الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Électrique

Option : Energie Renouvelables en électrotechnique

THEME

Etude d'un système photovoltaïque pour l'alimentation de la Direction de l'Energie sise au pôle urbain de Médéa

Proposé et dirigé par,

Mr A. FERRAI

Mr A. MORSLI

Préparé et présenté par,

Mr S.BENKHALED

Année Universitaire 2018-2019

Sommaire

Remercîments.....i
Résumé ii
Abréviation.....iii
Liste de Figures iv
Liste de Tableaux v
Nomenclature et Abréviation.....vi
Introduction Générale.....vii
I.1. Introduction.....1
I.2. Présentation du soleil.....1
I.3.Mouvement de terre.....1
I.4.Rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre.....2
I.5. Durée d'insolation.....3
I.6. Constante solaire.....3
I.7.Rayonnement solaire.....4
I.8.Caractéristique de rayonnement solaire.....4
I.8.1. l'atmosphère.....4
I.8.2.Masse d'air.....4
I.9.Différents types de rayonnement 5
I.9.1.Le rayonnement direct.....5
I.9.2.Le rayonnement diffus.....5
I.9.3.Le rayonnement réfléchi (L'albédo) 5
I.9.4.Le rayonnement global.....5
I.10.La sphère céleste.....6
I.11.Les coordonnées célestes.....7
I.11.1.Coordonnées géographiques.....7
I.11.1.1.Latitude φ 7
I.11.1.2.La longitude λ.....7
I.11.1.3.L'altitude.....7
I.11.2. Les coordonnées horaires.....7
I.11.2.1.La déclinaison δ.....8
I.11.2.2. Angle horaire ω.....8
I.11.3. Coordonné horizontale.....9
I.11.3.1.Hauteur angulaire.....9
I.11.3.2. Azumit ψ.....9
I.11.3.3.Angle zénithal.....9
I.12. Temps solaire.....10
I.12.1.Le Temps Solaire Vrai (T.S.V) 10
I.12.2.Le Temps Solaire Moyen (T.S.M) 10
I.12.3.Le temps universel (TU) 10
I.12.4.Le temps légal (TL) 10
I.12.5.L'équation du temps.....10

I.13. Le gisement solaire en Algérie.....11
I.14.Conclusion.....12
II.1 Introduction.....13
II.2 Principe de fonctionnement d'une installation PV.....13
II.3 Définition d'un système photovoltaïque.....14
II.4 Les différents types de systèmes photovoltaïques.....15
II.4.1 Systèmes photovoltaïques autonomes.....15
II.4.1.a Systèmes autonomes sans stockage.....15
II.4.1.b Systèmes autonomes avec stockage.....16
II.4.2 Système photovoltaïque hybride.....16
II.4.3 Système photovoltaïque connecté au réseau.....17
II.4.3.a Centrales photovoltaïques connecté au réseau.....18
II.4.3.b Structure générale d'un système photovoltaïque connecté au réseau.....18
II.5 Cellules photovoltaïques.....20
II.5.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....21
II.5.2 Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque.....22
II.5.2.a Courant de court-circuit ICC.....22
II.5.2.b Tension de circuit ouvert.....23
II.5.2.c Facteur de forme FF.....23
II.5.2.d Rendement ŋ.....23
II.5.3 Différents types des cellules solaires.....23
II.5.3.a Cellules monocristallines.....23
II.5.3.b Cellules poly-cristallines.....24
II.5.3.c Cellules amorphes.....24
II.5.4 Association des cellules photovoltaïques.....25
II.5.4.a Association en série.....25
II.5.4.b Association en parallèle.....26
II.5.4.c Branchement mixte.....27
II.6 Avantages et inconvénients d'une installation PV..... 27
II.6.1 Avantages.....27
II.6.2 Inconvénients.....28
II.7 Conclusion.....28
III.1 Introduction.....29
III.2 Présentation de la wilaya de Médéa.....29
III.3 Présentation du siège de la direction de l'énergie.....29
III.4 Logiciel PVGIS.....30
III.4.1 Utilisation de PVGIS.....30
III.4.1.a Optimiser l'inclinaison.....31
III.4.1.b Base de données de rayonnement.....31
III.4.2 Données géographiques de la willaya de Médéa..... 32
III.5 Logiciel PV syst.....32
III.5.1 Premier contact avec PVsyst.....33

III.5.2 Base de Données.....34
III.6 Conception du projet isolé avec batteries..... 35
III.6.1 Orientation..... 36
III.6.2 Besoins énergétiques.....36
III.6.3 Système photovoltaïque.....38
III.4.1.a Les batteries.....38
III.4.1.b Le générateur PV.....39
III.4.1.c Influence de l'éclairement.....39
III.4.1.d Influence de la température.....40
III.4.1.e Branchement de panneau solaire photovoltaïque..42
III.6.4 Evaluation économique.....42
III.6.4.a Analyse du coût.....42
III.6.4.b Coût initiaux.....43
III.6.4.c Coût de maintenance et remplacement.....44
III.7 Conception du projet couplé au réseau..... 46
III.7.1Onduleur.....46
III.8 Exécuter la première simulation.....47
III.8.1.a Analyse du coût 48
III.8.1.b Coût initiaux 49
III.8.1.c Coût de maintenance et remplacement..... 50
III.8.2 Bilans et résultats principaux..... 51
III.8.3 Des pertes pour une année.....52
III.8.4 Énergie produite.....54
III.8.5 Indice de performance d'un système pv.....55
III.8.6 Fonctionnement et performances de batteries.....56
III.8.7 Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV.....57
III.8.8 Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux...58
III.8.9 Les données de météorologique et l'irradiation.....59
III.9 Conclusion.....59
Conclusion générale.....60
Bibliographie.....61
Annexe 1.....63
Annexe 2.....68

Remercîment

Je remercie, en premier lieu, notre Dieu le plus Puissant
qui a bien Voulu me donner la force
et le courage Pour effectuer Le présent travail.
J'exprime mes profondes gratitudes à ma grande et petite
famille pour leurs Encouragements et soutiens
En second lieu, je tiens à remercier mes encadreurs
'Messieurs A.FERRAI et A.MORSLI ' pour leurs orientations
et accompagnements
Mes sincères remerciements aux Messieurs les membres du jury
pour L'honneur qu'ils mon fait en participant
Au jugement de ce travail.
Mes remercîments vont aussi à tous les enseignants du
département de Génie Electrique qui ont contribué à ma
formation sans oublier Mr Y.Mermouz
Enfin je tiens à exprimer ma reconnaissance
à tous mes collègues de promo

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة و محاكاة النظام الكهروضوئي لتزويد مقر مديرية الطاقة لولاية المدية بالطاقة الشمسية .
و لدراسة وإيجاد التحجيم المناسب للنظام الكهروضوئي يجب معرفة: مكان الدراسة جغرافيا، و المجال الشمسي لهذه المنطقة،ومعرفة كذلك النظام الكهروضوئي.

و لتحديد حجم هذا المشروع.و تسهيل الوصول إلى أبعاد النظام استخدمنا برنامجين $PV_{syst}6.43$ و PV_{GIS} حيث أنهما يقدمان تقريرا كاملا لإنتاجية الطاقة للألواح الشمسية الكهروضوئية.

الكلمات المفتاحية

مجال الطاقة الشمسية .الكهروضوئية ، الشبكة الكهربائية ، التحجيم ، محاكاة، PVSYST و PVGIS

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter le siège de la Direction de l'Energie de la wilaya de Médéa.

Pour trouver le dimensionnement de ce système on doit connaître les données suivantes : la zone et la région de l'étude géographique, gisement solaire, système photovoltaïque et le dimensionnement de ce projet.

Pour faciliter l'accès aux dimensions du système, nous avons utilisé les logiciels PVGIS et PVSYST 6.43, qui donne un rapport complet sur la production d'électricité des panneaux solaires par le système photovoltaïque.

Mots clés : gisement solaire, photovoltaïque, réseau électrique, dimensionnement, simulation, PVSYST et PVGIS

Abstract

The objective of this work is the study and simulation of a photovoltaic system to supply the headquarters of the Energy Department of the wilaya of Médéa.

To find the sizing of this system one must know the following data: the area and the region of the geographical study, solar field, photovoltaic system and the sizing of this project.

To facilitate access to the dimensions of the system, we have used the PVGIS and PVSYST 6.43 software, which gives a complete report on the production of electricity from solar panels by the photovoltaic system.

Key words: solar array, photovoltaic, power grid, sizing, simulation PV_{SYST} PV_{GIS}

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Le mouvement de la terre autour du soleil.....2
Figure I-2 : Représentation de l'analyse spectrale des rayonnements solaires 2
Figure I-3: La constante solaire.....3
Figure I-4 : Les composantes du rayonnement solaire global 6
Figure I-5 : La sphère céleste. 6
Figure I-6: Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année J 8
Figure I-7: Coordonné horizontale 9
Figure I-8: Graphe des variations annuelles de l'équation du temps 11
Figure I-9 : Carte du monde de l'ensoleillent moyen annuel 11
Figure II-1 : Système PV..... 13
Figure II-2 : Schéma synoptique d'un système PV 14
Figure II-3 : Système photovoltaïque avec stockage 16
FigureII-1:Système d'alimentation autonome hybride photovoltaïque/groupe électrogène.....17
Figure II-5 : Système photovoltaïque connecté au réseau..... 17
Figure II-6 : Architecture du système PV avec un bus en courant alternatif (AC)..... 19
Figure II.7: Architecture du système PV avec un bus en courant continu (DC)..... 20
Figure II-8 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque 21
Figure II-9 : caractéristiques I=f(V) sous obscurité et sous éclairement d'une cellule PV.....22
Figure II-10 : Types des Cellules photovoltaïque 25
Figure II-11 : Caractéristique courant tension de Ns cellule en série 26
Figure II-12 : Caractéristique courant tension de (***NP***) cellule en parallèle..... 26
Figure II-13 : Association mixte de NSP branches et de NMS modules composés de **NC** cellules solaires identiques..... 27
Figure III-1: Carte géographique du site.....29
Figure III-2: Fenêtre de PVGIS..... 30
Figure III-3: le graphique des irradiations..... 32
Figure III-4 : Fenêtre de PVSyst 6.43..... 33
Figure III-5 : Fenêtre de base de données..... 34
Figure III-6: Fenêtre conception d'un projet isole avec batterie.....36

Figure III-7: Inclinaison du générateur PV par PVsyst.....37
Figure III-8: Besoin d'énergie de l'utilisateur journalière..... 37
Figure III-9: Besoin d'énergie de l'utilisateur annuelle..... 37
Figure III-10: Taux de décharge de la batterie.....39
Figure III-11: Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement....40
Figure III-12: Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement..40
Figure III-13: Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température.....41
Figure III-14:Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température..... 41
Figure III-15: Fenêtre conception d'un projet couplé au réseau.....46
Figure III-16: Efficacité d'onduleur en fonction de puissance (Pin) 47
Figure III-17: Efficacité d'onduleur en fonction de puissance (Pout) 47
Figure III-18: Boite des résultats de simulation.....48
Figure III-19: Des pertes pour une année d'un système PV isole.....53
Figure III-20: Les pertes pour une année d'un système PV couplé au réseau.....53
Figure III-21: Énergie utile produite par PV (à la sotie des batteries).....54
Figure III-22: Énergie utile produite par le système non isolé (à la sotie des de l'onduleur).....54
Figure III-23: Indice de performance d'un système PV non isole.....55
Figure III-24: Indice de performance d'un système PV isole.....55
Figure III-25: Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV isole.....57
Figure III-26: Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV couplé au réseau.....57
Figure III-27: Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux.....58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Caractéristique principale de soleil 1
Tableau I-2: Données géographiques du site de la wilaya de Médéa.....5
Tableau I-3: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques 12
Tableau III-1: Irradiation globale à l'emplacement de wilaya de Médéa..... 31
Tableau III-2 : Données géographique du site de la wilaya de Médéa..... 32
Tableau III-3 : Les équipements électriques de l'établissement (siège de la Direction de l'Energie)..... 37
Tableau III-4 : Les paramètres des batteries..... 38
Tableau III-5 : Dimension et technologie de module Jinko-solar..... 39
Tableau III-6 : Coûts du système total 43
Tableau III-7 Consommation d'énergie de l'établissement (abonnement sonelgaz) 44
Tableau III-8 : La rentabilité de l'installation PV site isolé..... 45
Tableau III-9 : Coûts du système total..... 49
Tableau III-10 : Consommation d'énergie de l'établissement (abonnement sonelgaz)..... 50
Tableau III-11 : La rentabilité de l'installation PV couplé au réseau..... 50
Tableau III-12 : Bilans et résultats principaux d'un système isole 51
Tableau III-13 : Bilans et résultats principaux d'un système couplé au réseau..... 52
Tableau III-14 : Fonctionnement et performances de batteries..... 56
Tableau III-15 : Les données météorologique et l'irradiation.....59

Nomenclature et Abréviations

Nomenclature

ω_0 : L'angle horaire au coucher de soleil (°).
S_0 : Durée du jour.
E_{ph} : Energie du photon (j).
h : constante de planck (j.s).
λ : Longueur d'onde (m)
AM : Masse d'air.
Θ: représente l'angle entre la position du soleil et le zénith exprimée en (Degré).
G : Rayonnement global incident (W/m_2).
G_{dir} : Rayonnement direct.
G_{dif} : Rayonnement diffus
Ψ : l'azimut.
λ : longitude.
ϕ : latitude.
δ: La déclinaison δ.
TSV : le temps solaire vrai (h).
Θ_z : Angle zénithal.
TSM : Temps Solaire Moyen (h).
TU : temps universel (h).
TL : Le temps légal (TL).
ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré
ET : L'équation du temps.
PV : photovoltaïque.
E_{bat}: Energie exigée de la batterie pendant la décharge.
N_j: Nombre de jours d'autonomie.
V_{bat} : Tension de la batterie.
η_{bat} : Rendement de la batterie.
P_D : Profondeur de décharge.
E_c : Energie de consommation journalière de la charge (en Wh/j).

Abréviations

GPV : Générateur photovoltaïque.
PV : Photovoltaïque.
SIG : Système d'information géographique.
Tu : Temps universel.
TSL : Temps solaire local.
TSM : Temps solaire moyen.
MA : La masse d'air.
Et : Equation du temps.
MPPT : Maximum de puissance (maximum power point trucker).
PPM : la puissance maximale de la cellule.
CC : Courant Continu.
CA : Courant alternatif.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le plus grand défi pour les années à venir est la production d'énergie électrique, aussi bien du point de vue écologique, qu'économique. Les besoins énergétiques ne cessent de croitre aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement. On entend par énergie renouvelable, les énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée.

Aujourd'hui, l'essentiel de la production mondiale d'énergie provient de sources fossiles (non renouvelables). Ce type d'énergie donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. De plus, la consommation excessive de stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, la flambée du cours du pétrole et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgent la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie ainsi l'utilisation et le développement des énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne, hydroélectrique, et la biomasse, sont des alternatives prometteuses pour concurrencer les sources d'énergies de nature fossile et nucléaire.

Cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz, elle est donc une énergie totalement propre. Par ailleurs, l'absence et le manque en mouvement des pièces mécaniques lui confèrent un niveau de fiabilité inégalable (la durée de vie d'un module photovoltaïque est estimé généralement par les experts à 30 ans).

Le rayonnement solaire est reparti sur toute la surface de la terre et ne cause aucun conflit entre les pays contrairement au pétrole. Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (Technique du solaire thermique) ou de l'électricité (Technique du solaire photovoltaïque). Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposer comme moyen de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Ces systèmes se composent des champs de modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

L'électricité photovoltaïque présente une option économique intéressante pour des sites non raccordés au réseau de distribution centralisée. Lorsque les besoins à couvrir sont faibles, où l'absence d'une maintenance lourde constitue un avantage évident. Les systèmes photovoltaïques trouvent alors leur pleine justification dans les régions rurales isolées et les pays en voie de développement.

Elle permet de couvrir les besoins en électricité d'une habitation, tels que l'éclairage, le pompage de l'eau et la production du froid, ...etc.

De par sa situation géographique, l'Algérie, bénéficie de conditions favorables pour la production et l'utilisation de l'énergie solaire d'origine photovoltaïque. En effet, l'introduction de ce type énergies peut être aisément envisagée sur de nombreux sites, vu son important potentiel solaire, notamment dans le grand sud, qui est caractérisé par de très fort apports solaires avec une différence de température diurne-nocturne très importante. Par conséquent, compte tenu de la baisse des revenus de la rente pétrolière et de l'importance de son gisement solaire, l'Algérie est condamnée à inscrire une nouvelle politique de reconversion énergétique comme perspective économique et géostratégiques dans les prochaines décennies. **[1]**

Dans ce travail, on propose l'étude du dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'un établissement public (direction de l'énergie).

Le premier chapitre est une revue bibliographique sur l'énergie solaire photovoltaïque, dans le deuxième chapitre, on a rappelé quelques généralités sur les systèmes photovoltaïques et dans le dernier chapitre, on a présenté le logiciel PV_{SYST} pour une éventuelle utilisation pour le dimensionnement et comparaison du système PV isolé avec batterie et raccordé au réseau.

Chapitre I

Energie solaire photovoltaïque

I.1. Introduction

L'Algérie est en effet l'un des plus importants gisements d'énergie solaire au monde compte tenu de l'importance du stock solaire disponible équivalent à dix fois la consommation mondiale, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire au dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

Ce chapitre est consacré à la description du soleil, des différents types de rayonnement solaire et ses caractéristiques, des définitions concernant les coordonnées célestes (géographique, horaire, horizontale). **[2].**

I.2. Présentation du soleil

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1391000 km. IL est situé à une distance moyenne de 149 598 000 km de la terre. Le soleil est composé de matière gazeuse, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium et il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint 1070 K. Vu de la terre, le soleil tourne autour de son axe et ne tourne pas comme un corps solide :

- La rotation de l'équateur s'effectue environ dans 27 jours
- Les régions polaires durant 30 jours **[3].**

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau I-1 **[4]**

Tableau I-2 : Caractéristiques principales de soleil

Diamètre(Km)	1 392 000
Masse(Kg)	$2x10^{30}$
Surface (km^2)	$6.06\ x10^{12}$
Volume (km^3)	$1.41x10^{18}$
Masse volumique (kg/m^3)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du central de la voie lactée (Km)	$2.5\ x10^{18}$

I.3.Mouvement de terre

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse. le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. **[5]** l'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance terre /soleil ne varie que de ±1.7% par rapport a la distance moyenne qui est de ($149\ 675\times10^6$ Km).

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles.
Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre et appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut 23°27' les mouvements de la terre autour de son axe et autour de soleil sont schématisés par la figure (I.1).

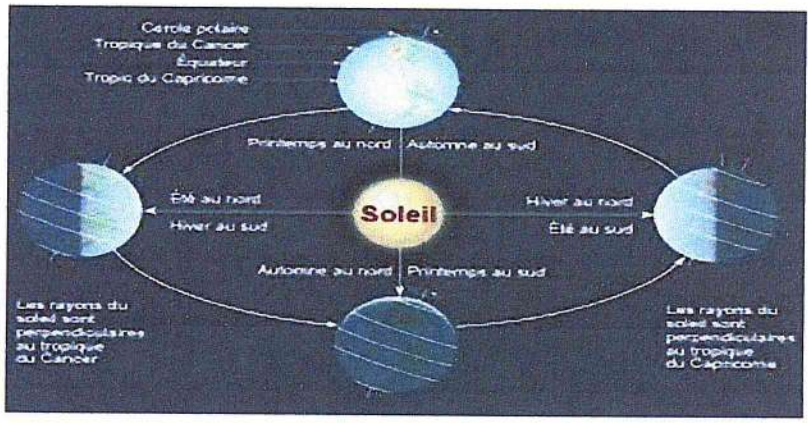


Figure I- 1 Le mouvement de la terre autour du soleil [5]

I.4.Rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre

Le rayonnement reçu sur l'atmosphère terrestre n'occupe qu'une faible portion du spectre d'onde électromagnétique solaire. Il est caractérisé par des longueurs d'ondes comprises entre 0.2µm et 2.5µm. Inclut le domaine visible (ondes lumineuse de 0.4µm à 0.8µm). Les capteurs d'énergie solaire, qui correspondent aux cellules solaires devront donc être compatible avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photons et les restituer sous forme d'électrons. Figure I- 2 **[6].**

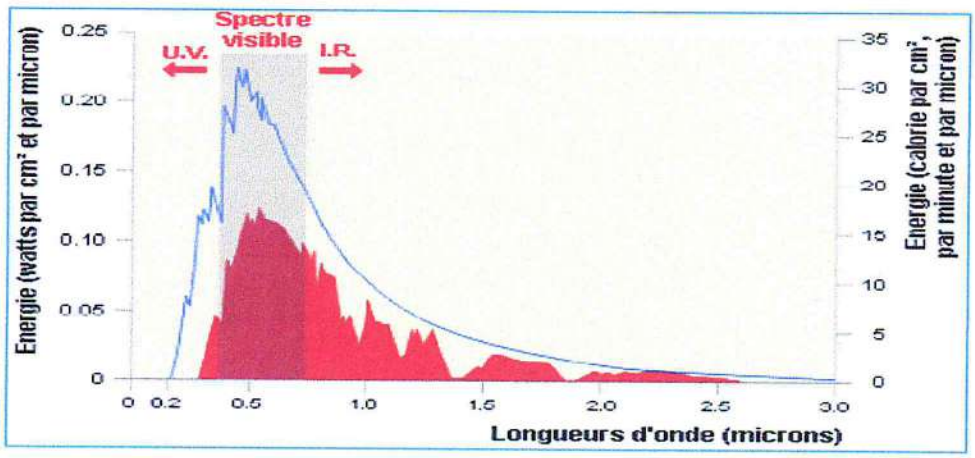


Figure I- 3: Représentation de l'analyse spectrale des rayonnements solaires

I.5. Durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell-Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qu'elle-même dépend de la période de l'année considérée **[3].**

Elle est définit par l'équation suivant **[6] :**

$$S_0 = \frac{2}{15}\,\omega_0 \qquad \text{I- 1}$$

S_0 : Durée du jour ;

ω_0 : L'angle horaire au coucher de soleil (°).

I.6. Constante solaire

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Solaire égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire a été estimée à 1367 W/m2 par Claus Fröhlich et Christoph Wehrli du Centre radiométrique mondial de Davos(Suisse) Figure I- 4 **[3].**

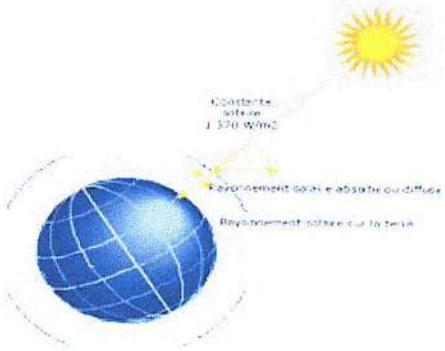


Figure I- 5: La constante solaire

I.7.Rayonnement solaire

Le soleil émet en permanence dans touts les directions de l'espace de rayonnements électromagnétique composés de grain de lumière appelés photons ces rayonnement se propagent à la vitesse de la lumière c ; il lui faut donc en moyenne, 499 secondes soit 8 minutes et 19 secondes pour atteindre notre atmosphère **[6].**

L'énergie, E_{ph} de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde par la relation : $\mathbf{E_{ph} = h.\frac{c}{\lambda}}$ **I- 2**

Ou h est la constante de Planck =6.62 x10^{-34} j. s.

C :3 x10^{8} m/s étant la vitesse de propagation.

λ: longueur d'onde (en nm).

