

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA-1  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme :  
**MASTER en Énergies Renouvelables**  
**Option : Conversion Photovoltaïque**  
Par : **ZERROUKI OUSSAMA**

Thème :

**DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME HYBRIDE  
PHOTOVOLTAÏQUE-GROUPE ELECTROGENE  
AVEC BATTERIE POUR ALIMENTER UN VILLAGE  
AU SUD D'ALGERIE (ILAMANE)**

Soutenu devant le jury composé par :

- |                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| - Dr H.MAZOUZ   | USDB1 Présidente   |
| - Dr N.CHEGGAGA | USDB1 Promotrice   |
| - Dr F.CHEKIRED | UDES Examinatrice  |
| - Dr A.BEDIA    | USDB1 Examinatrice |

septembre 2017

# *Remerciement*

*En premier lieu je remercie le bon Dieu de me permettre vivre ce jour-là et me donner la volonté, le courage, la patience et la santé durant toutes ces années d'études.*

*Je dois remercier mes chers parents d'être les premiers et les meilleurs éducateurs dans ma vie et pour leurs précieux conseils et leurs directives rationnelles.*

*Je remercie mes deux frères, et ma sœur pour leur encouragement.*

*Je remercie tous les enseignants honnêtes qu'ils n'ont ménagé aucun effort de m'enseigner et de m'aider à développer mes connaissances scientifiques et je cite spécialement ma promotrice pour son aide sur ce projet de fin d'études.*

*À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.*

**RESUME**  
**ABSTRACT**  
**ملخص**

## ملخص

في هذه المذكرة نقوم بدراسة أبعاد التصميم وتحليل التكاليف الخاصة بنظام كهربائي هجين يعتمد على الطاقات المتجددة، والتي تم إجراءها اعتماداً على معطيات مسبقة خاصة بمدينة «إيلامان» الواقعة في محيط منعزل في الجنوب الجزائري. يتكون النظام من مولدين كهربائيين الأول فوتو ضوئي والثاني مولد ديزل بالإضافة إلى بطارية للتخزين. الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو استخراج منحنى الحمولة الخاص بالمدينة، حساب التكلفة المحدثة الصافية بالدولار وثمان الطاقة بالدولار على الكيلوات الساعي للنظام الكهربائي الهجين بالدولار والدينار الجزائري، من أجل توفير طاقة كهربائية كافية لتلبية الطاقة الاستهلاكية للمدينة. خلال العمل المنجز قمنا بالاعتماد على برنامج تحسين أنظمة الطاقة الكهربائية المتجددة بالمحاكات هومر. في الأخير قمنا بإجراء مقارنة بين أثمان مكونات الدارة اعتماداً على مرجعية العروض المطروحة بالدولار والدينار الجزائري حسب البرنامج وحسب الأسعار المتداولة في السوق الجزائرية.

## Résumé

Ce mémoire présente une étude de dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'électricité à base des énergies renouvelables dans un village isolé « Ilamane » au sud d'Algérie, composé d'un générateur photovoltaïque, un générateur diesel et des batteries de stockage. L'objectif principal de cette étude est de déterminer le profil de charge de ce village et calculer le coût actualisé net (\$), le coût d'énergie (\$/kWh) en dinar algérien et en Dollar d'un système hybride, avec une capacité électrique suffisante pour répondre à la demande en énergie électrique du village. HOMER est le logiciel d'optimisation des systèmes électriques à énergies renouvelables utilisé comme un outil de simulation dans notre travail. Le coût et les performances électriques sont comparés les uns avec les autres entre les prix des composants en dollar, en dinar algérien et les prix sur le marché algérien.

## Abstract

This paper present a study of the design and costing of a hybrid system for the production of electricity based on renewable energies in an isolated village "Ilamane" in the south of Algeria, composed of a photovoltaic generator, diesel generator and storage batteries. The main objective of this study is to determine the optimum size and calculate the net present cost (\$), the cost of energy (\$/kWh) in Algerian dinar and in Dollar of a hybrid system, with sufficient electrical capacity to satisfy the demand in electrical energy of the village. HOMER is the optimization software for renewable energy systems used as a simulation tool of our work. The cost and the electrical performances are compared each with other between the prices of the dollar components in Algerian dinar and prices in the Algerian market.

# **LISTE DES FIGURES**

**Figure 1.1:** Système hybride PV-diesel

**Figure 1.2:** Présentation des composants PV

**Figure 1.3 :** Caractéristique courant- tension d'un générateur PV

**Figure 1.4 :** Caractéristique puissance- tension d'un générateur PV

**Figure 1.5 :** Caractéristique idéale d'une cellule PV

**Figure 1.6:** générateur diesel (SDMO)

**Figure 1.7:** Batteries stationnaires au plomb acide pour système photovoltaïque

(Tahifet –Tamanrasset)

**Figure 1.8:** Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé

**Figure 1.9 :** Structure d'un onduleur triphasée.

**Figure 1.10:** configuration de système

**Figure 2.1:** Village d'illamane de Tamanrasset

**Figure 2.2:** caractéristiques climatiques du site ilamane.

**Figure 2.3 :** Courbes de profils de charge horaires d'une habitation donnée par logiciel Homer

**Figure 2.4:** Configuration de la variante 1

**Figure 2.5:** Configuration de la variante 2

**Figure 3.1:** Configuration de l'installation PV/Diesel à dimensionner par logiciel Homer

**Figure 3.2 :** les données annuelle d'ensoleillement du site Ilamane

**Figure 3.3 :** les données annuelles de température du site Ilamane

**Figure 3.4 :** profil de charge hivernal du site Ilamane

**Figure 3.5 :** profil de charge Estival du site Ilamane

**Figure 3.6 :** Résultats de simulation

**Figure 3.7 :** le cout actuel net de chaque composant du système hybride

**Figure 3.8 :** la production électrique mensuelle moyenne

**Figure 3.9 :** Résultats économique du système

# **LISTE DES TABLEAUX**

## LISTE DES TABLEAUX

---

**Tableau 2.1** : profil de consommation hivernal

**Tableau 2.2** : profil de charge estival

**Tableau 2.3** : Profil de consommation horaire d'une habitation

**Tableau 3.1** : les paramètres d'entrée et de sortie du système pour le logiciel Homer

**Tableau 3.2**: comparaison entre les prix dans la bourse et les prix des Composants sur  
le marché algérien



# **NOMENCLATURE**

## NOMENCLATURE

---

**c** : la vitesse de la lumière. Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du Photon est grande

**C** : capacité de la batterie en ampère. Heure (Ah)

**CA** : courant alternatif

**Cbat**: capacité de stockage

**CC** : courant continu

**Cnbat**: capacité nominale de la batterie

**CNERIB**: Centre National des Recherches Intégrées aux Bâtiments

**D** : décharge maximale admissible

**DA** : Dinard algérien

**DC** : direct courant

**E** : énergie de stockage

**Ec** : énergie consommé par jour (Wh/J)

**E<sub>GD</sub>** : énergie du GD (générateur diesel) sur une journée

**EL** : Energie demandée par la charge

**E<sub>PH</sub>** : représente la quantité d'énergie

**E<sub>T</sub>** : énergie électrique totale journalière consommée par le système (charge + les pertes) en kWh

**F**: Réfrigérateur

**F<sub>cg</sub>** : Facteur de performance du GPV (générateur photovoltaïque)

**GD** : générateurs diesels

**G<sub>ref</sub>** : Irradiation de référence

**h** : la constante de Planck

**I<sub>CC</sub>** : Courant de court-circuit

**K<sub>s</sub>** : coefficient de sécurité lié aux différentes pertes dans le mini - réseau

**KW** : kilo watt

**KWh** : kilo Watt heure

**L<sub>é</sub>** : longueur de la ligne électrique

## NOMENCLATURE

---

**L**: Lampe à LED

**M** : maintenance

**ML**: Machine à laver

**MPPT** : Maximum Power Point Tracking

**N** : nombre de jour d'autonomie

**Nbranche** : le nombre de branches

**NPC** : Le coût actuel net

**Npvs** : le nombre de modules en série

**Nbatp** : Le nombre de batteries en parallèle

**Nbats** : Le nombre de batteries en série

**NREL** : National Renewable Energy Laboratory

**O** : opération

**PAC** : Les piles à combustibles

**P<sub>C</sub>** : La puissance crête

**PC**: PC portable

**P<sub>n</sub>** : puissance nominale du composant (Générateur PV ; Batterie; Onduleur ; Régulateur)

**PV** : photovoltaïque

**R<sub>max</sub>** : Résistance max de la ligne

**R<sub>f</sub>** : les pertes sont représentées par le facteur

**R** : Radio

**RES** : renewable energy system

**Se** : section des câbles

**SEH** : Système d'Energie Hybride

**SOFC** : Solid Oxyde Fuel Cell

**T**: Téléphone Mobile

**TD**: Television + demo

**TV**: Television

## NOMENCLATURE

---

$U_{\text{bat}}$  : tension de la batterie

$U_m, I_m$  : Point de fonctionnement optimum

$V$ : Ventilateur

$V_{\text{CO}}$  : Tension à vide

$V_{\text{npv}}$  : tension nominale du module PV

$\$$  : Dollar

$\Delta t$  : temps de marche de GD sur une journée

$\eta$  : rendement

$\lambda_0$  : la longueur d'onde

$\rho$ : résistivité du conducteur ( $1.6.10^{-8} \Omega.m$  pour le cuivre).

# **SOMMAIRE**

**INTRODUCTION GENERALE .....1**

**Chapitre 1 : ETAT DE L'ART SUR LE SYSTEME D'ENERGIE HYBRIDE  
(PV/GROUPE ELECTROGENE)**

1.1 Introduction.....	3
1.2 Les systèmes hybrides.....	3
1.5 Les composants des systèmes hybrides.....	4
1.5.1 Générateurs photovoltaïques.....	5
1.4.1.1 Effet photovoltaïque.....	5
1.4.1.2 Présentation des composants photovoltaïques.....	5
1.4.1.3 Caractéristiques d'un module.....	6
1.4.1.3.a) Caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque.....	6
1.4.1.3.b) Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque.....	7
1.4.1.3.c) Rendement d'un générateur photovoltaïque.....	7
1.4.1.3.d) Facteur de forme FF.....	7
1.5.2 Générateur diesel.....	8
1.5.3 Systèmes du stockage.....	9
1.5.4 Convertisseurs.....	10
1.5.5.a) Onduleur.....	11
1.5.5.b) Structure d'un onduleur.....	11
1.5.6 Charges.....	12
1.6 Structure des systèmes de génération.....	12
1.7 Présentation chronologique des principaux travaux ou réalisation.....	13
1.8 Présentation de la contribution de l'étudiant.....	15
1.9 Conclusion.....	15

**Chapitre 2 : PRESENTATION ET DEMONSTRATION DU SITE ILAMANE  
(TAMANRASETE)**

2.1 Introduction.....	16
2.2 Les ressources météorologiques.....	16

## SOMMAIRE

---

2.2.1 Position de site.....	16
2.2.2 Les données météorologiques.....	17
2.3 Le profil de charge.....	18
2.3.1 L'éclairage.....	18
2.3.2 La réfrigération.....	19
2.3.3 La ventilation.....	19
2.4 Profil de consommation utilisé dans notre étude d'une habitation.....	19
2.4. 1 Profil de consommation hivernal .....	19
2.4.2 Profil de consommation estivale.....	20
2.4.3 Profil de consommation énergétique horaire d'une habitation.....	21
2.5 Dimensionnement technico-économique.....	23
2.5.1 Dimensionnement de système de génération.....	23
2.5.2 Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	24
2.5.3 Dimensionnement du groupe électrogène.....	25
2.5.4 Dimensionnement du système de stockage.....	26
2.5.4.a) Energie et capacité de stockage.....	26
2.5.4.b) Nombre de batteries.....	27
2.5.5 Dimensionnement du convertisseur.....	27
2.5.6 Choix du câblage.....	28
2.5.6.a) Calcul de la résistance maximale de la ligne .....	28
2.5.6.b) Calcul de la section .....	28
2.6 Conclusion.....	29
<b><u>Chapitre 3: OPTIMISATION DU SYSTEME HYBRIDE PV/DIESEL</u></b>	
3.1. Introduction.....	30
3.2 Le logiciel Homer.....	30
3.3 Description du système.....	31
3.4 Résultats de simulation et discussion.....	32
3.4.1 Dimensionnement du système.....	32

## SOMMAIRE

---

3.4.2 Les données météorologiques.....	33
3.4.2.a) irradiation.....	33
3.4.2.b) La temperature.....	34
3.5 Le profil de charge.....	35
3.6 Résultats et discussions.....	36
3.7 Architecture du système.....	37
3.8 Les résultats électriques du système.....	38
3.9 Les résultats économiques du système.....	39
3.8 Conclusion.....	41
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>42</b>
<b>LISTE DES REFERENCES .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXE.....</b>	<b>46</b>



# **INTRODUCTION GENERALE**

L'énergie électrique, depuis sa découverte constituait une des artères principales de la vie industrielle et économique, les produits plus anciens tels que : le bois, le charbon, les huiles végétales et animales, d'autres produits plus récents sont apparus au début du XXI comme le pétrole, le gaz naturel et le nucléaire ont joués un grand rôle dans la production et la couverture des besoins de l'humanité en électricité dans la vie sociale et l'industrie [1].

