :

$$\text{Équation 8 : } T_L = 2.4 + 14.6 \cdot B + 0.4(1 + 2B) \cdot \ln(PV)$$

Où B est le coefficient de trouble atmosphérique qui prend une des valeurs :

B = 0.02 pour un lieu situé en montagne

B = 0.05 pour un lieu rural

B = 0.10 pour un lieu urbain

B = 0.20 pour un lieu industriel (atmosphère polluée).

III.1.5 Présentation du logiciel de la simulation PVGIS

L'application en ligne gratuite PVGIS est un excellent outil de simulation qui permet de calculer gratuitement la production de systèmes photovoltaïques connectés au réseau en Europe et en Afrique (et également pour site isolés en Afrique seulement).

A l'aide de son interface Google Maps intégré, il est très facile d'obtenir les données de production d'un système PV à partir des données d'ensoleillement précises du site (intégrant notamment les masques lointains liés au relief, collines, montagnes).

Par ailleurs PVGIS propose des cartes d'ensoleillement (irradiation en kWh/m²) et de température précises haute définition de toute l'Europe, de l'Afrique et du Proche-Orient, dans notre cas ici on a choisi pour l'Afrique (D.Saheb-Koussa, 2007.).

III.1.5.1 Comment utiliser PVGIS pour les installations connectées au réseau ?

Une fois sur PVGIS, la première chose à faire est de naviguer sur la carte pour trouver le site où seront implantés les panneaux solaires. Cliquez sur un point de la carte pour choisir l'emplacement de vos panneaux.

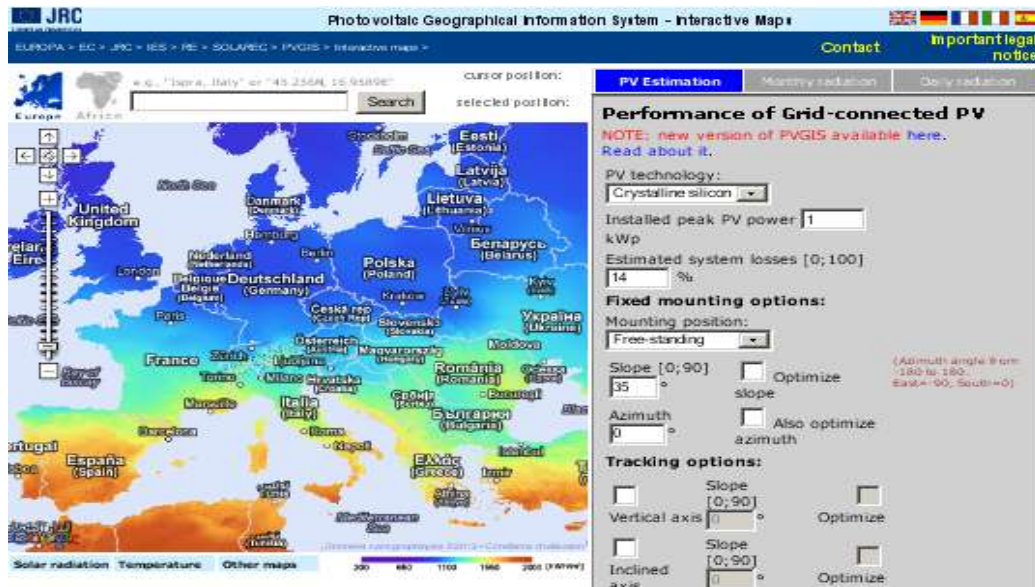


Figure III.4 : La carte interactive (Mohammed Sadok, 2015).

Ensuite on doit renseigner les éléments suivant :

- **Radiation data base** : Sélectionnez la base de données d'ensoleillement que vous souhaitez, laissez "classic PVGIS" par défaut.
- **Technologie PV** : type de panneaux photovoltaïques, sélectionnez le type de panneaux qui correspond à votre installation. Vous avez le choix entre des panneaux photovoltaïques cristallins (mono ou poly, PVgis ne fait pas la différence) des panneaux couche mince type CIS (sélénium de cuivre et d'indium) des panneaux au tellure de Cadmium (CdTe) (K.H. HUSSEIN, JAN. 1995.)

Autre technologie photovoltaïque (silicium amorphe, cellules multicouches, etc...).

- **Puissance PV crête installée kWp** : puissance de votre installation en kWc (puissance d'un panneau en Wc x nombre de panneaux / 1000) (K.H. HUSSEIN, JAN. 1995.).
- **Pertes estimées du système [0 ; 100] %** : estimation des pertes du système liées aux câbles, au rendement des onduleurs etc, la valeur par défaut de PVGIS est de 14%. Attention ! A ces pertes PVGIS ajoute automatiquement les pertes liées à la température

et à la réflexion de la lumière sur les panneaux. Au total pour des panneaux cristallins installés en France les pertes totales du système sont d'environ 26%, ce qui est réaliste pour une installation moyenne.

PVGis intègre une base de données de température et calcule donc automatiquement les pertes de production liée aux températures moyennes réelles du site.

PVGis intègre aussi une base de données topographique. Un graphique montre ainsi l'horizon lointain du site concerné. Les pertes liées à ces masques sont donc prises en compte dans la simulation.

- **Options montage fixé, Position de montage** : type d'intégration (support) des panneaux, vous avez le choix entre :

Position libre = support ventilé (exemple structure triangulaire)

Intégré au bâtiment = structure intégrée au bâtiment ou surimposée avec peu de ventilation

- ✓ **Inclin. [0 ; 90] °** : inclinaison, pente des panneaux
- ✓ **Optimiser l'inclinaison** : inclinaison optimale, cochez cette case si vous souhaitez que PVgis calcule automatiquement l'inclinaison optimale en fonction du lieu d'implantation (latitude) et de l'orientation de vos panneaux solaires.
- ✓ **Azimut °** : azimut, orientation des modules (angle variant de -180° à 180°. Est = -90°, Ouest = 90° Sud = 0°)
- ✓ **Optimiser aussi l'azimut** : orientation optimale, cochez cette case si vous avez entré une valeur pour l'inclinaison et que vous voulez que PVGIS calcule automatiquement la meilleure orientation en fonction de la latitude du lieu et de l'inclinaison de vos panneaux.
- **Options du système de poursuite** : option qui concerne seulement les systèmes PV avec tracker, (panneaux montés sur un support amovible qui suit la course du soleil). Liste de choix de tracker : axe vertical, axe horizontal (avec choix de l'inclinaison ou inclinaison optimisée selon la latitude du lieu) ou système à 2 axes.
- ✓ **Fichier de l'horizon** : import de fichier de données concernant l'horizon (intégrant éventuellement les ombres proches liées aux bâtiments environnants).
- ✓ **Formats de sortie** : choix d'option concernant le format du rapport de résultats de la simulation [32].

III.2 Résultats et discussions

III.2.1 Ville de Naama

La wilaya de Naâma prononcé [na.ama] (Prononciation du titre dans sa version originale Écouter), (en arabe: ولاية النعامة) est une wilaya algérienne située à l'ouest de l'Algérie, à la frontière avec le Maroc. Elle est voisine au nord avec les wilayas de Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès, à l'est celle d'El-Bayadh et au sud celle de Béchar. (G. A. Landis, 2005.)



Figure III.5 : Image du logiciel de simulation PV solaire.

III.2.2 Données météorologiques :

Paramètres du site géographique

Geographical Coordinates: Carte interactive

Site: **Naama (Algeria)**

Source des données: Naama_MN71_1986_1980.SIT -- Meteororm 7.1 (1986-2005), Sat=100%

	Irrad. Glob. kWh/m ² .ms	Diffus kWh/m ² .ms	Tempér. °C	Vit. vent m/s
Janvier	110.3	29.4	7.4	2.00
Février	122.6	32.6	9.8	2.30
Mars	185.0	40.6	14.5	2.90
Avril	212.1	49.5	17.1	3.40
Mai	242.3	54.0	22.2	3.40
Juin	254.2	45.9	27.7	2.79
Juillet	245.5	59.8	32.1	2.50
Août	228.8	52.6	30.3	2.59
Septembre	180.1	51.1	24.2	2.51
Octobre	152.5	37.8	19.8	2.30
Novembre	115.6	26.3	12.2	2.20
Décembre	98.6	25.2	8.9	2.19
Année	2147.6	504.8	18.8	2.6