I.8.Caractéristique de rayonnement solaire

I.8.1. l'atmosphère

Les couches atmosphériques modifient profondément la distribution spectrale du rayonnement solaire. Il subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite des phénomènes complexes d'absorption et de diffusion par les poussières et les aérosols (les poussières des cendres, des micros cristaux, des micros gouttelette, des fumées de pollution industrielle dont la taille varie de 0.5 à 10 μ m.) ainsi la couche d'ozone absorbe la majeure partie du rayonnement ultraviolet, tandis que la vapeur d'eau absorbe le rayonnement infrarouge **[7].**

I.8.2.Masse d'air

On appelle masse d'air AM, la perte de l'énergie solaire par l'absorption atmosphérique. Elle est donnée en fonction de l'angle entre le soleil et le zénith **[8].**

Où : Θ représente l'angle entre la position du soleil et le zénith exprimée en (Degré).

$$\mathbf{AM = \frac{1}{\sin\Theta}} \qquad \textbf{I- 3}$$

I.9.Différents types de rayonnement :

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé, au sol, on distingue :

I.9.1.Le rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire incident sur un plan donné et provenant d'un angle solide centré sur le disque solaire **[7].**

I.9.2.Le rayonnement diffus

Est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année **[9].**

I.9.3.Le rayonnement réfléchi (L'albédo)

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige.) Tableau I-3 **[8].**

Tableau I-4 Quelques valeurs de l'albédo. [3]

Surface de sol	Albédo
Surface d'eau	0.01à0.1
Foret	0.05à0.2
Sol cultivé	0.07à0.14
Pierres et rochers	0.15à0.25
Champs et prairies	0.1à0.3
Sol nul	0.15à0.4
Neige ancienne	0.5à0.7
Neige fraiche	0.8à0.95

I.9.4.Le rayonnement global

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct Figure I- 6

$$G = G_{dir} + G_{dif} + G_{ref} \qquad \text{I- 4}$$

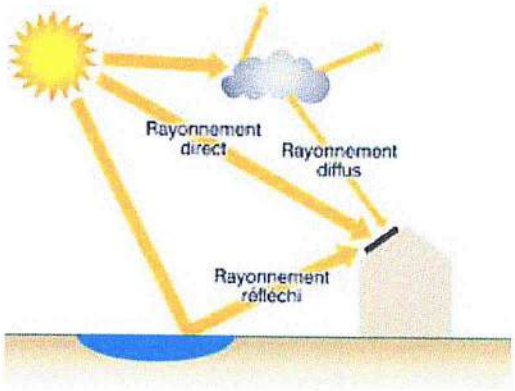


Figure I- 7 ; Les composantes du rayonnement solaire global

I.10.La sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, qui admet pour centre la terre, et pour rayon la distance (terre – soleil). On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes Caractéristiques sur la sphère elle même comme c'est indiqué sur la figure I- 8

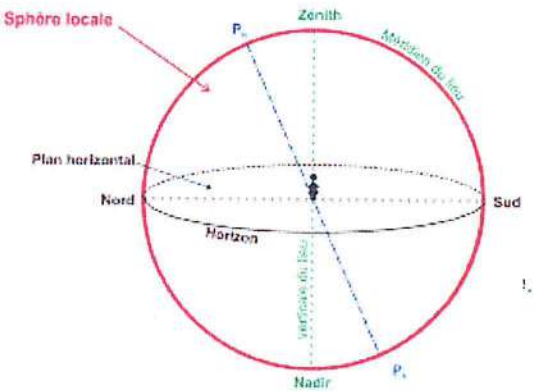


Figure I- 9 ; La sphère céleste

La direction des objets peut être quantifiée de façon précise à l'aide d'un système de coordonnées célestes **[9]**.

I.11.Les coordonnées célestes

I.11.1.Coordonnées géographiques

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

I.11.1.1.Latitude φ :

C'est l'angle θ que fait la verticale du lieu avec le plan équatorial. Si θ > 0, le site se trouve dans l'hémisphère nord, sinon le site est dans l'hémisphère sud **[10].**

I.11.1.2.La longitude λ:

(λ) d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminé par le lieu envisagé.
La longitude d'un lieu peut être comprise entre -180 et 180 °. A tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps. On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'Ouest **[3].**

I.11.1.3.L'altitude

C'est l'élévation d'un lieu par rapport au niveau de la mer, mesurée par mètre (m) **[6].**

I.11.2. Les coordonnées horaires

Les coordonnées équatoriales sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont lies à l'heure de l'observation. La position du soleil est exprimée par deux angles qui sont :

I.11.2.1.La déclinaison δ

C'est l'angle que forme la direction du soleil et le plan équatorial. La déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année : elle vaut 0 aux équinoxes et atteint ses deux valeurs extrêmes au solstice d'hiver (-23°,27') et au solstice d'été (+23°,27'). Plusieurs expressions ont été développées pour évaluer la déclinaison, la plus simple est celle utilisée par Cooper. Figure I- 10 **[10].**

La déclinaison est donnée par la formule suivante **[6]:**

$$\delta = 23,45[\sin 2\pi.\frac{(284+n)}{365}] \qquad \text{I- 5}$$

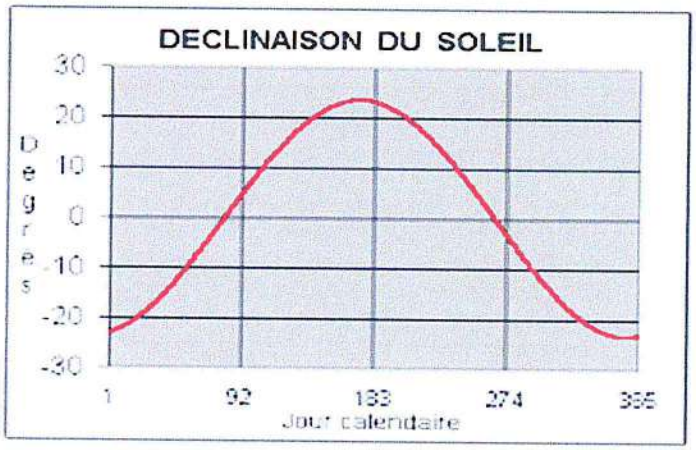


Figure I- 11 ; Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année J

I.11.2.2. Angle horaire ω

L'angle horaire étant l'angle ou l'arc compté sur l'équateur dans le rétrograde à partir du plan vertical du lieu passant par le sud jusqu'au plan méridien passant par le par le centre du soleil .Il mesure la course du soleil dans le ciel.

L'angle horaire définit le temps solaire vrais TSV, il est midi TSV si ω = 0, exprimé en degrés d'angle, sa valeur est nulle à midi solaire, elle est négative le matin, positive en après midi et augmente de 15° par heure (un tour de 360° en 24 heures).

L'angle horaire ω (°) est donné par la formule suivante **[6]** :

$$\omega = 15(TSV - 12) \qquad \text{I- 6}$$

TSV : est le temps solaire vrai en heure

I.11.3. Coordonné horizontale

I.11.3.1.Hauteur angulaire

La hauteur angulaire du soleil, communément appelé hauteur du soleil ou élévation du soleil, est l'angle compris entre la direction apparente du soleil ave sa projection sur le plan horizontal du lieu considéré .Sa valeur est nulle au lever ou au cocher du soleil et maximale lorsque le soleil est à son zénith par la relation suivante **[6]**:

$$\sin \Upsilon = \cos \delta . \cos \omega . \cos \varphi + \sin \delta . \sin \varphi \qquad \text{I- 7}$$

I.11.3.2. Azumit ψ

L'azimut est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il se compte de 0° à 360° à partir du sud dans le sens rétrograde. La relation qui donne l'azimut est donnée ci-dessous **[10]**:

$$\cos \psi = \frac{(\sin\varphi.\sin\Theta - \sin\delta)}{\cos\varphi.\cos\Theta} \qquad \text{I- 8}$$

I.11.3.3.Angle zénithal

C'est l'angle entre le zénith local et la ligne joignant l'observateur et le soleil .Il varie de 0 jusqu'à 90° . Figure I- 12 **[6].**

$$\cos \Theta_z = \cos\delta . \cos \omega . \cos \varphi + \sin \delta . \sin \varphi \qquad \text{I- 9}$$

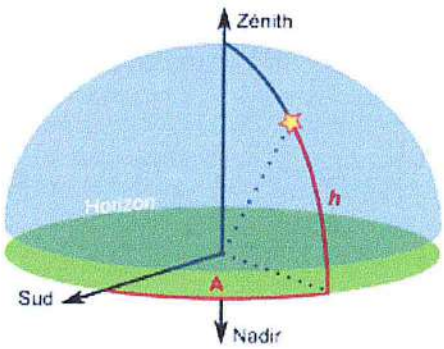


Figure I- 13: Coordonnée horizontale

I.12. Temps solaire

I.12.1.Le Temps Solaire Vrai (T.S.V)

Le temps solaire vrai (TSV) est l'angle horaire entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu considéré, il est donné par l'expression **[4]**

$$\mathbf{TSV} = \mathbf{12} + \frac{\boldsymbol{\omega}}{\mathbf{12}} \qquad \textbf{I- 10}$$

I.12.2.Le Temps Solaire Moyen (T.S.M)

Il est appelé parfois temps locale (TSM), Il est donné par la relation **[9]** :

$$\mathbf{ET} = \mathbf{TSV} - \mathbf{TSM} \qquad \textbf{I- 11}$$

I.12.3.Le temps universel (TU)

est le temps moyen de Greenwich, Il définit par **[4]** :

$$\mathbf{TU} = \mathbf{TSM} - \frac{\boldsymbol{\lambda}}{\mathbf{15}} \qquad \textbf{I- 12}$$

I.12.4.Le temps légal (TL)

Est le temps officiel d'un état, il est donné par **[4]** :

$$\mathbf{TL} = \mathbf{TU} + \boldsymbol{\Delta H} \qquad \textbf{I- 13}$$

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré

I.12.5.L'équation du temps

ET C'est l'écart entre le temps solaire moyen TSM et le temps solaire vrai TSV selon le jour de l'année considéré. Figure I- 14 **[11]**

$$\mathbf{ET} = \mathbf{0.258cos\,x - 7.416sin\,x - 3.648cos\,2x - 9.228sin\,2x} \qquad \textbf{I- 14}$$

Avec $\mathrm{X} = \frac{360\,(\mathrm{N}-1)}{365.25}$

Où l'angle x est défini en fonction du numéro du jour n. Le décompte commence à partir du 1er janvier où n=1.

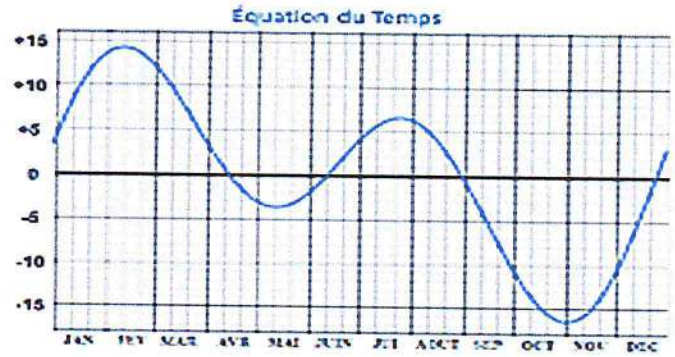


Figure I- 15: Graphe des variations annuelles de l'équation du temps

I.13. Le gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire **[12].**
De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure(I.9)

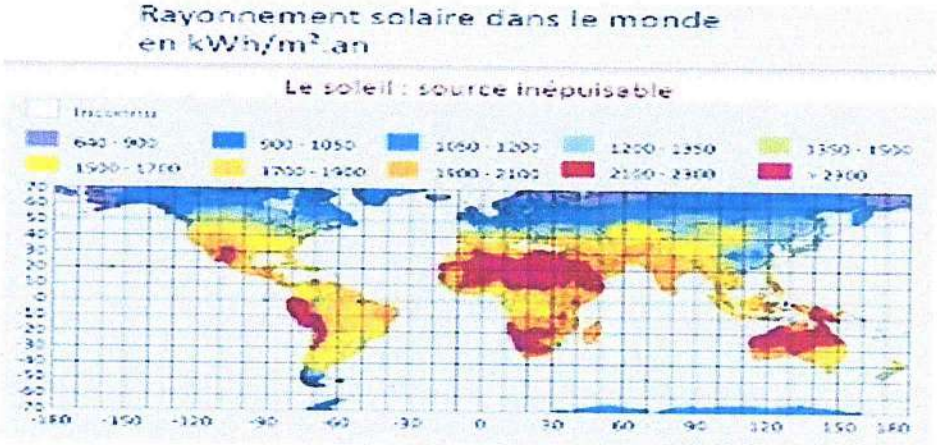


Figure I- 16: Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [13]

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.3 selon l'ensoleillement reçu annuellement **[13].**

Tableau I 5: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue ($kwh/m^2/an$)	1700	1900	2650

I.14.Conclusion

L'Algérie est probablement le pays Africain et Méditerranéen disposant du potentiel d'énergie renouvelable le plus important à l'échelle régionale, de même que les capacités les plus appropriées au développement et à l'exploitation de ce potentiel. Un potentiel énergétique lié à plusieurs types de sources, mais dont l'énergie solaire demeure la plus importante en disponibilité et puissance et, sans doute aussi, la plus compétitive à développer à l'avenir sous diverses formes.

Chapitre II

Généralités sur les systèmes photovoltaïques

II.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable permettant .de produire de l'électricité par la transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à des modules solaires photovoltaïques, comprenant plusieurs cellules photovoltaïques reliées entre elles. Les impacts locaux du solaire sont très réduits : pas de bruit, pas de rejets et, sur le plan visuel, une relative discrétion voire pour certaines structures intégrées au bâtiment une réelle élégance.
Une fois ces rappels sont faits, il nous sera facile d'expliquer le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en passant au système photovoltaïque complet et à ses trois types à savoir **[14]**:

- Les systèmes autonomes
- Les systèmes hybrides
- Les systèmes connectés au réseau

II.2 Principe de fonctionnement d'une installation PV

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires, eux-mêmes constitués de cellules photovoltaïques, à base de silicium le plus souvent.

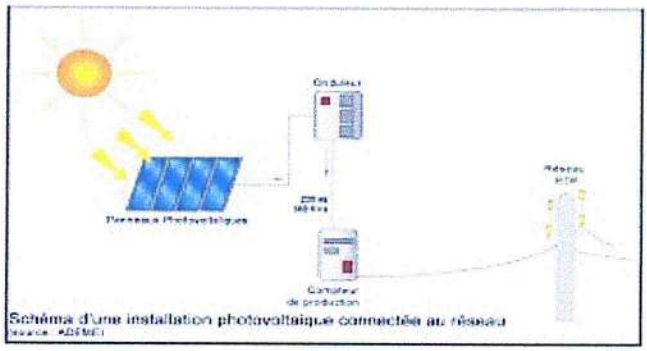


Figure II- 1 : Système PV

Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu). La puissance est exprimée en Watt- crête (WC), unité qui définit la puissance électrique disponible aux bornes du générateur dans les conditions d'ensoleillement optimales. Un ou plusieurs onduleurs convertissent le courant continu produit en courant alternatif à 50Hz et 220 V. Selon le choix retenu, toute ou une partie de la production est injectée sur le réseau public, et le reste est consommé par le

producteur. Lorsque la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'électricité nécessaire **[3]**.

II.3 Définition d'un système photovoltaïque

L'intérêt essentiel des générateurs photovoltaïques est la possibilité d'autonomie énergétique qu'ils permettent. Les premiers générateurs ont été utilisés le 17/03/1958 pour les satellites vagués, de puis très largement par la suite pour l'espace. Les premières installations photovoltaïques utilisées au sol datent de 1973 et ont été conçues pour des applications en sites isolés et principalement dans les pays en voie de développement où les réseaux de distribution d'énergie sont généralement restreints aux grands centres urbains. Les premiers systèmes conçus ne délivraient que de très faibles puissances, de l'ordre de quelques dizaines de watts, pour subvenir à des besoins très spécifiques, tels que balises de navigation ou émetteurs radio **[15]**.
Un système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composant qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble, appelé aussi « balance of system » ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, **[16]** à la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser ces modules, câblage, la batterie en cas de stockage, son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonction en courant alternatif.

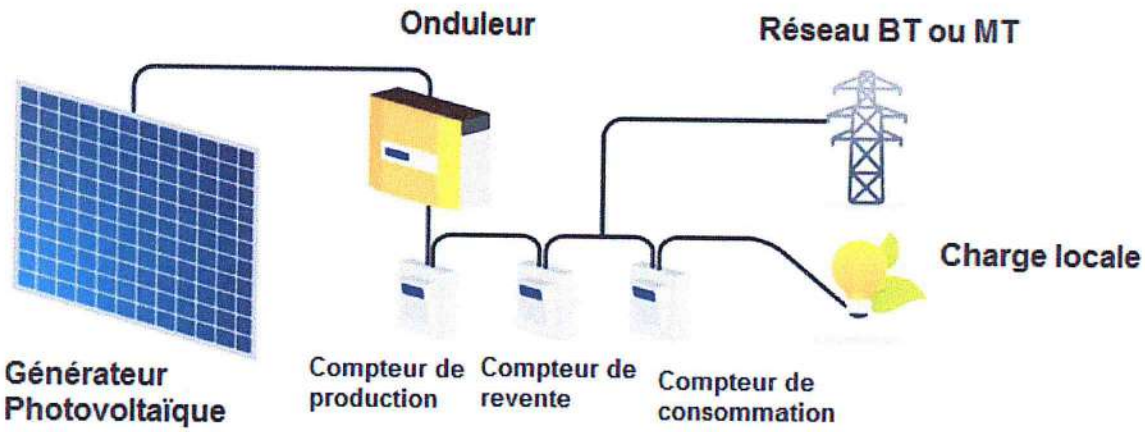


Figure II- 2 Schéma synoptique d'un système PV

II.4 Les différents types de systèmes photovoltaïques

Selon la manière dont l'énergie est utilisée, **[14]** il existe trois différents types de Systèmes PV :

- Systèmes autonomes.
- Systèmes hybrides.
- Systèmes raccordés au réseau

II.4.1 Systèmes photovoltaïques autonomes

En mode autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des récepteurs comme les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignés ainsi qu'à des applications comme la surveillance et le pompage d'eau **[17].** En mode autonome, le système est constitué généralement des éléments suivants :

- Le champ de modules PV charge la batterie en période d'ensoleillement ;
- La batterie alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique ;
- Le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge de l'énergie produite par le champ de modules PV et inclut habituellement une protection contre les décharges profondes de la batterie
- Un convertisseur de charge permet l'utilisation d'appareil à courant continu ou à courant alternatif.

Il existe deux types de systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage et sans stockage.

II.4.1.a Système autonome sans stockage :

C'est le système le plus simple puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux. L'appareil alimenté par ce système ne fonctionnera qu'en présence de la lumière, et des que l'éclairement sera suffisant pour atteindre la puissance demandée.

Ce type de système est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, et pour les quelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de la lumières. L'inconvénient de ce système, c'est qu'on ne profite pas toujours des éclairements les plus élevés: pas de stockage, donc pas de récupération des surplus d'énergie solaire **[16]**.

II.4.1.b Systèmes autonome avec stockage

Cette installation est constituée essentiellement de trois composants : des modules solaires, la batterie, et le régulateur de charge (figure III.3). La batterie d'un tel système se charge le jour et sert de réservoir d'énergie en permanence ; elle peut recevoir un courant de charge et débiter un courant de décharge de valeur différente sans problème, à un instant donné. Les appareils alimentés sont donc câblés sur la batterie à travers le régulateur de charge, cela pour assurer le chargement optimal de l'accumulateur tel que, lorsque la batterie est pleine, ce dernier coupe la charge pour éviter qu'elle ne souffre de surcharge **[16].**

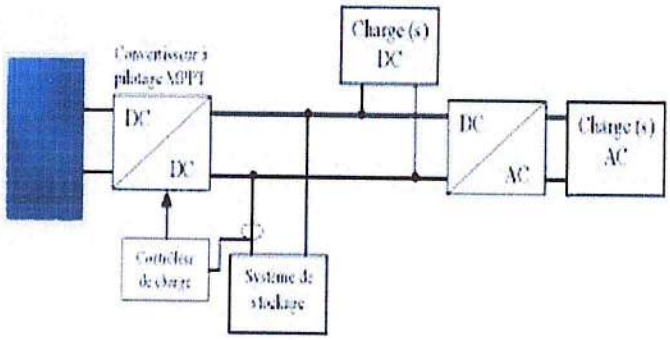


Figure II- 3 : Système photovoltaïque avec stockage [16]

II.4.2 Système photovoltaïque hybride

Ils sont souvent utilisés pour les tours de communications ainsi que pour les refuges et les camps forestiers en régions éloignées. Ils peuvent également être couplés avec d'autres sources d'énergie telles les éoliennes et les microcentrales hydrauliques, lorsqu'il y a une complémentarité des productions électriques.
Ce type de système s'applique particulièrement bien à des sites éloignés où il est important d'avoir de l'électricité à tout moment, où les coûts de transport du carburant sont élevés et où il n'est pas encore rentable d'utiliser le système photovoltaïque seul avec les batteries **[18].**

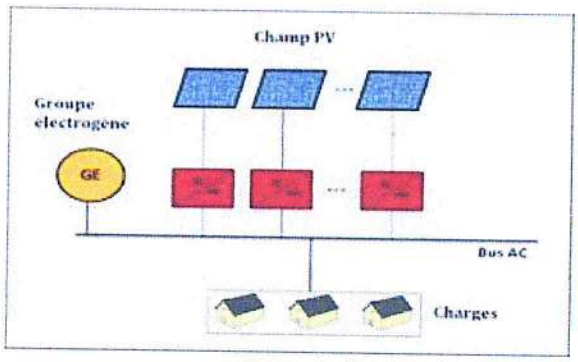


Figure II- 4: Système d'alimentation autonome hybride photovoltaïque/ groupe électrogène [16]

II.4.3 Système photovoltaïque connecté au réseau

La Fig. (II.5) représente un système PV connecté au réseau électrique, dont le rôle principal est de contribuer à la production d'électricité d'origine renouvelable sur le réseau. D'un point de vue de la physique, l'énergie produite par les panneaux est directement consommée par les charges locales de l'habitat.
L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau. Et en cas de coupure réseau, l'onduleur stoppe l'injection d'électricité photovoltaïque produite sur le réseau et bascule la production sur un circuit électrique de secours parallèle, constitué d'un ensemble de batteries. La protection de découplage permet de supprimer tout risque d'électrocution en cas de rupture de courant pour le personnel intervenant. Cette fonction est assurée par l'onduleur qui s'arrête automatiquement lorsque le réseau est mis hors tension.



Figure II- 5: Système photovoltaïque connecté au réseau [19].

Les panneaux photovoltaïques débitent sur un bus de tension continue à travers un convertisseur dont le rôle est d'effectuer la conversion DC-AC et de faire en sorte que le générateur PV fonctionne toujours à son point de fonctionnement optimal (puissance maximale). Les caractéristiques électriques des panneaux photovoltaïques étant liées aux conditions météorologiques, ce convertisseur améliore la rentabilité du système global **[19]**.

II.4.3.a Les centrales photovoltaïques connectées au réseau

Une première classification des centrales photovoltaïques connectées au réseau en fonction de leurs tailles peut être faite de la manière suivante [18] :

- Centrales de petite taille (Pw = 1 à 10 KW) : Pour des applications sur les toits de maisons individuelles ou d'institutions publiques telles que les écoles, parkings,...etc, elles se connectent au réseau basse tension **[20].**
- Centrales de taille moyenne (PW = 10 à 500 KW) : Ce type de système peut se trouver installé et intégré sur un édifice, sur un toit ou une façade. Il peut être connecté à la basse ou à la moyenne tension du réseau de distribution électrique selon sa taille. **[18].**
- Centrales de grande taille (PW≥500 KW) : Ce sont des systèmes centralisés et sont des propriétés de compagnies d'électricité on peut également classer ces systèmes selon qu'ils soient munis de batteries de stockage ou non **[5].**

II.4.3.b Structure générale d'un système photovoltaïque connecté au réseau

Il existe deux types de structures de système photovoltaïque.

- **Les systèmes à connexion direct au réseau** ; Cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque qui est connecté à l'aide d'un onduleur au réseau électrique. Sa structure présentée à la figure (II.6) est la plus simple, car elle comporte le moins de composants possible. Dans ce cas, on associe plusieurs modules photovoltaïques en série pour obtenir une tension continue suffisamment grande. Cette solution est une alternative à un hacheur élévateur de tension. Un onduleur (convertisseur continu /alternatif) photovoltaïque classique est placé en sortie des modules, son rôle est de faire fonctionner les modules à leurs points de puissance maximum et de convertir le courant continu photovoltaïque en courant alternatif synchronisé avec le réseau. L'énergie produite par les modules photovoltaïques doit pouvoir alimenter les charges, le surplus est injecter sur le réseau. Il pourrait être avantageux d'insérer un transformateur pour isoler le système PV du réseau. L'inconvénient majeur de cette architecture est l'arrêt total et

immédiat de la production d'énergie lors d'un problème survenant en amont de l'onduleur. De plus le contrôle du point de fonctionnement maximum est approximatif car toutes les cellules ne délivrent pas le même courant en raison de leurs différences de structure interne et d'ensoleillement **[3]**.

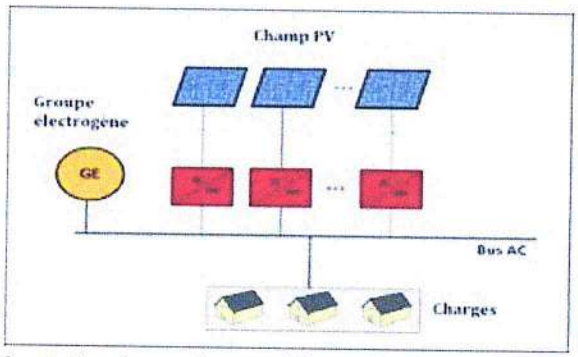


Figure II- 6: Architecture du système PV avec un bus en courant alternatif (AC)

➢ **Le système à bus continu intermédiaire ;** Le générateur photovoltaïque est connecté à un bus continu par l'intermédiaire d'un bus continu-continu. Un onduleur délivre une tension modulée. Celle-ci est filtrée pour réduire le taux d'harmonique (THD). On obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pouvant être injectée dans le réseau **[3].**

Dans ce cas, le système comporte deux éléments de conversion Figure(II.7). Un convertisseur continu/continu (hacheur) placé en sortie des modules photovoltaïques qui contrôle le point de fonctionnement maximum du générateur photovoltaïque et élève sa tension de sortie délivrée sur le bus continu. Avec le hacheur, il est difficile d'élever la tension de sortie des modules plus de 4 ou 5 fois pour obtenir une tension continue suffisamment grande, en raison de la résistance de l'inductance. On adjoint un onduleur central pour avoir une sortie sinusoïdale.

L'avantage de ce système est que des batteries peuvent être facilement connectées au bus continu pour obtenir un système autonome.