Grace aux découvertes scientifiques et au développement technologique, les ressources naturelles comme le vent, le soleil, la géothermie, la biomasse sont autant utilisables dans la production de l'énergie électrique. En quantité énormes et avec des durées de vie très supérieur à l'échelle humaines sont considérés comme renouvelables. Sans rejets de polluants et de gaz à effet de serre ils présentent une nouvelle voie pour garantir les besoins indispensables en énergie électrique tout en préservant la nature.

On a dans le monde plus de deux milliards d'êtres humains n'accèdent pas à l'électricité et ne profitent pas de ces multiples services [1]. L'énergie électrique d'origine renouvelable (photovoltaïque ; éolienne ; géothermique etc.) est une bonne solution pour ces zones isolées. La technologie des composants utilisés dans la production de l'électricité renouvelable est très développée et peut fournir un matériel fiable, performant et rentable.

A travers le programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique, 37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable [1].

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois. La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des connaissances, qui permettra à terme, d'employer le génie local Algérien, notamment en matière d'engineering et de management de projets. Le programme Energie renouvelable, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects. Ce pendant le couplage de différentes sources d'énergie dans un

(SEH) doit être performant dans la production et compétitive en termes de cout et de propreté (écologique).

Dans ce contexte le travail de recherche présenté dans ce mémoire participe à l'étude d'un (SEH) PV-DIESEL, couplant une ressource renouvelable (soleil) et une ressource fossile, représentées par un générateur photovoltaïque(GPV) et un groupe électrogène diesel(GD) soit l'impact de l'un sur le plan écologique et l'autre sur le cout, pour l'alimentation d'un petit village Ilamane de 10 habitations à Tamanrasset.

La centrale photovoltaïque considérée capte et transforme l'irradiation solaire en électricité avec des rendements de cellules de 15% à peu près. pour que ces modules délivrent le max d'énergie on utilise des appareils chercheurs de ce point à puissance max(MPPT).

La charge alimentée est une charge alternative ce qui nécessite un système de conversion et de contrôle, pour fournir une tension de sortie d'amplitude et de fréquence constantes, pour surveiller le système de stockage qui assure une autonomie de trois jours et qui est très sensible aux charges et décharges extrêmes.

Ce travail est réparti en trois chapitres :

Dans le premier chapitre on commence par une présentation de la structure du système hybride PV-diesel en commençant par le GPV (générateur photovoltaïque), ensuite le système de stockage, le système de conversion et régulation enfin le générateur diesel.

Dans le deuxième chapitre on procède à la présentation du site ilamane (Tamanrasset) en commençant par la position de site, après les données météorologiques et le profil de consommation de ce village, avant de faire un dimensionnements du SEH qui est très importants pour le dimensionnement optimale et la simulation avec logiciel Homer.

Le dernier chapitre renferme le dimensionnement et la simulation d'un système hybride pour l'électrification rurale d'un site dans le sud Algérien avec le logiciel Homer.

# **CHAPITRE 1**

## 1.1 Introduction :

Le terme « Système d'Énergie Hybride » fait allusion aux systèmes de génération d'énergie électrique utilisant plusieurs types de sources. La combinaison des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques peut constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes diesels. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées mais la présence du générateur diesel dans ce type de système hybride autonome suscite certaines discussions quant aux notions de « propreté » et de durabilité [2,3].

## 1.2 Les systèmes hybrides :

L'origine de la notion du système :

Un système est un ensemble d'objets organisés en fonction d'un but et immergé dans un environnement :

- Le système est un outil conceptuel,
- L'ensemble doit former une identité ou une unité cohérente et autonome,
- Les objets ou éléments peuvent être réels ou conceptuels,
- La notion d'organisation implique des relations, inter relations, interactions dynamiques entre les objets [4].

Un système d'énergie hybride (SEH) est défini comme une installation qui utilise deux ou plus des technologies de la génération d'énergies : une ou plusieurs sources de production d'énergie classique (groupe diesel en général) et au moins une source de production d'énergies renouvelables. L'objectif d'utiliser des technologies multiples est de réunir les avantages et les meilleures caractéristiques opérationnelles de chaque système [5,6].

Les performances d'un SEH (le rendement et la durée de vie) sont influencées d'une part par sa conception, c'est-à-dire le dimensionnement des composants, le type de composants, l'architecture etc., et d'autre part par le choix de la stratégie de fonctionnement. Quelques paramètres permettant d'évaluer ces performances sont : L'économie de carburant, le coût du kW, le nombre et la durée des pannes, le nombre d'arrêts pour l'entretien etc.

Dans l'un de ses travaux, Museli et al. [7] a suggéré que la configuration optimale pour les systèmes hybrides devrait être déterminée en minimisant le coût du kilowatt heure.

Ashok [8] a développé pour sa part un modèle de système fiable basé sur un modèle d'optimisation hybride pour la production d'électricité renouvelable basé sur le logiciel

(HOMER). Ainsi, de notre part et pour trouver un système hybride optimal parmi des combinaisons de l'énergie renouvelable différentes nous procédons en minimisant le coût du cycle de la vie totale. La durée de vie des composants d'un SEH qui peut être beaucoup plus courte que la durée de vie normale des composants individuels. Les points les plus critiques sont en général la dégradation des batteries, l'endommagement des démarreurs diesel et du système mécanique de freinage des éoliennes, ainsi que la carbonisation excessive des cylindres du moteur diesel.

Les systèmes d'énergie hybride sont en général constitués de sources d'énergie classique (groupe électrogène), de sources d'énergie renouvelable (éolienne, solaire). Ils peuvent aussi inclure d'autres sources d'énergie comme l'énergie hydroélectrique, marémotrice, géothermique etc.), des convertisseurs statiques et dynamiques, des systèmes de stockage (batterie, volant d'inertie, le stockage hydrogène...), des charges principales et de délestages et un système de surveillance.

### 1.3 Les Composants des systèmes hybrides :

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources. Le système qui nous intéresse regroupe deux parties pour la production de l'énergie passant par un stockage électrochimique :

- Energie solaire à travers les panneaux PV.
- L'hydrocarbure à travers le générateur électrogène.

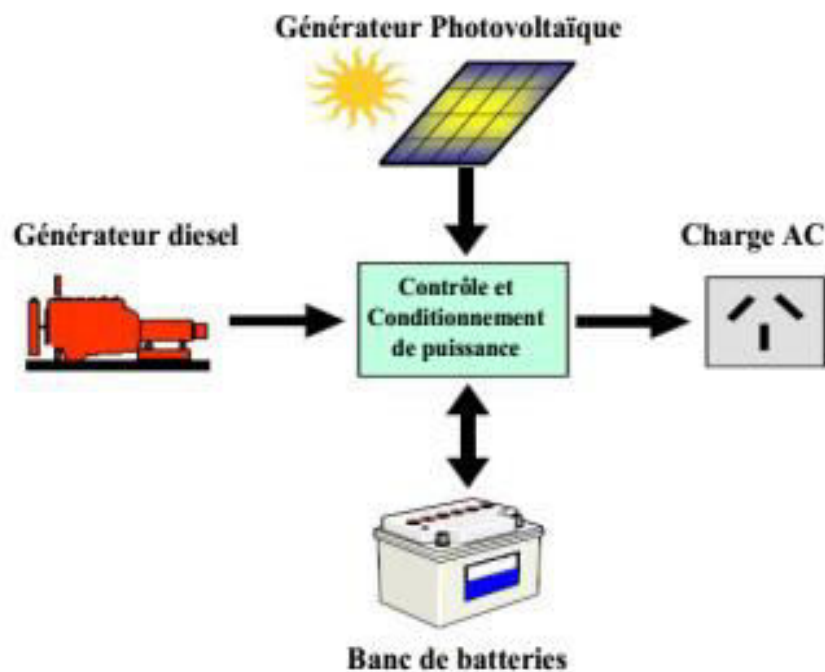


Figure 1.1: Système hybride PV-diesel [9].

## **1.4.1 Générateurs photovoltaïques :**

### **1.4.1.1 Effet photovoltaïque :**

Le scientifique français, Edmond Becquerel, fut le premier à découvrir en 1839 l'effet photoélectrique. Il a trouvé que certains matériaux pouvaient produire une petite quantité de courant sous l'effet de la lumière. Par la suite, Albert Einstein à découvert, en travaillant sur l'effet photoélectrique, que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie était portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon est donnée par la relation (1.1) [10] :

$$E_{ph} = h \cdot c / \lambda_0 \quad (1.1)$$

Où

$E_{ph}$  : représente la quantité d'énergie,

$\lambda_0$  : la longueur d'onde,

$h$  : la constante de Planck,

$c$  : la vitesse de la lumière. Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du Photon est grand.

### **1.4.1.2) Présentation des composants photovoltaïques :**

Une cellule élémentaire composée de matériaux semi-conducteurs est capable de convertir l'énergie de photons reçus à sa surface en une différence de potentiel, créée par une délocalisation d'électrons dans le matériau. La circulation des électrons dans le circuit extérieur permet à la cellule PV de fonctionner comme un générateur.

Les cellules PV sont combinées ensemble pour former un module PV qui peut produire une certaine quantité d'énergie sous des conditions d'éclairement et de température variables. Par la suite les modules PV peuvent être regroupés à leur tour afin de former un générateur PV. Il est dimensionné selon la puissance nécessaire pour une installation donnée [11].

La plupart des cellules PV mesurent autour de 100 cm<sup>2</sup> et ne produisent qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt [12,13,14].

Le rendement énergétique d'un module dépend de la nature des matériaux utilisés. Les valeurs communément rencontrées sont de l'ordre (13 à 20 % pour les cellules composées de silicium monocristallin, 11 à 15 % avec du silicium polycristallin et 7 à 8 % avec du silicium amorphe et 10 à 12 % pour le tellure de cadmium) [9].



(a) : cellule PV (monocristalline)

(b) : panneau PV

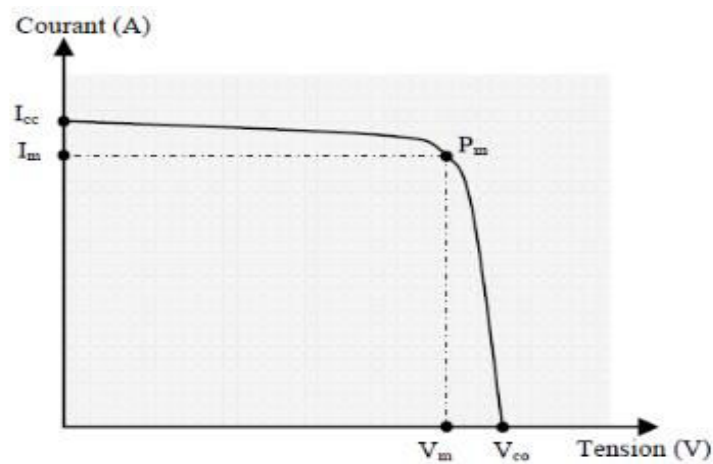
(c) : champ PV

**Figure 1.2:** Présentation des composants PV [15].

### 1.4.1.3 Caractéristiques d'un module :

#### 1.4.1.3.a) Caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque :

L'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série et en série parallèle donne ce qu'on appelle un générateur photovoltaïque dont la caractéristique générale est représentée sur la figure (figure 1.3) [16] :



**Figure 1.3 :** Caractéristique courant- tension d'un générateur PV [16].

Avec :

$V_{co}$  : Tension de circuit ouvert,

$I_{cc}$  : Courant de court-circuit,

$V_m$  et  $I_m$  : Tension et courant au point de puissance maximale  $P_m$ .



### 1.4.1.3.b) Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque :

La puissance générée par une cellule photovoltaïque est donnée par :  $P = V \cdot I$

La puissance maximale est obtenue lorsque :  $dP/dV = 0$

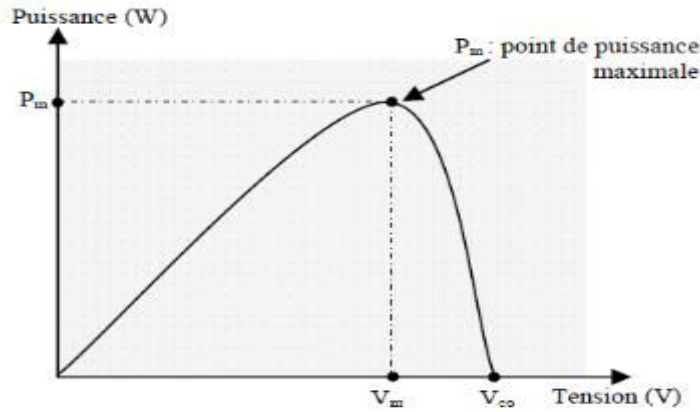


Figure 1.4 : Caractéristique puissance- tension d'un générateur PV [16].