Données requises

- Irradiation globale horizontale
- Température ext. Moyenne

Données supplémentaires

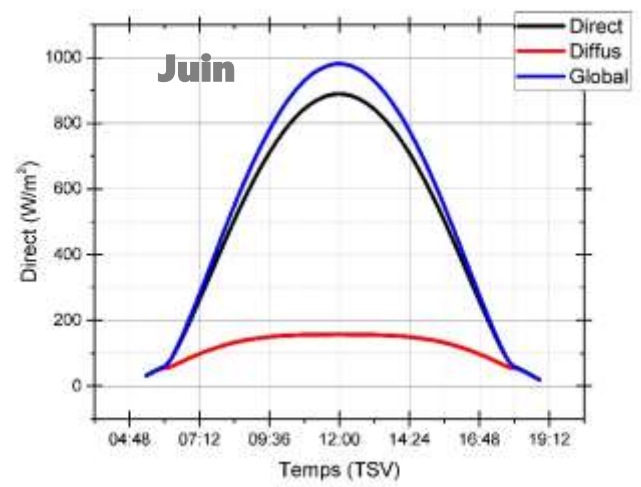
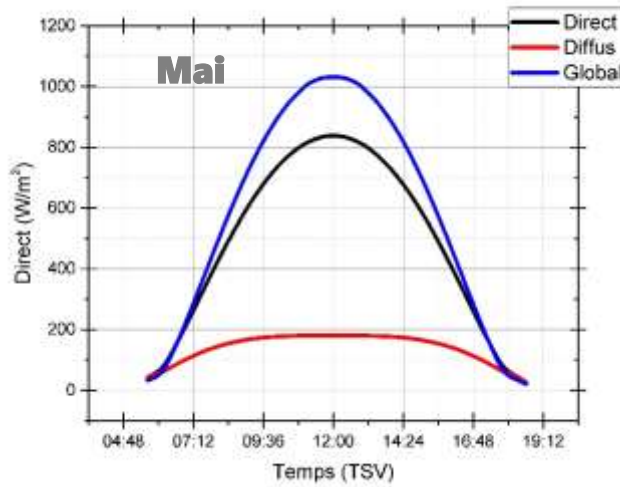
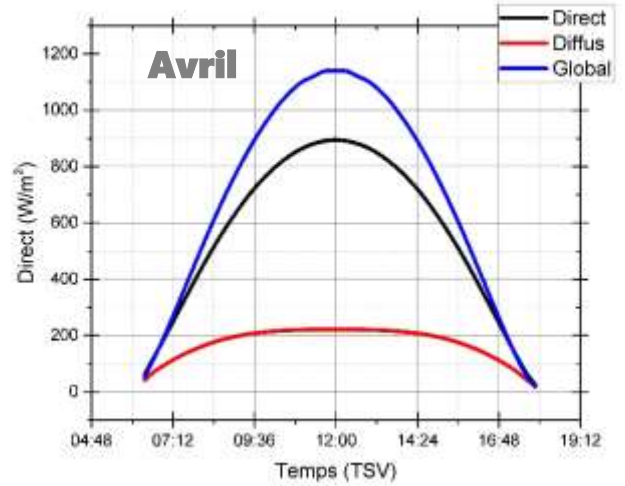
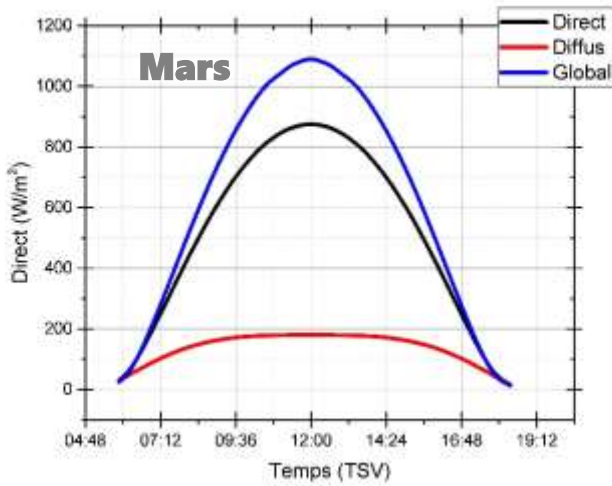
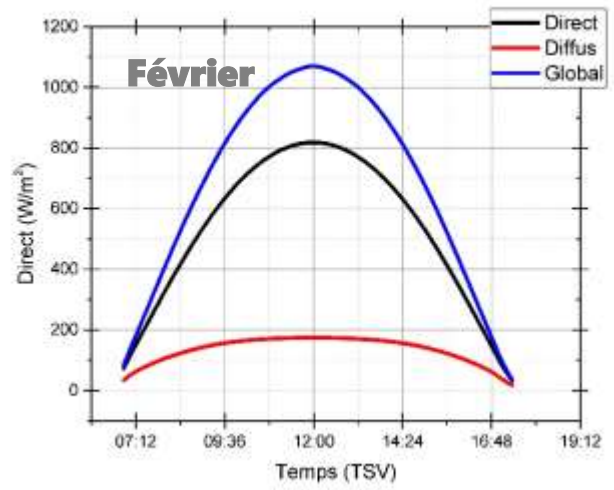
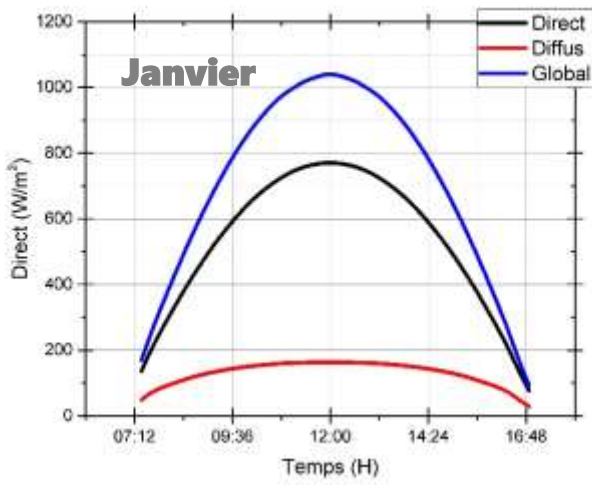
- Irradiation diffuse horizontale
- Vitesse du vent

Unités d'irradiation

- kWh/m².jr
- kWh/m².ms
- MJ/m².jr
- MJ/m².ms
- W/m²
- Indice de clarté Kt

Figure III.6 : Données Météorologiques

III.2.2.1 Estimation des Energies journalière pour les différents Mois de l'année :



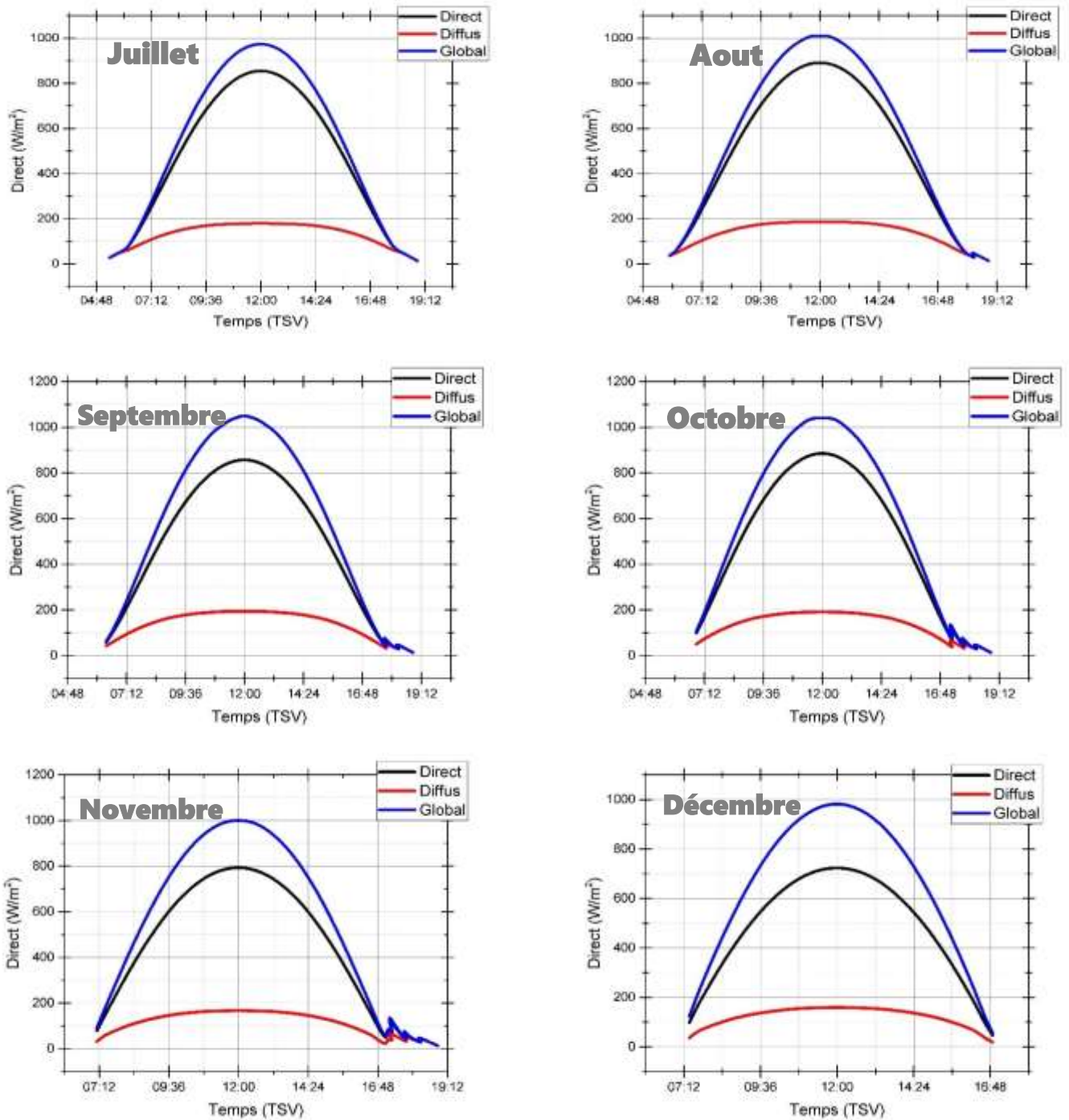


Figure III.7 : Estimation des Energies Reçues Journalière durant l'Année

Dans la figure III.7, on visualise les courbes de la variation du rayonnement incident durant la journée ; on remarque que l'allure des courbes est plus large dans les mois d'hiver et d'automne et plus étroite dans les mois d'été et printemps.

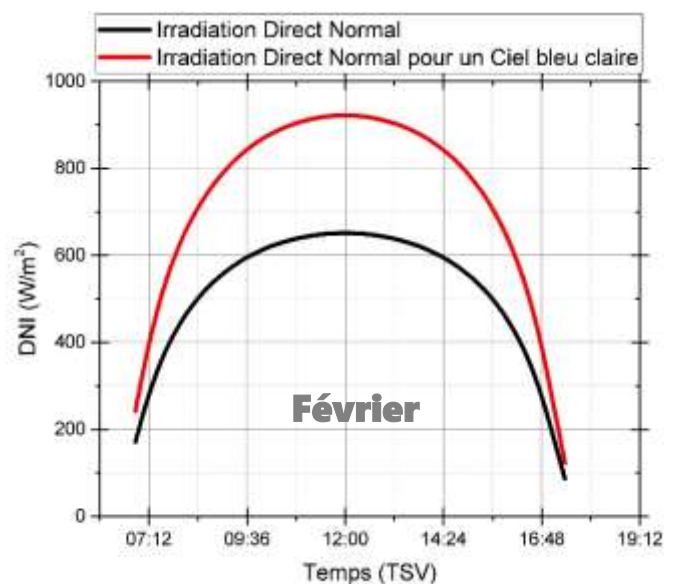
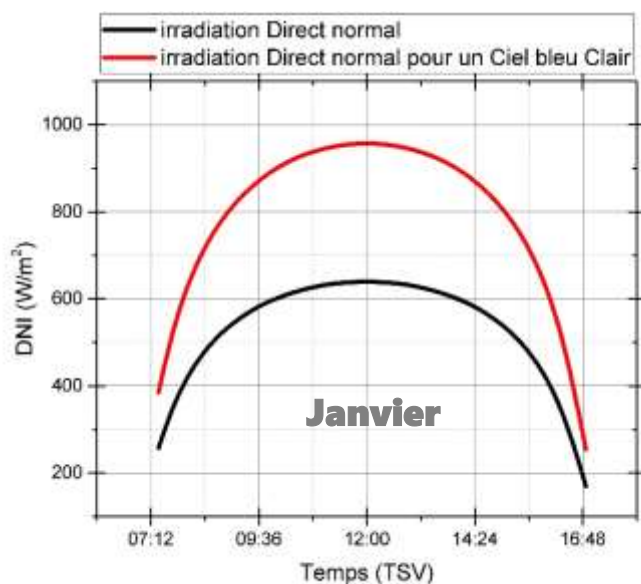
Aussi on constate une forme gaussienne pour toutes les courbes d'énergie directe incidente, en fonction des horaires. Au mois d'été l'écart entre le rayonnement incident et le rayonnement global est moins important qu'au mois d'hiver. En effet ceci s'explique par l'absence des nuages et la position du soleil, le rayonnement direct est plus important dans solstice d'été et équinoxe de printemps, qu'au solstice d'hiver et l'équinoxe d'automne, un pic d'énergie est prélevé à 12 TSV heure solaire et le ciel bleu clair favorise l'augmentation d'énergie reçue par rapport un ciel normal nuageux.