Les inconvénients majeurs de ce type de montage sont :

➢ La capacité doit être relativement importante, à cause des ondulations du courant en sortie du module,

➢ La tension élevée qui traverse le bus continu réduit la sécurité du personnel d'entretien **[3].**

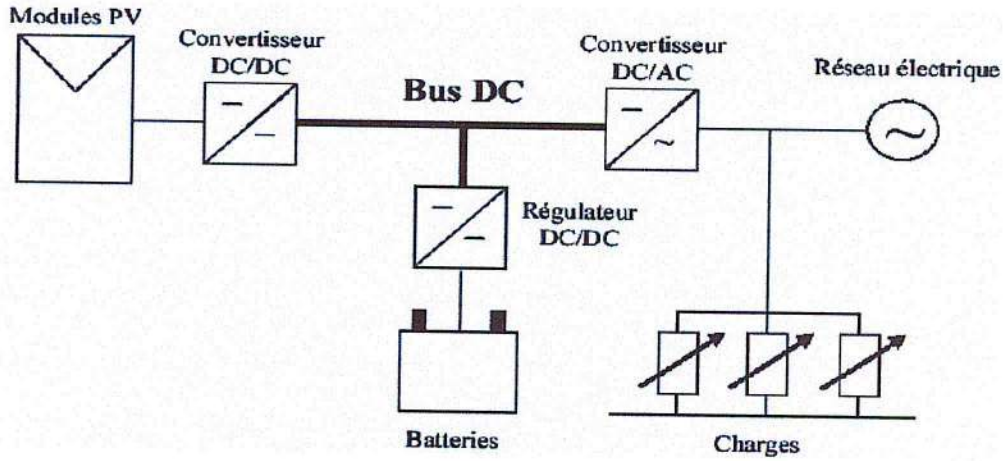


Figure II- 7: Architecture du système PV avec un bus en courant continu (DC) [3]

II.5 Cellules photovoltaïques

La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- D'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne,
- D'une couche anti- reflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires,
- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode,
- Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière.

La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule **[21].**

II.5.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La jonction p-n de ces deux matériaux semi-conducteurs fonctionne comme une diode. Lorsque cette diode est exposée à des photons dont l'énergie (hV) est supérieure à celle de l'énergie du matériau semi-conducteurs, est appelée l'énergie de bande gap (Eg), le nombre d'électrons libres du semi-conducteur de type **p** et celui de trous, du semi-conducteur de type **n** augmente considérablement. Si les photons incidents ont une énergie inférieure à (Eg) ils ne seront pas absorbés c'est-à-dire leurs énergies ne contribuent pas à la conversion photovoltaïque. La figure (II. 8) illustre le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.
L'énergie des photons est donnée par **[22].**

$$\mathbf{E = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}} \qquad \text{II- 1}$$

Avec E : énergie de photon (ev) ;
h: constante de Planck
V : fréquence de la lumière ;
C: vitesse de la lumière ;
λ: Longueur d'onde.

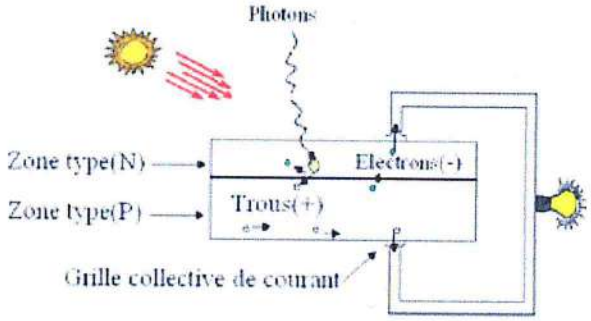


Figure II- 8: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

D'une autre manière, quand un semi-conducteur est éclairé par la lumière du soleil, les photons qui la constituent sont capables de transmettre leurs énergies aux électrons de valence du semi-conducteur pour rompre la liaison qui les maintient liés aux atomes respectifs. Pour chaque liaison rompue, on obtient un électron et un trou libres circulant dans le matériau. Sous l'effet du champ électrique, l'électron va du côté N et le trou du côté P. Les trous se comportent, sous différents aspects, comme des particules avec une charge positive égale à celle de l'électron. La différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule.
La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (VOC). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (ICC) et dépend fortement du niveau d'éclairement **[22].**

II.5.2 Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque

Le courant délivré sur une charge par une cellule PV éclairée s'écrit **[23]** :

$$\mathbf{I(V) = I_{Ph} - I_{obsc}\,(V)} \qquad \textbf{II- 2}$$

Avec :

I_{Ph}: Densité de courant photo-généré

I_{Obsc}: Densité de courant d'obscurité.

Pour une cellule photovoltaïque idéale, l'équation (II.2) peut être sous la forme suivante : $\mathbf{I(V) = I_{ph} - I_s\left(e^{qV/KT} - 1\right)}$ **II- 3**

Avec : Is : le courant de saturation de la diode, q : charge élémentaire, k : constante de Boltzmann et T : la température. Ainsi, dans une cellule photovoltaïque, deux courants s'opposes : le courant d'éclairement et un courant de diode appelé courant d'obscurité qui résulte de la polarisation du composant.

La caractéristique d'une cellule sous obscurité est indiquée à celle d'une diode. Sous éclairement, la caractéristique a l'allure présentée sur la figure(II.9).

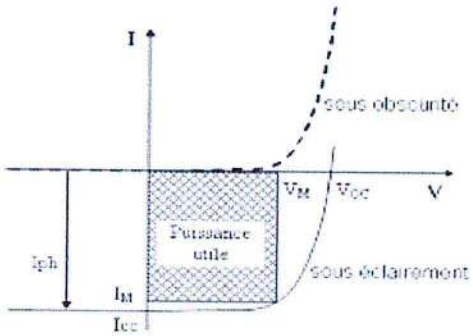


Figure II- 9 : caractéristiques I=f(V) sous obscurité et sous éclairement d'une cellule PV **[24]**

II.5.2.a Courant de court-circuit ICC

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (V = 0 V dans le Schéma équivalent). Il s'agit du courant le plus important que l'on puisse obtenir avec une cellule solaire. Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température **[7]**.

II.5.2.b Tension de circuit ouvert

La tension de circuit ouvert (open circuit) VCOest obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle dépend de la barrière d'énergie, **[24]** et décroît avec la température et change peu avec l'intensité lumineuse. La tension en circuit ouvert peut être calculée à partir de :

$$V_{OC} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_{PH}}{I_S} + 1\right) \qquad \text{II- 4}$$

II.5.2.c Facteur de forme FF

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairement dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée $Pm=Pmax$) pour un point de fonctionnement $Pm\ Im= Imax$, $Vm= Vmax$ de la courbe courant- tension **[25]**.

Le facteur de forme est défini par la relation suivante

$$FF = \frac{P_m}{V_{CO}.I_{CC}} = \frac{V_m.I_m}{V_{CO}.I_{CC}} \qquad \text{II- 5}$$

II.5.2.d Rendement η

Il est définit comme le rapport entre la puissance maximale produite par la cellule P_{max} (I_{opt},V_{opt}) et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur la cellule P_{inc}. Si **S** est la surface de la cellule **(en m²)** et **E** est l'éclairement-irradiante (en ***W/m²***). Le rendement énergétique s'écrit **[26]**.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt}.V_{opt}}{S.E} \qquad \text{II- 6}$$

II.5.3 Différents types des cellules solaires

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par a un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules **[27]**.

II.5.3.a Cellules monocristallines

Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal (Voir Figure II.10).Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie; plus onéreux, il est cependant plus efficace que le silicium poly-cristallin.

Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau. Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on obtient un monocristal.
Un Wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de couche anti- reflet, pose des collecteurs), le Wafer devient cellule. Les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme. Elles ont un rendement de15 à 22 %, mais la méthode de production est laborieuse **[27].**

II.5.3.b Les cellules poly- cristallines

Les cellules poly-cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles proviennent aussi du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et hétérogènes **[28].**
.Les cellules poly- cristallines sont caractérisées par :

- Coût de production moins élevé.
- Procédé moins gourmand en énergie.
- Rendement de 13 % et jusqu'à 20 % en labo.

II.5.3.c Cellules amorphes

Le silicium amorphe est apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, non cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin. Cependant, ce qu'il gagne en pouvoir d'absorption, il le perd en mobilité des charges électriques (rendement de conversion faible) **[28].**

- Coût de production bien plus bas.
- Rendement de seulement 6 % par module et de 14 % en labo.
- Fonctionne sous très faible éclairement.

Grâce à la technologie des nouveaux matériaux le tellurure de cadmium ($CdTe$), l'arséniure de gallium ($GaAS$) ainsi que le di séléniure de cuivre et d'indium (CIS) ont permis d'obtenir des photopiles ayant des rendements 38 % au laboratoire.

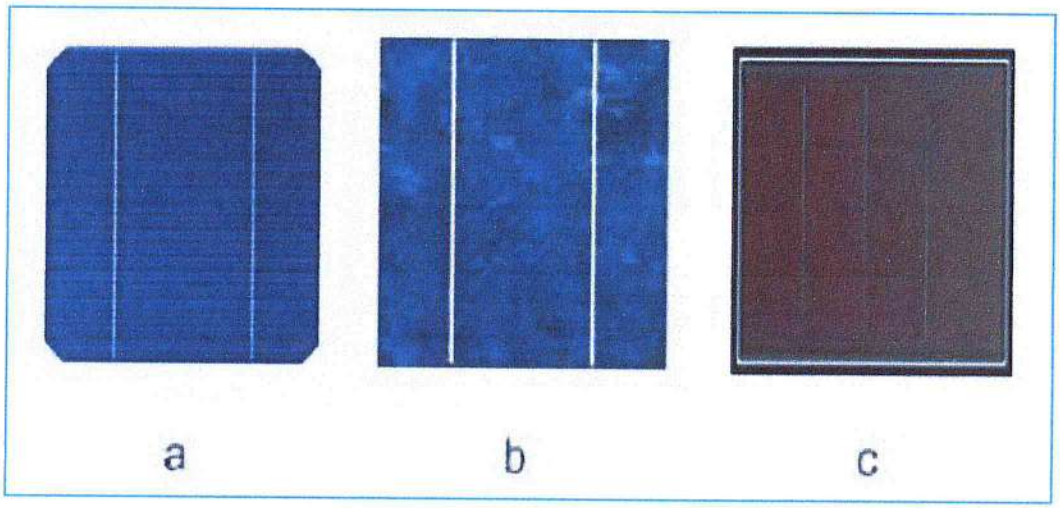


Figure II- 10: Types des Cellules photovoltaïque (a) mono-cristalline, (b) poly-crystalline, (c) amorphes **[18]**

II.5.4 Association des cellules photovoltaïques

La puissance disponible aux bornes d'une cellule est très faible. Il est donc nécessaire d'associer en série et en parallèle de telles cellules, pour obtenir des modules de puissance compatible avec le matériel électrique usuel. Les puissances des modules disponibles sur le marché s'échelonnent entre quelques watts-crête (WC) et quelques dizaines de watts-crête. (WC).Représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard, Irradiation solaires de 1000 W/m2, T° de jonction de 25°C, charge optimale **[29].**

II.5.4.a Association en série

Une association de (Ns) cellule en série figure (II.11) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de (Ns) cellules **[30].**

$$\mathbf{V_{CO\,N_S}} = \mathbf{N_S} . \mathbf{V_{OC}} \qquad \textbf{II- 7}$$

$ICC = IC$

$V_{OC} . N_S$: la somme des tensions en circuit ouvert de Ns cellules en série ;

$ICC . NS$: Courant de court-circuit de Ns cellules en série ;

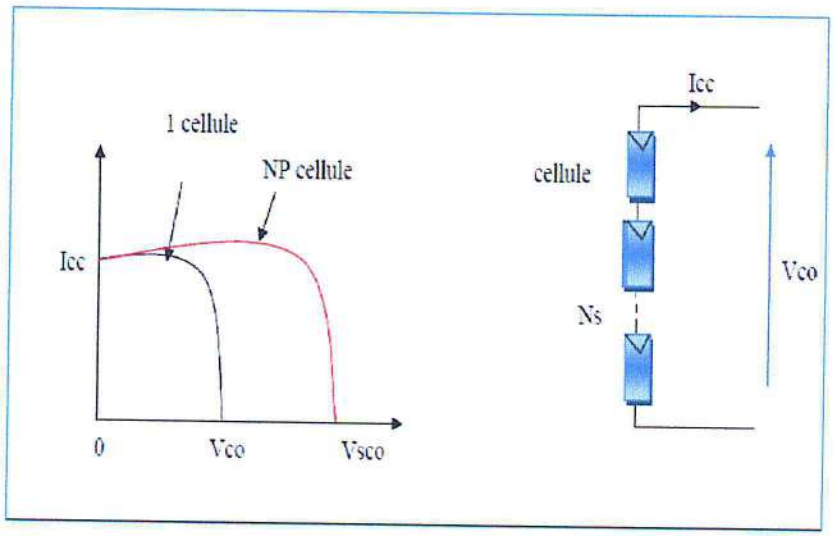


Figure II- 11: Caractéristique courant tension de Ns cellule en série [30]

II.5.4.b Association en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La figure (II-12) montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèle s*np*cellules identiques **[29].**

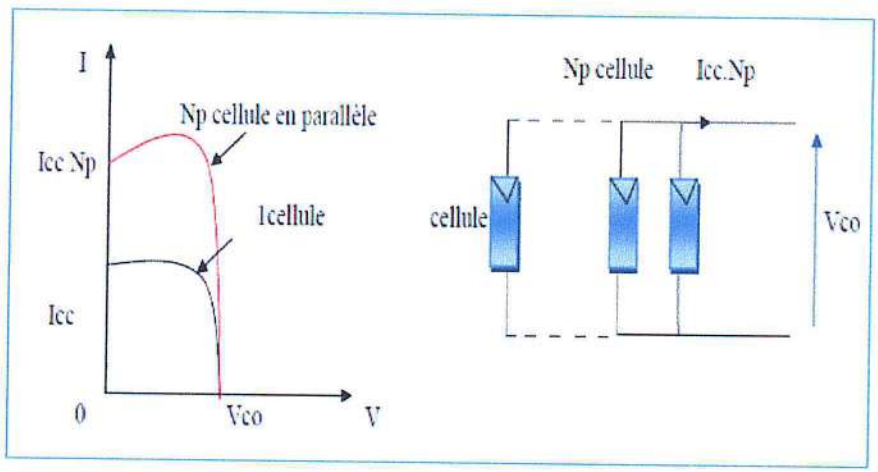


Figure II- 12: Caractéristique courant tension de (N_P) cellule en parallèle [21]

II.5.4.c Branchement mixte

Si pour une application donnée il est nécessaire de faire augmenter le courant et la tension délivrée par les cellules solaires, on réalise un groupement mixte ou groupement série-parallèle. On parlera dans ce cas de module et de panneaux solaires. Un panneau solaire est par définition un ensemble de modules regroupés selon un montage mixte, le module étant à son tour composé d'un ensemble de cellules montées généralement en série. Il est possible d'utiliser un montage de NC cellules identiques en série sur un module, NSP nombre de branche (placées en parallèle) et NMS nombre de modules par branche figure (II.13) **[25].**

La puissance totale disponible P_T, dans ces conditions, est égale :

$$P_T = N_{MS} . N_{SP} . P_M \qquad \text{II- 8}$$

La résistance optimale est donnée par :

$$R_{OPT} = \left(\frac{N_{MS}}{N_{SP}}\right) . P_M \qquad \text{II- 9}$$

Où R_{opt} est la résistance optimale du module dans les mêmes conditions.

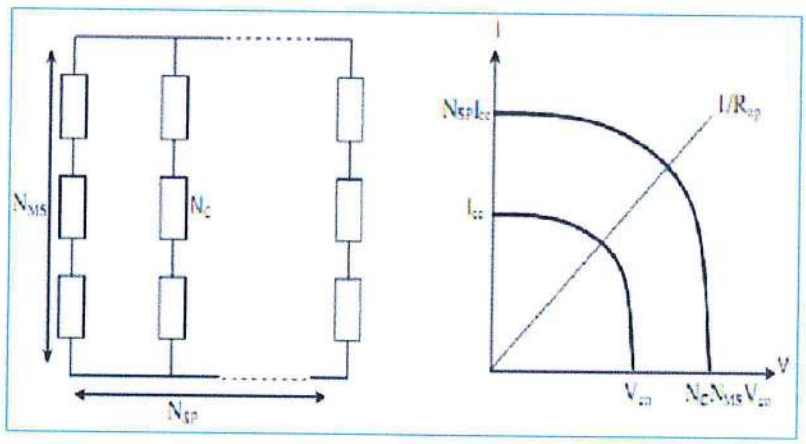


Figure II- 13: Association mixte de NSP branches et de NMS modules composés de NC cellules solaires identiques **[25]**

II.6 Avantages et inconvénients d'une installation PV

II.6.1 Avantages

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux **[31].**

- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milli Watt au Méga Watt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé
- 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.

II.6.2 Inconvénients

- Le coût initial des systèmes photovoltaïques est élevé, même si la rentabilité à long terme est assurée **[32].**
  Ils sont donc parfois hors de portée des personnes à faibles revenus
- Dans la plupart des installations, l'électricité doit être stockée dans des batteries. Or, les batteries : (1) requièrent une maintenance régulière, (2) doivent être remplacées périodiquement et (3) peuvent avoir un impact sur la performance du système (lorsque les produits locaux sont de mauvaise qualité ou ne peuvent pas être remplacés).
- Les systèmes photovoltaïques de faible puissance requièrent souvent des équipements à courant continu dont l'efficacité énergétique est supérieure à celle des équipements à courant alternatif, mais dont le coût est souvent plus élevé.
- Les systèmes photovoltaïques doivent être conçus et installés par des techniciens car toute erreur de conception ou de réalisation conduirait à créer une installation d'un rendement inférieur à celui des solutions alternatives
- Les systèmes photovoltaïques de forte puissance nécessitent souvent un système de secours (éolien ou fuel) pour les périodes de forte demande ou de fort ennuagement.
- L'électricité solaire photovoltaïque n'est pas économiquement viable pour les charges thermiques de type cuisson, chauffage, ou repassage.

II.7 Conclusion

Dans chapitre nous avons présente les différents types de systèmes photovoltaïques, les cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques

Chapitre III

Projet d'alimentation de

la direction de l'énergie en PV

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va utiliser le logiciel PVgis qui nous donne les coordonnées géographiques de la zone de Médéa, il nous permet l'accès à latitude, longitude, l'altitude et l'irradiation globale puis on intègre coordonnées dans le logiciel PVsyst 6.43, après simulation de ce dernier, nous présenterons les résultats obtenus dans le rapport de simulation, autonome et connecté au réseau. **[31]**

III.2 Présentation de la wilaya de Médéa

La wilaya de Médéa est une wilaya montagneuse qui fait partie intégrante de la région du Tell est située dans l'Atlas tellien et se caractérise ainsi par une altitude élevée et un relief mouvementé enserrant quelques plaines de faible extension. Au sud, elle s'étend aux confins des hautes plaines steppiques, La wilaya se caractérise au climat rude et peu peuplée, ceinturant la wilaya à l'Ouest et au Nord et il est caractérisé par une pluviométrie irrégulière, la Wilaya de Médéa compte 64 commune et 19 dairas. **[31]**

III.3 Présentation de la direction de l'énergie.

La direction de l'énergie se situe au pôle urbain la ville de Médéa, a une altitude de 928 m, d'une superficie de 450 m2, dont 300 m2 comme terrasse, se compose de R+4.(sous sol, 24 bureaux, 03 salles de réunion et un logement de fonction).



Figure III- 1 : Carte géographique du site

III.4 Logiciel PVGIS

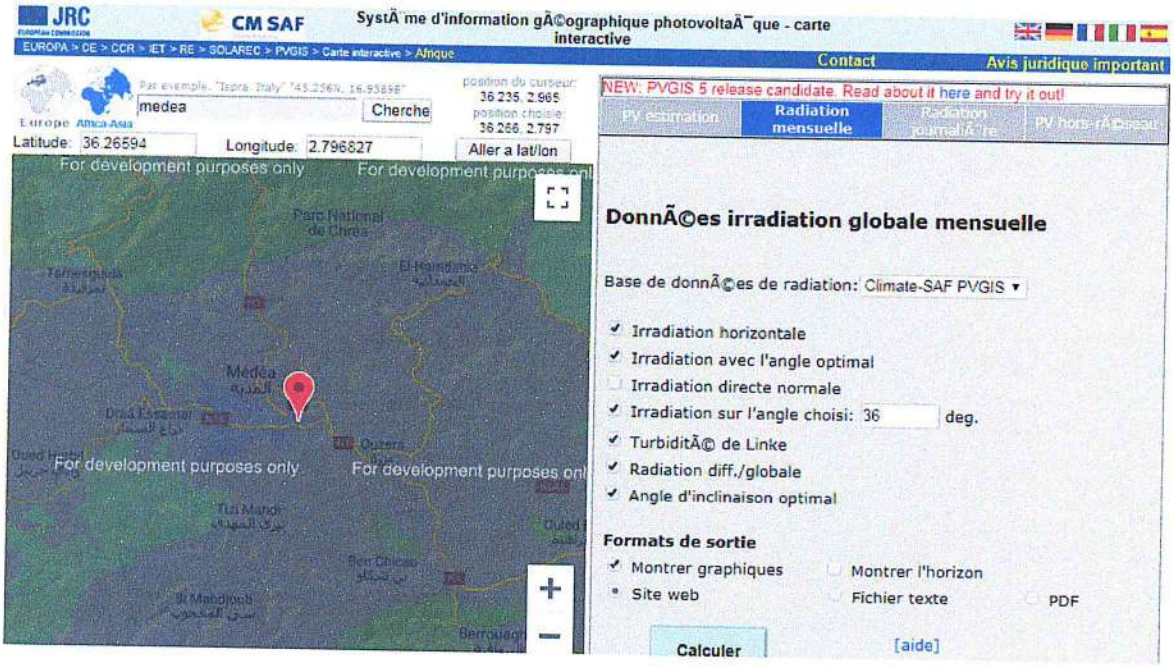


Figure III- 2 : Fenêtre de PVGIS.

C'est un outil Internet pour l'évaluation des systèmes d'énergie solaire photovoltaïque, le système d'Information géographique photovoltaïque (PVGIS) fournit un accès aux: **[26]**

- Données sur le rayonnement solaire et la température.
- Outils d'évaluation de la performance PV.

Lors de l'évaluation du rayonnement solaire d'une certaine zone, afin de prendre en compte les caractéristiques du paysage, il est idéal pour construire un modèle de rayonnement solaire intégré avec système d'information géographique (SIG). Ce type de modèle peut fournir rapidement à faible coût, le résultat précis du rayonnement solaire qui couvre une grande surface. Il a également la capacité d'analyser les effets de la pente, de l'orientation et de l'ombrage. Donc, l'intégration de l'énergie solaire modèle de rayonnement avec 'SIG' et logiciel de traitement d'image est très utile pour l'analyse et améliorations de l'application.

III.4.1 Utilisation de PVGIS

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, nous choisissons le site du pôle urbain de la ville de Médéa.

III.4.1.a Optimiser l'inclinaison

Inclinaison optimale, nous cochons cette case si nous souhaitons que PV-GIS calcule automatiquement l'inclinaison optimale en fonction du lieu d'implantation (latitude) et de l'orientation de nos panneaux solaires.

III.4.1.b Base de données de rayonnement

On Sélectionne la base de données d'ensoleillement que nous souhaitons, et nous laissons "classic PVGIS" par défaut.

Tableau III- 1 : Irradiation globale à l'emplacement de wilaya de Médéa.

Mois	H_h	H_{opt}	H(36)	I_{opt}	D/G
Jan	2450	3850	3970	60	0.40
Fev	3130	4360	4440	52	0.39
Mar	4650	5590	5620	39	0.41
Avr	5460	5770	5720	23	0.36
Mai	6570	6280	6130	11	0.33
Juin	7860	7100	6890	3	0.23
Jui	7840	7270	7070	6	0.23
Aug	7080	7220	7110	19	0.24
Sep	5340	6190	6190	34	0.32
Oct	4220	5680	5770	49	0.34
Nov	2720	4130	4240	58	0.40
Dec	2180	3570	3690	62	0.42
Année	4970	5590	5580	32	0.31

H_h: Irradiation sur un plan horizontal (Wh/m2/jour).

H_{opt}: Irradiation sur un plan avec l'inclinaison optimale (Wh/m2/jour).

$H_{(36)}$: Irradiation sur un plan incliné:36deg. (Wh/m2/jour).

I_{opt}: Inclinaison optimale (deg).

D/G: Proportion entre l'irradiation diffuse et la globale (-).

DIN : Irradiation directe.

Ce logiciel a été développé par le centre de recherche de l'institut pour l'environnement et le développement durable de la commission européenne. Site du JRC.