### 1.4.1.3.c) Rendement d'un générateur photovoltaïque :

Le rendement d'une cellule est le rapport entre la puissance maximale disponible et la puissance du rayonnement incident, il est donné par [16] :

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{A \cdot G_a} \quad (1.2)$$

$P_{in}$ : Puissance incidente sur la surface de la cellule photovoltaïque (W)

$G_a$ : Eclairement global incident sur la cellule photovoltaïque ( $W/m^2$ )

$A$ : Surface totale de la cellule photovoltaïque ( $m^2$ ).

### 1.4.1.3.d) Facteur de forme FF:

Il permet de juger de la qualité d'une cellule photovoltaïque. Il est défini comme le rapport entre le point de puissance maximum et la puissance à courant de court-circuit et tension en circuit ouvert [16].

$$FF = \frac{P_m}{V_{co} \cdot I_{cc}} = \frac{I_m \cdot V_m}{V_{co} \cdot I_{cc}} = \frac{\eta \cdot A \cdot G_a}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (1.3)$$

A partir de cette définition, pour une cellule dont la caractéristique I-V est rectangulaire (source de courant), (figure 1.5), le facteur de forme sera donc unitaire.

Le facteur de forme d'une bonne cellule photovoltaïque devra être compris entre 0,75 et 0,85.

Le facteur de forme FF diminue si la température augmente.

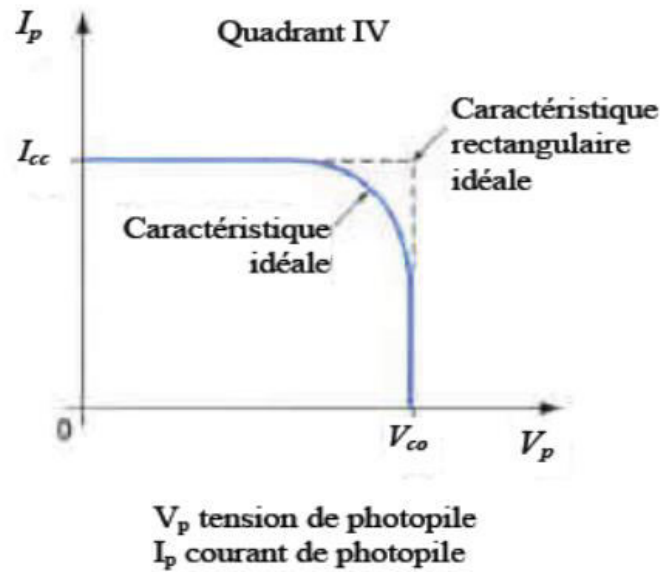


Figure 1.5 : Caractéristique idéale d'une cellule PV [16].

#### 1.4.2 Générateur diesel :

Dans le cas des installations à sources d'énergie renouvelables autonomes, il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un SEH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone. La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse (régulateur de vitesse) sur le moteur diesel [17]. Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constante. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré [9].



**Figure 1.6 :** générateur diesel (SDMO) [9].

### **I.4.3 Systèmes du stockage :**

Le stockage d'énergie est un facteur clé dans un système d'énergie hybride en site isolé. Dans la plupart des cas, les batteries représentent encore la technologie la plus rentable. Elles sont d'habitude du type plomb – acide. Les batteries nickel – cadmium sont rarement utilisées. La technologie des batteries plomb-acide bénéficie en effet d'avantages, tels son faible coût (par rapport à d'autres technologies) et une maturité étayée par un retour d'expérience conséquent. Cette technologie est par ailleurs largement disponible dans le commerce.

Le stockage d'énergie est souvent utilisé dans les petits systèmes hybrides à fin de pouvoir alimenter la charge pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours) [18]. L'emploi des batteries plomb-acide est sujet à des contraintes qu'il est nécessaire de respecter pour garantir son bon fonctionnement et sa longévité. Elles ne peuvent rester longtemps inutilisées sans conséquences néfastes sur leur durée de vie. Les cycles répétés de charge/décharge aléatoires doivent être évités. Leur état de charge ne doit pas atteindre de valeurs extrêmes pour éviter toute dégradation prématurée [11].



**Figure 1.7:** Batteries stationnaires au plomb acide pour système photovoltaïque (Tahifet –Tamanrasset) [19].

Parmi les technologies envisagées pour l'avenir en termes de production d'énergie électrique décentralisée, la pile à combustible est considérée comme une solution très prometteuse [20]. Ce convertisseur d'énergie, à la fois propre et efficace, permet de convertir l'énergie chimique de l'hydrogène, vecteur énergétique fortement pressenti pour le futur par de grands spécialistes mondiaux au vu de son énergie massique 3 fois plus importante que l'essence, en une énergie électrique, utilisable directement, et une énergie thermique qu'il est possible de valoriser. L'utilisation de cette cogénération permet d'atteindre des rendements très intéressants, jusqu'à 80% dans certains cas [9].

#### **1.4.4 Convertisseurs :**

Dans un SEH, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le courant continu (CC) en à courant alternatif (CA) et vice-versa. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les SEH : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

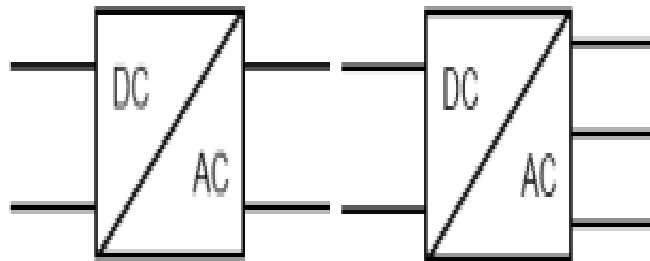
- Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans le SEH, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA. Ce sont des appareils relativement simples, pas chers et à bon rendement ils sont généralement monophasés ou triphasés.
- Les onduleurs convertissent le CC en CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Les onduleurs sont

autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge.

- Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversion CC/CC pour adapter la tension entre deux sources [9].

#### 1.4.5.a) Onduleur :

Un onduleur est un convertisseur statique qui permet la transformation de l'énergie de type continue, en une énergie alternative. La forme de la tension de la sortie de l'onduleur doit être plus proche d'une sinusoïde (l'allure sinusoïdale), c'est que le taux d'harmonique que soit très faible, et ça dépend essentiellement à la technique de commande utilisée [21].



**Figure 1.8:** Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé [21].

#### 1.4.5.b) Structure d'un onduleur :

Les onduleurs triphasés constitués de trois bras chaque bras se compose de deux interrupteurs (figure 1.9). Les interrupteurs choisis, constituent bien une cellule de commutation. Leur fonctionnement doit être complémentaire afin de ne jamais court-circuiter la source continue. Donc les interrupteurs doivent être bidirectionnels en courant, et se compose soit d'un MOSFET et une diode en antiparallèle ou bien un transistor avec une diode en antiparallèle [22].

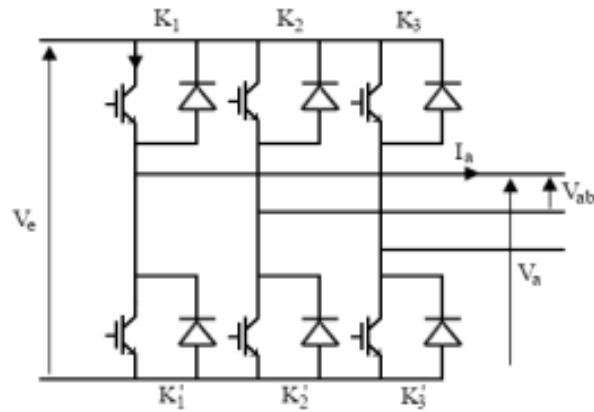


Figure 1.9 : Structure d'un onduleur triphasée [22].

### 1.4.6 Charges électriques :

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Il existe des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eau etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives.

Les charges à CC peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont les variations transitoires de tension et courant pendant les changements dans le fonctionnement du système [9].

### 1.5 Structure des systèmes de génération :

En plus d'un ou plusieurs générateurs diesels (GD) et d'au moins une source d'énergie renouvelable, un SEH peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif (CA), un système de distribution à courant continu (CC), un système de stockage, des convertisseurs, des charges, des charges de délestage et une option de gestion des charges ou un système de supervision. Toutes ces composantes peuvent être connectées en différentes architectures. Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides classiques contiennent deux bus [23] : un bus à CC pour les sources, les charges à CC et les batteries et un bus à CA pour les générateurs à CA et le système de distribution.

Les sources d'énergie renouvelable peuvent être connectées au bus à CA ou à CC en fonction de la dimension et la configuration du système.

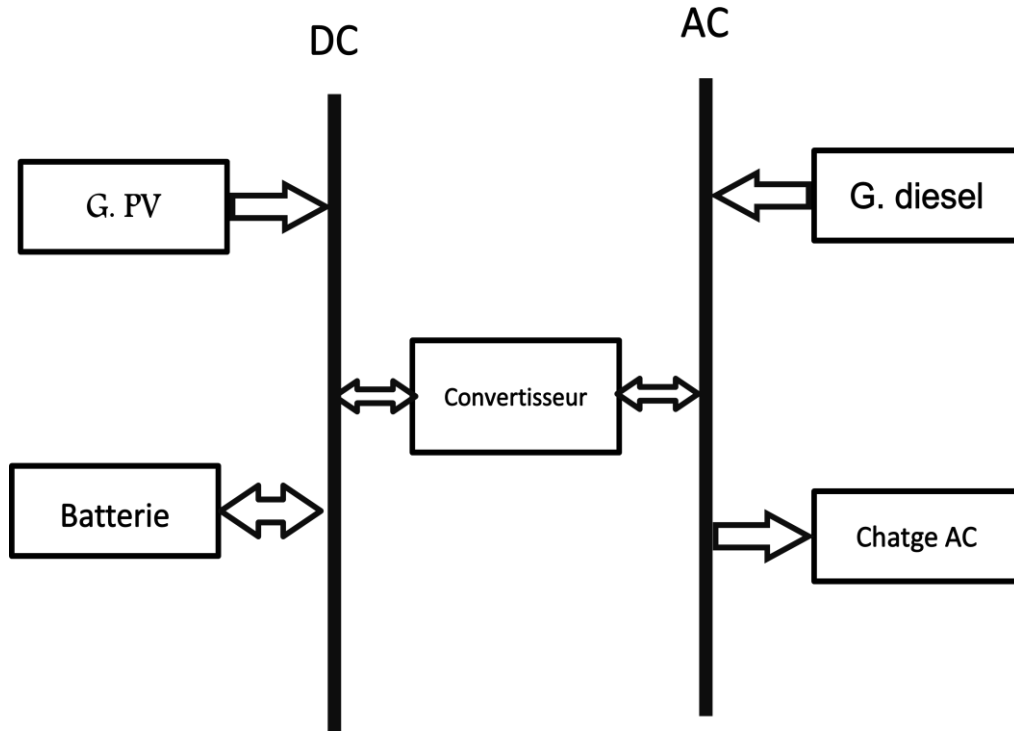


Figure 1.10 : configuration de système

### 1.6 Présentation chronologique des principaux travaux ou réalisations :

Au cours des dernières années, beaucoup de recherches ont été effectuées sur la conception, l'optimisation, le contrôle et l'opération des systèmes hybrides à énergies renouvelables. Les efforts de recherche et de développement dans les technologies d'énergie renouvelable comme le solaire et d'autres sources d'énergie renouvelable doivent continuer afin d'améliorer leurs performances et fiabilité. Compte tenu des récents développements, il est clair que ce domaine prend de l'ampleur. A cause de la nature stochastique des sources d'énergies renouvelables, il est évident que les systèmes hybrides à énergies renouvelables doivent comprendre au moins un système de stockage d'énergie pour satisfaire la demande des charges à tout instant. Ce dernier peut être un banc de batteries, un ensemble électrolyseur pile à combustible ou la combinaison de ces systèmes de stockage.

D'après José L. et collaborateurs [24], les systèmes autonomes hybrides à Energies renouvelables sont généralement plus adaptés que les systèmes qui ont une seule source d'énergie pour l'approvisionnement en électricité des applications hors réseau, en particulier dans les zones reculées et difficiles d'accès. Ces types de systèmes démontrent une plus grande fiabilité que les systèmes simples PV ou éolien. Les systèmes hybrides les plus utilisés sont les combinaisons PV -Éolien-Batterie et PV-Diesel- Batterie. Les batteries (normalement

de type plomb-acide) sont habituellement utilisées comme système de stockage. Le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène, bien que techniquement viable, a un inconvénient en terme de sa faible efficacité dans le processus de conversion électricité-hydrogène-électricité, outre le fait que, sur le plan économique, il ne peut pas rivaliser avec le stockage de la batterie à l'heure actuelle [24].

La combinaison hybride de PV-systèmes diesel-batterie est économiquement possible dans de nombreux cas pour l'approvisionnement en énergie électrique dans les régions isolées où l'utilité électrique n'est pas disponible. Système photovoltaïque a une plus grande fiabilité pour la production d'électricité qu'un système PV seulement ou diesel uniquement. Cela signifie que les systèmes d'énergie hybride d'une plus grande souplesse, une plus grande efficacité et une réduction des coûts pour la même quantité d'énergie (production Ashari et al. 2001) [25].