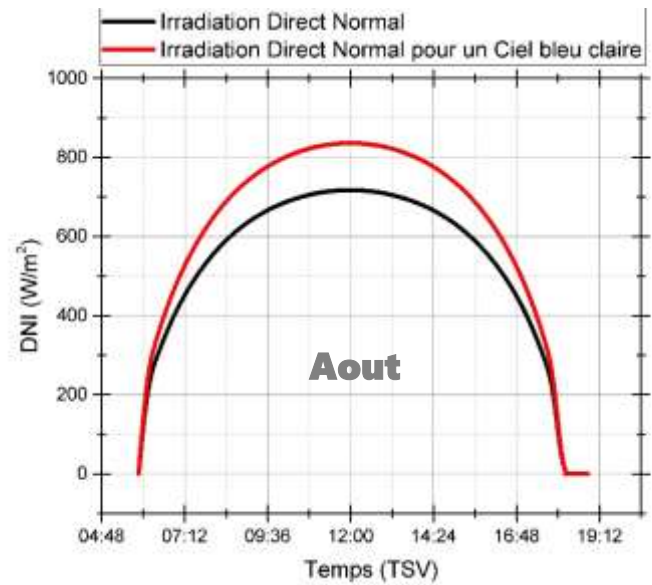
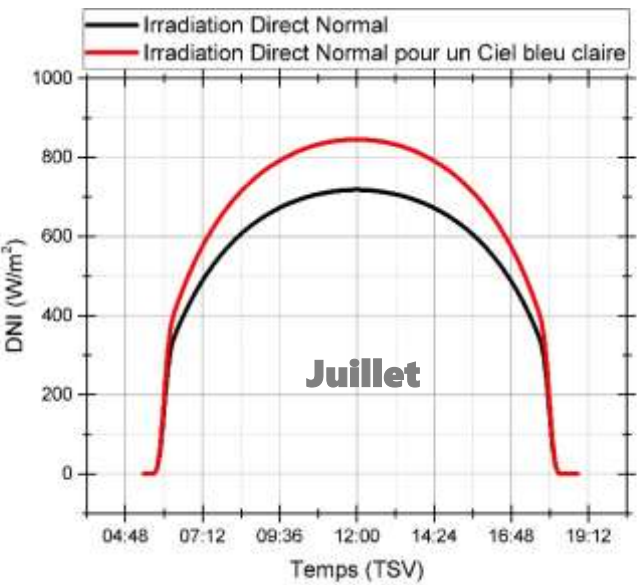
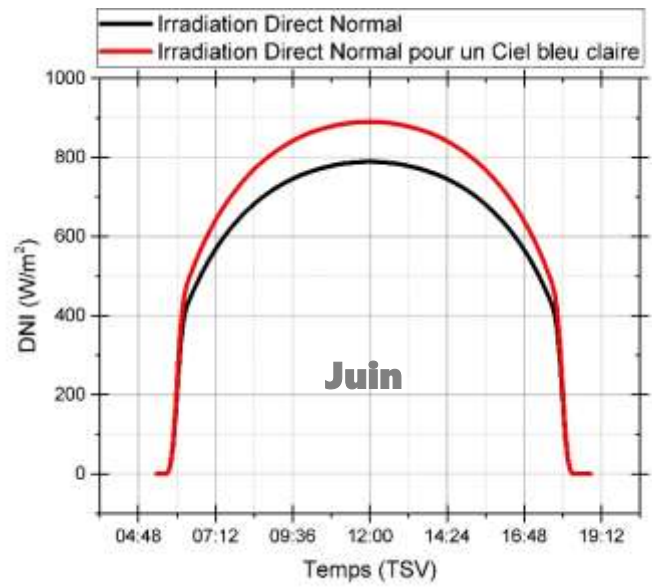
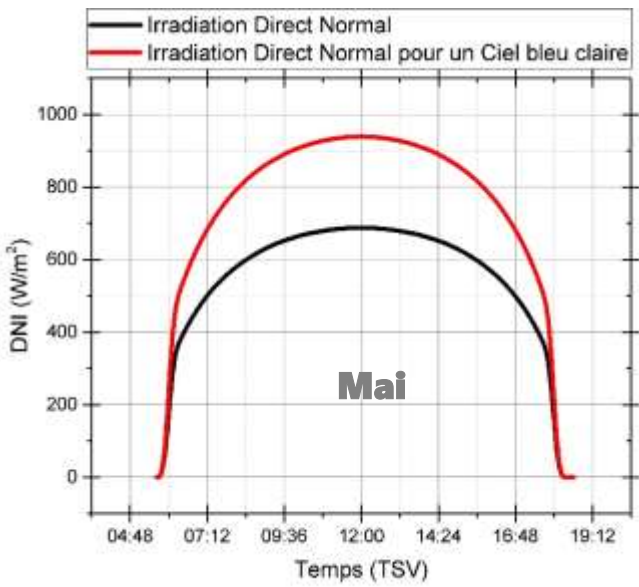
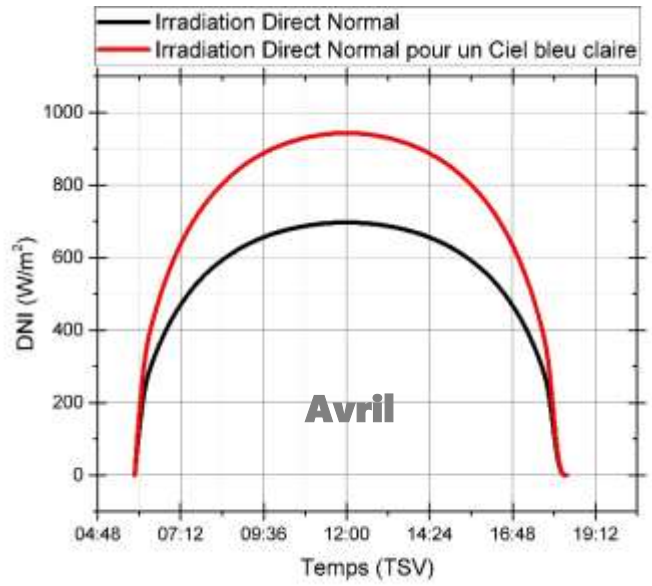
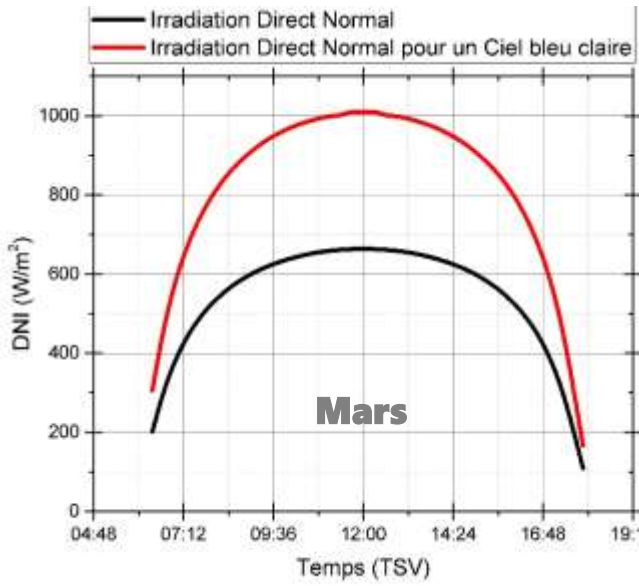
III.2.2.2 Estimation des Energies journalière pour un ciel quelconque et bleu clair :

Dans la figure ci-dessous on remarque la variation du rayonnement incident durant le mouvement du soleil dans le ciel. On remarque qu'à 12 TSV un maximum d'énergie solaire incident est capté pour tous les mois de l'année.

A cause de l'état météorologique du ciel pendant la période d'hiver et la distance terre soleil dans cette période, un écart d'énergie est remarquable, entre un ciel clair et un autre normal (quelconque),

Par ailleurs l'écart d'énergie diminue entre ces derniers dans les mois d'été. La durée d'ensoleillement est très importante favorise alors une augmentation d'énergie par rapport au d'autre mois de l'année.





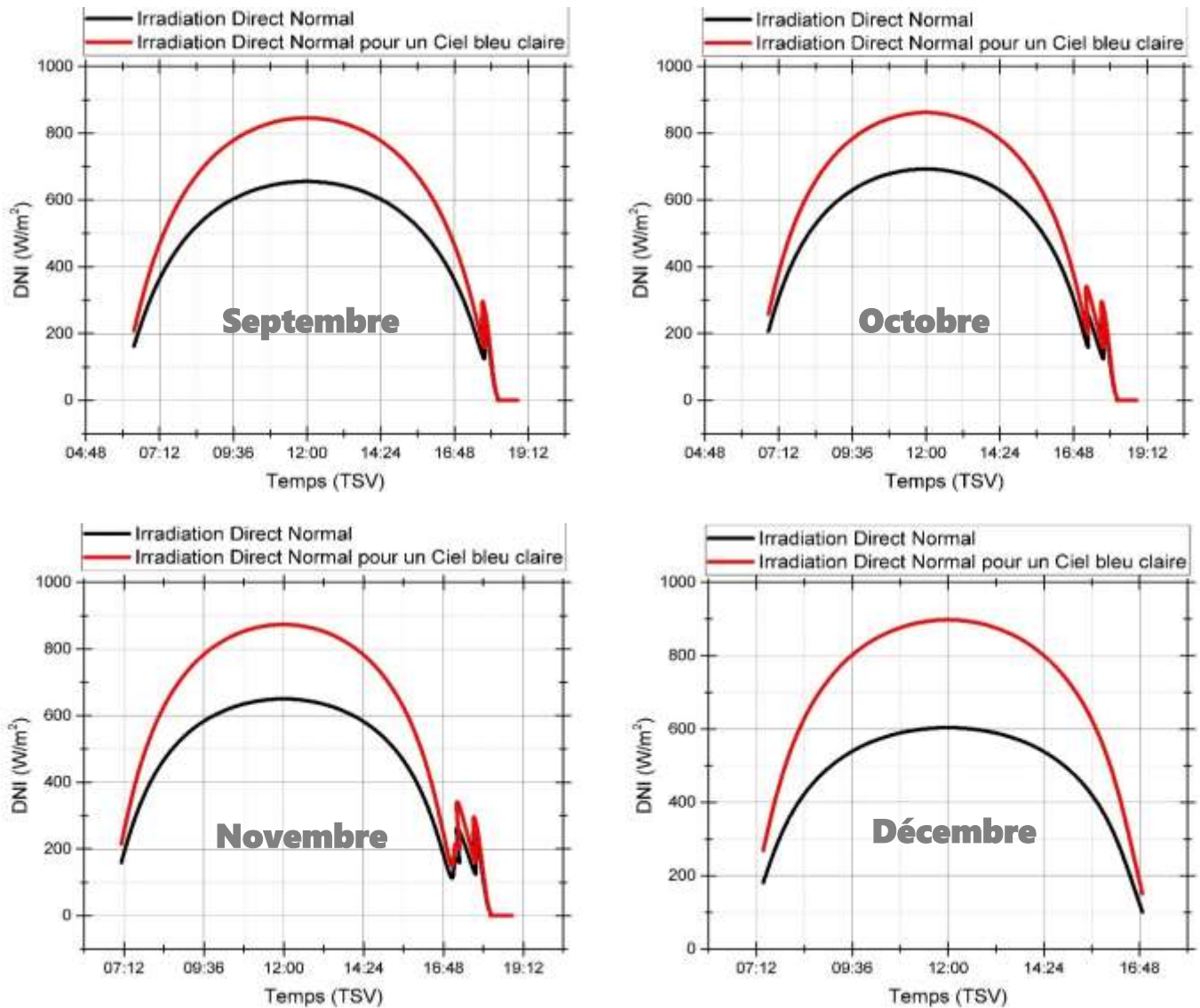


Figure III.8 : Estimation des Energies Reçues par Ciel bleu claire et Ciel Normal

Cette Figure représente la variation des énergies reçues pour un ciel bleu claire et autre normal, on remarque que les courbes forme des gaussien durant la journée, où on constate un maximum d'énergie à midi, les photons incidents sur une plaque durant une période d'ensoleillement importante favorise la génération pair Electron-Trou, pour un ciel bleu claire et plus importante que d'autres. On peut conclure alors que le ciel bleu claire favorise la réception totale du rayonnement solaire, le rayonnement diffus et plus important au mois d'hiver.