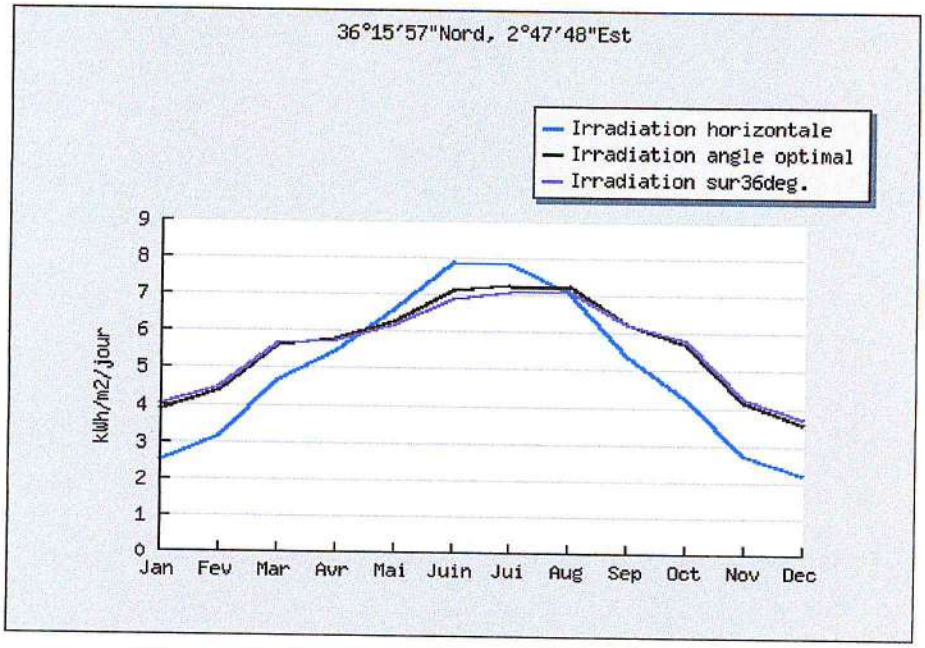


Figure III- 3 : le graphique des irradiations.

Après avoir obtenu les résultats complets du rayonnement solaire et des coordonnées géographiques de PVGIS, nous pouvons inclure les résultats dans PVsyst.

III.4.2 Données géographiques de la willaya de Médéa

Le tableau III-2 présente les données géographiques du site de Médéa.

Tableau III- 2 : Données géographiques du site de la wilaya de Médéa.

Caractéristiques	Latitude [°]	Altitude [m]	Longitude [°]
Médéa	36.26594 Nord	912	2.796827 Est

III.5 Logiciel PV syst

Les logiciels photovoltaïques professionnels sont indispensables pour les bureaux d'études, les architectes, les installateurs, qui souhaitent estimer précisément la production photovoltaïque d'un générateur, et dimensionner l'ensemble des composants du système : panneaux, onduleurs et câblage, PVSYST est l'un des plus anciens et des plus performants logiciels dédié au photovoltaïque. Il propose des fonctionnalités très poussées telle que son application 3D qui permet de simuler la course du soleil et les ombres portées afin d'optimiser l'implantation des panneaux. **[26]**

III.5.1 Premier contact avec PVsyst

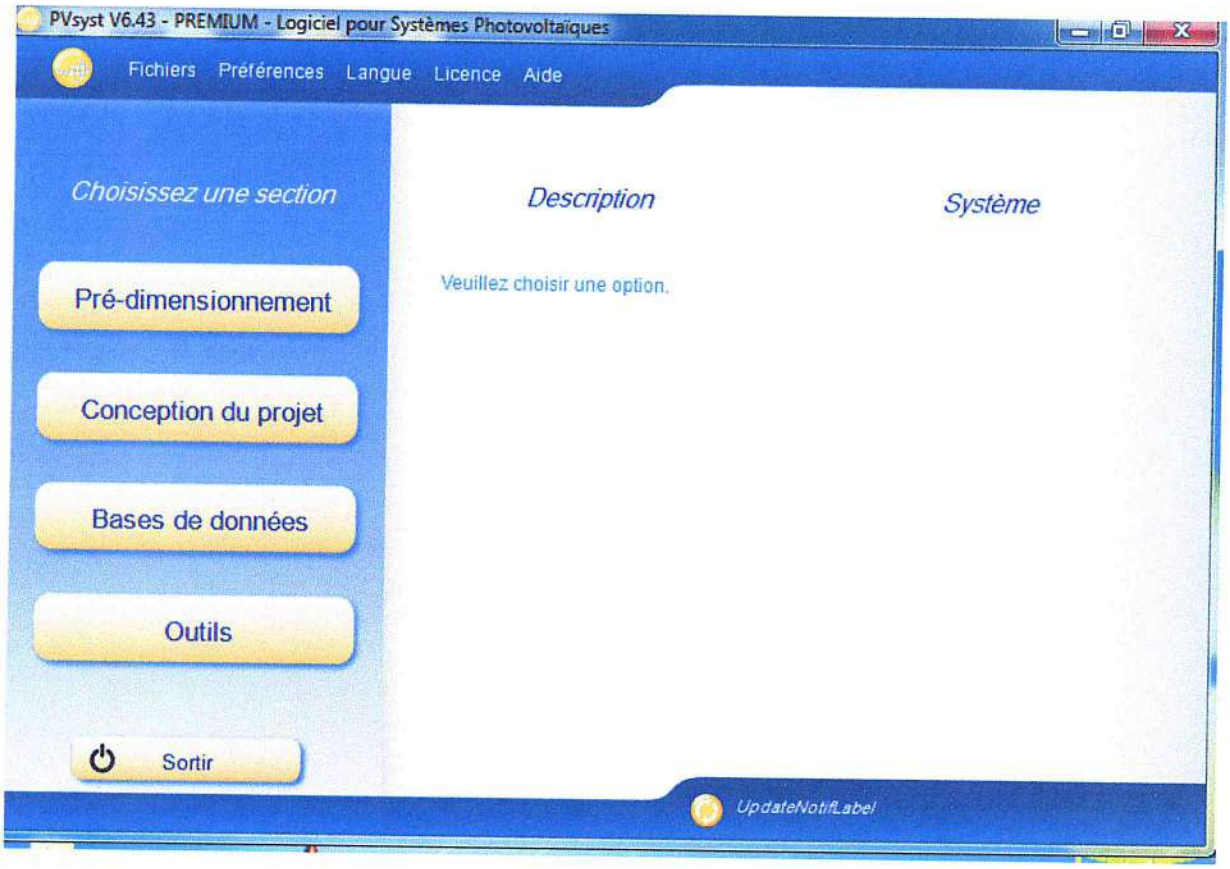


Figure III- 4 : Fenêtre de PVSyst 6.43

Cela donne accès aux quatre parties principales du programme, La «conception préliminaire» fournit une évaluation rapide des potentiels et des contraintes possibles d'un projet dans une situation donnée. Ceci est très utile pour le pré-dimensionnement des systèmes autonomes et de pompage. Pour les systèmes connectés au réseau, il s'agit simplement d'un instrument permettant aux architectes d'obtenir une évaluation rapide du potentiel PV d'un bâtiment."Conception de projet" est la partie principale du logiciel et elle est utilisée pour l'étude complète d'un projet. Elle implique le choix des données météorologiques, la conception du système, les études d'ombrage, la détermination des pertes et l'évaluation économique. La simulation est effectuée sur une année complète par étapes et fournit un rapport complet et de nombreux résultats supplémentaires.

Les bases de données contiennent les définitions de tous les composants impliqués dans les installations PV comme les modules, les onduleurs, et les batteries. **[28]**

III.5.2 Base de Données

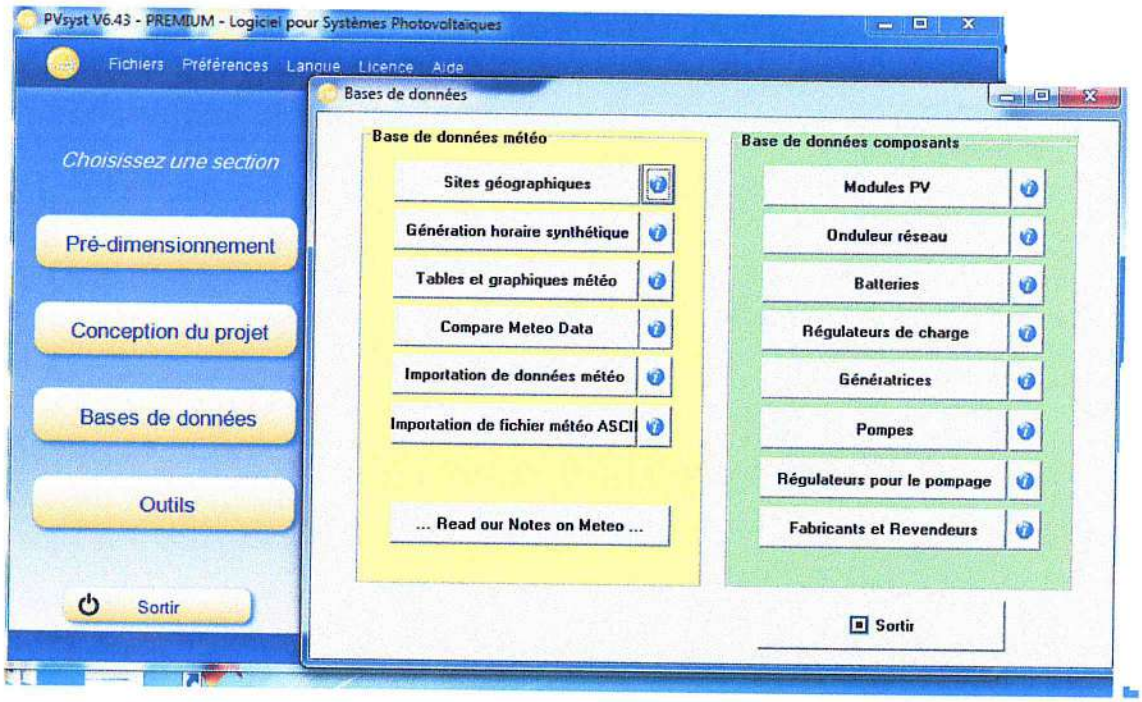


Figure III- 5 : Fenêtre de base de données.

La premiere entree dans PVsyst est la localisation geographique du projet à simuler, cela déterminera le trajet solaire au cours de l'année et permettra d'interpoler les données météorologiques pour les endroits où aucune mesure directe n'a été prise, les données météorologiques utilisées en entrée de la simulation sont les suivantes. **[28]**

- Le Rayonnement global horizontal (requis).
- La Température externe moyenne (obligatoire).
- L'Irradiation diffuse horizontale (optionnel).
- La Vitesse du vent (facultatif).

Toutes les manipulations et les visualisations des données météo sont accessibles via l'option "Bases de données" dans la fenêtre principale.**[28]**

Dans cette boîte, nous pouvons énumérer tout ce que vous obtenez à PVGIS, on prend ces valeurs du tableau (III.1), les deux premiers le rayonnement global horizontal et la température externe moyenne, doIIlent être fournis comme entrée externe à la simulation, il n'y a pas de bonne façon de les estimer seulement à partir de l'emplacement géographique, les deux autres grandeurs peuvent être fournies sous forme de données mesurées externes ou en l'absence de bonnes mesures, elles sont estimées par PVsyst à l'aide de modèles établis.

III.6 Conception du projet isolé avec batteries

Lorsque nous choisissons le projet "isolé avec batteries", nous obtiendrons le tableau de bord pour la gestion d'un projet, dans le tableau de bord du projet, nous définissons le nom du projet, puis le site et météo.

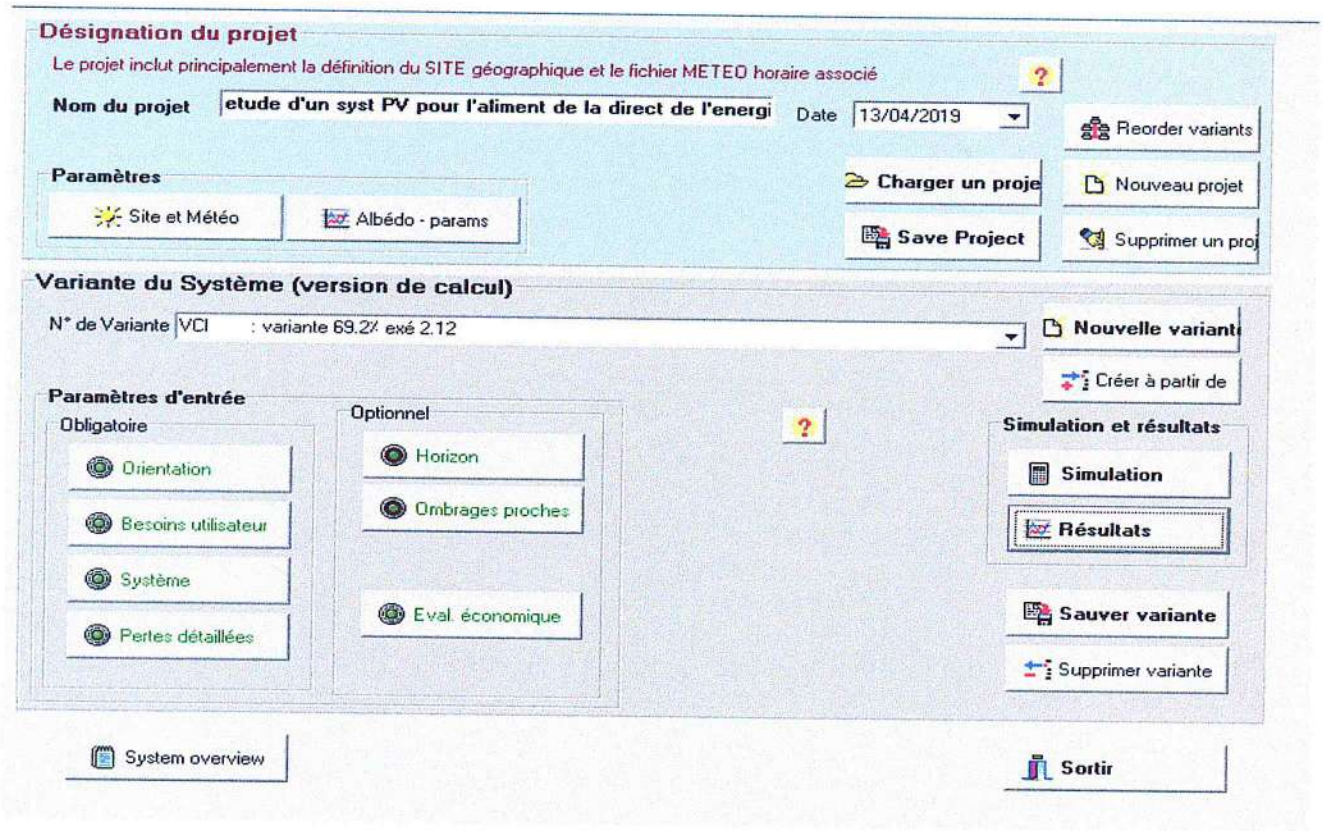


Figure III- 6 : Fenêtre conception d'un projet isole avec batterie.

III.6.1 Orientation

Dans la conception de systèmes photovoltaïques, l'orientation doit être prise en compte car elle affectera les performances des systèmes photovoltaïques. Pour recevoir le maximum de rayonnement solaire, le panneau photovoltaïque doit être placé sous un certain angle.

Il est important que les modules soient orientés plein sud pour capter l'énergie quotidienne maximale, quelle que soit la saison. Pour cela, le sud magnétique peut être déterminé à l'aide d'une boussole.

L'inclinaison est le second paramètre important, elle est principalement choisie en fonction du profil de consommation tout au long de l'année. Une inclinaison faible par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'été. Une inclinaison importante par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire

pendant l'hiver et par-là permet de diminuer les variations énergétiques entre l'hiver et l'été. Par contre, cette inclinaison oblige à dimensionner le générateur sur les apports d'hiver et elle conduit généralement à une surproduction d'énergie électrique en été.

La valeur de l'inclinaison correspond à l'angle que font les modules avec l'horizontale d'où l'énergie solaire reçu par une surface de modules photovoltaïques sera plus importante si cette surface et perpendiculaire aux rayons directe du soleil.

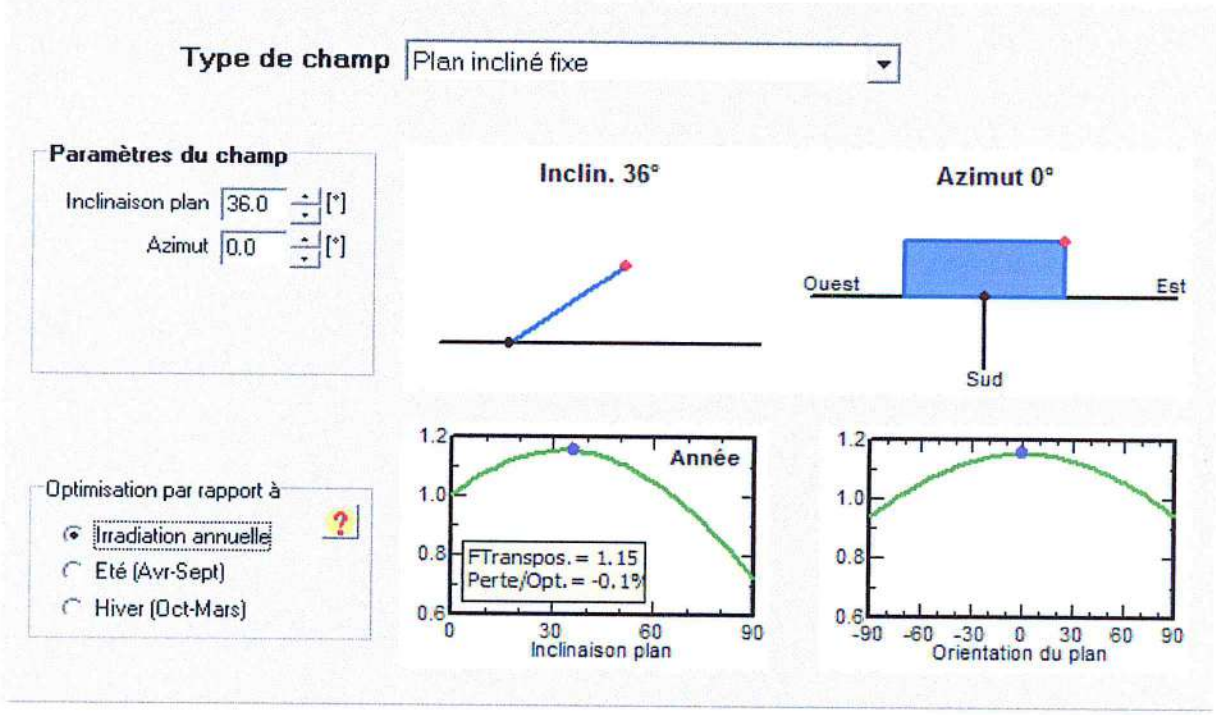


Figure III- 7 : Inclinaison du générateur PV par PVsyst.

Pour notre simulation en technologie de silicium mono cristallin, nous avons choisi un plan Incliné fixe d'une inclinaison 36° (par rapport à l'horizontale) et azimut 0 degrés comme l'illustre la figure(III.7), c'est l'inclinaison optimale de l'année donnée par le logiciel PV_{SYST}, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

III.6.2 Besoins énergétiques

Pour la configuration du système, nous devons d'abord définir les besoins de l'utilisateur. Dans un système autonome, la consommation d'énergie est basée sur l'utilisation quotidienne, mensuelle ou annuelle, la consommation d'énergie quotidienne pour chaque charge est déterminée par sa puissance et son temps de fonctionnement, afin d'obtenir une demande de charge précise, ces deux derniers doivent être obtenu pour chaque charge, le tableau ci-dessous illustre ses besoins.

Tableau III- 3 : Les équipements électriques de l'établissement (Siège de la Direction de l'Energie).

Utilisation 5 jours par semaine	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie wh/jour
Lampes (LED or fluo)	100	18 w/lampe	12 h/jour	21600
TV / PC	20	100 w/app	8 h/jour	16000
fer à repasser + four	2	1000 w/app	2 h/jour	4000
Frigo	1		24 Wh/jour	540
Machine à laver	1		4 Wh/jour	7000
pompe à eau	1	2600 w	7 h/jour	18200
Consommation de veille			24 h/jour, 7jours/7	3360
Energie journalière totale				**70700**

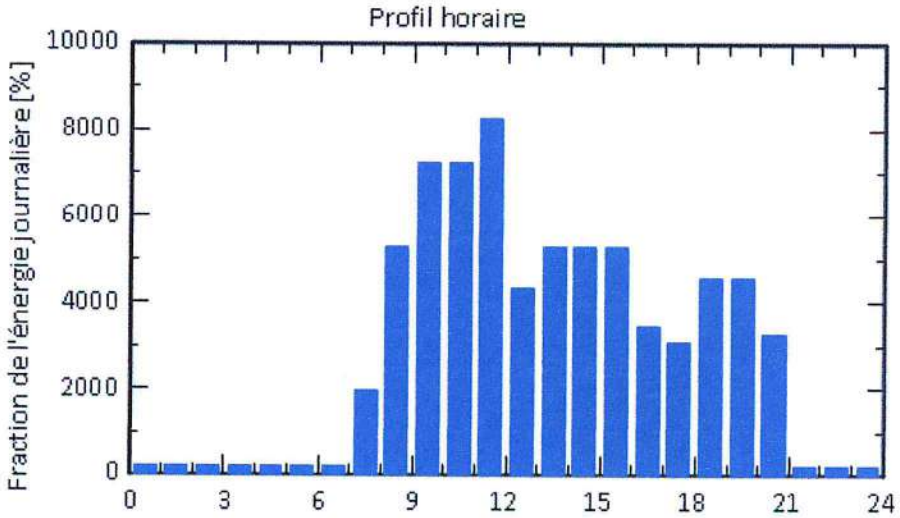


Figure III- 8 : Besoin d'énergie de l'utilisateur journalière

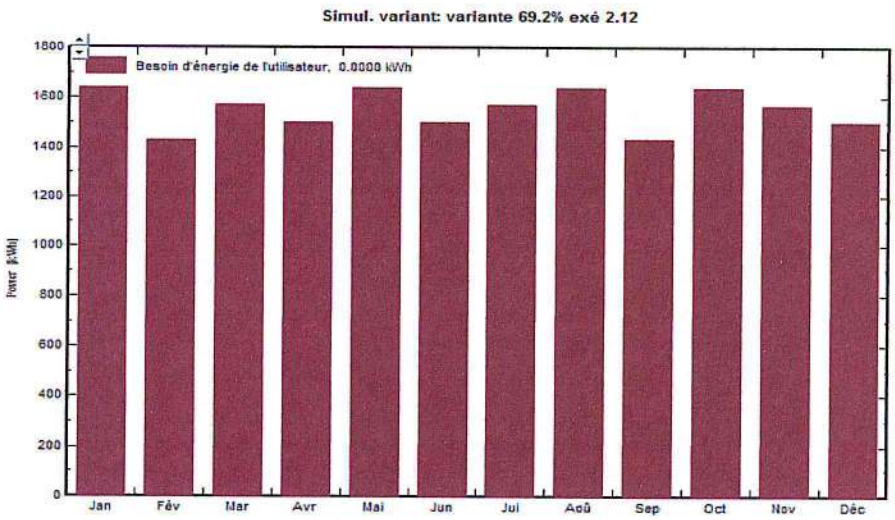


Figure III- 9 : Besoin d'énergie de l'utilisateur annuelle.

D'après la figure (III.8) et (III.9) : La consommation journalière d'électricité augmente dans la journée, diminue la nuit cela dû à l'augmentation des besoins électriques (pendant les heures de travail) et reste presque stable le long de l'année.

III.6.3 Système photovoltaïque

Pour la configuration du système photovoltaïque, nous devons d'abord définir les besoins en énergie, la conception de système est basée sur une procédure rapide et simple:

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

III.6.3.a Les batteries

Pour obtenir la capacité désirée et tension, les batteries doivent être connectées en série et en parallèle pour former une banque de batterie, nous avons choisi le type de batterie « Rolls, modèle12-CS-11PS» 12 V et 296 Ah, pour brancher les batteries, on a connecté la borne (+) à la borne (-) et à travers les résultats obtenus du logiciel PVsyst 6.43 : c'est 6 batteries connectés en série pour fournir une tension de 72 V et 37 batteries connectés en parallèle pour fournir une capacité de 10952 Ah.

Tableau III- 4 : Les paramètres des batteries.