. En outre, l'intégration de système PV avec stockage de la batterie et l'unité de diesel comme système de sauvegarde permet une réduction de coûts de fonctionnement et les polluants atmosphériques émis dans l'atmosphère (Wies et al. 2004) [25].

En Algérie, des mesures ont été tracées pour une nouvelle stratégie nationale pour le développement rural, sur un horizon de dix ans (2005/2015), et plan de renouveau rural. La partie relative à l'énergie renouvelable et à la promotion de l'efficacité énergétique est un objectif important dans la politique énergétique nationale. Ainsi, également le stockage et la consommation de l'énergie, en particulier l'électricité [25].

Parmi les sources d'énergie renouvelables, l'énergie solaire est un candidat approprié, car il permet la conversion directe de cette forme d'énergie à l'énergie électrique à l'aide de systèmes photovoltaïques (PV) (Reisi et al., 2013) [25].

. Plusieurs projets dans le domaine de système d'énergie renouvelable (RES) sont développés au cours des deux dernières décennies. De plus en plus de preuves du réchauffement des phénomènes, l'épuisement rapide des ressources en énergies fossiles et de l'escalade rapide de la population du monde a provoqué une large attention à chercher l'énergie de RES (Yazdanpanah, 2014) [25].

-À travers ces différentes études, nous constatons que les systèmes hybrides à énergies renouvelables constituent une solution viable, économique et efficace pour les régions éloignées, difficiles d'accès et dépourvues de réseau électrique.



### **1.7 Présentation de la contribution de l'étudiant :**

On s'intéresse dans notre travail à faire le dimensionnement et l'optimisation du système hybride PV /groupe électrogène pour alimenter une charge équivalente à un village de 10 habitation au site **Ilamane** à Tamanrasset en utilisant le logiciel Homer pour l'optimisation. Notre système hybride de production électrique doit utiliser l'énergie photovoltaïque comme source primaire et le groupe électrogène comme système d'appoint.

Nous allons aussi faire un profil de charge sur le village **Ilamane**. Nous allons s'intéresser au cout réel de ce type d'installation en Algérie et en Dinars Algérien entre la bourse et le marché algérien.

### **1.8 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la structure du système hybride PV /groupe électrogène diesel. Les différents composants ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes hybrides.

Dans le deuxième chapitre on va parler dans un premier temps sur le site désigné pour notre travail, les données météorologiques, ainsi que le profil.

# **CHAPITRE 2**

## 2.1 Introduction :

L'étude des différentes architectures des mini-réseaux à SEH pour l'électrification d'un petit village et leurs dimensionnements sont très importants. Dans ce chapitre on abordera dans un premier temps la présentation du site désigné pour notre travail, les données météorologiques et l'élaboration du profil. Ensuite on va exposer le dimensionnement des différents composants de notre système et le choix du câblage.

## 2.2 Les ressources météorologiques :

### 2.2.1) position de site :

Ilamane (latitude 23.12 N- longitude 5.27 E) dans le sud ou Sahara Algérien, wilaya de Tamanrasset. Tamanrasset compte 176 636 habitants sur une superficie de 558 310 km<sup>2</sup>. La densité de population de la Wilaya de Tamanrasset est donc de 0,3 habitants par km<sup>2</sup>.

C'est la plus grande ville du Sahara, ancien point de rencontre des caravanes, qui regroupe plusieurs petits villages autour d'une oasis. Elle se trouve au cœur du parc national du Tassili des Ajjer. Tamanrasset est situé dans les montagnes du Hoggar, à plus de 1400 mètres d'altitude. Les températures estivales y dépassent rarement 36 °C avec un bon éclairage.



**Figure 2.1** : Village d'ilamane de Tamanrasset [google earth].

### 2.2.2) Les données météorologiques :

Les performances des modules photovoltaïques sont directement corrélées aux données climatiques qui sont en principe l'irradiation solaire et la température ambiante. Ces données sont prises grâce au système d'acquisition, mesurées à un pas de temps fin qui est de 10 minutes. Pour chaque jour de l'année le kit prévoit l'acquisition des grandeurs ci-dessous:

La taille de chaque vecteurs de grandeur ( $6 * 366 \text{ jours} * 24 \text{ heures} = 52704$  données) est trop importante pour un calcul rapide ; il est donc nécessaire de le réduire. Pour cela, nous avons choisi de prendre un pas de temps d'une heure, alors la taille du vecteur devient ( $366 \text{ jours} * 24 \text{ heures} = 8784$ ). L'évaluation annuelle des caractéristiques climatiques du site est présentée dans (la figure 2.2).

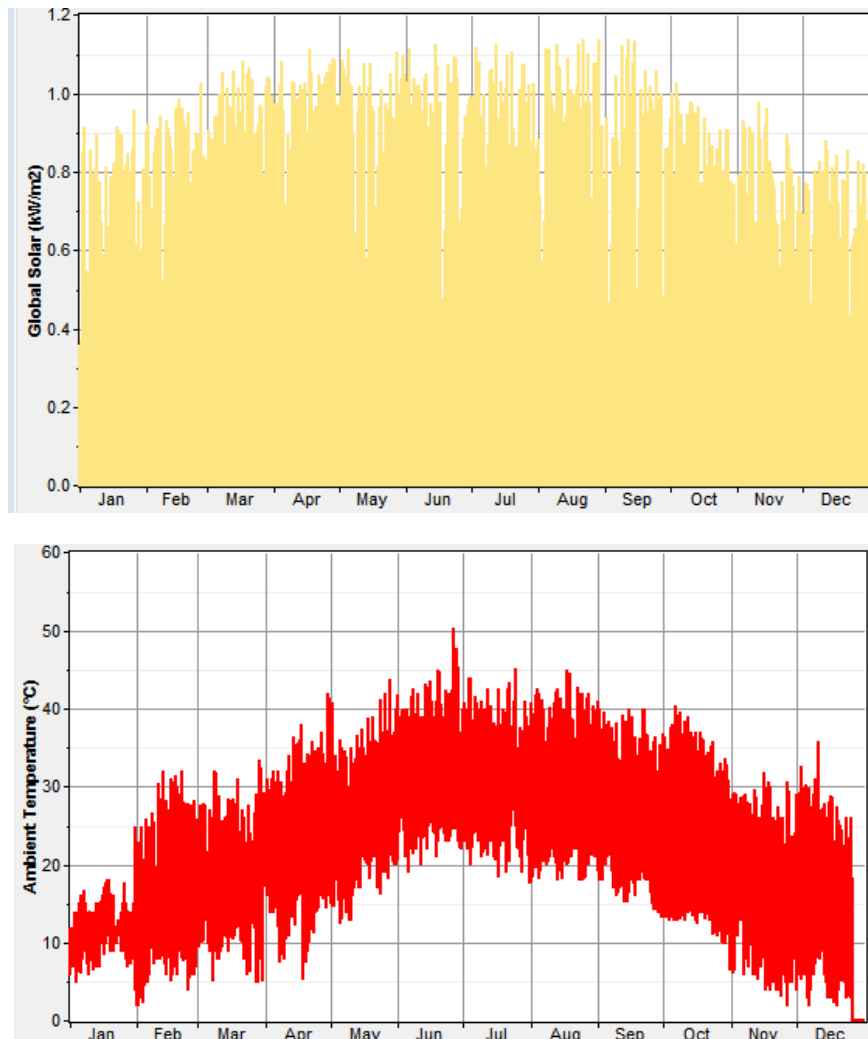


Figure 2.2 : caractéristiques climatiques du site ilamane.

## 2.3 Le profil de charge :

A ce jour, il n'existe pas des études statistiques officielles sur la consommation énergétiques des foyers en Algérie. Durant notre recherche bibliographique, nous avons trouvé seulement une étude réalisée par le Centre National des Recherches Intégrées aux Bâtiments (CNERIB) sur la consommation énergétique des appartements dans les villes du nord d'Algérie, la consommation énergétique journalière moyenne est environ 6027 Wh/j [26].

Cette situation, nous a contraints de proposer un profil de charge pour ce village basé sur une enquête auprès des habitants des villes du grand sud. Cette étude tient en compte l'aspect niveau de vie, traditions, comportement et habitudes selon les deux saisons distinctes qui sont l'hiver et l'été. Ainsi, nous avons choisi un profil de consommation dont la demande consiste essentiellement à satisfaire les besoins énergétiques de base (éclairage, réfrigération, TV, ventilation). Le nombre d'habitations à électrifier est 10 habitations. Par ailleurs, nous avons considérés les hypothèses suivantes :

-L'habitation sera occupée en permanence durant toute l'année.

-Les équipements électriques sont à basse consommation et fonctionnent sous une tension standard 220V-50 HZ (tension secteur), il ne faudra pas que l'utilisateur puisse remplacer les appareils à basse consommation par des appareils à consommation normale.

Nous avons considéré deux profils de charge :

Hivernal (S1: Octobre; Novembre; Décembre, Janvier, Février; Mars) et Estival (S2 : Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout, Septembre), les tableaux 3.1 et 3.2 présentent respectivement le profil de consommation énergétique horaire et journalière pour les périodes estivale et hivernale.

Nous supposons pour :

### 2.3.1 L'éclairage :

Le nombre d'heures d'éclairage dépend de la durée du jour selon les saisons. En plus, dans les régions rurales, les heures du lever et du coucher des habitants sont fortement liés à l'heure du lever et du coucher du soleil.

Ainsi dans ce travail, le début d'utilisation de la lumière est supposée être à 06:00 h du matin pour les deux saisons. Par contre, la lumière s'éteint à 22:00h en Hiver et 23:00h en

Eté.

La puissance de l'éclairage change d'un endroit à l'autre et elle est liée à la surface des chambres et la fréquence d'utilisation.

### 2.3.2 La réfrigération :

La puissance moyenne du réfrigérateur est supposée égale à 250 W. Le nombre d'heures de fonctionnement du réfrigérateur est considéré 24h/24h pour les deux saisons.

### 2.3.3 La ventilation :

Nous supposons qu'il n'est sollicité que durant la période estivale (Avril Septembre) et le nombre d'heures d'utilisation est 6 h / 24 h.

## 2.4 Profil de consommation utilisé dans notre étude d'une habitation :

### 2.4.1 Profil de consommation hivernal :

Appareils	Nombre	Puissance unitaire (W)	Durée d'utilisation (h)	Puissance (W)	Energie (Wh)
<b>Télé + démo (TD)</b>	1	100	7	100	700
<b>Lampe à LED (L)</b>	9	10	9	90	810
<b>Réfrigérateur (F)</b>	1	250	24	250	6000
<b>Machine à laver (ML)</b>	1	2000	2	2000	4000
<b>PC portable (PC)</b>	1	65	2	65	130
<b>Téléphone Mobile (T)</b>	2	3	1	6	6
<b>Radio (R) [27]</b>	1	30	4	30	120
<b>TOTAL</b>				<b>P<sub>tot</sub>=2541</b>	<b>E<sub>c</sub>=11766</b>

**Tableau 2.1** : profil de consommation hivernal.

**2.4.2 Profil de consommation estival :**

Appareils	Nombre	Puissance unitaire (W)	Durée d'utilisation (h)	Puissance (W)	Energie (Wh)
<b>Télé + démo (TD)</b>	1	100	9	100	900
<b>Lampe à LED (L)</b>	9	10	7	90	630
<b>Réfrigérateur (F)</b>	1	250	24	250	6000
<b>Machine à laver (ML)</b>	1	2000	2	2000	4000
<b>PC portable (PC)</b>	1	65	2	65	130
<b>Ventilateur (V) [27]</b>	1	45	6	45	270
<b>Téléphone Mobile (T)</b>	2	3	1	6	6
<b>Radio (R) [27]</b>	1	30	3	30	90
<b>TOTAL</b>				<b>P<sub>tot</sub>=2586</b>	<b>E<sub>c</sub>=12026</b>