III.2.3 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 du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est). La figure IV.1 présente la hauteur du soleil dans le ciel en fonction de l'azimut à Alger au cours d'une année.

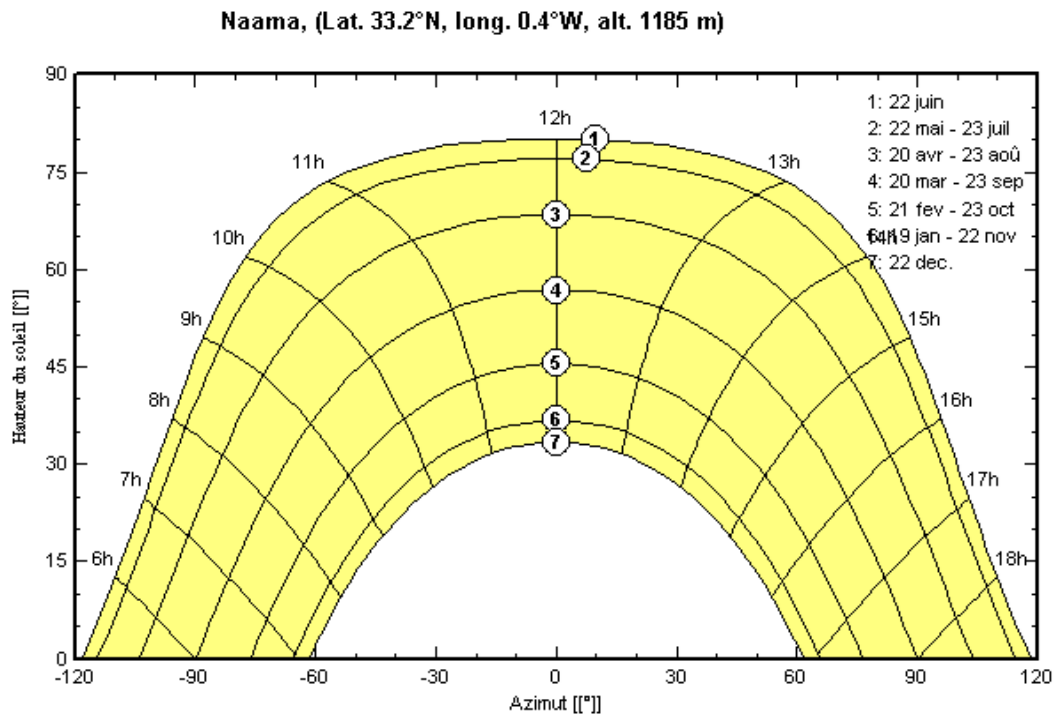


Figure III.9 : Corse Solaire

III.2.4 Orientation des modules PV :

Il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie. Dans notre simulation on va déterminer l'inclinaison idéal du système afin de l'appliqué dans le projet maison solaire.

III.2.4.1 Energie annuelle captée par la ville de Naâma :

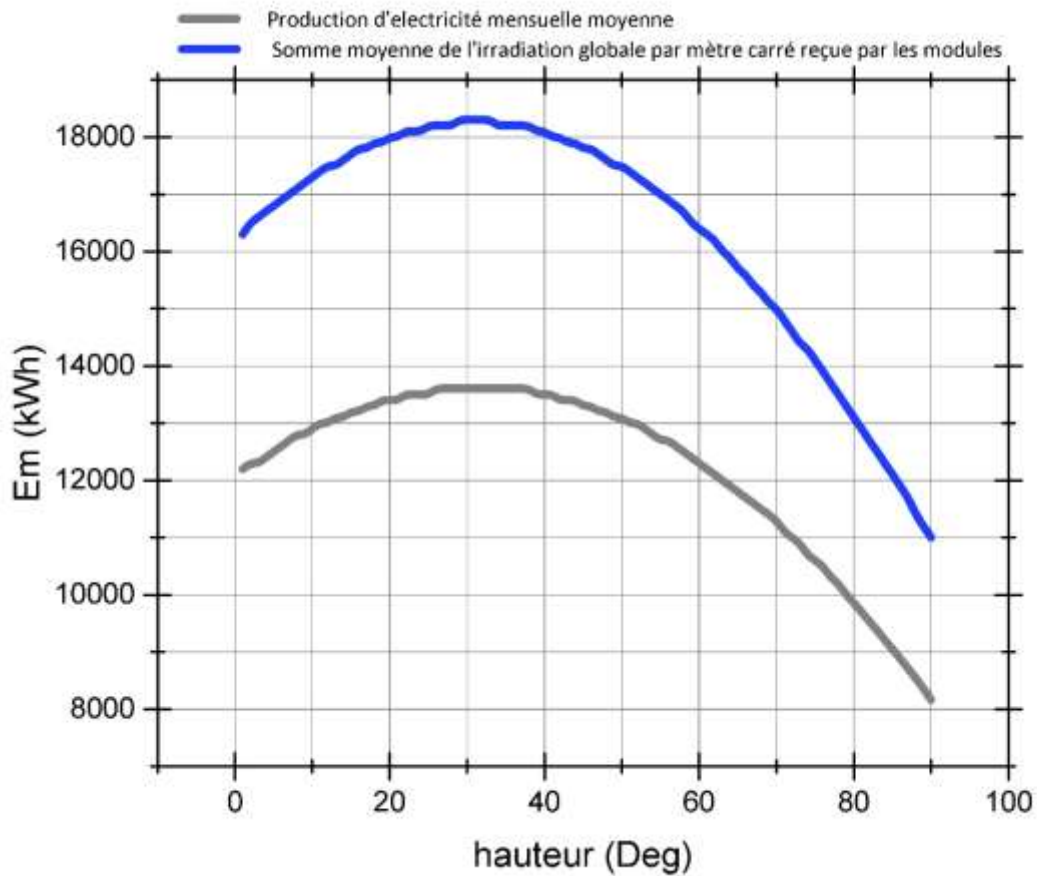


Figure III.10 : Inclinaison optimale du panneau solaire pour une énergie maximale durant toute l'année pour la ville de Naâma.

Cette figure représente la courbe de l'inclinaison du panneau solaire en fonction de l'énergie annuelle pour la ville de Naâma on remarque une augmentation d'énergie avec la variation de l'inclinaison jusqu'à une valeur égale à 18.10^3 KW, correspond à une inclinaison β égale à 31° , les valeurs d'inclinaisons varies durant toute l'année on peut conclure qu'une augmentation au-delà de 32° entraine une diminution d'énergie. Ceci s'explique par plusieurs paramètres tels que l'élévation du soleil et la position du site.

III.2.4.2 Position solaire l'Azimut et l'élévation :

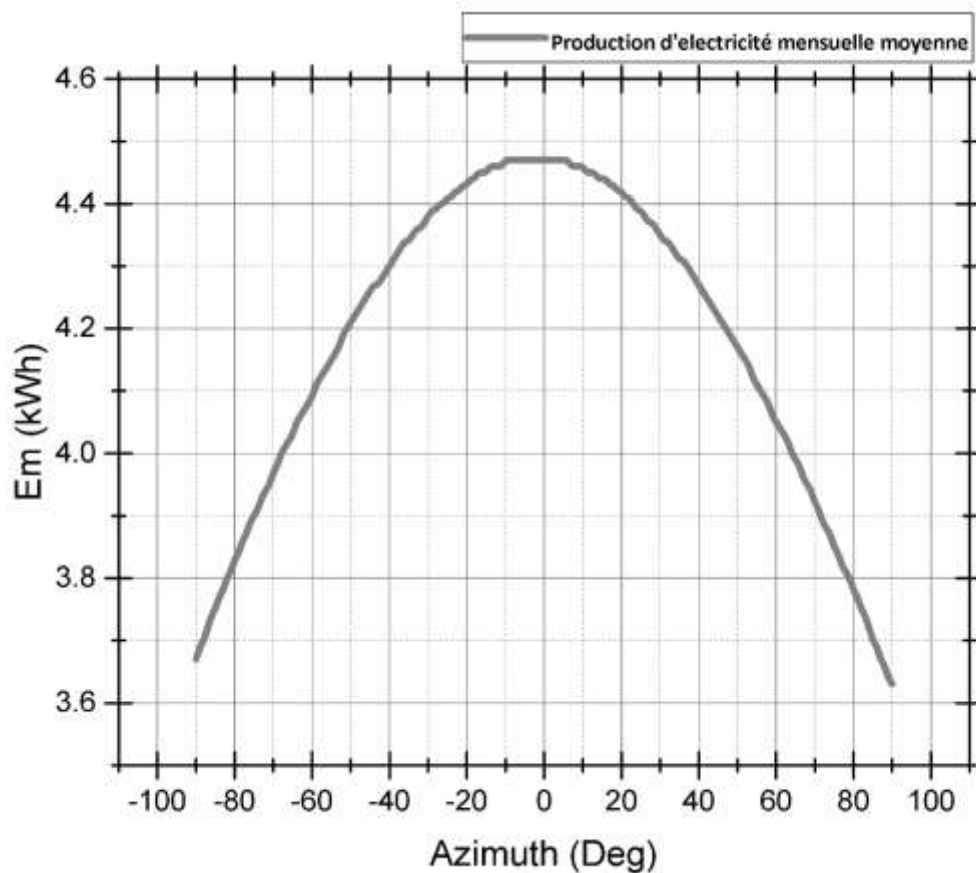


Figure III.11 : Orientation Optimal des Panneaux pour le Site de Naâma

La courbe ci-dessus représente l'orientation des modules PV, de la position **Est** vers la position **Ouest**. Par ailleurs la position 0° représente le **Sud**, on remarque une variation importante d'énergie capté avec le mouvement permanent des modules, en effet on visualise une augmentation d'énergie reçue par le système dans un intervalle compris entre -180° et -2°, puis une diminution de cette dernière entre 3° et 180°, on peut conclure qu'un maximum d'énergie et remarquable pour une orientation face sud.

Un autre logiciel de Simulation valide nos résultats (PVsyst), ce dernier est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, et les modèles utilisés offre une approche ergonomique. PVsyst permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.