Consommation d'énergie quotidienne	6072 wh
Tension du système DC	72 V
Autonomie	3.4 jours
Fabricant de batterie	Rolls
Tension de la batterie	12V
Capacité de la batterie	296 Ah
Nombre de batteries en série	6
Nombre de batteries en parallèle	37
Nombre total de batteries	222
Capacité de la batterie pratique	10952 Ah

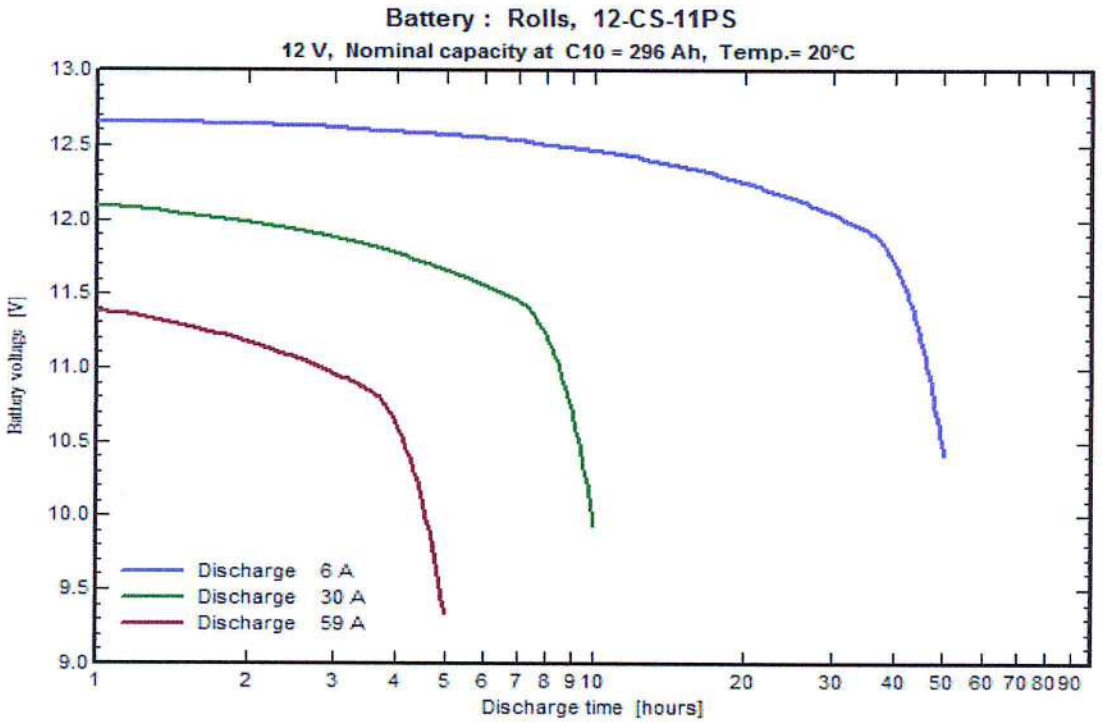


Figure III- 10 : Taux de décharge de la batterie.

III.6.3.b Le Générateur PV

Le module photovoltaïque (Jinko-solar modèle JKM 310M-72), de cellule solaire monocristalline, et fournit une puissance nominale de 310 w. Les caractéristiques physiques et électriques de ce panneau photovoltaïque sont données par le tableau III.5.

Tableau III- 5 : Dimension et technologie de module Jinko-solar .

Nombre de cellules en série (N_s)	1
Nombre de cellules en parallèle (N_p)	41
Longueur d'un module	1958 mm
Largeur d'un module	992 mm
Epaisseur d'un module	40 mm
Poids	26.50 kg
Surface de module	1.94 m

III.6.3.c Influence de l'éclairement

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface.

Le courant est directement proportionnel au rayonnement, contrairement à la tension qui ne varie que très peu en fonction de l'éclairement.

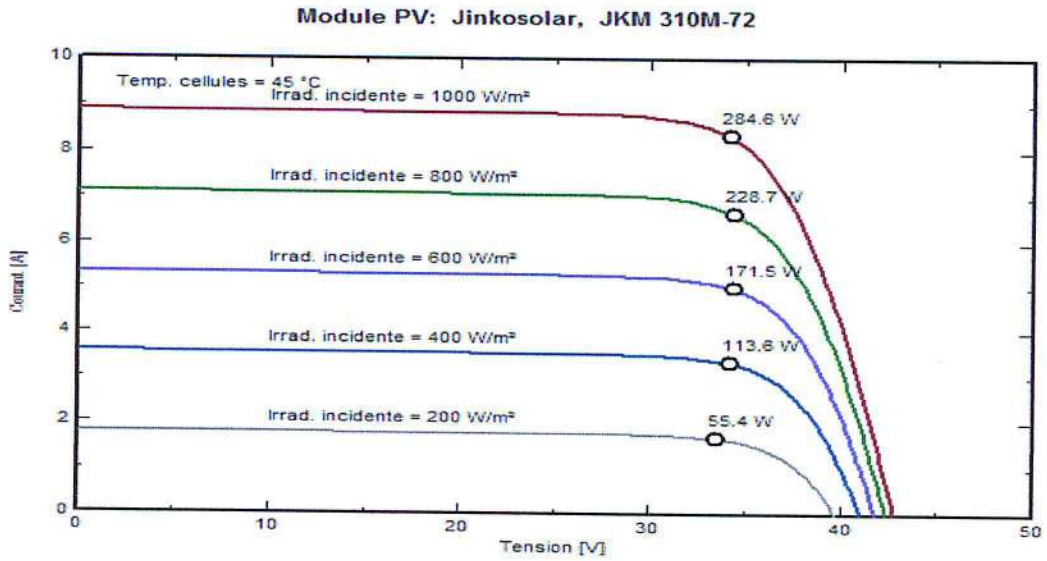


Figure III- 11 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement

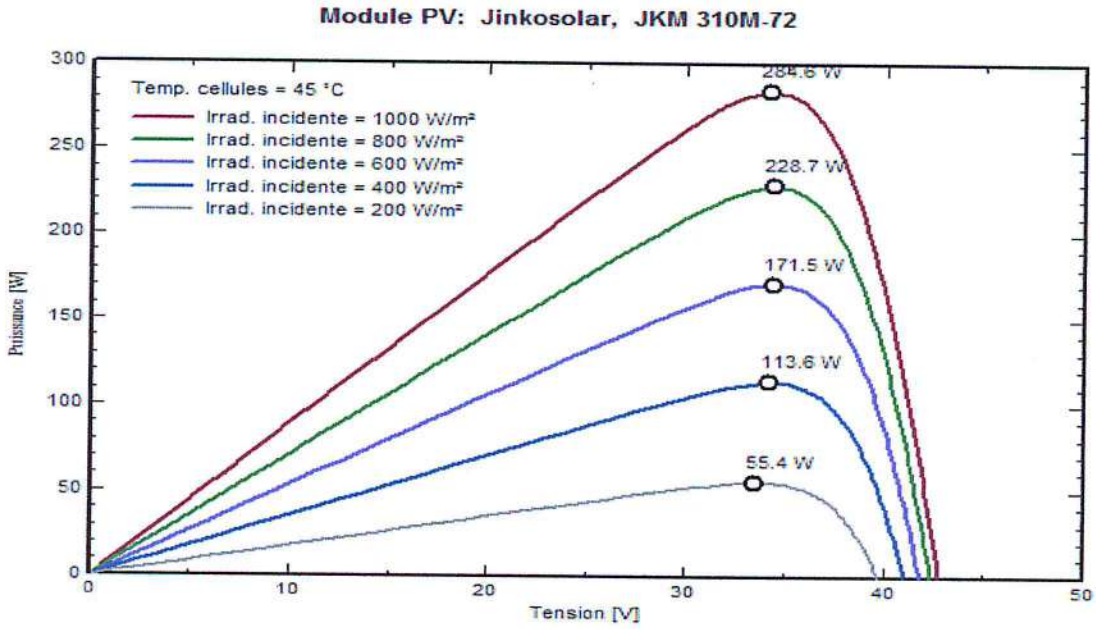


Figure III- 12 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.

III.6.3.d Influence de la température

La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les échauffer. De plus, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique elle se dissipe sous forme de chaleur, c'est pourquoi la température, de la cellule (Tc) est toujours plus élevée que la température ambiante (Ta).

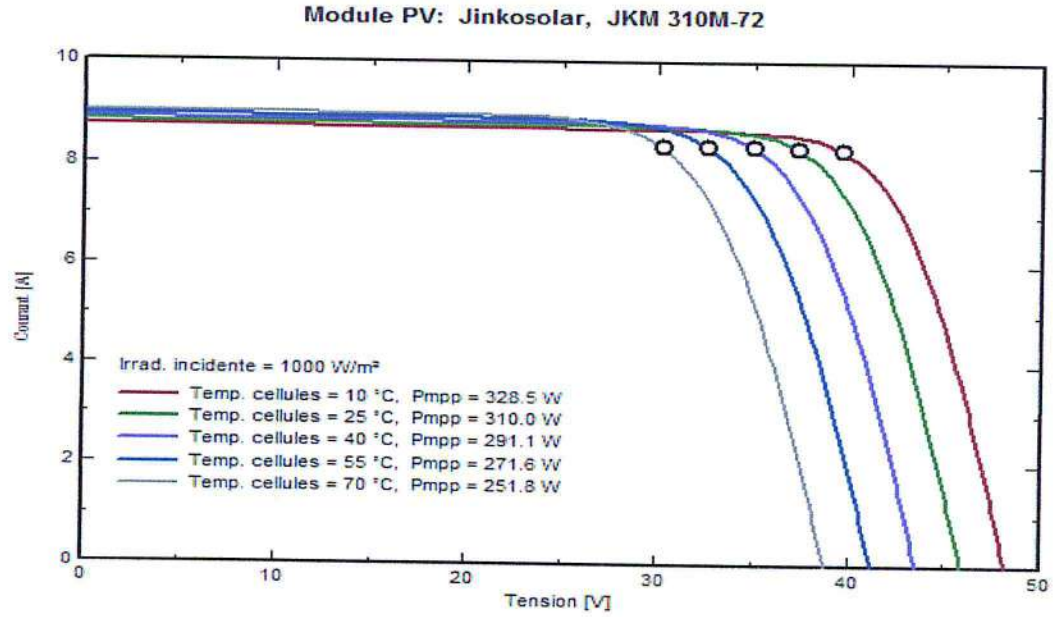


Figure III- 13: Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température.

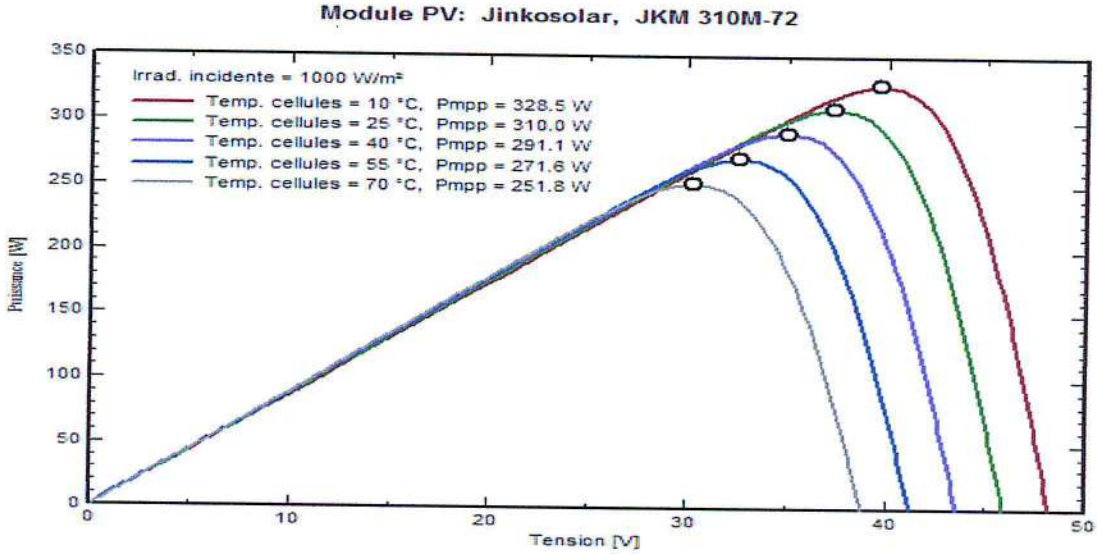


Figure III- 14 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température.

Pour la figure (III.13) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (III.14).

Aussi dans cette figure la tension d'une cellule baisse fortement avec la température. Plus la température augmente et moins la cellule est performante. En revanche, le courant augmente légèrement en intensité : cette augmentation reste néanmoins négligeable au point de puissance maximale

III.6.3.e Branchement de panneau solaire photovoltaïque

Le branchement de panneau solaire en série permet d'additionner les tensions. Pour brancher les panneaux solaire en série, on connecte la borne (+) du panneau solaire à la borne(-) de l'autre panneau. Le branchement de panneau solaire en parallèle permet d'additionner les intensités. Pour brancher les panneaux solaire en parallèle, connecte les bornes (+) ensembles et les bornes (-) ensembles. Pour une puissance suffisante, on opte pour un branchement de panneau solaire mixte, en série et en parallèle.

En conclusion, le montage de panneaux solaire photovoltaïque c'est 41 panneaux,1 en série et 41 en parallèle, il donne Vmpp entre 32 V à 38 V à partir de température de 60 c°, 20 c°, ce système couvrira une zone de 80 m^2.

III.6.4 Evaluation économique.

Les systèmes photovoltaïques sont souvent considérés comme une solution d'énergie propre et respectueuse de l'environnement, aussi bien coté financier, avec une conception et une exploitation efficaces, un système photovoltaïque peut rembourser son investissement et réaliser d'autres bénéfices, certains systèmes PV ont un coût inférieur à celui d'autres types de générations.

En comparant les résultats de simulation, le système connecté au réseau est moins coûteux que le système autonome parce que les batteries ne sont pas utilisées, et limiter l'application pratique du système connecté au réseau. Bien que le système autonome coûte plus cher, ça sera un choix idéal pour les régions éloignées.

Dans cette icône, nous pouvons insérer tous les éléments, leurs nombres avec leurs prix pour avoir le montant total du projet.

III.6.4.a Analyse de coût

Il est préférable de faire une analyse des coûts avant la conception du système, car le concepteur des résultats peut acquérir une connaissance approfondie du choix du type de système, effectuer les configurations et sélectionner les composants appropriés. Ainsi, le but d'obtenir la valeur maximale et les coûts

minimaux peuvent atteindre. Parfois, cela est fait après l'installation du système, l'avantage de faire une analyse après le projet est que le coût de l'installation du système et des composants sont déterminés de sorte que les résultats sont plus précis que la pré-analyse. Et l'expérience exacte peut être utilisée pour de futurs travaux tels que le remplacement Pour un système autonome et connecté aux réseaux, les prix des composants du système et autres frais sont listés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III- 6 : Coûts du système total.

Matériel	Nombre de matériel	Prix (da)	Prix total (da)
Batterie	222	17 760	3 942 720
PV	41	18 337	751 817
Régulateur mppt	01	7 000	7 000
Onduleur	01	62 000	62 000
Câblage	150 ML	20 000	20 000
Support	41	2 000	82 000
Transport et montage	-	40 000	40 000
Coûts initiaux		222097	4 211 537
Coûts de maintenance			50 000
Coûts de réparation et de remplacement			304 281
Total			**5 259 818**

III.6.4.b Coûts initiaux

Le coût initial comprend l'étape de la conception, de l'ingénierie, des dispositifs et de l'installation du système PV, le prix de la batterie unique 17 760 da, dans le système autonome de la banque de batteries se compose de 222 unités ; dont le prix est de 17 760 x 222 = 3 942 720 da. Le prix pour une pièce du module Jinko-solar est de 18 337 da, 41 modules sont utilisés dans le projet ; dont le prix est de 18 337 x 222 = 751 818 da avec un régulateur mppt estimé à 7000 da. Les coûts de mains-d'œuvre pour la conception, l'ingénierie et l'installation doivent être estimés 40 000 da. D'autres frais peuvent provenir du transport des appareils. Ensuite, le coût total est considéré comme le coût initial au début de la vie du système.

Pour calculer l'analyse du coût, tous les types de coûts doivent être additionnés, estimé à **5 259 818** da. le coût du kilowattheure qui en résulte estimé à : **282 da/kWh**.

Cout de l'énergie

- Energie solaire utilisée **18 627** kWh/an

- Energie en excès, batterie pleine, **2118** kWh/an□
- Cout de l'énergie utilisée, **282** da/ kwh.
- La production d'énergie estimée est : **21 807** kwh/an

Pour comparer les résultats et évaluer ce projet, il faut calculer le coût de la consommation, ce processus est divisé en deux tranches, par consommation globale

Avec : consommation mensuelle estimé **3 005.3** kwh

Tableau III- 7 : Consommation d'énergie de l'établissement (abonnement sonelgaz)

Tarif		Prix unitaire (da)	Montant moyen HT (da)	TVA %	Montant TTC (da)/mois
Code 43	Jour	102.40	10 085.39	19	12 001.61
	Nuit	428.30	710		844.90
	Puissance mise à disposition	3870.00	3 096		3 684.24
	majoration	45.53	12 59.35		1 498.63
	Prime fixe	515.65	515.65		613.62
Total			**15 666.39**		**18 643.00**

Total électricité **36 064** kw/an

Cout de consommation annuelle moyenne : **223 716** da

La consommation dans **25** ans : **5 592 900** da

III.6.4.c Coûts de maintenance et remplacement

Les coûts d'entretien apparaissent périodiquement pendant la durée de vie du système photovoltaïque, pour chaque année est estimé à 50 000 da, La durée de vie de la batterie est de 7 ans et doit être remplacée à 7, 14 et 21 ans. Le contrôleur de charge et l'onduleur doivent être remplacés à la huitième année.

Les Revenus de la vente d'énergie produite par ans : Les tarifs d'achat garantis pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière solaire photovoltaïque ainsi que les conditions de leur application ont été fixés par l'Arrêté du 2 février 2014 - fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière solaire photovoltaïque

Dans notre cas, le tarif d'achat unique est fixé à **15.94** da/kwh donc pour l'énergie injecter au réseau de **2 120** kwh/an, on obtient un gain de : **33 793** da/an

Tableau III- 8 : La rentabilité de l'installation PV site isolé

Gain cumulé	Coût Annuel (abonnement sonelgaz) (da)	Montant annuel des ventes de l'énergie PV(da)	Nombre d'année
-5259818,00	223716,05	33793	1
-5002308,95	223716,05	33793	2
-4744799,90	223716,05	33793	3
-4487290,85	223716,05	33793	4
-4229781,80	223716,05	33793	5
-3972272,75	223716,05	33793	6
-3714763,70	223716,05	33793	7
-3457254,65	223716,05	33793	8
-3199745,60	223716,05	33793	9
-2942236,55	223716,05	33793	10
-2684727,50	223716,05	33793	11
-2427218,45	223716,05	33793	12
-2169709,40	223716,05	33793	13
-1912200,35	223716,05	33793	14
-1654691,30	223716,05	33793	15
-1397182,25	223716,05	33793	16
-1139673,20	223716,05	33793	17
-882164,15	223716,05	33793	18
-624655,10	223716,05	33793	19
-367146,05	223716,05	33793	20
-109637,00	223716,05	33793	21
147872,05	**223716,05**	**33793**	**22**
405381,10	223716,05	33793	23
662890,15	223716,05	33793	24
920399,20	223716,05	33793	25

D'après le Tableau III.8 Nous remarquons que c'est à partir de la 22eme année que l'installation devient rentable et au bout de 25 ans, l'utilisateur peut faire un gain de plus de **920 399,20** da, mais c'est la fin de vie du système photovoltaïque.

III.7 Conception du projet couplé au réseau

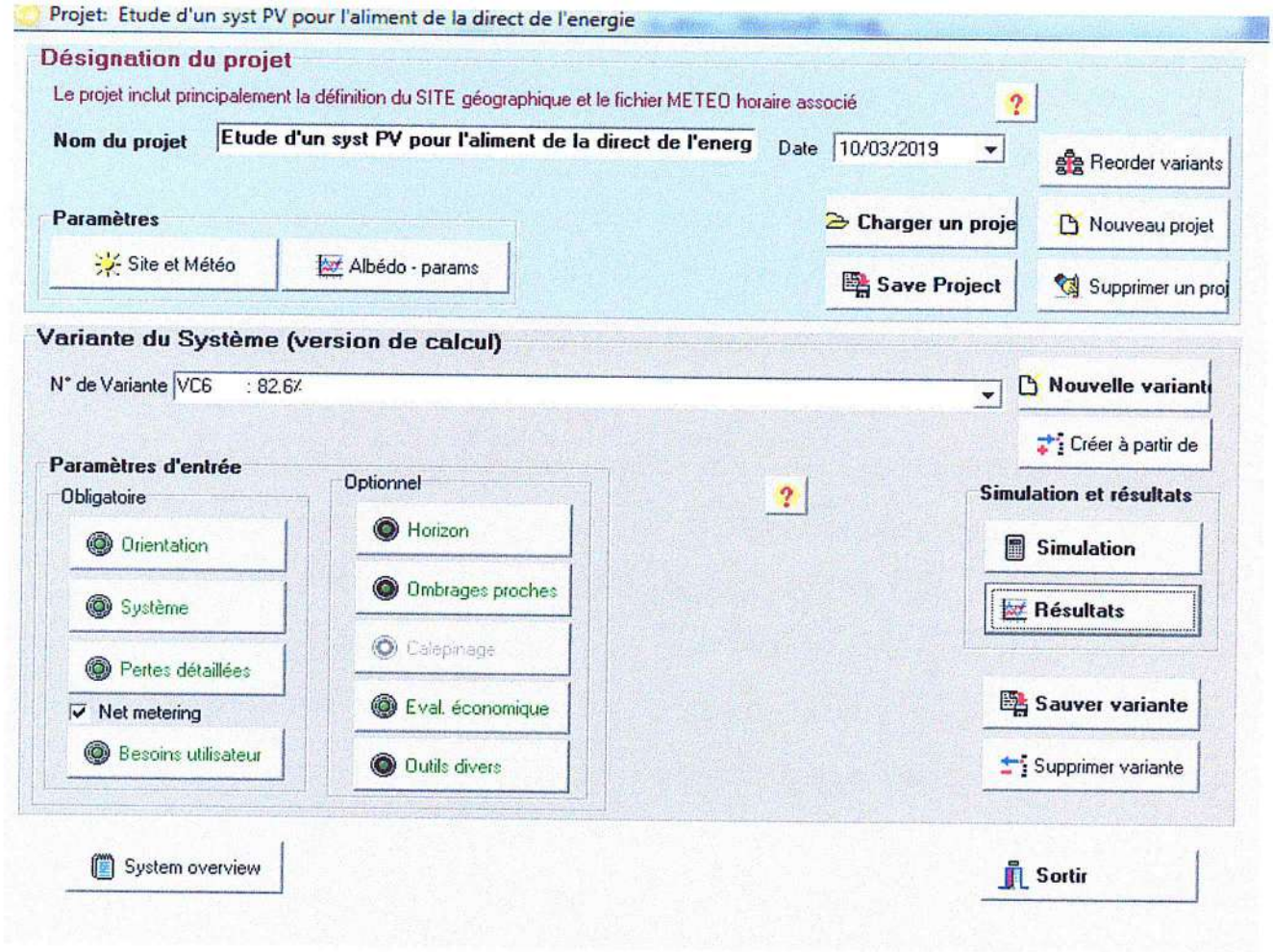


Figure III- 15 : Fenêtre conception d'un projet couplé au réseau.

Nous simulons dans le système photovoltaïque connecté au réseau de la même manière ce que nous avons fait dans un système photovoltaïque isolé du réseau ; orientation, système et évaluation économique.

Dans une installation raccordée au réseau, l'appareil de conditionnement de la puissance est un onduleur qui représente l'élément clé le plus délicat de l'installation. Situé à l'interface entre le champ PV et le réseau, il doit être adapté aux impératifs techniques et doit assurer la sécurité de deux sous-systèmes électriques très différents. A présent notre travail s'effectuera sous PVsyst 6.43.

III.7.1 Onduleur

Si le système contient des charges CA, un onduleur est nécessaire pour convertir la tension CC fournie par le réseau ou les batteries en tensions CA. Plusieurs facteurs

doivent être pris en compte lors de la sélection d'un onduleur. D'abord, la puissance de sortie de l'onduleur doit correspondre à la puissance maximale en watts de toutes les charges AC. Habituellement, l'onduleur est choisi pour un peu plus grand que la demande de charges AC pour une éventuelle extension de la charge.

Efficacité de l'onduleur.

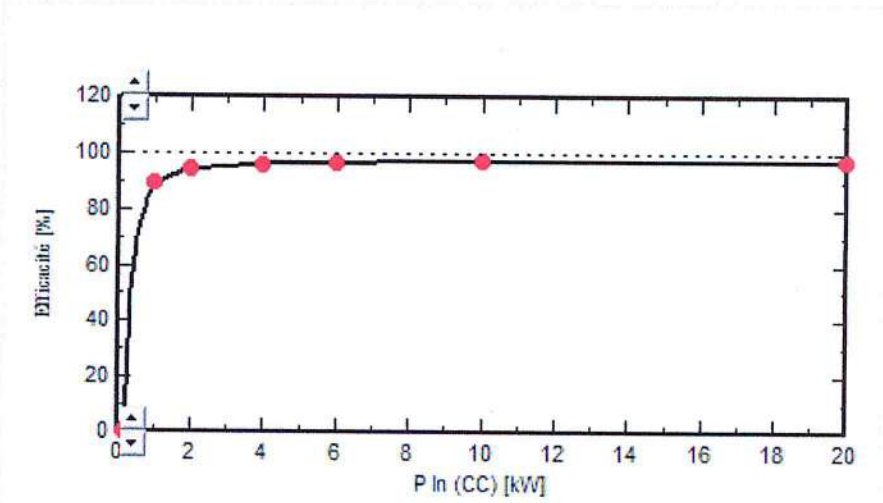


Figure III- 16 : Efficacité d'onduleur en fonction de puissance (Pin).