**Tableau 2.2 : profil de charge estival.**

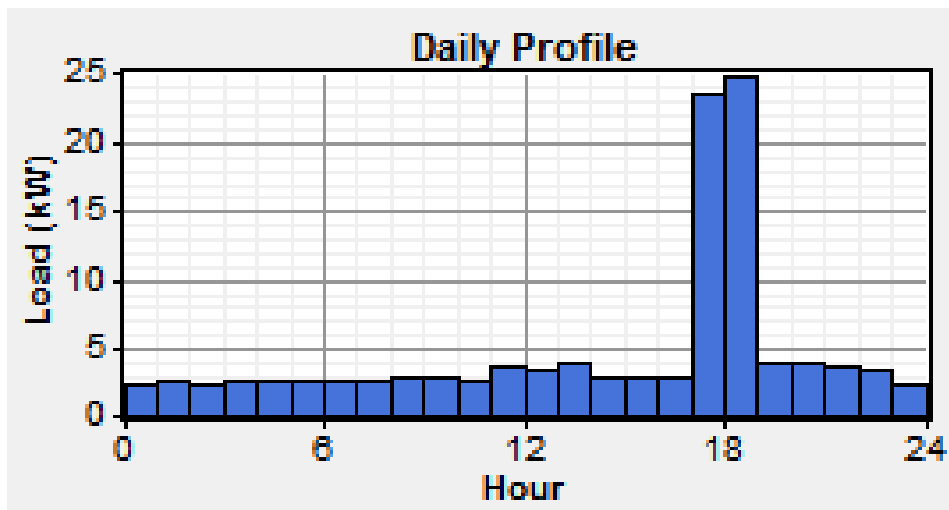
### 2.4.3 Profil de consommation énergétique horaire d'une habitation :

semestre Heure	S1: Hivernal	S2 : Estival
01	F=250 (w)	F=250(w)
02	F =250(w)	F=250(w)
03	F=250(w)	F=250(w)
04	F =250(w)	F=250(w)
05	F=250(w)	F=250(w)
06	F+3L =280 (w)	F+2L=270(w)
07	F+ 5L=300(w)	F+2L=270(w)
08	F+ 5L=300(w)	F=250(w)
09	F+ R =280(w)	F+R=280(w)
10	F+ R=280(w)	F+R=280(w)
11	F+R=280(w)	F+R=280(w)
12	F+R=280(w)	F+TD=350(w)
13	F+ TD =350(w)	F+TD=350(w)
14	F+TD=350(w)	F+TD+VL=395(w)
15	F=250 (w)	F+V=295(w)
16	F= 250(w)	F+V=295(w)
17	F+1L= 260 (w)	F+V=295(w)
18	F+TD+6L+ML+PC=2475(w)	F+TD+V+ML+PC=2460(w)
19	F+TD+6L+ML+PC+T=2478(w)	F+TD+V+2L+ML+PC+T=2483(w)
20	F+TD+4L+T=393(w)	F+TD+3L+T=383(w)
21	F+TD+4L=393(w)	F+TD+3L=380(w)
22	F+TD+4L=393(w)	F+TD+3L=380(w)
23	F=250(w)	F+TD+2L=370(w)
24	F=250(w)	F=250(w)
<b>Le jour : Energie total (kWh/j)</b>	11.342 (kWh/j)	11.566 (kWh/j)

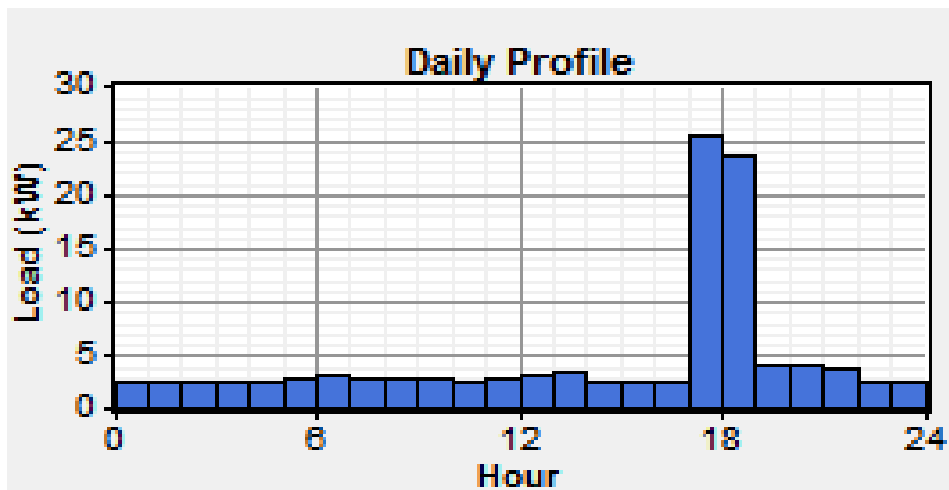
**Tableau 2.3 :** Profil de consommation horaire d'une habitation.



### Profil de charge estival



### Profile de charge hivernal



**Figure 2.3:** Courbes de profils de charge horaires d'une habitation donnée par logiciel Homer.

La demande énergétique est faible dans l'intervalle de [1-4h et 14-16h] et [23-24h], ainsi elle est importante dans l'intervalle de [17-18h] pour l'hiver et été

Dans l'intervalle [11-13h et 19-22h] été et [11-13h et 19-22h] hiver elle est moins important  
 Nous remarquons que la demande est maximale dans la saison d'hiver et été à l'intervalle [18-19h]. Mais la demande journalière estivale est supérieure à la demande journalière hivernale qui est due à l'utilisation de la ventilation durant les périodes chaudes de la journée.

## 2.5 Dimensionnement technico-économique :

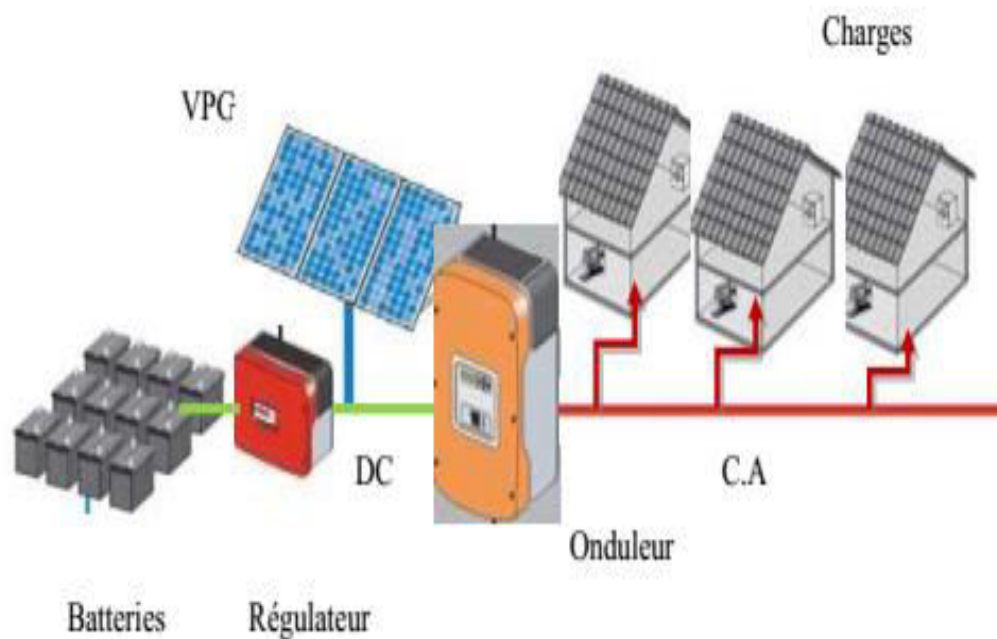
Le dimensionnement des systèmes PV est toujours confronté à deux critères essentiels qui sont le gisement solaire et la charge, entre lesquels se trouvent les dispositifs de conversion et de régulation pour gérer l'énergie mise en jeu et le système de stockage pour pallier à la non disponibilité de la source solaire.

Le dimensionnement d'une installation PV repose sur la détermination du nombre nécessaire de panneaux solaires constituant le champ photovoltaïque suffisant pour couvrir les besoins de la charge ainsi que la capacité de charge de la batterie [1].

### 2.5.1 Dimensionnement de système de génération :

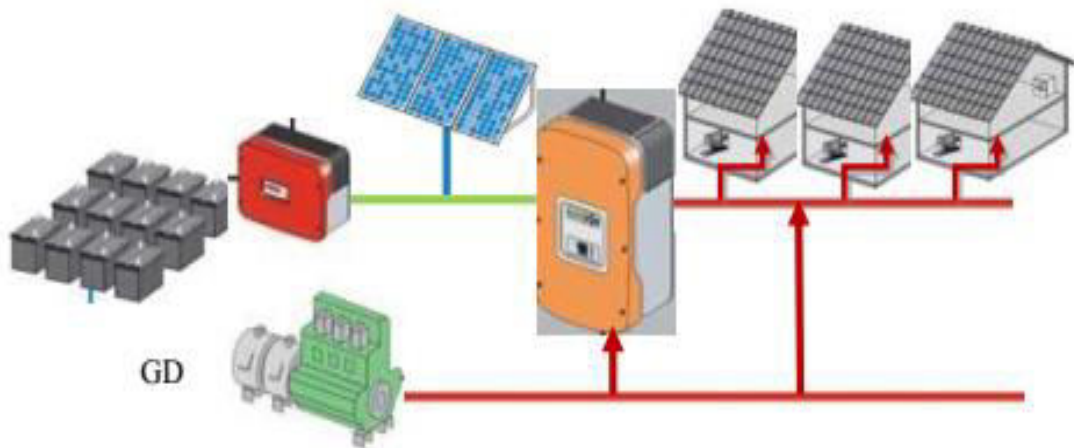
Pour le site choisi dans cette étude l'installation du système de production à énergies renouvelables peut répondre à l'une des variantes suivantes:

**-Variante 1** : une énergie d'origine photovoltaïque à 100%, avec un groupe électrogène utilisé en cas de nécessité pour recharger les batteries seulement ou en cas extrême de panne de l'onduleur ou du Générateur PV. Le dimensionnement sera fait selon le mois où le rapport ensoleillement charge est le moins favorable [1].



**Figure2.4** : Configuration de la variante 1 [1].

**-Variante 2:** une énergie hybride d'origine photovoltaïque en grande partie et l'autre partie d'origine fossile assurée par le groupe électrogène. c.à.d. le dimensionnement est fait selon le mois où le rapport ensoleillement charge est le plus favorable, Pour les autres mois le manque d'énergie sera compensé par le groupe diesel [1].



**Figure2.5 :** Configuration de la variante 2 [1].

### 2.5.2 Dimensionnement du générateur photovoltaïque:

La puissance crête du générateur photovoltaïque est donnée par [1] :

$$P_c = E_T \cdot G_{ref} / F_{cg} \cdot G \quad (2.1)$$

**G<sub>ref</sub>** : Irradiation de référence

**F<sub>cg</sub>** : Facteur de performance du Générateur PV

**E<sub>T</sub>** : énergie électrique totale journalière consommée par le système (charge + les pertes) en kWh.

$$E_T = EL / \eta \quad (2.2)$$

**EL** : Energie demandée par la charge

$$\eta = \eta_{ond} \cdot \eta_{bat} \quad (2.3)$$

**η** : rendement lié aux pertes dans les connexions, l'onduleur et les batteries. La tension de la barre principale est la tension du système, elle est fixée par la puissance crête. Pour une grande puissance il faut choisir une grande tension pour minimiser le courant de sortie et les pertes dans les câbles de transport [1].

$$N_{pv} = P_c / P_{npv} \quad (2.4)$$

$$N_{pvs} = VCC / V_{npv} \quad (2.5)$$

$$N_{branche} = N_{pv} / N_{pvs} \quad (2.6)$$

**$P_{npv}$**  : Puissance nominale du module pv

**VCC** : Tension du système (bus CC)

**$V_{npv}$**  : tension nominale du module PV

**$N_{pv}$**  : le nombre de modules

**$N_{pvs}$**  : le nombre de modules en série

**Nbranche** : le nombre de branches.

### 2.5.3 Dimensionnement du groupe électrogène :

Les groupes électrogènes dont on parle dans les systèmes mini-réseaux hybrides pour l'électrification rurale dans les sites isolés sont généralement utilisés comme appoints pour compléter le manque d'énergie.

Le choix de la puissance du GD dépend de la puissance du site, des pics de consommation et des appareils utilisés.

- La puissance nominale du GD doit être supérieure à la puissance moyenne de consommation du site, afin de ne pas risquer une surcharge à l'appareil et son endommagement irréversible. D'un autre côté, prendre trop gros induit une grande consommation de carburant par rapport aux besoins.
- la puissance nominale du GD doit être supérieure aussi à la puissance du pic et à la puissance de démarrage de certains appareils (réfrigérateur, ventilateur,...) Pour notre site la puissance du GD est de 43 KW [1].

La puissance du groupe diesel fournie au réseau est proportionnelle à la puissance nominale [28].

$$P_{nGD} \cdot ks = E_{GD} / \Delta t \quad (2.7)$$

**$E_{GD}$**  = énergie du GD sur une journée.

$\Delta t$  = temps de marche de GD sur une journée.

$K_s$  : coefficient de sécurité lié aux différentes pertes dans le mini - réseau.

L'énergie du GD fournie sert à recharger les batteries en cas où le rayonnement fait défaut plus de la période d'autonomie. Le GD est de secours, il travaille rarement.

Le générateur diesel ainsi que les sources renouvelables sont connectés sur le bus CC de la batterie. Cas de la Variante 1.

L'énergie du GD fournie fait le complément de l'énergie du système. Le générateur diesel est connecté sur le bus CA, Cas de la Variante 2 [1].

### 2.5.4 Dimensionnement du système de stockage :

Après avoir calculé l'énergie exigée par le système en watt heure par jour, il est nécessaire de passer au dimensionnement du système de stockage indispensable pour faire face aux heures de non production. Ce dimensionnement est exigé dans le cas où le système de stockage est considéré dans le site comme composant technique nécessaire.

Dans la pratique, on tient compte de deux paramètres dans ce calcul et qui sont liés au calcul technico-économique. Il s'agit de la tension de la barre de distribution et des jours d'autonomie.

Un nombre de jours d'autonomie de telle sorte que le système de stockage peut pallier au système de production. Le nombre de jours d'autonomie dans notre cas est de 03 jours [1].