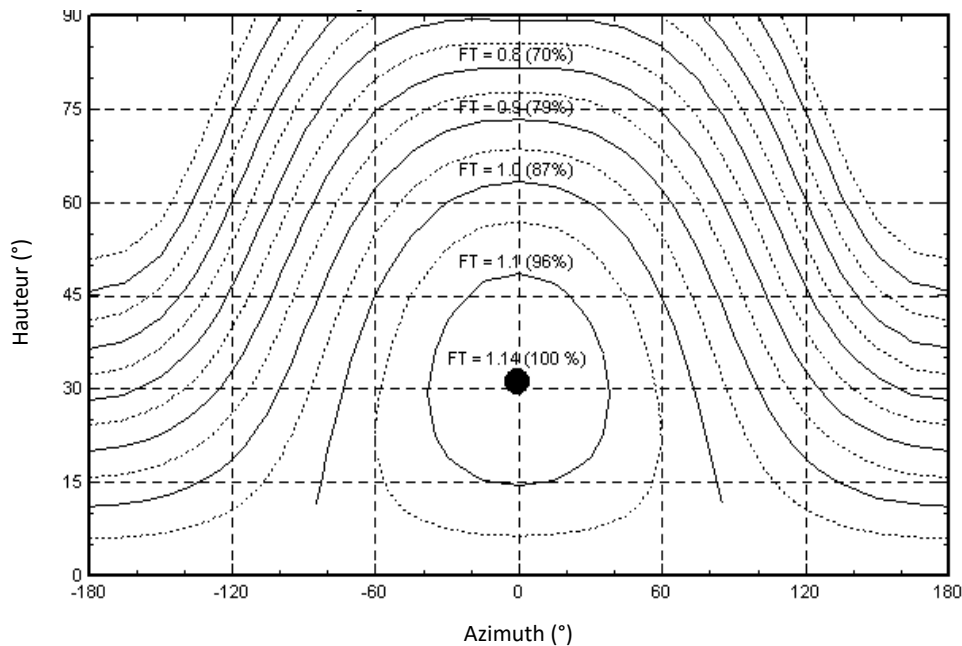


Figure III.12 : L'orientation Idéal des panneaux par PVsyst

Cette Figure ci-dessus représente les courbes d'énergies en fonction des deux orientations azimut et hauteur on remarque qu'un maximum d'énergie pour le site de Naâma se situe dans la position 0° (Face sud) pour l'azimut et 32° pour la hauteur (l'inclinaison par rapport au sol).

En effet le mouvement du soleil dans le ciel dans la ville de Naâma favorise ces paramètres, on peut noter que la position moyenne du soleil durant toute l'année est pour une élévation égale à 68°.

III.3 Le logiciel PVSYST :

III.3.1 Présentation du logiciel :

PV SYST est un logiciel de dimensionnement des panneaux solaires permettant d'obtenir diverses informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète.

Le logiciel comprend principalement deux modes de fonctionnement (figure.III.1). Le premier est une application de pré dimensionnement assez simple à prendre en main et accessible au néophyte. Le deuxième permet une étude beaucoup plus approfondie et prend en compte beaucoup plus de paramètre. De plus il se base sur du matériel concret pour ses calculs, contrairement au premier mode qui effectue ses calculs pour un cas très général.

Pour chacun des deux modes, le principe est le même : on donne la localisation géographique de l'installation, puis on entre les données concernant l'installation. Vient ensuite

une partie résultats où l'on choisit les données qui nous intéressent.

III.3.2 Les menus principaux :

III.3.2.1 Pré-dimensionnement :

Pour une étude rapide et simple : on donne une localisation et un système puis le logiciel calcule quelques paramètres de pré-dimensionnement ainsi qu'un graphe de production énergétique annuelle, un graphe d'irradiation par mois, un tableau récapitulatif et une étude de coût (Abdoulay, 2016).

III.3.2.2 Conception du projet :

Pour une étude plus approfondie avec de nombreux paramètres à prendre en compte notamment les ombres proches et lointaines. On dispose aussi de plus de choix au niveau de l'orientation des panneaux avec le choix par exemple de panneaux "*tracking*" qui suivent la course du soleil. Les calculs sont basés sur des systèmes réels commercialisés que l'on choisira parmi une vaste liste. On génère ensuite une simulation qui nous fournit un large choix de résultats et de graphes personnalisables.

III.3.2.3 Outils :

Permet de modifier les bases de données et d'utiliser des outils du programme sans pour autant créer un projet complet (Bilal, 2008).

III.4 Site d'implantation :

Pour la simulation de notre projet photovoltaïque, nous avons choisi le site de Naâma, les données géographiques et météorologiques ont été implantées dans le logiciel PVSYST. IV.2.1. Données géographiques : La Figure III.1 présente les données géographiques du site de Naâma. Pour un projet donné (définissant site et météo), on peut construire plusieurs variations de notre système (K.H. Hussein, Jan. 1995.)

III.5 Maison Solaire pour le site de Naâma :

III.5.1 Dimensionnement d'une centrale PV :

Il est important de respecter un certain nombre d'étapes dans les installations Photovoltaïques. Ces dernières permettront, grâce à quelques calculs très simples, de dimensionner la source d'énergie. Une installation d'un système PV nécessite plusieurs étapes dont la première est d'estimer la consommation d'électricité et de déterminer à quel moment on en a besoin, puis la quantité l'énergie solaire récupéré, selon l'emplacement et la situation géographique (Bilal, 2008).

Avec ces données, il sera alors possible de connaître la quantité de modules photovoltaïques nécessaires, la quantité de batteries (en cas d'une installation autonome), le régulateur ainsi que l'onduleur les mieux adaptés, et enfin le câblage adéquat.

III.5.2 Présentation de logiciel de simulation PVSYST

PVsys est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet. PVsys permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelle (Bilal, 2008) s.

III.5.3 Simulation de systèmes PV avec le logiciel PVSYST :

La simulation détaillée d'un système PV comporte :

- Le choix des composants (panneaux PV, onduleur, matériel de raccordement, ...etc.) ;
- La disposition détaillée du champ de capteurs (orientation, mode de montage, ...etc.) ;
- L'estimation de l'énergie produite ;
- Une évaluation des coûts de l'installation, et le prix du kWh résultant.

III.5.4 Orientation des modules PV :

Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie.

Pour la simulation de notre maison solaire, nous avons choisi "un plan incliné fixe" d'une inclinaison 32° (par rapport à l'horizontale), comme l'illustre la figure III.13.

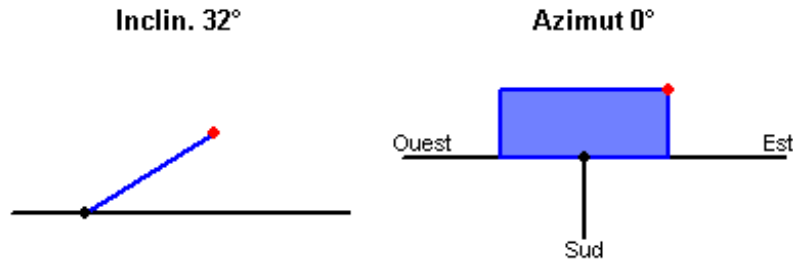


Figure III.13 : Modèle d'Orientation pour un Panneau Solaire

La figure suivante représente les positions favorables pour notre deuxième partie de simulation.

III.5.5 Schéma du système PV raccordé au réseau :

La figure III.18 représente le schéma du système PV raccordé au réseau pris en compte dans la simulation.

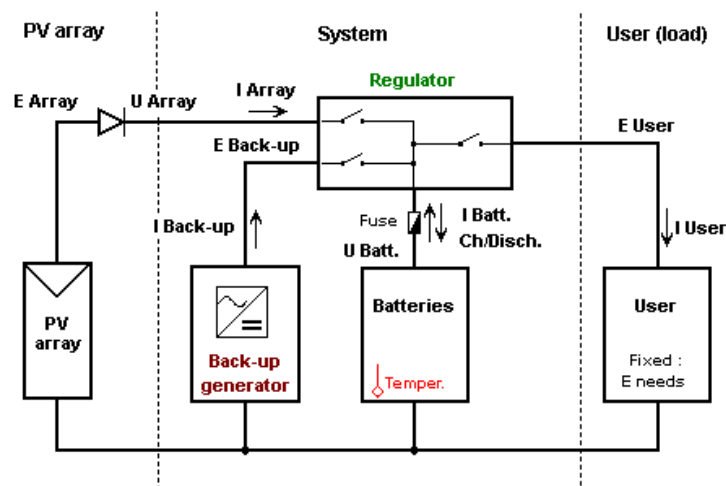


Figure III.14 : Schéma équivalent d'une Installation PV

III.6 Simulation de systèmes PV à simple jonction :

III.6.1 Paramètres de simulation :

III.6.1.1 Caractéristique du module PV:

- Modèle : *AE CQ M5/72 185* ;
- Fabricant : *AE Solar* ;
- Technologie : *CX-M500_2450Wp_1_00_086.PAN GaInP2/GaAs/Ge*
- Puissance : $P = 2450 \text{ Wp}$;
- Tension $U_n = 30 \text{ V}$.
- Rendement : /Surf. cellules 31 % ; / Surf. module : 22 % (Figure III.15).

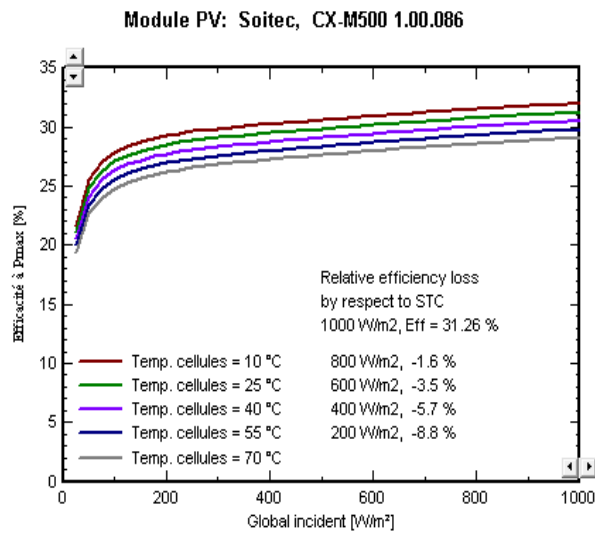
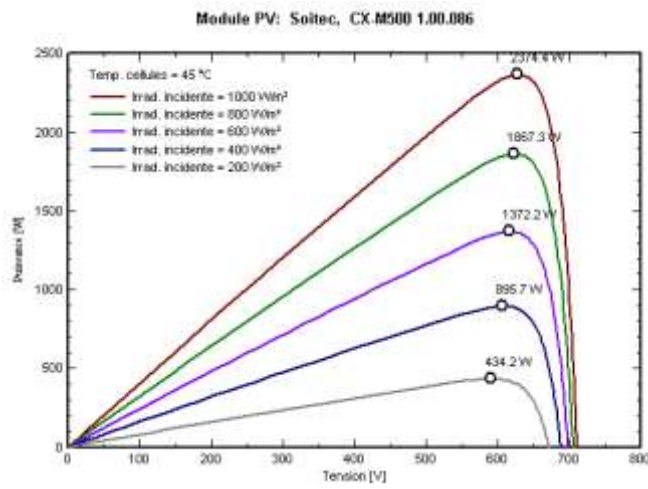
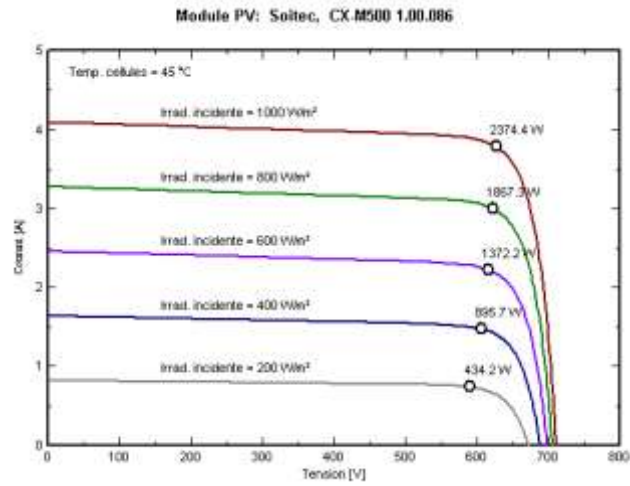


Figure III.15 Performance du PV installé

La figure III.15 Représente les performances des PV installé au site,

- (a) Représente la caractéristique $i = f(v)$, et fonctionnement de la cellule solaire, avec la variation du courant ou la tension
- (b) Représente la puissance générée par le système en fonction de la tension
- (c) Et la dernière représente le rendement de conversion

B. Conception/dimensionnement du système :

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple (Figure III.15) :

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible ;
- Choisir les modules PV dans la base de données interne ;
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne. et PVsyst propose une configuration de système, qui permet de réaliser une première simulation/évaluation.