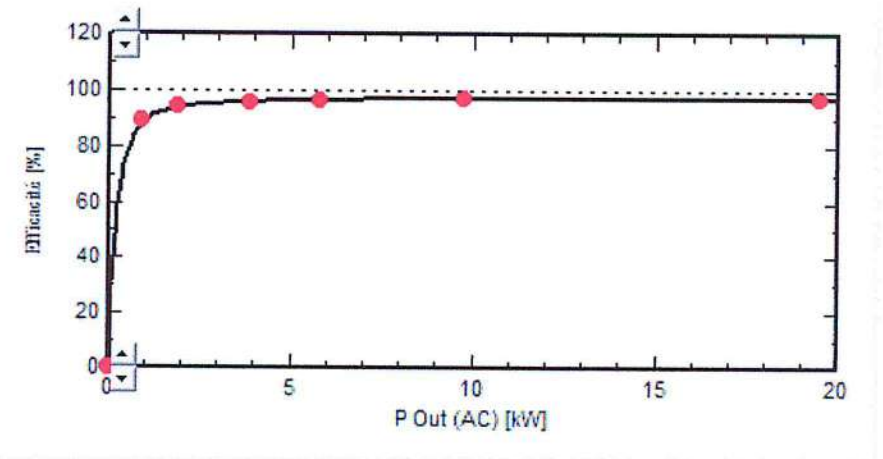


Figure III- 17 : Efficacité d'onduleur en fonction de puissance (POut).

III.8 Exécuter la première simulation

Sur le tableau de bord du projet, tous les boutons sont maintenant verts. À la fin, nous accédons directement à la boîte de dialogue "Résultats". **[27]**

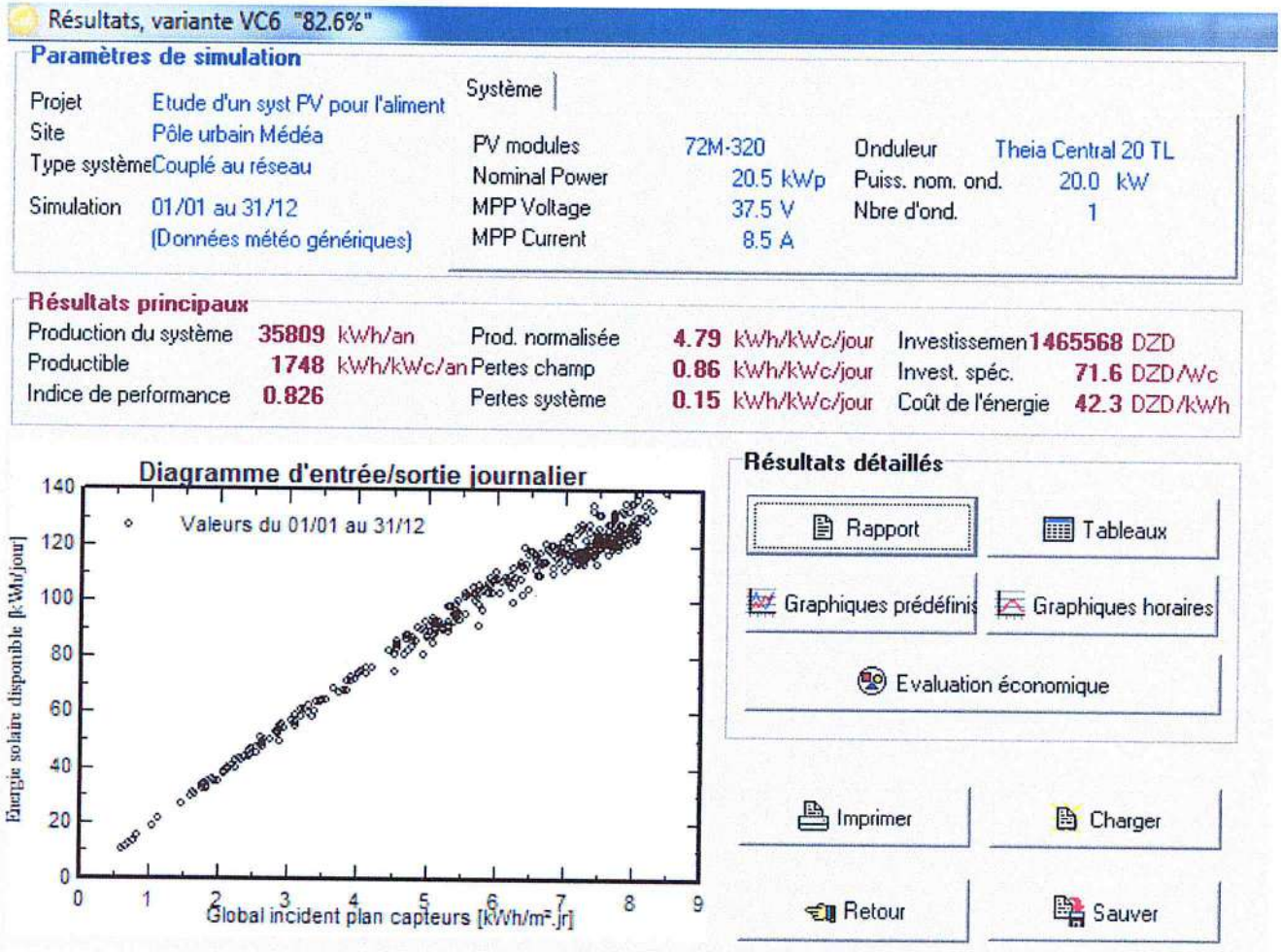


Figure III- 18 : Boite des résultats de simulation.

Les informations principales des résultats de la simulation sont rassemblées dans le rapport. Les autres boutons donnent accès à des tableaux et des graphiques complémentaires pour une analyse plus approfondie des résultats de la simulation. 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.

III.8.1.a Analyse de coût

Il est préférable de faire une analyse des coûts avant la conception du système, car le concepteur des résultats peut acquérir une connaissance approfondie du choix du type de système, effectuer les configurations et sélectionner les composants appropriés. Ainsi, le but d'obtenir la valeur maximale et les coûts minimaux peuvent atteindre. Parfois, cela est fait après l'installation du système, l'avantage de faire une analyse après le projet est que le coût de l'installation du système et des composants sont déterminés de sorte que les résultats sont plus

précis que la pré-analyse. Et l'expérience exacte peut être utilisée pour de futurs travaux tels que le remplacement Pour un système autonome et connecté au réseau, les prix des composants du système et autres frais sont listés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III- 9 : Coûts du système total.

Matériel	Nombre de matériel	Prix (da)	Prix total (da)
PV	64	18 337	1 205 568
Onduleur	01	62 000	62 000
Câblage	150 ML	30 000	30 000
Support	64	2 000	128 000
Transport et montage	-	40 000	40 000
Coûts initiaux		152 337	1 465 568
Coûts de maintenance			50 000
Total			**1 515 568**

III.8.1.b Coûts initiaux

Le coût initial comprend l'étape de la conception, de l'ingénierie, des dispositifs et de l'installation du système PV couplé au réseau, le prix d'un onduleur utilisé de marque Eltek-valere est de 62 000 da. Le prix pour une pièce du module Heliene-Inc est de 18 337 da, 64 modules sont utilisés dans le projet. Les coûts de mains-d'œuvre pour la conception, l'ingénierie et l'installation sont estimés à 40 000 da. D'autres frais peuvent provenir du transport des appareils. Ensuite, le coût total est considéré comme le coût initial au début de la vie du système.

Pour calculer l'analyse du coût, tous les types de coûts doivent être additionnés, et sont estimés à **1 515 568** da.

Cout de l'énergie

- Energie solaire utilisée **35809** kWh/an
- Cout de l'énergie utilisée, **42,3** da/ kwh.
- La production d'énergie estimée est : **1748** kwh/an

Les Revenus de la vente d'énergie produite par ans : Les tarifs d'achat garantis pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière solaire photovoltaïque ainsi que les conditions de leur application ont été fixés par l'Arrêté du 2 février 2014 - fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière solaire photovoltaïque

Dans notre cas, le tarif d'achat unique est fixé à **15.94** da/kwh donc pour l'énergie injecter au réseau de **22 600** kwh/an, on obtient un gain de : **360 244** da/an

Pour comparer les résultats et évaluer ce projet, il faut calculer le coût de la consommation, ce processus est divisé en deux tranches, par consommation globale

Avec : consommation mensuelle estimé **3005.3** KWh.

Tableau III- 10 : consommation d'énergie de l'établissement (abonnement sonelgaz)

Tarif		Prix unitaire (da)	Montant moyen HT (da)	TVA %	Montant TTC (da)
Code 43	Jour	102.40	10 085.39	19	12 001.61
	Nuit	428.30	710		844.90
	Puissance mise à disposition	3870.00	3096		3 684.24
	majoration	45.53	1 259.35		1 498.63
	Prime fixe	515.65	515.65		613.62
Total			**15 666.39**		**18 643.00**

- Total électricité **36 064 kw/an**
- Cout de consommation annuelle moyenne **: 223 716.05 da**
- La consommation dans **25** ans : **5 592 900 da**

III.8.1.c Coûts de maintenance et remplacement

Les coûts d'entretien apparaissent périodiquement pendant la durée de vie du système photovoltaïque, pour chaque année est estimé à **50 000** da.

Tableau III- 11 : La rentabilité de l'installation PV couplé au réseau

Gain cumulé	Coût Annuel (abonnement sonelgaz) (da)	Montant annuel des ventes de l'énergie PV (da)	Nombre d'année
-1515568	223716,05	360244	1
-931608	223716,05	360244	2
-347648	223716,05	360244	3
236312,2	**223716,05**	**360244**	**4**
820272,2	223716,05	360244	5
1404232	223716,05	360244	6
1988192	223716,05	360244	7
2572152	223716,05	360244	8
3156112	223716,05	360244	9
3740072	223716,05	360244	10
4324033	223716,05	360244	25

D'après le Tableau III.11, Nous remarquons que c'est à partir de la 4eme année que l'installation devient rentable et au bout de **25** ans, l'utilisateur peut faire un gain de plus de **4 324 033 da**.

III.8.2 Bilans et résultats principaux

Tableau III- 12 : Bilans et résultats principaux d'un système isole.

variante 69.2% exé 2.12
Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Janvier	81.0	128.8	1453.583	0.0	0.000	1640	1640	1.000
Février	91.3	125.8	1402.528	0.0	0.000	1427	1427	1.000
Mars	143.9	170.8	1865.370	0.1	0.000	1571	1571	1.000
Avril	167.3	170.1	1829.924	0.1	0.000	1500	1500	1.000
Mai	204.1	183.7	1938.020	80.4	0.000	1640	1640	1.000
Juin	242.5	205.8	2115.096	399.1	0.000	1500	1500	1.000
Juillet	257.2	226.0	2265.325	572.7	0.000	1571	1571	1.000
Août	227.7	224.8	2253.645	446.2	0.000	1640	1640	1.000
Septembre	167.2	191.2	1981.422	347.0	0.000	1431	1431	1.000
Octobre	132.6	179.0	1888.768	197.0	0.000	1640	1640	1.000
Novembre	89.8	137.1	1512.028	75.7	0.000	1569	1569	1.000
Décembre	70.6	115.3	1301.639	0.0	0.000	1501	1501	1.000
Année	1875.1	2058.7	21807.348	2118.3	0.000	18627	18627	1.000

Dans le tableau (III.12), l'énergie produite par le générateur PV est suffisante pour répondre à la demande des charges de l'établissement pendant toute l'année, car la conception est basée sur la condition de fonctionnement critique mois. Nous trouvons que «E Avail» (énergie solaire disponible) est plus grande que «E Load» (Besoin d'énergie de l'utilisateur), c'est à partir de cela nous pouvons dire que l'énergie produite par le PV est suffisante pour couvrir les besoins électriques de l'établissement, et il n'y a pas de grande perte d'énergie.

Tableau III- 13 : Bilans et résultats principaux d'un système couplé au réseau.

Nouvelle variante de simulation
Customised table

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Janvier	81.0	8.14	131.8	128.8	2478	1372	15.05	14.59
Février	91.3	9.13	128.9	125.8	2394	1364	14.86	14.42
Mars	143.9	12.37	175.2	170.8	3177	1965	14.51	14.08
Avril	167.3	14.17	175.4	170.1	3119	1934	14.23	13.80
Mai	204.1	19.21	190.0	183.7	3294	1910	13.88	13.44
Juin	242.5	24.94	213.1	205.8	3562	2252	13.38	12.97
Juillet	257.2	28.54	233.4	226.0	3796	2417	13.02	12.63
Août	227.7	27.91	231.3	224.8	3779	2359	13.08	12.69
Septembre	167.2	22.52	196.1	191.2	3334	2149	13.61	13.21
Octobre	132.6	19.28	183.2	179.0	3192	1909	13.95	13.54
Novembre	89.8	12.13	140.2	137.1	2568	1433	14.66	14.23
Décembre	70.6	9.05	118.1	115.3	2222	1289	15.06	14.59
Année	1875.1	17.34	2116.7	2058.7	36915	22354	13.96	13.54

Les tendances de l'efficacité du module PV sont opposées par rapport à la production d'énergie, elle est plus élevée en hiver et plus basse en été, la raison en est la température élevée en été qui réduit les performances du module.

III.8.3 Des pertes pour une année :

Le diagramme des pertes dans la Figure III.19, (système PV isolé), montre les énergies à différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade. Outil puissant pour une rapide analyse du comportement du système, et les possibilités d'éventuelles améliorations de la conception.

L'énergie nominale du réseau est de **26 169 kwh**, puis le logiciel calcule différents types de pertes en fonction des valeurs définies dans la configuration de perte. La conception est sur le mois critique et donc la batterie doit être sélectionnée avec une capacité suffisante pour répondre aux besoins de charge et d'autonomie, de sorte que la perte d'énergie inutilisée dans le diagramme prend une grande quantité. Et enfin l'énergie aux charges est de **18 627 kWh** indique que l'ensemble du système a un rendement de **69.2 %.**

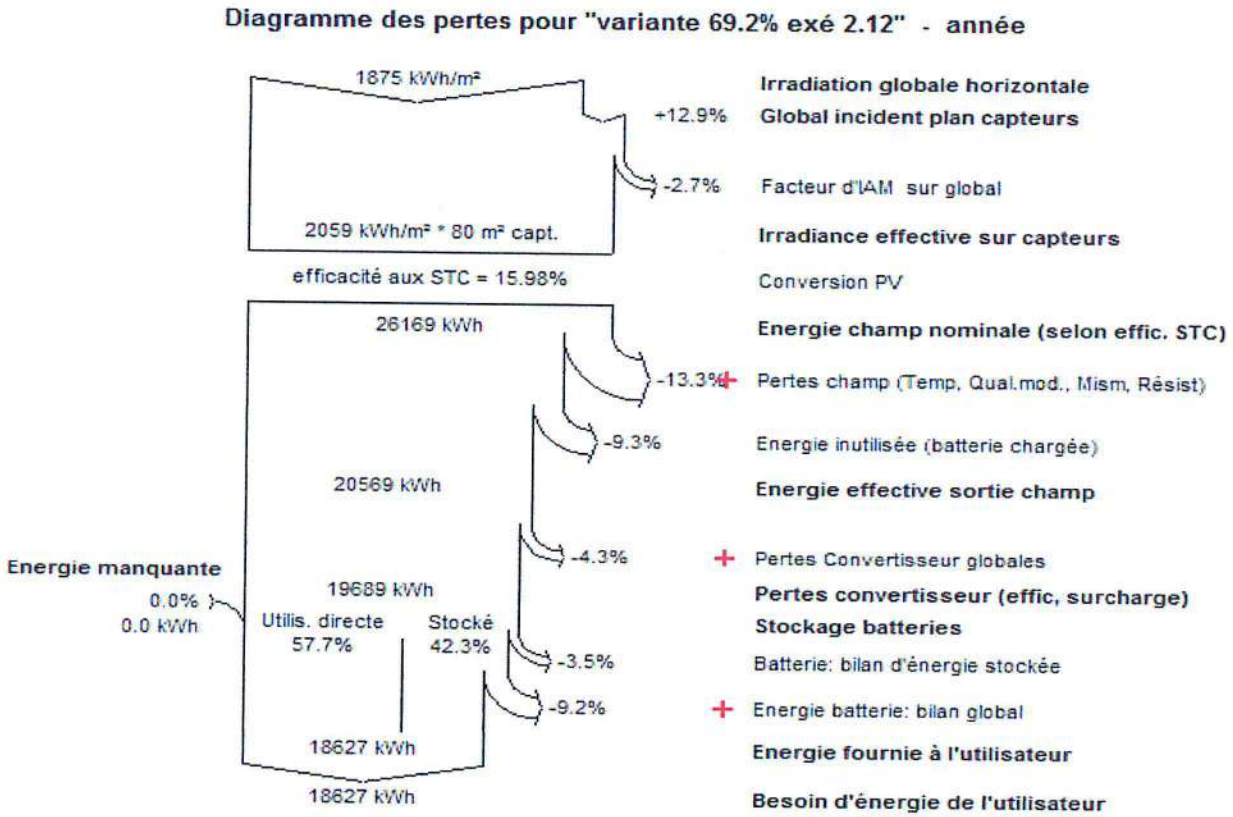


Figure III- 19 : Des pertes pour une année d'un système PV isole.

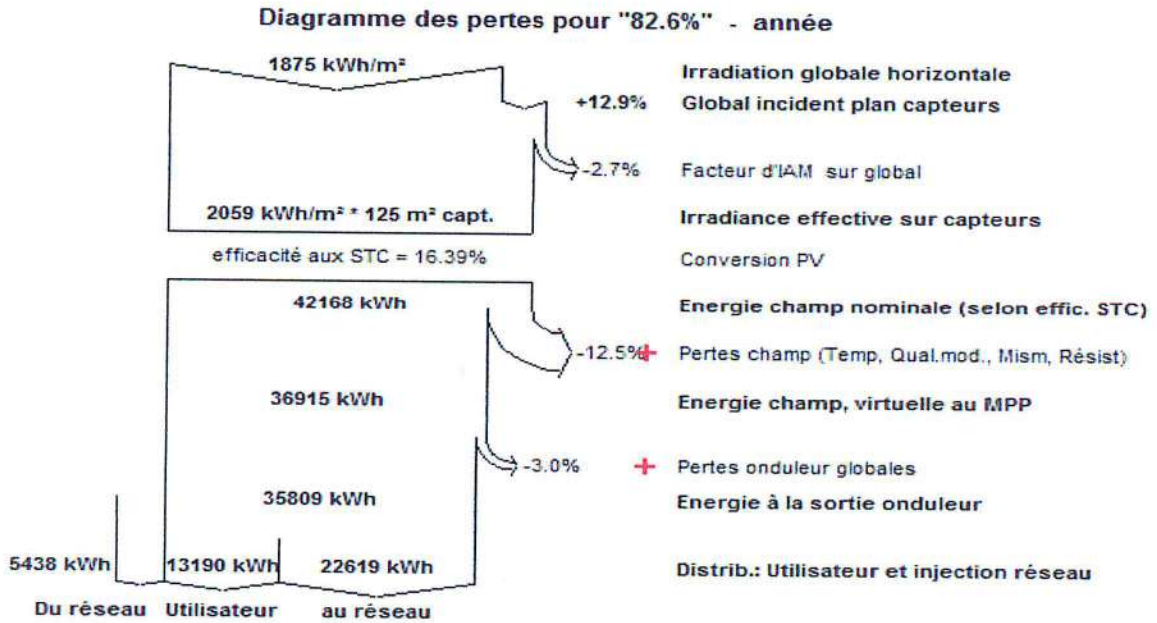


Figure III- 20 : Les pertes pour une année d'un système PV couplé au réseau.

Comme l'illustre de figure III.20, les pertes influençant la production du second système PV couplé au réseau à savoir ; les pertes ohmiques du câblage, effets d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules, ...etc. Parmi celles-ci, nous remarquons que la contribution la plus importante est celle de l'onduleur, d'où l'importance de prendre en considération l'efficacité de l'onduleur. En effet, l'énergie produite par le champ, estimée à **42 168 KWh** est réduite à **35 809 KWh** à la sortie de l'onduleur comme l'illustre de figure III.20.

III.8.4 Énergie produite

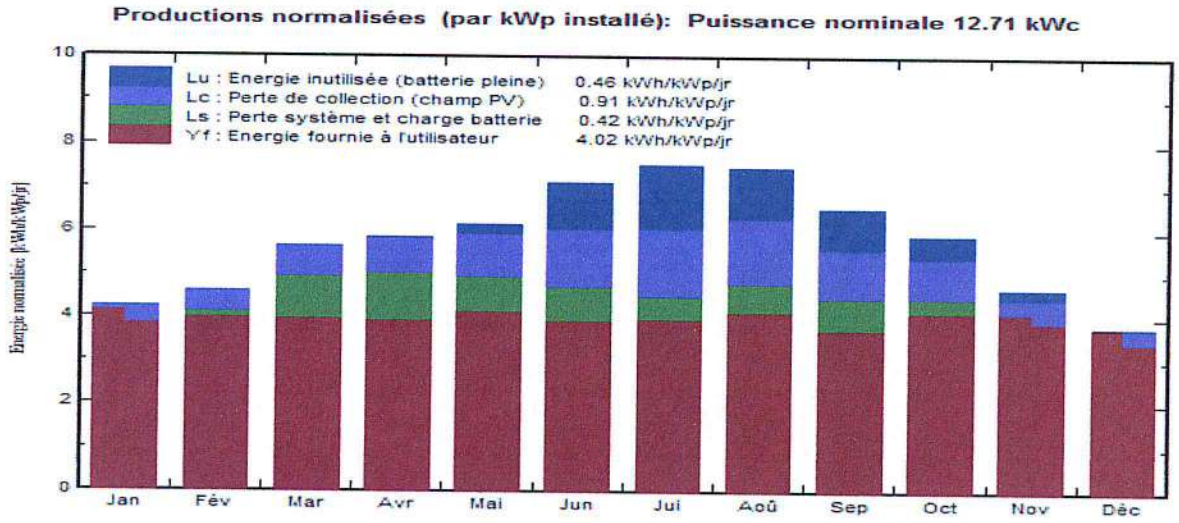


Figure III- 21 : Énergie utile produite par PV (à la sotie des batteries).

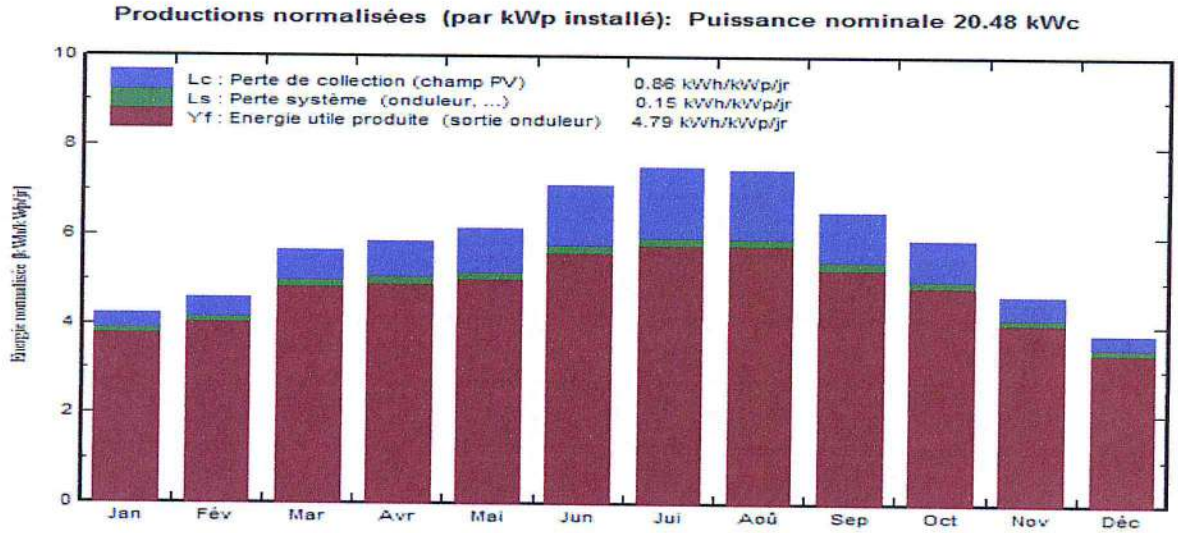


Figure III- 22 Énergie utile produite par le système non isole (à la sotie de l'onduleur).

La production du système (à la sortie de l'onduleur : Yf) est représentée sur la figure III.22 Les pertes Lc et Ls sont les pertes correspondantes au champ PV et dues à l'onduleur, respectivement.