#### 2.5.4.a) Energie et capacité de stockage :

L'énergie du stockage est soumise à différentes pertes.

Ces pertes sont représentées par le facteur [1] :

$$R_f = \eta \cdot F_{déch} \quad (2.8)$$

$$E = EL / R_f \quad (2.9)$$

$R_f$  : les pertes sont représentées par le facteur

$E$  : énergie de stockage

La capacité de stockage est :

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U_{bat}} \quad (2.10)$$

C : capacité de la batterie en ampère. Heure (Ah)

$E_c$  : énergie consommé par jour (Wh/J)

N : nombre de jour d'autonomie (3 jours)

D : décharge maximale admissible (0.8 pour les batteries au plomb)

$U_{bat}$  : tension de la batterie (24V)

#### 2.5.4.b) Nombre de batteries :

Le nombre des batteries est [1] :

$$N_{bat} = C_{bat} / C_{nbat} \quad (2.11)$$

$C_{bat}$ : capacité de stockage

$C_{nbat}$ : capacité nominale de la batterie

Le nombre de batteries en série est [1] :

$$N_{bats} = V_{CC} / V_{bat} \quad (2.12)$$

Le nombre de batteries en parallèle [1] :

$$N_{batp} = N_{bat} / N_{bs} \quad (2.13)$$

#### 2.5.5 Dimensionnement du convertisseur :

Dans le cas de la Variante 1 le générateur diesel ainsi que les sources renouvelables est connecté sur le bus CC de la batterie, L'onduleur contrôle la tension réseau et doit donc avoir une puissance supérieur au pic de consommation et proche de la puissance du Générateur PV.

Pour la Variante 2 le générateur diesel est connecté sur le bus CA. L'onduleur est bidirectionnel permettant la charge des batteries depuis le bus CA, sa puissance doit être Proche de celle du GD [1].

### 2.5.6 Choix du câblage :

Mises à part les pertes dans les appareils d'interfaces (convertisseurs ; batteries.) qui sont représentées par le rendement de chaque appareil, il y'a les pertes de puissance par effet joule dans les conducteurs ohmiques. C'est sur la partie courant continu (CC) que les courants sont importants ce qui provoque les pertes d'énergie et les chutes de tension, d'où l'importance du dimensionnement des câbles (section). Pour des sections mal dimensionnées il y aura plus de pertes d'énergie, d'économie, chauffage des câbles etc [1].

Le choix de la tension de distribution sur le bus CC est fait selon les conditions suivantes [1] :

12 V pour  $P_c < 150 \text{ Wc}$

24V pour  $150 \text{ Wc} < P_c < 1000 \text{ Wc}$

48V pour  $P_c > 1000 \text{ Wc}$  [1]

Calcul du courant

$$\bullet P_n = V_{cc} \cdot I \quad (2.14)$$

$$\bullet I = P_n / V_{cc} \quad (2.15)$$

$P_n$  : puissance nominale Du composant (Générateur PV ; Batterie; Onduleur ; Régulateur)

#### 2.5.6.a) Calcul de la résistance maximale de la ligne [1] :

Chute de tension est :  $\Delta V / V_{cc}$

• Pour plus de fiabilité on prend  $\Delta V / V_{cc} = 2\%$

Résistance max de la ligne est :

$$R_{\max} = \Delta V / I \quad (2.16)$$

$R_{\max}$  : Résistance max de la ligne

#### 2.5.6.b) Calcul de la section [1] :

$$S_e = \rho \cdot L_{\epsilon} / R_{\max} \quad (2.17)$$

$$S_e = \rho \cdot L_{\epsilon} \cdot P_n / (V_{cc} \cdot \Delta V) \quad (2.18)$$

$\rho$ : résistivité du conducteur ( $1.6.10^{-8} \Omega.m$  pour le cuivre)

$L_e$  : longueur de la ligne électrique.

## 2.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présentés un dimensionnement technico-économique du SEH, des modèles mathématiques simples existe dans la littérature pour estimer la taille de chaque composant du système hybride à partir des données des constructeurs (exemple :  $P_{crête}$  du module; caractéristiques de la batterie...etc). Ainsi nous avons présentés la position du site Ilamane (village de Tamanrasset) et ces données Météorologiques (la température et l'irradiation solaire).

Une étude détaillée du profil de consommation estivale et hivernal utilisé pour notre travail est montré dans ce chapitre.

Pour montrer l'efficacité et la fiabilité de notre système hybride les données présentés sur ce chapitre seront utilisés dans le chapitre suivant sur dédié au le dimensionnement optimale et la simulation du fonctionnement système hybride PV/Diesel avec logiciel Homer.



# **CHAPITRE 3**

### **3.1. Introduction :**

Dans le chapitre précédent on a présenté une description de dimensionnement technico-économique du SEH nous avons utilisé des modèles mathématiques simples pour estimer la taille de chaque composant du système hybride à partir des données des constructeurs .Dans ce chapitre, nous allons présenter le dimensionnement et la simulation d'un système hybride pour l'électrification rurale d'un site dans le sud Algérien. Nous allons utiliser le logiciel HOMER pour le dimensionnement optimale et la simulation du fonctionnement du même système hybride. Les différents résultats de notre système seront présentés et analysés. Après on va convertir les prix de dollar en dinar Algérien et faire une comparaison entre ces prix et les prix des composants dans le marché Algérien et conclure le coût le moins cher.

### **3.2 Le logiciel Homer :**

HOMER est un logiciel pour la simulation et l'optimisation de systèmes de génération électrique distribuée développé par le National Renewable Energy Laboratory (NREL) [29]. Le modèle doit être renseigné avec ressources disponibles, des options technologiques, des coûts et des charges à respecter par le système. Les composants qui peuvent être modélisés sont des modules photovoltaïques, des éoliennes, des générateurs, des batteries, des convertisseurs AC/DC, des électrolyseurs, des réformateurs, des réservoirs d'hydrogène. Les éléments clés du modèle sont les deux bus AC et DC, auxquels chaque convertisseur doit être lié. Les charges peuvent être saisies en tant que profil de charge quotidien ou importées d'un fichier de données horaires. En tout état de cause, les valeurs horaires des charges doivent être définies pour chacune des 8760 heures d'une année. En ce qui concerne les composants, des fonctions de coût linéaires sont adoptées et les dimensions des composants à prendre en considération doivent être préalablement prévues afin de réaliser l'optimisation. Le nombre de tailles multiplié par le nombre de composants donne le nombre de configurations de systèmes simulés par le programme.

HOMER est un modèle de séries chronologiques qui effectue un bilan énergétique horaire le long d'une année pour chaque configuration de système rentrée par l'utilisateur. Il affiche ensuite la liste des configurations de systèmes triés par le coût actuel net (qui combine le coût en capital - annualisé par l'amortissement du composant au cours de sa durée de vie en utilisant les taux d'actualisation réelle et celui de remplacement, fonctionnement et entretien). Des analyses de sensibilité peuvent également être effectuées pour certaines variables (par

exemple des coûts de carburant, la vitesse moyenne annuelle du vent). Enfin, une analyse de contrainte peut également être effectuée au moyen d'un facteur de capacité annuelle limitée à une valeur maximale : si ce paramètre est fixé à 0%, alors le système doit satisfaire les charges tout le temps, alors que s'il est fixé à des valeurs de 1% à 5% des économies considérables en puissance de crête et des différences entre les scénarios optimisés sont obtenus [30].

HOMER est largement utilisé et accepté comme un outil de simulation distribué, tant au niveau national que international. De nombreuses analyses de systèmes énergétiques hybrides ont été effectuées à l'aide de cet outil et ont été publiées sous forme d'articles, en particulier sur la revue « Renewable Energy » : voir par exemple les travaux de Iqbal [31] pour des applications dans les Newfoundland (au Canada), Shaahid et Elhadidy [32] pour les systèmes hybrides photovoltaïques-diesel-batteries, Beccali et al.[33] pour les systèmes SER à hydrogène.

### **3.3 Description du système :**

Au début, il faut schématiser le système, par le choix des composants qui fournissent l'énergie à la charge (photovoltaïque, générateur diesel, pile à combustible.....etc.), plus les unités de stockage (batterie, réservoir d'hydrogène). Tous les composants sont connectés avec la charge à l'aide d'un convertisseur AC\DC, et avant de simuler le comportement du système, il faut connaître les paramètres d'entrée et les paramètres de sortie du système.

<b>Paramètres d'entrée</b>	<b>Paramètres de sortie</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimension en KW de chaque composant.</li> <li>- Duré de vie par an ou par heure.</li> <li>- Les ressources (radiométriques, météorologiques)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût d'un KW en \$.</li> <li>- Coût de remplacement.</li> </ul> </li> <li>- Coût d'opération et de maintenance en \$/an et en \$/heure respectivement.</li> <li>- Prix du carburant utilisé pour le générateur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fraction d'utilisation annuelle pour les deux sources d'énergies (fossile et renouvelable)</li> <li>- L'énergie annuelle fournie pour chaque composant                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'excès d'énergie.</li> <li>- Coût d'énergie produite.</li> <li>- L'investissement initial.</li> <li>- Le coût actuel net NPC.</li> </ul> </li> <li>- L'émission des gaz à effet de serre</li> </ul>

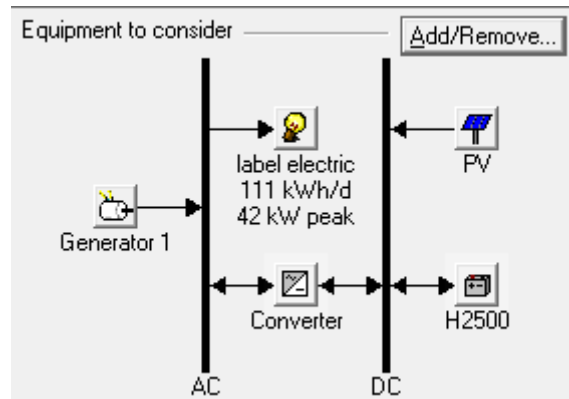
**Tableau 3.1** : les paramètres d'entrée et de sortie du système pour le logiciel Homer.

### 3.4 Résultats de simulation et discussion :

#### 3.4.1. Dimensionnement du système :

La configuration de l'installation à dimensionner est la suivante :

- 1) Générateurs photovoltaïque
- 2) Batteries
- 3) Convertisseurs
- 4) Générateurs diesel
- 5) La charge



**Figure 3.1** : Configuration de l'installation PV/Diesel à dimensionner par logiciel Homer.

La **Figure 3.1** : présente le schéma du système adopté pour la simulation. Dans ce schéma le convertisseur permet la circulation du courant dans les deux sens (AC/DC et DC/AC) ; le générateur photovoltaïque et les batteries produisent un courant continu connecté avec la charge à l'aide du convertisseur et d'autre part, le groupe électrogène permet la charge des batteries à travers le convertisseur.

### 3.4.2 Les données météorologiques :

#### 3.4.2.a) L'irradiation

Les données d'ensoleillement peuvent être introduites de trois façons différentes : Saisir à la main pour chaque mois, importer des données d'après un fichier texte, ou bien les chargées via l'internet, pour cette dernière possibilité il faut juste indiquer l'emplacement de l'endroit de l'installation en indiquant son Latitude et son Longitude.

Dans notre cas importer des données chargées via l'internet et indiquer l'emplacement de site ilamane (Tamanrasset)

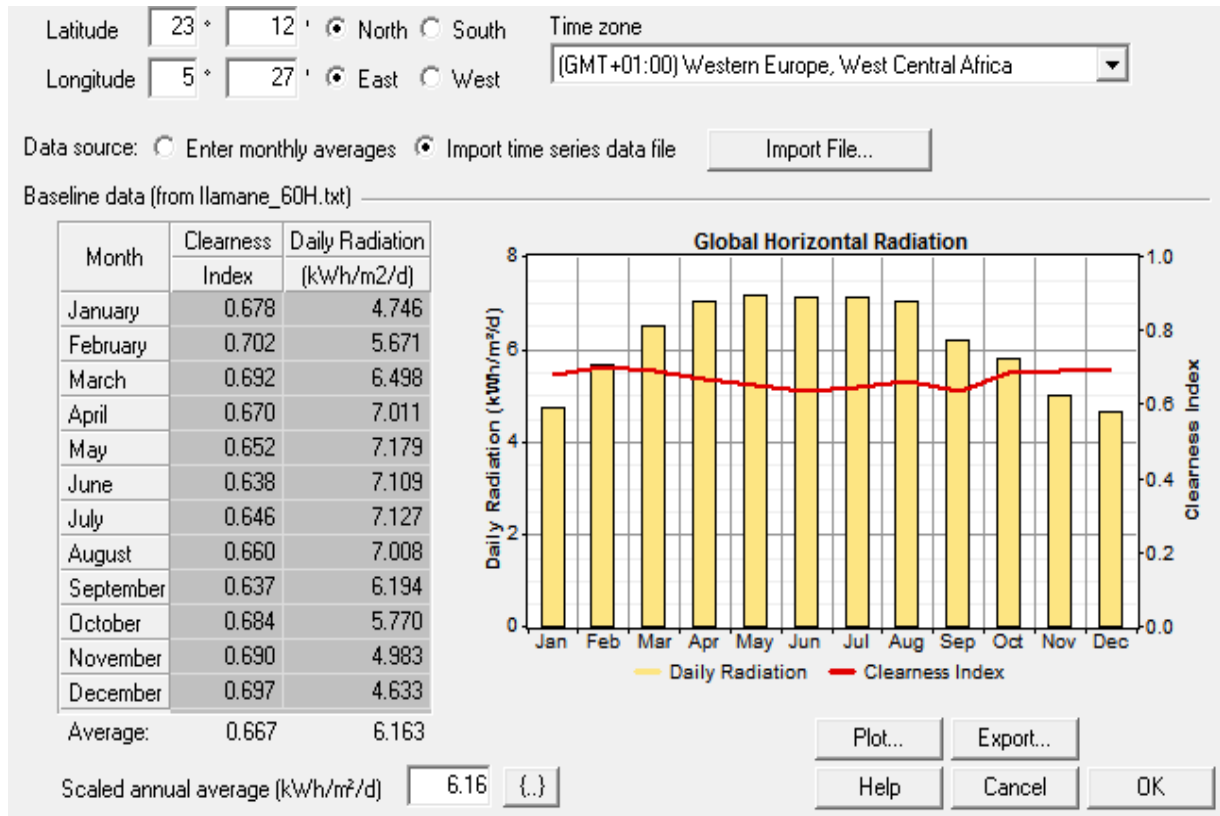


Figure 3.2 : les données annuelles d’ensoleillement du site Ilamane.