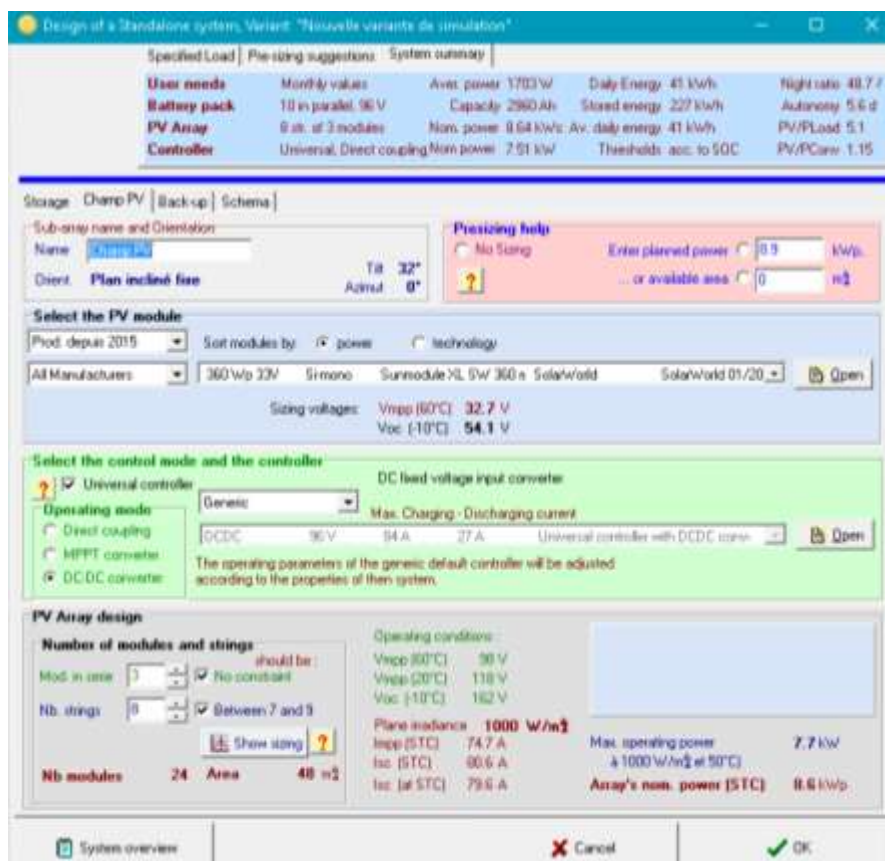


Figure III.16 : Conception et Dimension du Système

C. Dimensionnement de système : outil visuel

Un outil spécifique rassemble toutes les contraintes pour le dimensionnement du système Figure III.16 :

- Pour le nombre de modules en série : le diagramme supérieur montre la courbe I/V du champ PV (été/hiver), et les contraintes de tension (y compris courants et puissance) de l'onduleur.
- Pour le dimensionnement de l'onduleur : le second graphique montre la distribution annuelle de puissance MPP du champ et la puissance effective de l'onduleur
- Le dimensionnement optimal de l'onduleur est basé sur la perte de surcharge acceptable sur une année. Il conduit habituellement à sur-dimensionner le rapport de puissance nominale champ/onduleur, de l'ordre de 1.25.

Après un bon dimensionnement du système, on peut définir différentes pertes comme les ombrages lointains et proches, en utilisant un éditeur 3D complet, pour la définition de l'environnement et des conditions d'ombrages proches.

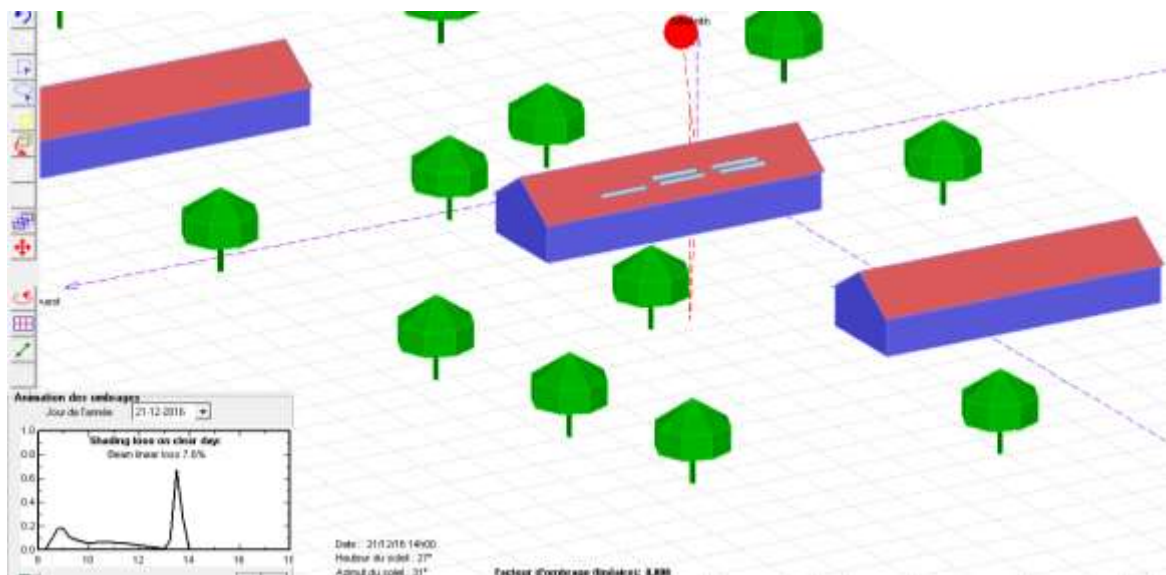


Figure III.17 : Mouvement Solaire dans le Ciel

Des outils spécialisés sont également fournis pour l'évaluation des pertes de câblage, et de pertes telles que la qualité des modules, l'inadéquation entre les modules, les salissures, les comportements thermiques selon le mode de montage, la non-disponibilité du système, etc (Abdoulay, 2016)

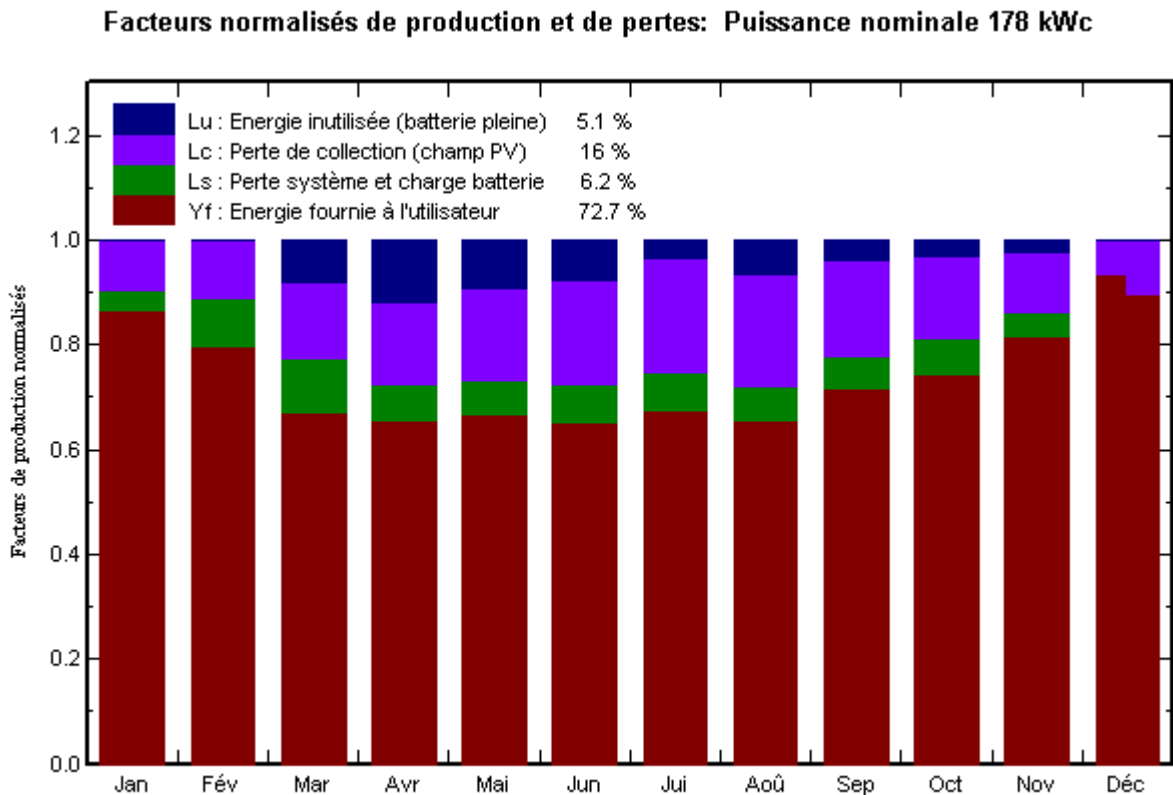


Figure III.18 : Histogrammes de Pertes

D. 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, est conçu pour être directement transmis à l'utilisateur.

PVSYST V6.43	Simulation Maison Solaire		06/05/17 16h39	Page 1/6									
Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation													
Projet :	Mémoire												
Site géographique	Naama	Pays Algeria											
Situation	Latitude	33.2°N	Longitude	0.4°W									
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	1185 m									
	Albédo	0.20											
Données météo:	Naama	Meteonorm 7.1 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique											
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation													
	Date de la simulation	06/05/17 à 16h30											
Paramètres de simulation													
Orientation plan capteurs	Inclinaison	32°	Azimut	0°									
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm									
Ombrages proches	Ombrages linéaires												
Caractéristiques du champ de capteurs													
Module PV	Si-mono	Modèle	Sunmodule XL SW 360 mono										
<small>Original PVsyst database</small>		Fabricant	SolarWorld										
Nombre de modules PV		En série	3 modules	En parallèle 8 chaînes									
Nombre total de modules PV		Nbre modules	24	Puissance unitaire 360 Wc									
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	8.64 kWc	Aux cond. de fonct. 7.71 kWc (50°C)									
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	103 V	I mpp 75 A									
Surface totale		Surface modules	47.9 m²										
Facteurs de perte du champ PV													
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s									
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	23 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC									
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes	0.6 % aux STC									
Perte de qualité module			Frac. pertes	-0.3 %									
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	2.5 % (tension fixée)									
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05									
Paramètres du système													
	Type de système	Système isolé avec batteries											
Batterie	Modèle	12-CS-11PS											
	Fabricant	Rolls											
Caractéristiques du banc de batteries	Tension	96 V	Capacité nominale	2960 Ah									
	Nombre d'unités	8 en série x 10 en parallèle											
	Température	Fixée (20°C)											
Contrôleur	Modèle	Universal controller with DCDC converter											
	Technologie	DC-DC converter											
Convertisseur	Efficacité maxi et EURO	97.0/95.0 %	Coeff. de temp.	-5.0 mV/°C/elem.									
Battery management control	Treshold commands as	SOC calculation											
	Charge	SOC = 0.90/0.75	i.e. approx.	118.6/100.3 V									
	Décharge	SOC = 0.20/0.45	i.e. approx.	90.9/97.7 V									
Besoins de l'utilisateur : valeurs mensuelles													
Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	
20.0	30.0	30.0	30.0	40.0	50.0	50.0	60.0	60.0	40.0	40.0	40.0	40.9	kWh/jour