III.8.5 Indice de performance d'un système pv

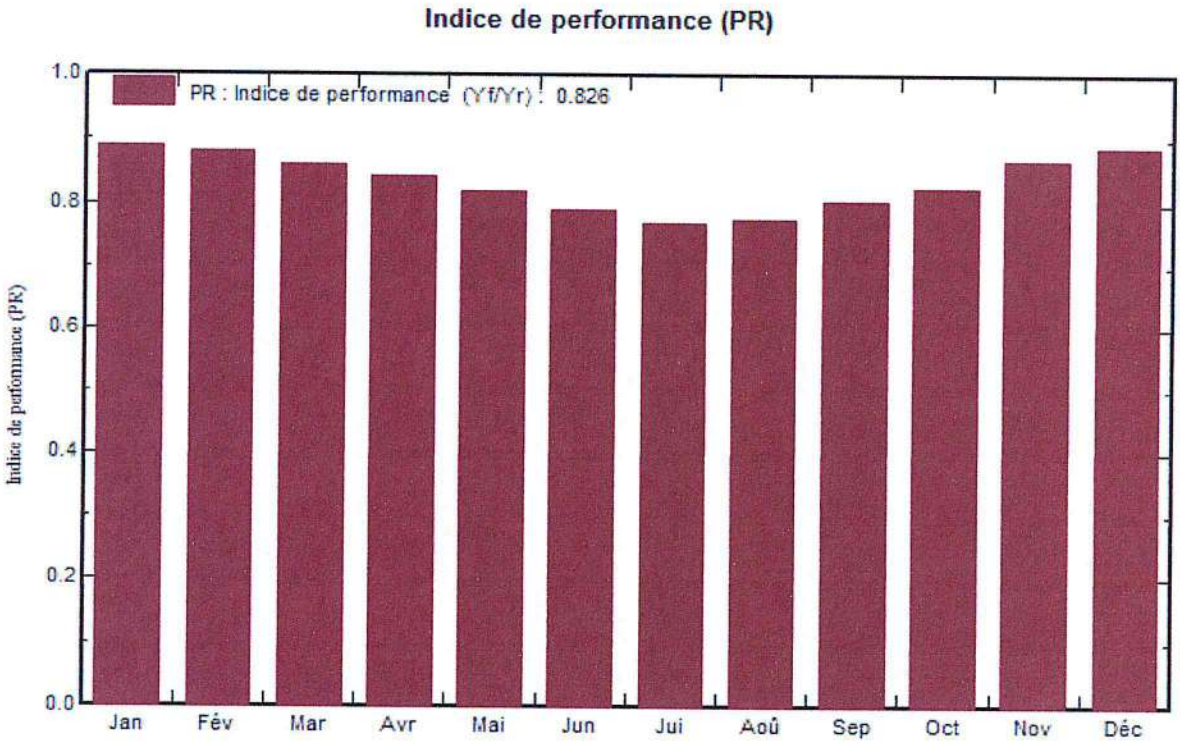


Figure III- 23 : Indice de performance d'un système PV non isole.

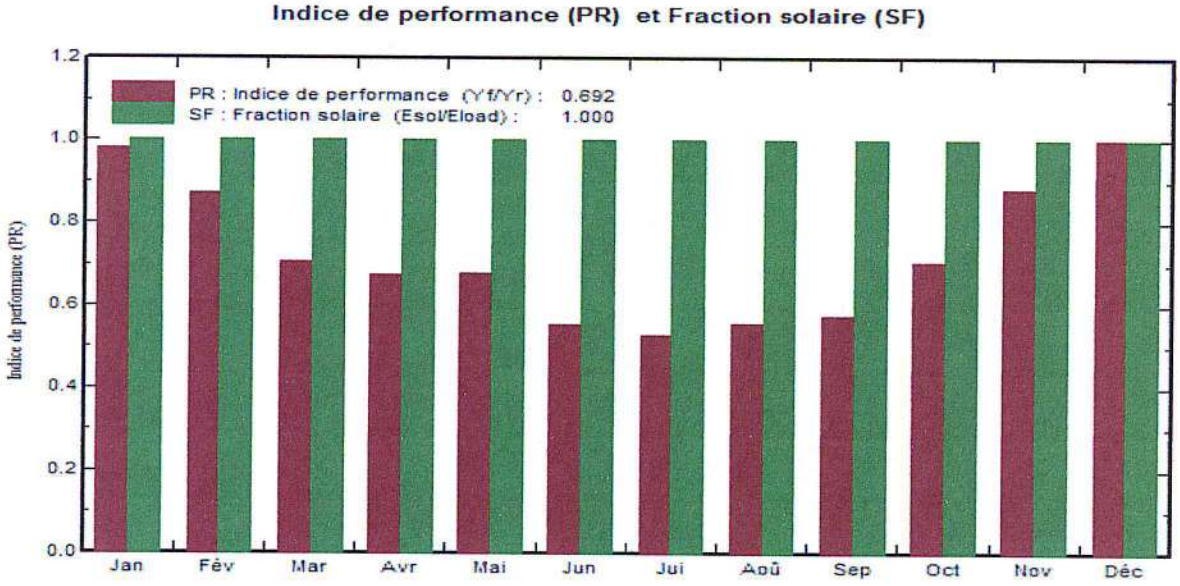


Figure III- 24 : indice de performance d'un système PV isole.

Les figures III.23 et III.24 représentent l'indice de performance qui est défini par le rapport de la production du système (Yf) par l'énergie incidente de référence (Yr) tel que **PR= Yf/Yr.** Autrement dit, il représente l'efficacité globale du système par rapport à ce qu'on pourrait en attendre selon la puissance installée et peut atteindre 80 % dans les meilleures installations PV.

III.8.6 Fonctionnement et performances de batteries.

Tableau III- 14 : Fonctionnement et performances de batteries.

variante 69.2# exé 2.12
Customised table

	U Batt V	SOCmean	EffBatI %	EffBatE %
Janvier	73.5	0.484	3530.60	3521.36
Février	72.2	0.288	3332.26	3317.57
Mars	73.0	0.405	2197.16	2083.35
Avril	74.3	0.598	2161.75	2154.54
Mai	75.4	0.777	2502.43	2492.26
Juin	75.9	0.851	2383.18	2368.63
Juillet	76.0	0.864	2726.72	2709.21
Août	76.1	0.868	2817.08	2799.68
Septembre	76.0	0.856	2466.77	2452.35
Octobre	76.0	0.855	2722.47	2706.60
Novembre	75.4	0.778	3501.99	3483.71
Décembre	73.7	0.515	3107.42	3256.37
Année	74.8	0.681	309.93	308.13

SOC mean: état moyen de charge

Eff bat I: efficacité de charge / décharge du courant de la batterie

Eff bat E: efficacité de charge / décharge de l'énergie de la batterie

La tension de la batterie est affectée par la température, elle augmente avec l'augmentation de la température et diminue lorsque la température diminue, L'état de charge de la batterie diminue également à basse température.

Dans ce tableau III.14, on représente le fonctionnement et les performances des batteries pendant les mois de l'année. On remarque bien que l'état de charge des batteries est élevée pendant la période estivale est faible pendant la période hivernale.

III.8.7 Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV

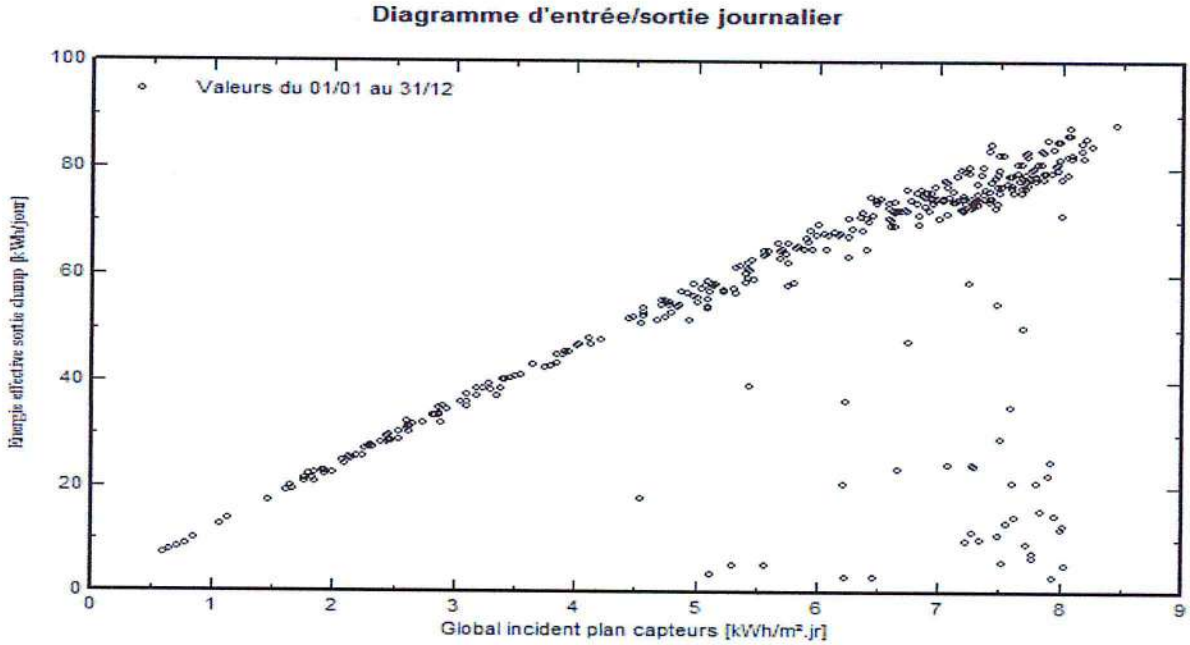


Figure III- 25 : Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV isole.

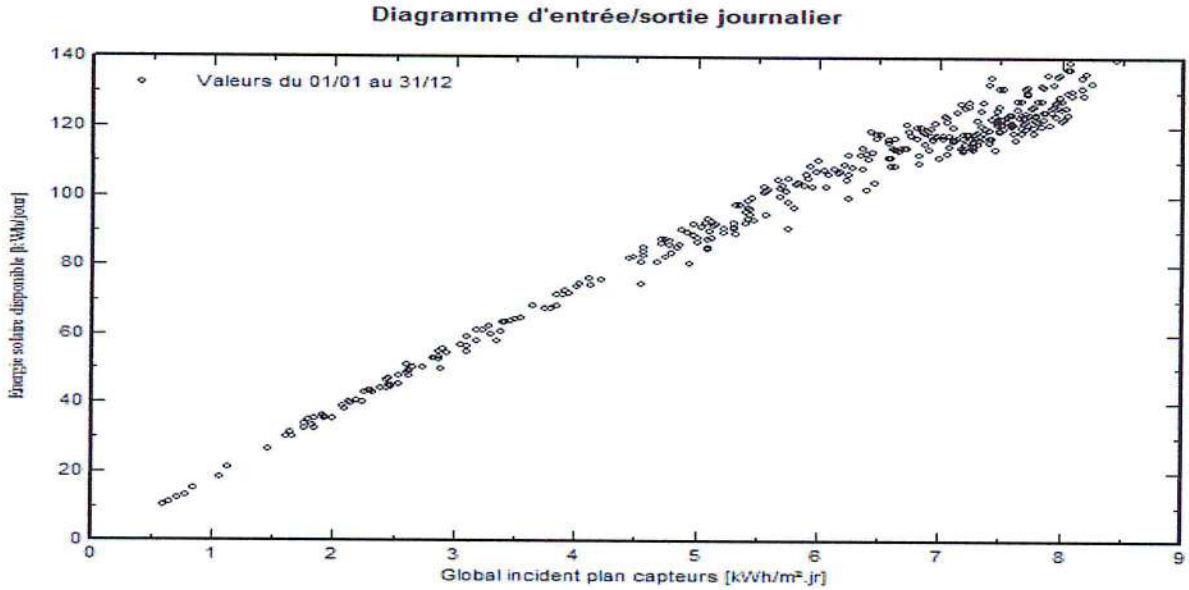


Figure III- 26 : Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV couplé au réseau.

En plus des bilans mensuels et annuels, le résultat le plus signifiant est présenté sous forme de diagramme d'Entrée/Sortie pour chaque période, l'énergie produite est en fonction de l'énergie incidente (figures III.25 et III.26). Les points de fonctionnement sont alignés sur une droite, dont la pente est directement liée à l'efficacité du système.

III.8.8 Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux.

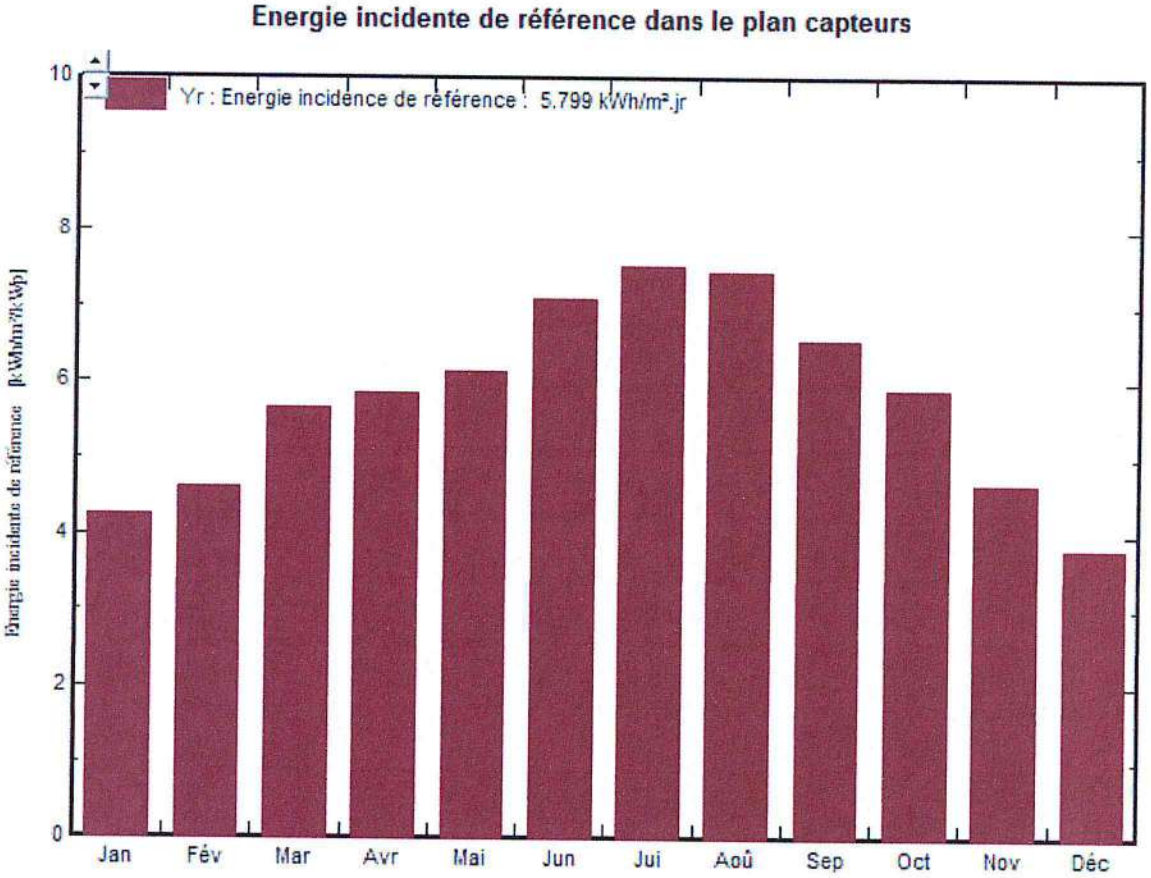


Figure III- 27 : Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux.

L'énergie journalière incidente sur le plan des panneaux est de **5.799 KWh/m².jour** (figure III.27) pour un fonctionnement en mode normal.

III.8.9 Les données de météorologique et l'irradiation

Tableau III- 15 : Les données météorologique et l'irradiation.

Nouvelle variante de simulation
Customised table

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²
Janvier	81.0	32.31	8.14	131.8
Février	91.3	34.72	9.13	128.9
Mars	143.9	55.24	12.37	175.2
Avril	167.3	59.80	14.17	175.4
Mai	204.1	72.18	19.21	190.0
Juin	242.5	55.97	24.94	213.1
Juillet	257.2	47.32	28.54	233.4
Août	227.7	48.03	27.91	231.3
Septembre	167.2	50.26	22.52	196.1
Octobre	132.6	43.42	19.28	183.2
Novembre	89.8	32.84	12.13	140.2
Décembre	70.6	29.95	9.05	118.1
Année	1875.1	562.05	17.34	2116.7

III.9 Conclusion

Ce chapitre s'est porté sur le dimensionnement d'un système PV au niveau du pôle urbain (direction de l'énergie) de la ville de Médéa et l'interprétation des résultats de simulation par logiciel PVsyst. Deux méthodes ont été utilisées, à savoir ; isolé avec batterie et couplé au réseau, on remarque que le système couplé au réseau est plus efficace financièrement vu l'amortissement durant 04 ans seulement par rapport au système isolé qui ne sera amorti qu'après 22 ans d'utilisation (proche de sa durée de vie).

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à l'étude d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'un établissement public (direction de l'énergie) sis au pôle urbain de Médéa en optimisant le dimensionnement du système pour avoir une grande fiabilité et un coût minimal.

Vu la demande croissante en électricité source d'énergies conventionnelles polluantes, l'alternative d'utiliser des énergies renouvelables propres devient inévitable.

Le système photovoltaïque étudié est destiné à subvenir aux besoins énergétiques de l'établissement jour et nuit par des panneaux solaires, il se compose de modules, batteries, régulateur, onduleur, et câbles.

Le dimensionnement se fait à la base du mois le plus défavorable de l'éclairement, la simulation de deux méthodes à savoir : isolé avec batteries et couplé au réseau, nous a permis de conclure que la deuxième méthode est plus efficace financièrement vu l'amortissement de l'investissement pendant 04 ans seulement par rapport à l'autre méthode (isolé avec batteries) qui ne sera amorti qu'après 22 ans d'utilisation (fin de vie du système).

Finalement, l'énergie solaire photovoltaïque reste la meilleure alternative pour la compensation de l'épuisement de ressources conventionnelles, qui arrivent à leurs fins. D'où le développement la filière des énergies renouvelables est plus que nécessaire et va nous conduire à l'indépendance énergétique. **[33]**

Bibliographie

Bibliographie

[1]:A.Mekki,«Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour l'alimentation d'une ferme», mémoire de master, université de abou bekr belkaid Tlemcen,2016.
[2]:Z.MOKADEM «Etude et dimensionnement d'un système solaire photovoltaïque du pôle universitaire de l'université de Médéa par logiciel PVsyst» mémoire master, université Yahia Fares- Médéa .2016
[3]:M. MISSOUM «contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie», mémoire de magistère, université hassiba benbouali de Chlef
[4]: S.SAADI, «effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan», mémoire de magistère, université mentouri de Constantine,2010
[5]: L.ABBASSEN, « étude de la connexion au réseau électrique d'une centrale Photovoltaïque », mémoire de magister, université de mouloud mammeri, tizi ouzou 2011.
[6]: F.TRAHI «prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le dimensionnement d'une installation PV pour l'alimentation du laboratoire de recherche lampa» mémoire de magister, université de mouloud mammeri, Tizi ouzou, 2011.
[7]:F.YACINE « étude des nouvelles générations de cellules photovoltaïques ». mémoire de magister, université de mohamed boudiaf, Oran ,2010.
[8]: F.SLAMA,« modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique », mémoire de magister, université de ferhat abbas, Setif, 2011.
[9]:M. HADJ BELKACEMI , « modélisation et etude expérimentation d'un capteur solaire non vitré et perforé» , mémoire de master ,université de abou bekr belkaid Tlemcen,2011
[10]: F.MEZIANI, «détermination du gisement solaire par traitement d'images msg », mémoire de magister, ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique université mouloud mammeri de tizi ouzou.
[11]: K, MAHDI, « conception et réalisation d'un concentrateur sphérique », mémoire de magister en physique, universite mentouri de Constantine,2008
[12]: M, Capderou, atlas solaire de l'algérie, O.P.U, Alger. (1985).
[13]: A, MEFTI; M, Y, BOUROUBI; H, MIMOUNI, « évaluation du potentiel énergétique solaire»,, bulletin des energies renouvelables, n°2, p 12, décembre. (2002).
[14]:H.MERSEL,K.OUABDELKADER «modélisation et contrôle d'un système photovoltaïque connecté au réseau» mémoire de master, université abderrahmane mira de Bejaia, 2015
[15]:A. Morsli, « étude d'un système solaire photovoltaïque utilisant des super condensateurs» mémoire de magister, école nationale polytechnique d'Alger, Algérie. 2010.
[16]: K. Amara « contribution a l'étude de conception d'une centrale PV », mémoire magister, université de Tizi ouzou 2015
[17]: S. MOUASSANE, S. KICIRI « gestion d'énergie d'un système photovoltaïque avec batterie» mémoire de master, université abderrahmane mira de Bejaïa, 2014.
[18]: H. Aboub, « commande d'un onduleur neuf niveaux, destiné aux fortes puissances pv», mémoire de magister, université de hadj lakhdar de Batna, 2014.
[19] : Xuan, Linh DANG, « contribution à l'étude des systèmes photovoltaïque /stockage distribués, impact de leur intégration à un réseau fragile», thèse de doctorat, de l'école normale supérieure de cacane ,2014.
[20] : K. KHOUALED, « commande d'un système photovoltaïque connecté au réseau utilisant deux contrôleurs mppt» ,mémoire de master, université, yahia fares de Médéa.
[21] : H.MESSAOUDENE, « détermination intelligente de la puissance maximale des modules photovoltaïques» », mémoire de magister université hadj lakhdar Batna, 2014.

[22] : F, GUESSOUMI, A.SAADI «commande de panneau solaire a l'aide d'une carte a pic» mémoire ingénieur, université mohamed khider Biskra 2010.
[23] : B, ZERGUINE « modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque » mémoire de magister, université badji mokhtar Annaba ,2010
[24] : A, BALI «étude comparative entre les cellules solaire de type p+-algaas/ p-gaas /n-gaas et une autre de type n+-algaas/n-gaas/p-ga» université mohamed kheider-Biskra
[25]:Y .MAROUF, « modélisation des cellules solaires en ingan en utilisant atlas silvaco » mémoire de magister, université mohamed khider – Biskra, 2013
[26]:H. BERREZZOUG « principe de fonctionnement et mesure des caractéristiques d'une cellule photovoltaïque» mémoire de master, université dr moulay tahar de Saida
[27]:B.FELLAH, « système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. application aux sites de tlemcen et de bouzaréah», mémoire de magister université abou-bakr belkaid de Tlemcen 2012
[28] : N, ZIDANE « étude et dimensionnement des systèmes de production d'énergies renouvelables» mémoire de magister, université ferhat abbas Setif1,2014
[29]: M, HADJAB« développement des performances d'un système photovoltaïque» mémoire de magister université. djillali liabes de Sidi Belabbes, 2011
[30]: F, DJALOUD «etude et du fonctionnement d'un système photovoltaïque» mémoire master, université kasdi ,merbah- Ouargla .2012
[31] : M, Belhadj, « modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome» mémoire de magister, université de Bechar, 2008
[32] : A.DAOUD, «contrôle de la puissance d'un générateur photovoltaïque pour le pompage solaire» thèse de doctorat université d'Oran mohamed boudiaf ,2013.
[33] : BENCHIDI Houria.,« Etude et analyse d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une école d'enseignement primaire sise (Thniet Elhdjer-Médéa)» mémoire master, université Yahia Fares- Médéa .2018

Annexe 1

Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation

Projet : **etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

Site géographique	**Pôle urbain Médéa**		Pays	**Algeria**
Situation	Latitude	36.3°N	Longitude	2.8°E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU	Altitude	928 m
	Albédo	0.20		
Données météo:	**pôle urbain Médéa**	Meteonorm 7.1 (1996-2010), Sat=100% - Synthétique		

Variante de simulation : **variante 69.2% exé 2.12**

Date de la simulation 07/06/19 à 11h31

Paramètres de simulation

Orientation plan capteurs	Inclinaison	36°	Azimut	0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV Original PVsyst database	Si-mono	Modèle	**JKM 310M-72**	
		Fabricant	Jinkosolar	
Nombre de modules PV		En série	1 modules	En parallèle 41 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	41	Puissance unitaire 310 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	**12.71 kWc**	Aux cond. de fonct. 11.40 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	33 V	I mpp 342 A
Surface totale		Surface modules	**79.6 m²**	Surface cellule 70.1 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	1.6 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes	1.9 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes	-0.8 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP
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	72 V	Capacité nominale	10952 Ah
	Nombre d'unités	6 en série x 37 en parallèle		
	Température	Fixée (20°C)		
Controller	Modèle	Universal controller with MPPT converter		
	Technologie	MPPT converter	Coeff. de temp.	-5.0 mV/°C/elem.
Convertisseur	Efficacité maxi et EURO	97.0/95.0 %		
Battery management control	Treshold commands as	SOC calculation		
	Charge	SOC = 0.90/0.75	i.e. approx.	96.5/74.3 V
	Décharge	SOC = 0.20/0.45	i.e. approx.	61.0/72.4 V

Besoins de l'utilisateur : Consomm. domestique Constants sur l'année
moyenne 184 kWh/Jour

Système isolé avec batteries: Besoins de l'utilisateur

Projet : **etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

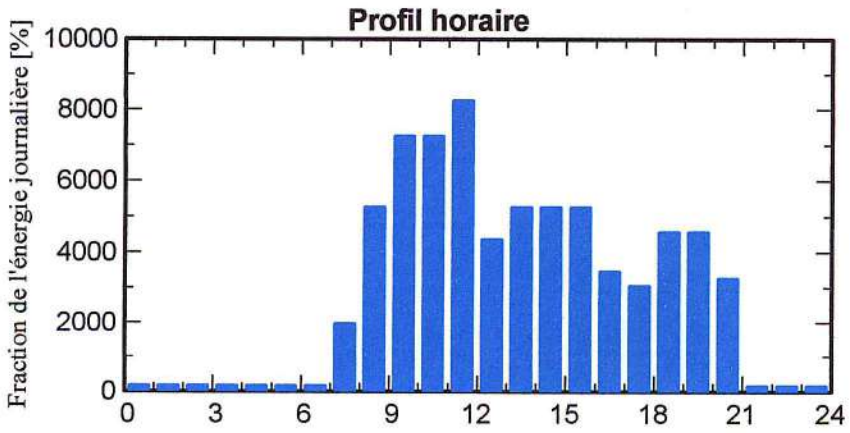
Variante de simulation : **variante 69.2% exé 2.12**