### 3.4.2.b) La température :

Les données de température peuvent être introduites de trois façons différentes : Saisir à la main pour chaque mois, importer des données d’après un fichier texte, ou bien les chargées via l’internet, pour cette dernière possibilité il faut juste indiquer l’emplacement de l’endroit de l’installation en indiquant son Latitude et son Longitude.

Dans notre cas importer des données d’après un fichier texte

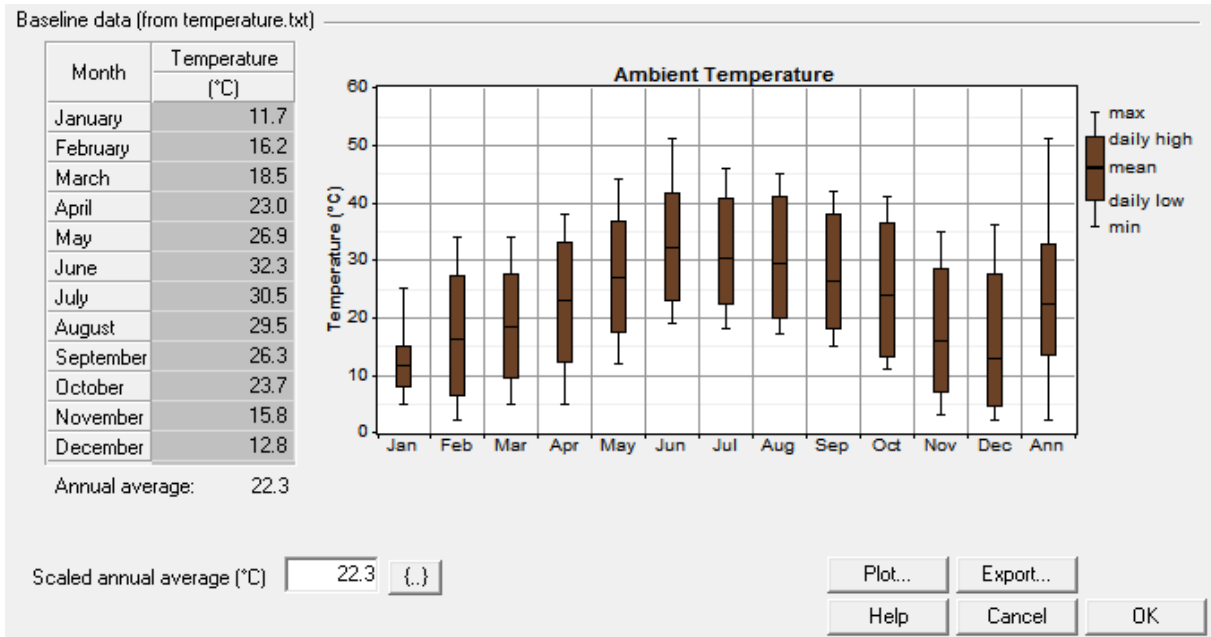


Figure 3.3 : les données annuelles de température du site Ilamane

### 3.5 Le profil de charge :

Nous avons considéré deux profils de charge

Hivernal (S1: Octobre; Novembre; Décembre, Janvier, Février; Mars)

Estival (S2 : Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout, Septembre)

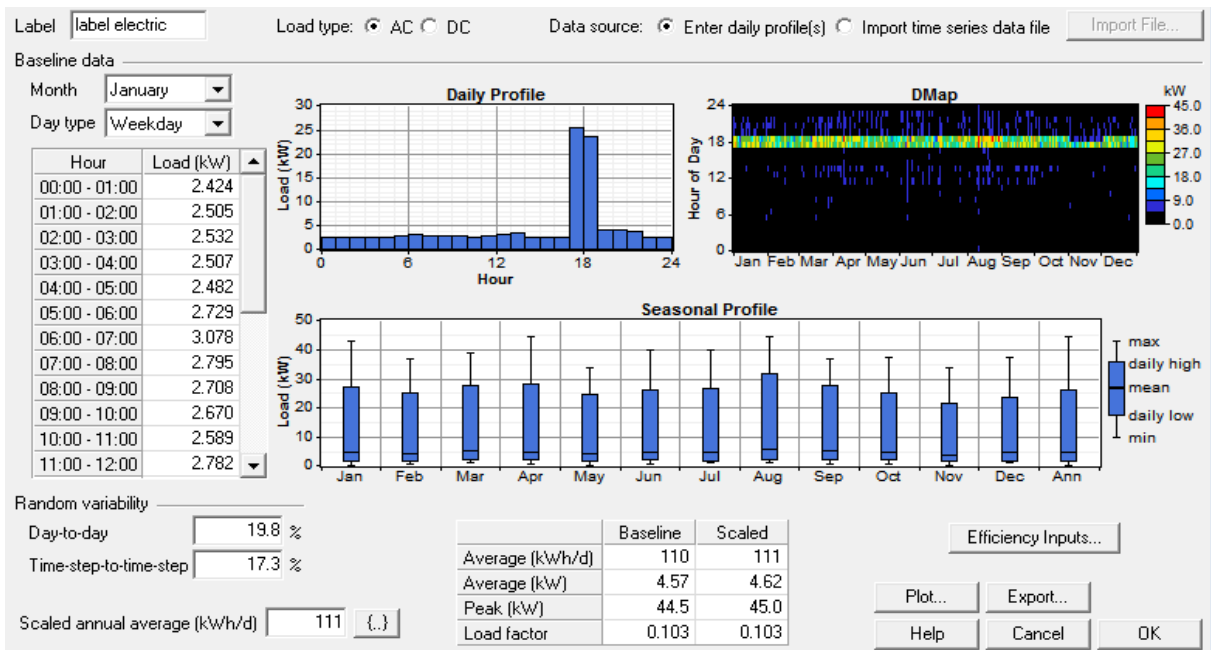


Figure 3.4 : profil de charge hivernal du site Ilamane.

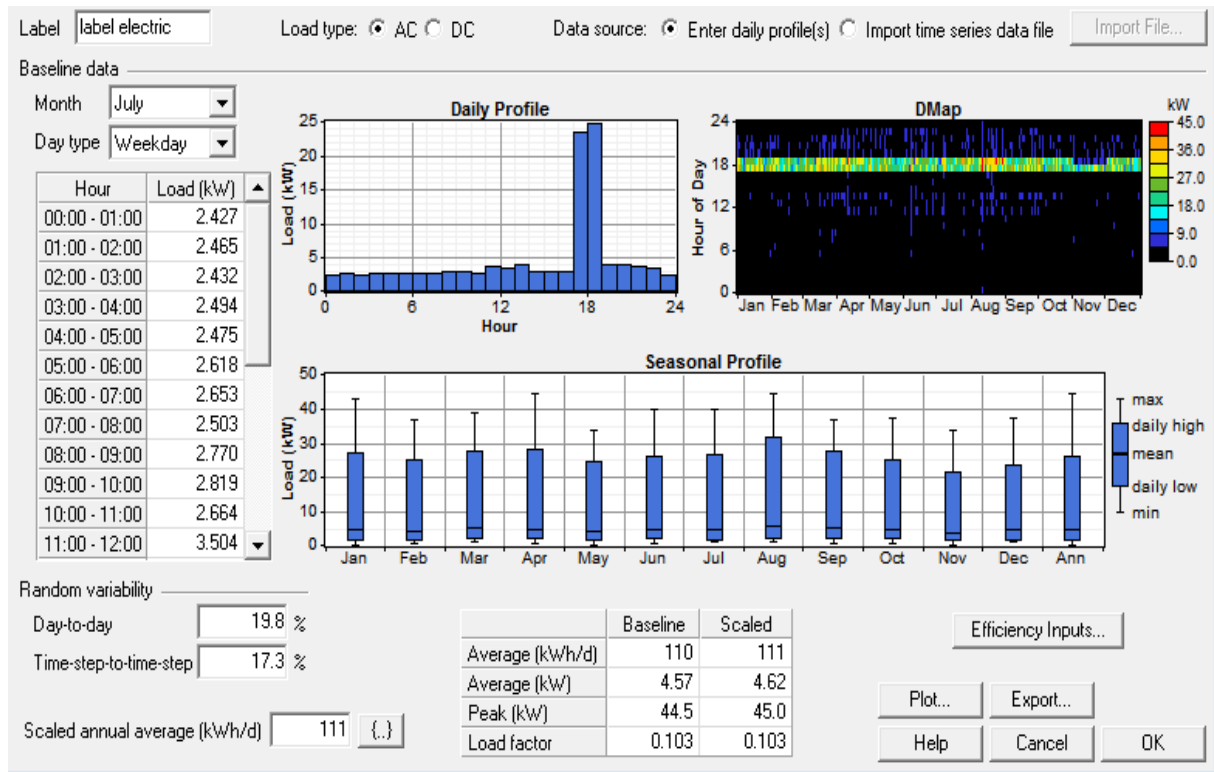


Figure 3.5 : profil de charge Estival du site Ilamane.

Nous avons remarqué que dans le profil de charge estival la demande est supérieure par rapport au période hivernal car on a ajouté des ventilateurs dans cette période.

### 3.6 Résultats et discussions :

Après la simulation, HOMER affiche les solutions selon le cout d'énergie minimal comme il est monté ci-dessous :



Sensitivity Results		Optimization Results									
Double click on a system below for simulation results.											
		PV (kW)	Gener (kW)	H2500	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)		
		20	42	24	43	\$ 131,173	11,009	\$ 239,262	0.601		
		20	42	24	44	\$ 131,884	11,093	\$ 240,793	0.605		
		20	42	24	45	\$ 132,595	11,176	\$ 242,324	0.609		
		22	42	24	43	\$ 135,173	10,976	\$ 242,932	0.611		
		22	42	24	44	\$ 135,884	11,059	\$ 244,463	0.615		
		23	42	24	43	\$ 137,173	10,944	\$ 244,622	0.615		
		22	42	24	45	\$ 136,595	11,142	\$ 245,993	0.618		
		23	42	24	44	\$ 137,884	11,027	\$ 246,152	0.619		
		24	42	24	43	\$ 139,173	10,953	\$ 246,707	0.620		
		23	42	24	45	\$ 138,595	11,111	\$ 247,683	0.623		
		24	42	24	44	\$ 139,884	11,036	\$ 248,238	0.624		
		25	42	24	43	\$ 141,173	10,956	\$ 248,741	0.625		
		24	42	24	45	\$ 140,595	11,120	\$ 249,769	0.628		
		25	42	24	44	\$ 141,884	11,039	\$ 250,271	0.629		
		25	42	24	45	\$ 142,595	11,123	\$ 251,802	0.633		
		20	42	48	43	\$ 179,173	9,407	\$ 271,529	0.683		
		20	42	48	44	\$ 179,884	9,490	\$ 273,060	0.686		
		20	42	48	45	\$ 180,595	9,574	\$ 274,590	0.690		
		22	42	48	43	\$ 183,173	9,385	\$ 275,320	0.692		
		22	42	48	44	\$ 183,884	9,469	\$ 276,850	0.696		
		23	42	48	43	\$ 185,173	9,374	\$ 277,211	0.697		
		22	42	48	45	\$ 184,595	9,552	\$ 278,381	0.700		
		23	42	48	44	\$ 185,884	9,458	\$ 278,742	0.701		

Figure3.6 : Résultats de simulation.