Système isolé avec batteries: Définition des ombrages proches

Projet : Mémoire

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Isolé avec batteries	
Ombrages proches	Ombrages linéaires		
Orientation plan capteurs	inclinaison	32°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	Sunmodule XL SW 360 mono	360 Wc
Champ PV	Nombre de modules	24	Pnom total 8.64 kWc
Batterie	Modèle	12-CS-11PS	Technologie cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	80	Tension / Capacité 96 V / 2960 Ah
Besoins de l'utilisateur	valeurs mensuelles		global 14.92 MWh/an

Perspective de la scène d'ombrages proches

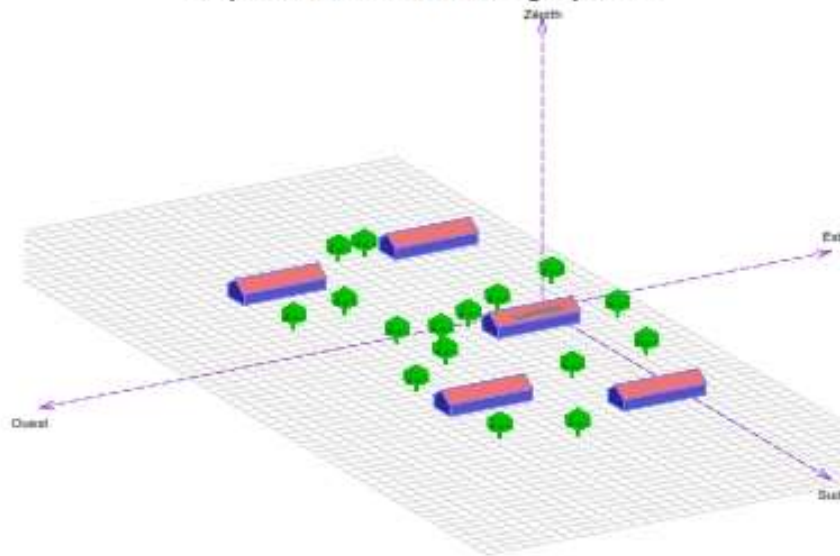
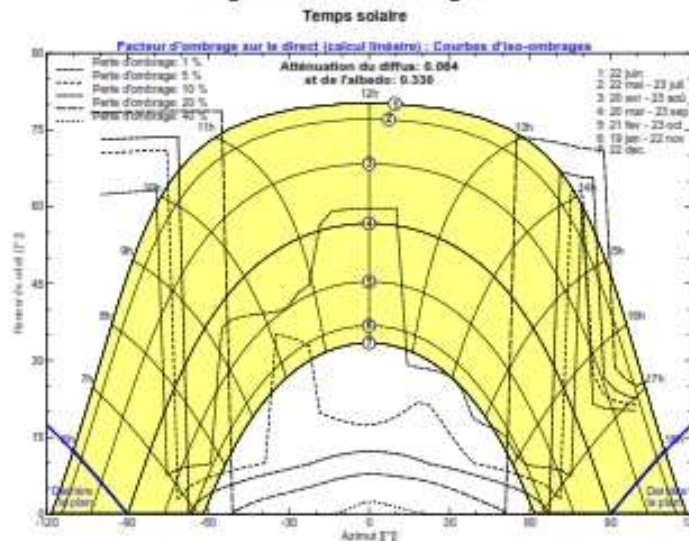


Diagramme d'iso-ombrages



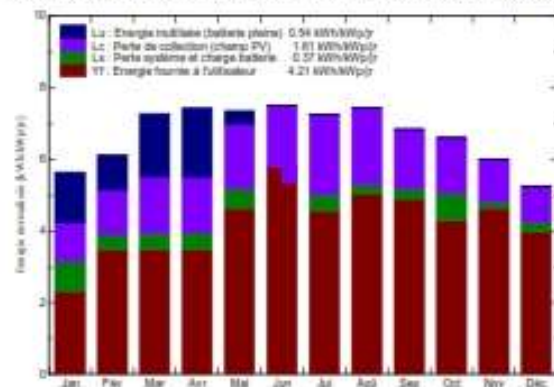
Système isolé avec batteries: Résultats principaux

Projet : Mémoire
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

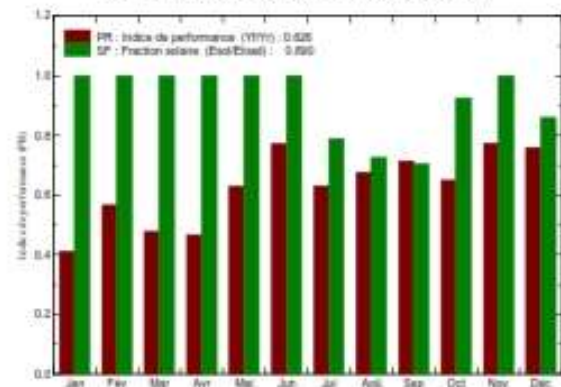
Principaux paramètres système		Type de système	Isolé avec batteries	
Ombrages proches		Ombrages linéaires		
Orientation plan capteurs		inclinaison	32°	azimut 0°
Modules PV		Modèle	Sunmodule XL SW 360 mono	360 Wc
Champ PV		Nombre de modules	24	Pnom total 8.64 kWc
Batterie		Modèle	12-CS-11PS	Technologie cellée, plaques
batteries		Nombre d'unités	80	Tension / Capacité 96 V / 2960 Ah
Besoins de l'utilisateur		valeurs mensuelles		global 14.92 MWh/an

Principaux résultats de la simulation			
Production du système	Energie disponible	15566 kWh/an	Productible 1802 kWh/kWc/an
	Energie utilisée	13280 kWh/an	En excès (inutilisée) 1698 kWh/an
	Indice de performance (PR)	62.6 %	Fraction solaire (SF) 89.0 %
Besoins non satisfaits	Fraction du temps	8.4 %	Energie manquante 1640 kWh/an
Investissement	Global avec taxes	3179204 DZD	Spécifique 368 DZD/Wp
Coût annuel	Annuités (Emprunt 5.0%, 20 ans)	255108 DZD/an	Coût d'exploitation 0 DZD/an
Coût de l'énergie		19.2 DZD/kWh	

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 8.64 kWc



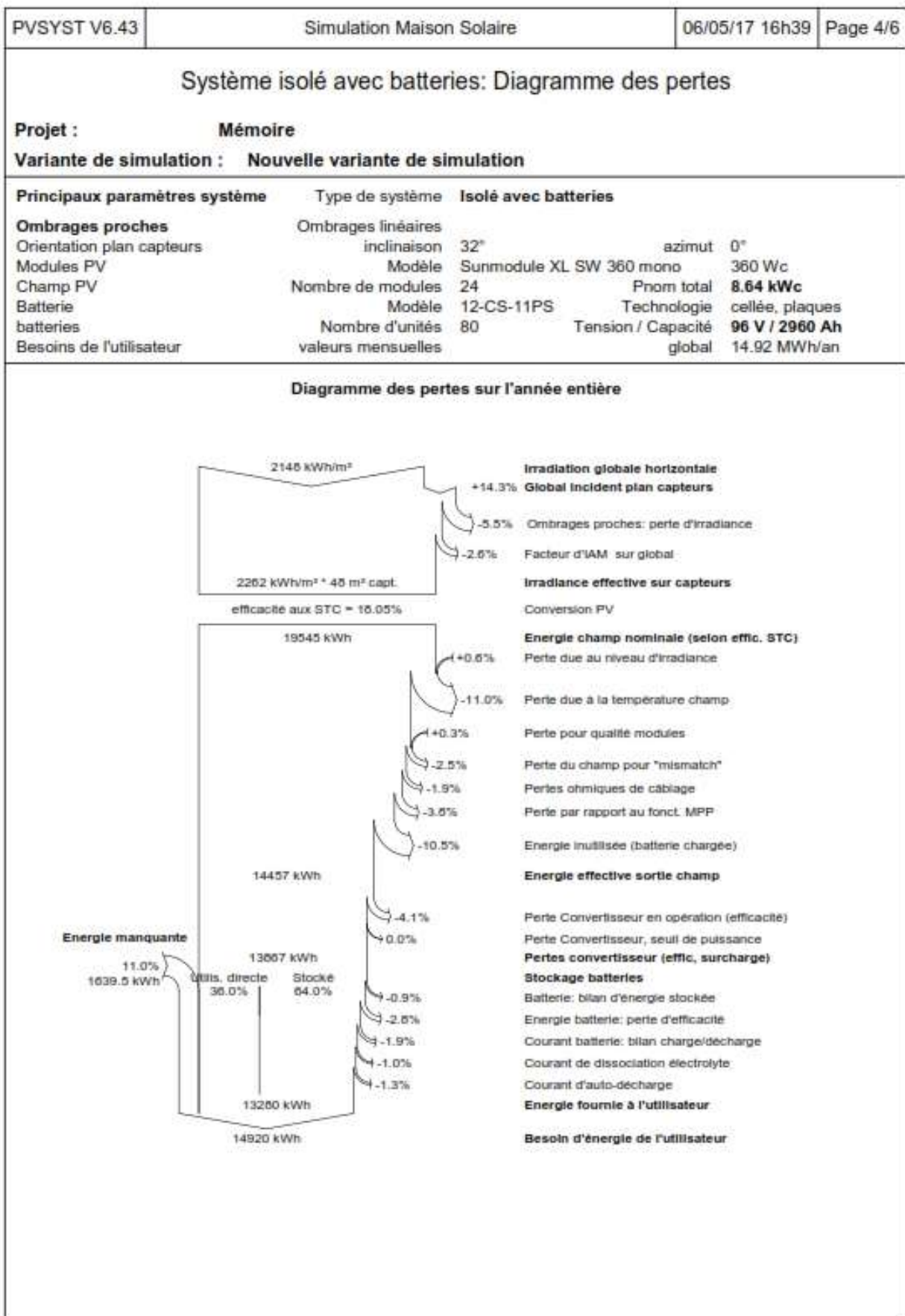
Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF)