Principaux paramètres système	Type de système	**Isolé avec batteries**			
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°		azimut	0°
Modules PV	Modèle	JKM 310M-72		Pnom	310 Wc
Champ PV	Nombre de modules	41		Pnom total	**12.71 kWc**
Batterie	Modèle	12-CS-11PS		Technologie	cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	222	Tension / Capacité		**72 V / 10952 Ah**
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année		global	67.0 MWh/an

Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 184 kWh/jr

Valeurs annuelles

Utilisation 5 jours par semaine	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lamps (LED or fluo)	100	18 W/lampe	12 h/jour	21600 Wh/jour
TV / PC	20	100 W/app	8 h/jour	16000 Wh/jour
fer à repasser + four	2	1000 W/app	2 h/jour	4000 Wh/jour
Frigo	1		24 Wh/jour	540 Wh/jour
Machine à laver	1		4 Wh/jour	7000 Wh/jour
pompe à eau	1	2600 W tot	7 h/jour	18200 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/jour, 7jours/7	3360 Wh/jour
Energie journalière totale				70700 Wh/jour



Système isolé avec batteries: Résultats principaux

Projet : **etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

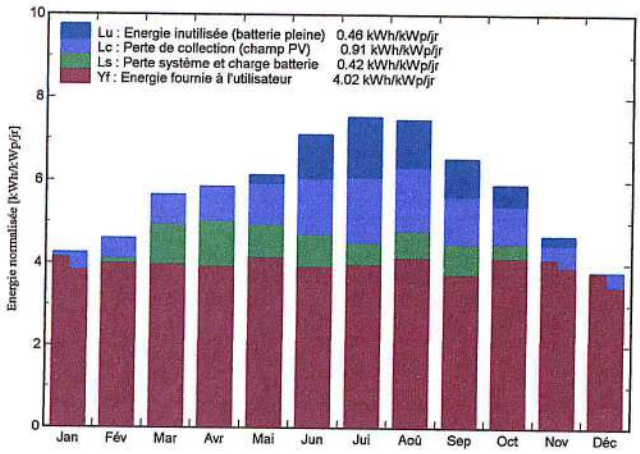
Variante de simulation : **variante 69.2% exé 2.12**

Principaux paramètres système	Type de système	**Isolé avec batteries**			
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°		azimut	0°
Modules PV	Modèle	JKM 310M-72		Pnom	310 Wc
Champ PV	Nombre de modules	41		Pnom total	**12.71 kWc**
Batterie	Modèle	12-CS-11PS		Technologie	cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	222		Tension / Capacité	**72 V / 10952 Ah**
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année		global	67.0 MWh/an

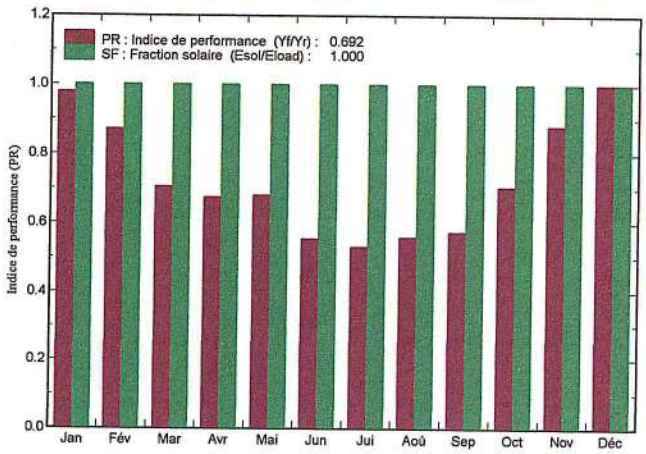
Principaux résultats de la simulation

Production du système	**Energie disponible**	**21.81 MWh/an**	Productible	1716 kWh/kWc/an
	Energie utilisée	18.63 MWh/an	Energie en excès (inutilisée)	2.12 MWh/an
	Indice de performance (PR)	69.2 %	Fraction solaire (SF)	100.0 %
Besoins non satisfaits	Fraction du temps	0.0 %	Energie manquante	0.00 MWh/an
Investissement	Global avec taxes	4905537 DZD	Spécifique	386 DZD/Wp
Coût annuel	Annuités (Emprunt 0.0%, 0 ans)	4905537 DZD/an	Coût d'exploitation	354281 DZD/an
Coût de l'énergie		**282 DZD/kWh**		

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 12.71 kWc



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



variante 69.2% exé 2.12

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E Avail MWh	EUnused MWh	E Miss MWh	E User MWh	E Load MWh	SolFrac
Janvier	81.0	128.8	1.454	0.000	0.000	1.640	1.640	1.000
Février	91.3	125.8	1.403	0.000	0.000	1.427	1.427	1.000
Mars	143.9	170.8	1.865	0.000	0.000	1.571	1.571	1.000
Avril	167.3	170.1	1.830	0.000	0.000	1.500	1.500	1.000
Mai	204.1	183.7	1.938	0.080	0.000	1.640	1.640	1.000
Juin	242.5	205.8	2.115	0.399	0.000	1.500	1.500	1.000
Juillet	257.2	226.0	2.265	0.573	0.000	1.571	1.571	1.000
Août	227.7	224.8	2.254	0.446	0.000	1.640	1.640	1.000
Septembre	167.2	191.2	1.981	0.347	0.000	1.431	1.431	1.000
Octobre	132.6	179.0	1.889	0.197	0.000	1.640	1.640	1.000
Novembre	89.8	137.1	1.512	0.076	0.000	1.569	1.569	1.000
Décembre	70.6	115.3	1.302	0.000	0.000	1.502	1.502	1.000
Année	1875.1	2058.7	21.807	2.118	0.000	18.627	18.627	1.000

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
EUnused	Energie inutilisée (batterie chargée)	SolFrac	Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

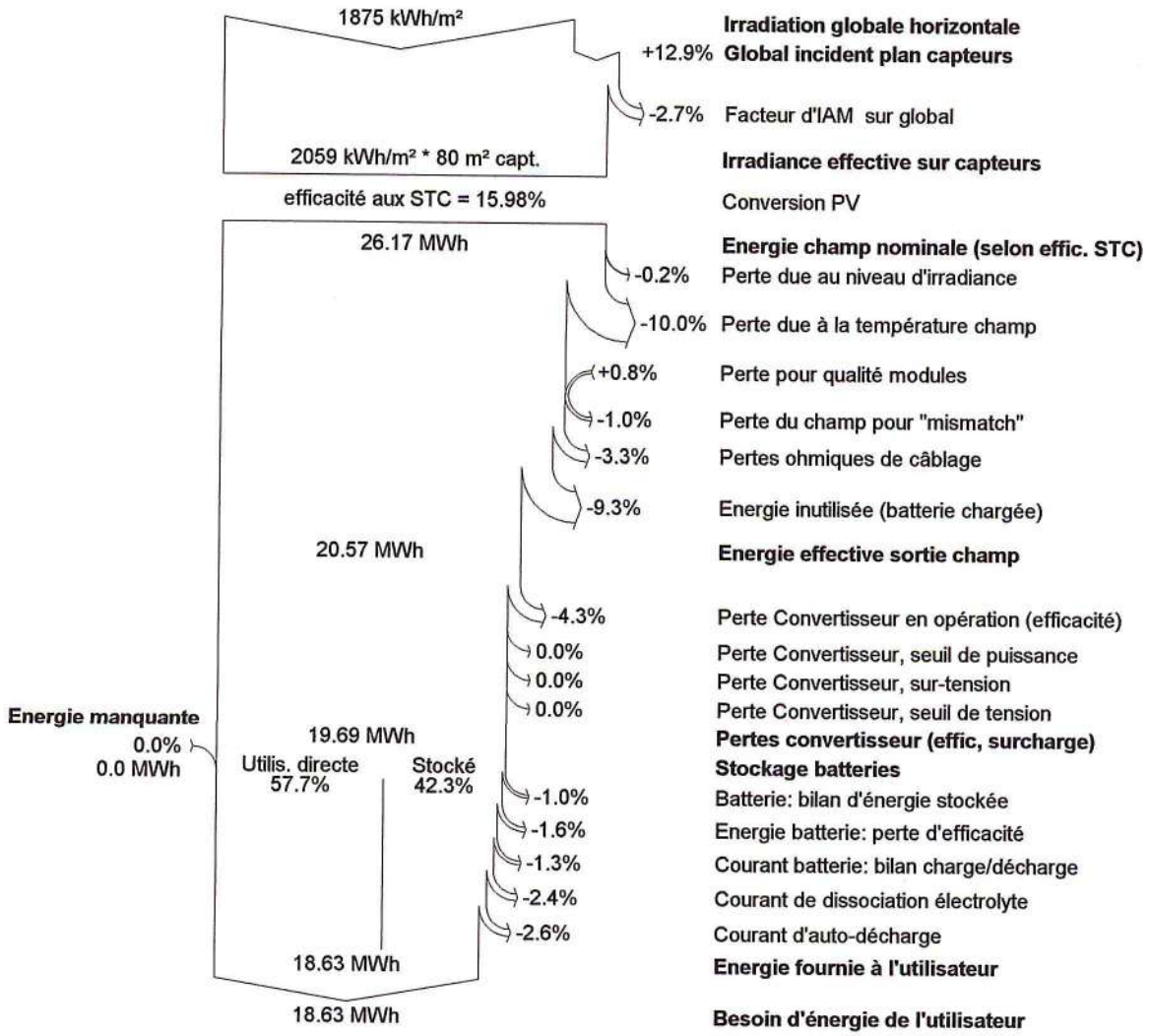
Système isolé avec batteries: Diagramme des pertes

Projet : **etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

Variante de simulation : **variante 69.2% exé 2.12**

Principaux paramètres système	Type de système	**Isolé avec batteries**			
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°		azimut	0°
Modules PV	Modèle	JKM 310M-72		Pnom	310 Wc
Champ PV	Nombre de modules	41		Pnom total	**12.71 kWc**
Batterie	Modèle	12-CS-11PS		Technologie	cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	222	Tension / Capacité		**72 V / 10952 Ah**
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année		global	67.0 MWh/an

Diagramme des pertes sur l'année entière



Système isolé avec batteries: Evaluation économique

Projet : **etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

Variante de simulation : **variante 69.2% exé 2.12**

Principaux paramètres système	Type de système	**Isolé avec batteries**		
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	JKM 310M-72	Pnom	310 Wc
Champ PV	Nombre de modules	41	Pnom total	**12.71 kWc**
Batterie	Modèle	12-CS-11PS	Technologie	cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	222	Tension / Capacité	**72 V / 10952 Ah**
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	global	67.0 MWh/an

Investissement

Modules PV (Pnom = 310 Wc)	41 unités	18337 DZD / unité	751817 DZD
Supports et intégration		2000 DZD / module	82000 DZD
Batteries (12 V / 296 Ah)	222 unités	17760 DZD / unité	3942720 DZD
régulateur / convertisseur			7000 DZD
Construction, câblage, ...			20000 DZD
onduleur			62000 DZD
Transport et montage			40000 DZD
Moins-value substitution			0 DZD
Investissement brut (sans taxes)			**4905537 DZD**

Financement

Investissement brut (sans taxes)		4905537 DZD
Taxes sur l'investissement (TVA)	Taux 0.0 %	0 DZD
Investissement brut (TTC)		4905537 DZD
Subventions		0 DZD
Investissement net (TTC)		**4905537 DZD**
Annuités	(Emprunt 0.0 % sur 0 ans)	4905537 DZD/an
Entretien		50000 DZD/an
assurance, taxes annuelles		0 DZD/an
Provision remplacement batteries	(durée de vie 15.0 ans)	304281 DZD/an
Coût annuel total		**5259818 DZD/an**

Coût de l'énergie

Energie solaire utilisée	18.6 MWh / an
Energie en excès (batterie pleine)	2.1 MWh / an
Coût de l'énergie utilisée	282 DZD / kWh

Annexe 2

Système couplé au réseau: Paramètres de simulation

Projet : **Etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

Site géographique	**Pôle urbain Médéa**		Pays	**Algeria**
Situation	Latitude	36.3°N	Longitude	2.8°E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU	Altitude	928 m
	Albédo	0.20		
Données météo:	**pôle urbain Médéa**	Meteonorm 7.1 (1996-2010), Sat=100% - Synthétique		

Variante de simulation : **82.6%**

Date de la simulation 07/06/19 à 11h36

Paramètres de simulation

Orientation plan capteurs	Inclinaison	36°	Azimut	0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm
Horizon	Pas d'horizon			
Ombrages proches	Sans ombrages			

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV (Original PVsyst database)	Si-mono	Modèle	**72M-320**		
		Fabricant	Heliene Inc		
Nombre de modules PV		En série	16 modules	En parallèle	4 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	64	Puissance unitaire	320 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	**20.48 kWc**	Aux cond. de fonct.	18.22 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	529 V	I mpp	34 A
Surface totale		Surface modules	**125 m²**	Surface cellule	110 m²

Onduleur (Original PVsyst database)		Modèle	**Theia Central 20 TL**		
		Fabricant	Eltek Valere		
Caractéristiques	Tension de fonctionnement		450-820 V	Puissance unitaire	20.0 kWac
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs	1 unités	Puissance totale	20 kWac

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	263 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes	-0.8 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05

Besoins de l'utilisateur : Consomm. domestique — Constants sur l'année
moyenne — 184 kWh/Jour

Système couplé au réseau: Besoins de l'utilisateur

Projet : **Etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

Variante de simulation : **82.6%**

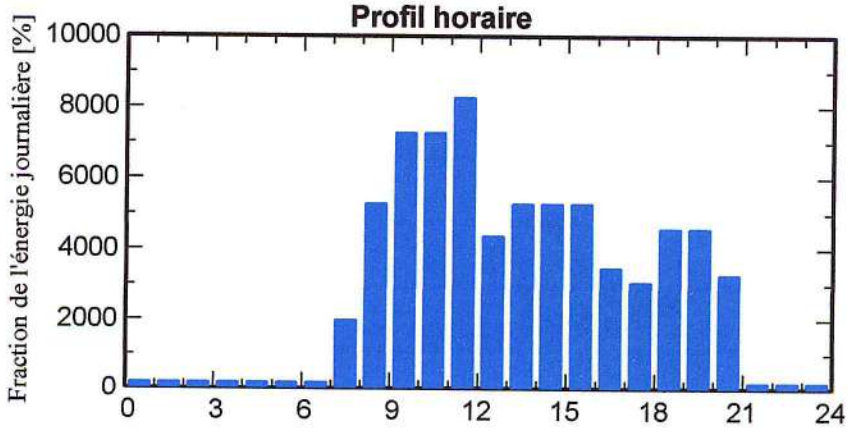
Principaux paramètres système	Type de système	**Couplé au réseau**		
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	72M-320	Pnom	320 Wc
Champ PV	Nombre de modules	64	Pnom total	**20.48 kWc**
Onduleur	Modèle	Theia Central 20 TL	Pnom	20.00 kW ac
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	global	67.0 MWh/an

Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 184 kWh/jr

Valeurs annuelles

Utilisation 5 jours par semaine	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lamps (LED or fluo)	100	18 W/lampe	12 h/jour	21600 Wh/jour
TV / PC	20	100 W/app	8 h/jour	16000 Wh/jour
Fer à repasser + four	2	1000 W/app	2 h/jour	4000 Wh/jour
Frigo	1		24 Wh/jour	540 Wh/jour
Machine à laver	1		4 Wh/jour	7000 Wh/jour
Pompe à eau	1	2600 W tot	7 h/jour	18200 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/jour, 7jours/7	3360 Wh/jour
Energie journalière totale				70700 Wh/jour

Profil horaire



Système couplé au réseau: Résultats principaux

Projet : **Etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

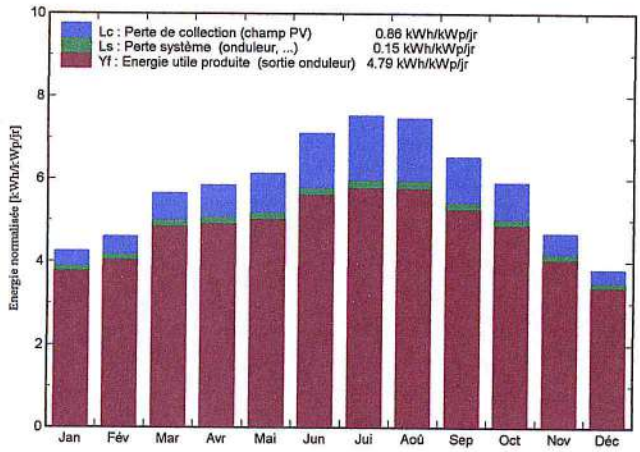
Variante de simulation : **82.6%**

Principaux paramètres système	Type de système	**Couplé au réseau**			
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°	
Modules PV	Modèle	72M-320	Pnom	320 Wc	
Champ PV	Nombre de modules	64	Pnom total	**20.48 kWc**	
Onduleur	Modèle	Theia Central 20 TL	Pnom	20.00 kW ac	
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	global	67.0 MWh/an	

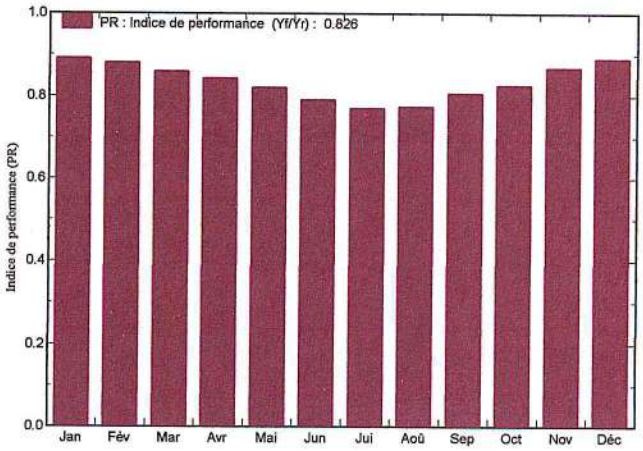
Principaux résultats de la simulation

Production du système	**Energie produite**	**35.81 MWh/an**	Productible	1748 kWh/kWc/an
	Indice de performance (PR)	82.6 %	Fraction solaire (SF)	70.8 %
Investissement	Global avec taxes	1465568 DZD	Spécifique	71.6 DZD/Wp
Coût annuel	Annuités (Emprunt 0.0%, 0 ans)	1465568 DZD/an	Coût d'exploitation	50000 DZD/an
Coût de l'énergie		**115 DZD/kWh**		

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 20.48 kWc



Indice de performance (PR)



82.6%

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E Load MWh	E User MWh	E_Grid MWh
Janvier	81.0	8.14	131.8	128.8	2.478	1.640	1.027	1.375
Février	91.3	9.13	128.9	125.8	2.394	1.427	0.942	1.380
Mars	143.9	12.37	175.2	170.8	3.177	1.571	1.096	1.987
Avril	167.3	14.17	175.4	170.1	3.119	1.500	1.069	1.956
Mai	204.1	19.21	190.0	183.7	3.294	1.640	1.252	1.939
Juin	242.5	24.94	213.1	205.8	3.562	1.500	1.174	2.280
Juillet	257.2	28.54	233.4	226.0	3.796	1.571	1.235	2.446
Août	227.7	27.91	231.3	224.8	3.779	1.640	1.279	2.389
Septembre	167.2	22.52	196.1	191.2	3.334	1.431	1.064	2.174
Octobre	132.6	19.28	183.2	179.0	3.192	1.640	1.162	1.937
Novembre	89.8	12.13	140.2	137.1	2.568	1.569	1.036	1.457
Décembre	70.6	9.05	118.1	115.3	2.222	1.502	0.854	1.299
Année	1875.1	17.34	2116.7	2058.7	36.915	18.627	13.190	22.619

Légendes:

GlobHor	Irradiation globale horizontale	EArray	Energie effective sortie champ
T Amb	Température ambiante	E Load	Besoin d'énergie de l'utilisateur
GlobInc	Global incident plan capteurs	E User	Energie fournie à l'utilisateur
GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	E_Grid	Energie injectée dans le réseau

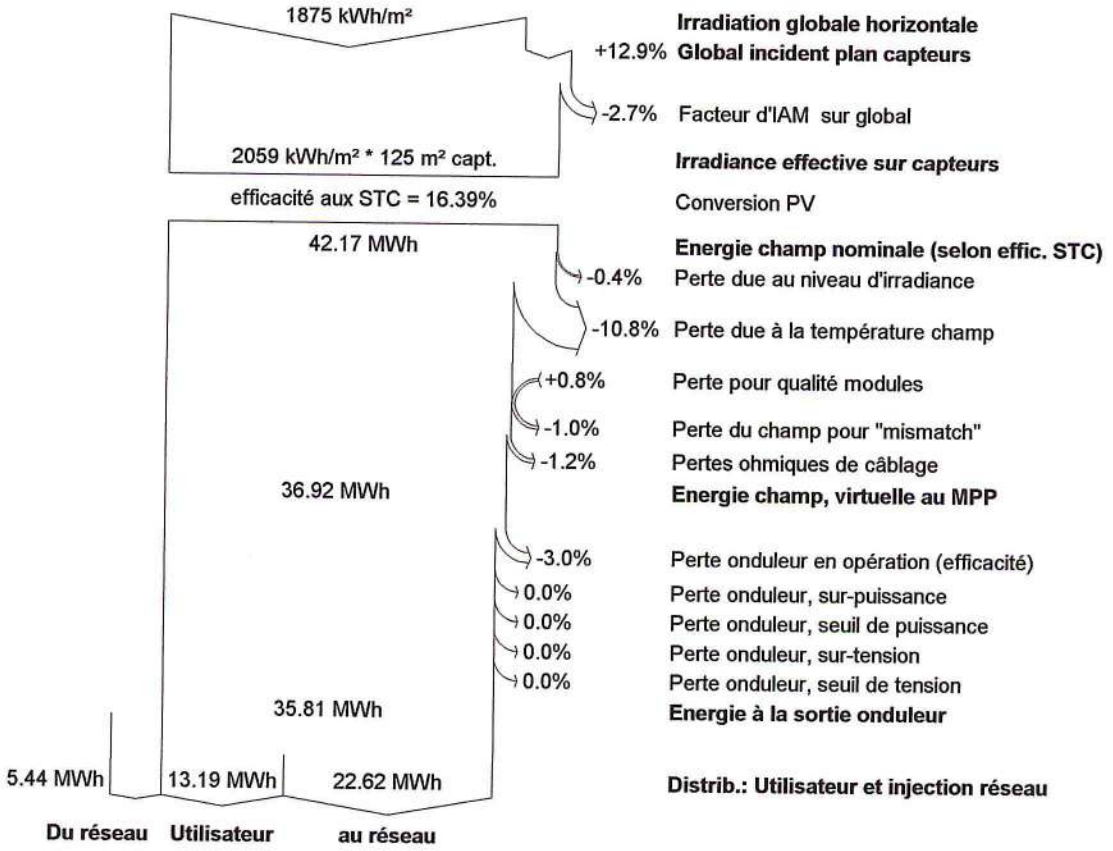
Système couplé au réseau: Diagramme des pertes

Projet : **Etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

Variante de simulation : **82.6%**

Principaux paramètres système	Type de système	**Couplé au réseau**		
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	72M-320	Pnom	320 Wc
Champ PV	Nombre de modules	64	Pnom total	**20.48 kWc**
Onduleur	Modèle	Theia Central 20 TL	Pnom	20.00 kW ac
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	global	67.0 MWh/an

Diagramme des pertes sur l'année entière



Système couplé au réseau: Evaluation économique

Projet : **Etude d'un syst PV pour l'aliment de la direct de l'energie**

Variante de simulation : **82.6%**

Principaux paramètres système	Type de système	**Couplé au réseau**		
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	72M-320	Pnom	320 Wc
Champ PV	Nombre de modules	64	Pnom total	**20.48 kWc**
Onduleur	Modèle	Theia Central 20 TL	Pnom	20.00 kW ac
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	global	67.0 MWh/an

Investissement

Modules PV (Pnom = 320 Wc)	64 unités	18837 DZD / unité	1205568 DZD
Supports et intégration		2000 DZD / module	128000 DZD
Onduleur (Pnom = 20.0 kW ac)	1 unités	62000 DZD / unité	62000 DZD
Construction, câblage, ...			30000 DZD
Transport et montage			40000 DZD
Moins-value substitution			0 DZD
Investissement brut (sans taxes)			**1465568 DZD**

Financement

Investissement brut (sans taxes)		1465568 DZD
Taxes sur l'investissement (TVA)	Taux 0.0 %	0 DZD
Investissement brut (TTC)		1465568 DZD
Subventions		0 DZD
Investissement net (TTC)		**1465568 DZD**
Annuités	(Emprunt 0.0 % sur 0 ans)	1465568 DZD/an
Coût d'exploitation (maintenance, assurance, ...)		50000 DZD/an
Coût annuel total		**1515568 DZD/an**

Coût de l'énergie

Energie utilisée	13.2 MWh / an
Energie vendue au réseau	22.6 MWh / an
Coût de l'énergie produite	42.3 DZD / kWh