Nouvelle variante de simulation
Bilans et résultats principaux

	GlobHor	GlobEff	E Avail	E Usused	E Miss	E User	E Load	SolFrac
	kWh/m²	MWh/m²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janvier	110.3	163.4	1190	381.4	0.0	820	820	1.000
Février	122.8	158.2	1143	240.8	0.0	840	840	1.000
Mars	183.0	208.9	1462	473.3	0.0	900	930	1.000
Avril	212.1	212.1	1484	502.1	0.0	900	900	1.000
Mai	242.3	207.0	1428	100.9	0.0	1240	1240	1.000
Juin	254.2	187.2	1203	0.0	0.0	1500	1500	1.000
Juillet	245.5	200.6	1280	0.0	326.5	1223	1550	0.789
Août	228.8	216.8	1361	0.1	912.3	1348	1800	0.725
Septembre	180.1	193.0	1285	0.0	533.4	1267	1800	0.704
Octobre	152.5	185.9	1259	0.1	92.8	1147	1240	0.925
Novembre	115.6	167.8	1198	0.0	0.0	1200	1200	1.000
Décembre	95.6	151.8	1095	0.0	174.5	1086	1240	0.859
Année	2147.8	2382.1	15566	1058.4	1639.5	13290	14920	0.890

Légendes: GlobHor: Irradiation globale horizontale E Miss: Energie manquante
 GlobEff: Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages E User: Energie fournie à l'utilisateur
 E Avail: Energie solaire disponible E Load: Besoin d'énergie de l'utilisateur
 EUsused: Energie utilisée (batterie chargée) SolFrac: Fraction solaire (E1/E2)



PVSYST V6.43	Simulation Maison Solaire	06/05/17 16h39	Page 5/6
Système isolé avec batteries: Evaluation économique			
Projet : Mémoire			
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation			
Principaux paramètres système	Type de système	Isolé avec batteries	
Ombrages proches	Ombrages linéaires		
Orientation plan capteurs	inclinaison	32°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	Sunmodule XL SW 360 mono	360 Wc
Champ PV	Nombre de modules	24	Pnom total 8.64 kWc
Batterie	Modèle	12-CS-11PS	Technologie cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	80	Tension / Capacité 96 V / 2960 Ah
Besoins de l'utilisateur	valeurs mensuelles		global 14.92 MWh/an
Investissement			
Modules PV (Pnom = 360 Wc)	24 unités	18400 DZD / unité	441600 DZD
Supports et intégration		833 DZD / module	20000 DZD
Batteries (12 V / 296 Ah)	80 unités	25000 DZD / unité	2000000 DZD
régulateur / convertisseur			20000 DZD
Construction, câblage, ...			60000 DZD
Transport et montage			50000 DZD
Ingénierie			80000 DZD
Moins-value substitution			0 DZD
Investissement brut (sans taxes)			2671600 DZD
Financement			
Investissement brut (sans taxes)			2671600 DZD
Taxes sur l'investissement (TVA)	Taux 19.0 %		507604 DZD
Investissement brut (TTC)			3179204 DZD
Subventions			0 DZD
Investissement net (TTC)			3179204 DZD
Annuités	(Emprunt 5.0 % sur 20 ans)		255108 DZD/an
Entretien			0 DZD/an
assurance, taxes annuelles			0 DZD/an
Provision remplacement batteries	(durée de vie 15.0 ans)		0 DZD/an
Coût annuel total			255108 DZD/an
Coût de l'énergie			
Energie solaire utilisée			13.3 MWh / an
Energie en excès (batterie pleine)			1.7 MWh / an
Coût de l'énergie utilisée			19.2 DZD / kWh

PVSYST V6.43	Simulation Maison Solaire	06/05/17 16h39	Page 6/6																
Système isolé avec batteries: CO2 Balance																			
Projet :		Mémoire																	
Variante de simulation :		Nouvelle variante de simulation																	
Principaux paramètres système	Type de système	Isolé avec batteries																	
Ombrages proches	Ombrages linéaires																		
Orientation plan capteurs	inclinaison	32°	azimut 0°																
Modules PV	Modèle	Sunmodule XL SW 360 mono 360 Wc																	
Champ PV	Nombre de modules	24	Pnom total 8.64 kWc																
Batterie	Modèle	12-CS-11PS	Technologie cellée, plaques																
batteries	Nombre d'unités	80	Tension / Capacité 96 V / 2960 Ah																
Besoins de l'utilisateur	valeurs mensuelles		global 14.92 MWh/an																
Produced Emissions	Total:	10.09 tCO2																	
	Source:	Detailed calculation from table below																	
Replaced Emissions	Total:	278.3 tCO2																	
	System production:	15.57 MWh/an	Lifetime: 30 years																
			Annual Degradation: 1.0 %																
	Grid Lifecycle Emissions:	596 gCO2/kWh																	
	Source:	IEA List	Country: Algeria																
CO2 Emission Balance	Total:	231.4 tCO2																	
System Lifecycle Emissions Details:																			
Item	Modules	Supports																	
LCE	1015 kgCO2/kWc	3.95 kgCO2/kg																	
Quantity	9.00 kWc	240 kg																	
Subtotal [kgCO2]	9132	954																	
<p>Saved CO2 Emission vs. Time</p> <table border="1"> <caption>Data for Saved CO2 Emission vs. Time</caption> <thead> <tr> <th>Année</th> <th>Balance [tCO2]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>38.7</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>77.4</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>116.1</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>154.8</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>193.5</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>231.4</td> </tr> </tbody> </table>				Année	Balance [tCO2]	0	0	5	38.7	10	77.4	15	116.1	20	154.8	25	193.5	30	231.4
Année	Balance [tCO2]																		
0	0																		
5	38.7																		
10	77.4																		
15	116.1																		
20	154.8																		
25	193.5																		
30	231.4																		

E. Principaux résultats

1. La production d'énergie totale (MWh/an) est essentielle pour évaluer la rentabilité du système PV.
2. L'indice de performance (PR [%]) décrit la qualité du système lui-même.
3. L'énergie spécifique [kWh/kWp] est un indicateur de la productivité du système, selon l'irradiation disponible (localisation et orientation).
4. Le diagramme des pertes (Figure III.14) : Le diagramme des pertes montre les énergies à différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié l'optimisation de l'orientation du PV pour le site de Naâma durant toute l'année, cette étude nous a permis de donner plus de détails sur ce site vis-à-vis l'énergie solaire reçue et aussi prédire une carte solaire pour ce site.

Le complément de ce travail a été réalisé grâce à des outils de simulations tel PVGIS et PVSYST. Afin de simuler une maison solaire, un devis détaillé a été établi à fournir pour un utilisateur.

Conclusion Générale

Conclusion générale

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 est captée par la planète terre pendant une heure et pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an.

Nous avons décrit en premier temps le mouvement terre- soleil à chaque instant de la journée et de l'année qui est nécessaire pour l'orientation d'un capteur pour un site donné.

Dans ce travail, on a étudié le gisement solaire pour déterminer la position du soleil au cours d'une journée ou d'une année. Ensuite on a penché vers les caractéristiques de deux types de l'héliostat, pour mieux choisir la bonne, en termes de performance et rendement. Par la suite on a présenté des notions générales sur les systèmes photovoltaïques, synthèse d'assemblage des panneaux et une spécification des différentes zones de fonctionnement et les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque aussi les installations et les orientations idéales. Nous avons simulé par la suite le rayonnement solaire global reçu par un panneau photovoltaïque monocristallin avec les différentes inclinaisons dans le site de Naâma, pour des journées définies et des horaires précises, avec un logiciel de simulation PVGIS.

Cette simulation nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

Pour une Latitude : 33.2°N et longitude : -0.4°E , le site de Naâma possède une bonne période d'ensoleillement, avec une énergie globale annuelle de l'ordre de $1.8.10^5 \text{ W/m}^2$, cette énergie varie avec l'inclinaison de la position des panneaux solaires placé dans ce site.

Cette orientation est très importante pour optimiser l'irradiation du rayonnement direct et diffus reçu par les capteurs. Par exemple en hiver, le soleil est bas par rapport à l'horizon ; à ce moment-là, pour obtenir le meilleur rendement il faudra privilégier un grand angle à 40° . Au printemps le meilleur angle est à 25° , et au contraire, en été l'angle optimal est à 30° . Notre simulation nous a permis d'optimiser un angle commun entre les saisons de l'année $\alpha = 32^{\circ}$.

Dans la deuxième partie de notre travail on réalise un modèle d'une maison solaire avec un logiciel de simulation PVSYS.

Afin d'optimiser la gestion d'une installation *PV*, En effet, lorsque la surface disponible est limitée (modules intégrés au bâti, toitures, façades), la technologie choisie devra permettre une production maximale d'énergie à la tension de fonctionnement de l'utilisateur.

Dans ce sens, nous avons effectué le dimensionnement de systèmes *PV* à triple jonction en utilisant le logiciel *PVSYS* (*version 6.3*) développé par l'Université de Genève.

A la base des résultats de simulation, la production des systèmes *PV*, pour un rayon de surface de 50 m^2 , est comme suit :

- 5.27 MWh/an pour le système à triple jonction (technologie : *GaInP2 / GaAs / Ge*)
- Un rendement de conversion égale 21%
- Un prix initial de 3000000 Da pour une installation autonomes jour et nuit dans toutes les saisons

Résumer

L'énergie solaire est la source la plus importante d'énergie renouvelable, pour cela l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie est un grand axe de recherche qui connaît de considérable développement cette dernière décennie.

Actuellement, il existe deux voies principales d'exploitation de l'énergie solaire : le solaire photovoltaïque qui transforme directement le rayonnement en électricité ; le solaire thermique qui transforme directement le rayonnement en chaleur.

Le travail réalisé dans ce mémoire est relatif à l'étude et l'amélioration géométrique des performances de capteurs solaires par simulation à l'aide des deux logiciels PVSYST et PVGIS. En outre la comparaison de nos résultats avec la pratique est importante pour valider nos modèles. L'application de celles-ci à une maison solaire fait l'objet de la dernière partie de notre travail

Abstract

Solar energy is the most important source of renewable energy, so the exploitation of solar energy in Algeria is a major research area, which has undergone considerable development during the last decade.

At present, there are two main avenues of exploitation of solar energy: solar photovoltaic, which directly transforms radiation into electricity, the solar thermal that directly transforms radiation into heat

The work carried out in this thesis relates to the study and geometric improvement of the performances of solar collectors by simulation using the two software PVSYST and PVGIS. Moreover, the comparison of our results with practice is important to validate our models. The application of these to a solar house is the subject of the last part of our work.

ملخص

الطاقة الشمسية هي أهم مصدر للطاقة المتجددة، وبالتالي فإن استغلال الطاقة الشمسية في الجزائر يعد مجالاً رئيسياً في البحوث، التي شهدت تطوراً كبيراً خلال العقد الماضي.

في الوقت الحاضر، هناك طريقتان رئيسيتان لاستغلال الطاقة الشمسية: الطاقة الشمسية الضوئية، التي تحول مباشرة الإشعاع إلى كهرباء، والحرارة الشمسية التي تحول مباشرة الإشعاع إلى حرارة

العمل المنجز في هذه الأطروحة يتعلق بالدراسة والتحسين الهندسي لأداء مجمعات الطاقة الشمسية عن طريق المحاكاة باستخدام برنامجين. وعلاوة على ذلك، فإن مقارنة نتائجنا مع الممارسة أمر مهم للتحقق من صحة نماذجنا. وفي الجزء الثاني تطبق هذه المعطيات على منزل للطاقة الشمسية.