Il y'a plusieurs solutions de configuration pour notre système, mais on a choisi d'analyser les différents résultats techniques obtenus de la **solution optimale** :

**3.7 Architecture du système :**

- Générateur PV 20 KW
- Banc des batteries 24 Hoppecke 20 OPzS 2500
- Convertisseur 43 KW
- Groupe électrogène 42 KW

Voici le tableau des résultats techno-économiques de l'installation, le système était estimé à 239.262\$ et un prix de kWh de 0.601\$/kWh :

Le cout le plus cher c'est la batterie 67795 \$

le convertisseur 65813 \$

le generateur PV 43927 \$

le groupe diesel 37290 \$

Les câblages et installation on a 24437 \$

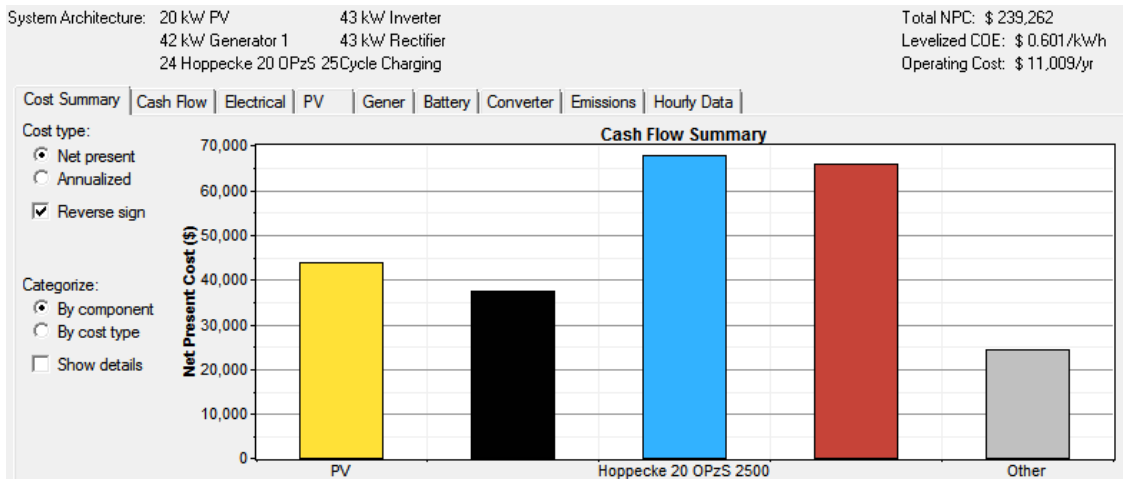


Figure 3.7 : le cout actuel net de chaque composant du système hybride.

### 3.8 Les résultats électriques du système :

Les résultats électriques du système on peut les détaillés comme suit :

Notre système produit 50556 kWh/an tel que : 71% de cette énergie produite par le générateur PV et 29% produite par le générateur diesel, avec 13.2% d'excès d'électricité et 0% comme un taux de délestage annuel car le système il est parfait

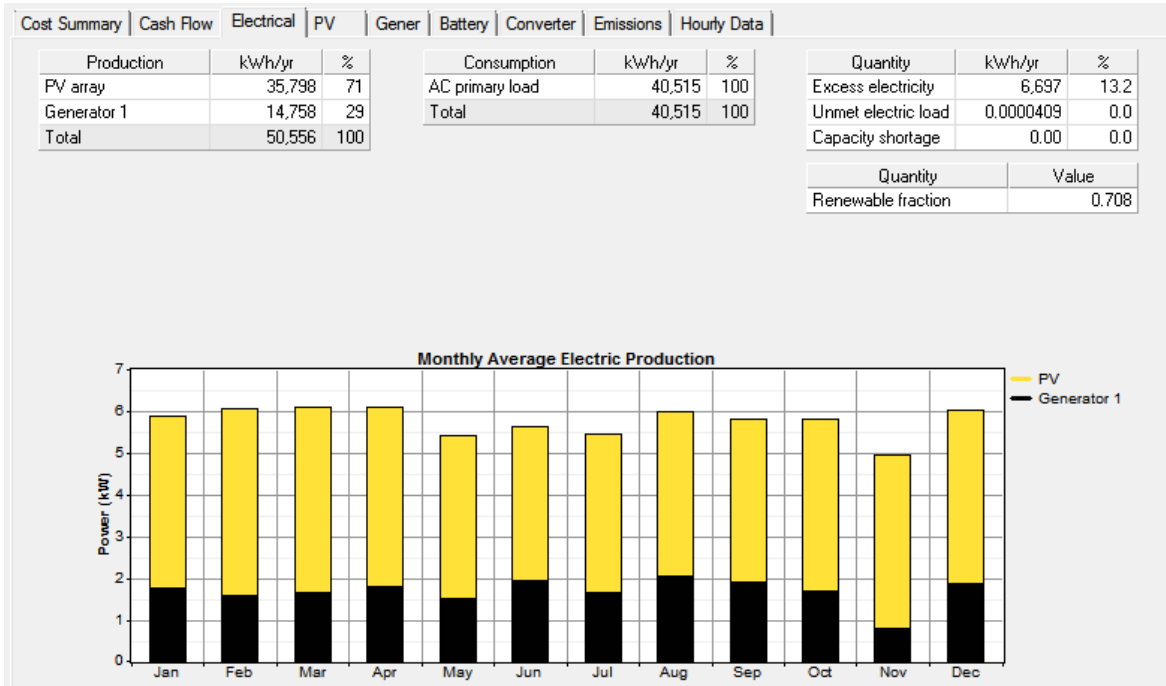


Figure 3.8: la production électrique mensuelle moyenne

### 3.9 Les résultats économiques du système :

D'après les résultats économiques obtenus on a :

Un capital initial de 131173 \$, Un coût net de 239262 \$

Nous n'avons constaté que les coûts du générateur photovoltaïque plus les batteries représentent 67% du capital initial.

Le capital initial du système est de 131173 \$ et il n'est pas proche du coût actuel net (NPC) qui est de 239262 \$. Si nous retranchons le capital initial du NPC, nous trouvons 108089 \$. Cette valeur représente le coût de maintenance et du combustible avec le coût de remplacement.

Ce dernier est relativement moins cher par rapport aux deux premiers, ce qui implique que nous n'allons pas perdre de l'argent pour l'évaluation à long terme.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	40,000	0	3,927	0	0	43,927
Generator 1	12,600	0	9,652	15,795	-757	37,290
Hoppecke 20 OPzS 250	48,000	19,965	2,356	0	-2,527	67,795
Converter	30,573	9,638	29,975	0	-4,373	65,813
Other	0	0	24,437	0	0	24,437
System	131,173	29,603	70,348	15,795	-7,656	239,262

**Figure3.7** : Résultats économique du système

D'après le tableau des couts des composants on va convertir les prix du dollar en dinar Algérien est faire une comparaison entre ces prix et les prix des composant dans le marché Algérien et conclure le cout le moins cher.

On a 1dollar américain = 108.38 dinars algériens le 28/07/2017.

Les prix dans le marché Algériens :

1-"Un panneau solaire de 278 watts à 40.000 DA environ"[34].

2-Convertisseur / Chargeur solaire Hybride 5000W 48V MPPT. 75000 DA [35].

3-Groupe électrogène 6,3 kVA marque ; kipor modèle ; kde 6700 t3 silencieux/diesel le prix 140000 DA [35].

4-Batterie tubulaire 20 OPZS 2500 2V - 2860 Ah HOPPECKE : le prix 190000DA [35.]

D'après l'architecture de system on a besoin de :

1)  $20000W / 278W = 72$  panneaux

Prix de 72 panneaux = 2880000 DA

2)  $43000W / 5000W = 9$  convertisseur

Prix des 9 convertisseurs = 675000 DA

3)  $42000W / 6300W = 7$  groupe diesel

Prix de 7 groupes = 980000 DA

4) les batteries 24 Hoppecke 20 OPzS 2500 :

Prix de 24 batteries = 4560000 DA

<b>Composant</b>	<b>PV</b>	<b>GD</b>	<b>Hoppecke20OpzS 2500</b>	<b>Convertisseur</b>	<b>Autre</b>	<b>System</b>
<b>Capitale(\$) converti En (DA)</b>	4335200	1365588	5202240	3313502	0	14216530
<b>Capitale sur le marché Algérien en (DA)</b>	2880000	980000	4560000	675000	0	9095000
<b>Remplacement (DA)</b>	0	0	2166516	1044566	0	3211028
<b>O Et m (DA)</b>	425608	1043916	255343	3248691	2648482	7622040
<b>Fuel (DA)</b>	0	1710345	0	0	0	1710345
<b>Salvage (DA)</b>	0	-82369	-271058	-473946	0	-827373
<b>Total (\$) converti en (DA)</b>	4760808	4037480	7353041	7132813	2648482	25932624
<b>Total en (DA) sur le marché Algérien</b>	3305608	3651892	6710801	4494311	2648482	20811094

**Tableau 3.1 :** comparaison entre les prix dans la bourse et les prix des Composants sur

Le marché algérien

Le capital initial du système est de 14216530 DA. Il est plus élevé par rapport au capitale sur le marché Algérien 9095000DA. Effectivement le coût actuel net (NPC) qui est de 25932624 DA est supérieur au coût total sur le marché Algérien 20811094 DA.

Ce qui signifie que quand on achète les composants dans le marché Algérien c'est moins cher par rapport au coût des composants quand on choisit le logiciel Homer car on va convertir le prix de dollar en DA. Ça coûte très cher par rapport quand on achète les composants en DA.

### **3.10 Conclusion :**

Notre travail a porté sur le dimensionnement et la simulation d'un système hybride (PV-Diesel) à l'aide de logiciel HOMER. L'objectif de ce travail est d'examiner la possibilité et les performances d'électrifier une communauté rurale par la solution hybride, alors nous avons aperçues que le fonctionnement du système dépend non seulement des variables d'entrée et de sortie qui sont l'ensoleillement, la température et la charge à alimenter, mais aussi de l'interdépendance entre les différents équipements. Le logiciel Homer choisit la configuration optimale du système avec le coût le plus bas.

Un composant du système mal dimensionné peut compromettre, le bon fonctionnement de toute l'installation. Ainsi et à partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que la combinaison des deux sources d'énergie (PV-Diesel) est nécessaire pour permettre de couvrir les déficits énergétiques et de répondre à la demande énergétique grandissante des habitants ruraux. Cette demande grandissante est due essentiellement à la demande de plus en plus grandissante du confort à la maison, plus d'équipements électriques.

Parfois le côté économique n'est pas primordial lorsque nous parlons de l'autonomie de production dans les zones rurales où les quelques kWh produits par une installation solaire donne un grand espoir de l'amélioration de la qualité de vie dans une communauté isolée. Mais la structure des coûts d'investissement reste à défier.

# **CONCLUSION GENERALE**

Les recherches menées sur les systèmes hybrides d'énergie renouvelable ont montré l'avantage de combiner différents types de générateurs. En plus du photovoltaïque, et du groupe diesel l'utilisation d'une source d'énergie classique (comme le stockage électrochimique), est très intéressante pour l'efficacité et la fiabilité de notre système hybride dans les pires périodes de l'année.

Ce mémoire présente une étude d'un système hybride photovoltaïque-diesel totalement autonome. L'objectif de ce système est de produire l'électricité pour satisfaire la demande d'une charge consommatrice (111kWh/jour et un pic de 42 kW) dans un site isolé « Ilamane » à Tamanrasset au sud Algérien. Alors on a fait un dimensionnement sur le logiciel HOMER de notre système hybride et simuler pour examiner la possibilité et les performances d'électrifier une communauté rurale par la solution hybride, alors nous avons aperçues que le fonctionnement du système dépend non seulement des variables d'entrée et de sortie qui sont l'ensoleillement, la température et la charge à alimenter, mais aussi de l'interdépendance entre les différents équipements. A la fin nous nous sommes intéressés au cout réel de ce type d'installation en Algérie et en Dinars Algérien entre la bourse et le marché algérien.

Nous avons présentés la position du site Ilamane (village de Tamanrasset) et ces données

Météorologiques (la température et l'irradiation solaire).Ainsi qu'une étude détaillée du profil de consommation estivale et hivernal utilisé pour notre travail

Ensuite nous nous sommes intéressés au dimensionnement des composants de notre Système:

Le générateur Photovoltaïque, le générateur diesel, les batteries de stockage, et l'onduleur; leurs caractéristiques. Et aussi des modèles mathématiques simples existent dans la littérature pour estimer la taille de chaque composant du système hybride à partir des données des constructeurs.

Un composant du système mal dimensionné peut compromettre alors, le bon fonctionnement de toute l'installation. Ainsi et à partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que la combinaison des deux sources d'énergie (PV-Diesel) est nécessaire pour permettre de couvrir les déficits énergétiques et de répondre à la demande énergétique grandissante des habitant ruraux.

Le logiciel Homer choisit la configuration optimale du système avec le cout le plus bas.

# **LISTE DES REFERENCES**



- [1] : Bendaoud Bencherki , ‘Etude des performances d'une électrification rurale basée sur des systèmes mini réseaux hybrides de production d'électricité’, Mémoire Magistère en Génie Mécanique. Université Hassiba Benbouali Chlef 11 juil 2011
- [2] : “Photovoltaic’s systems; a buyer’s guide. Natural resources Canada”, Renewable and electrical energy Division, 580 Booth Street, 17th floor Ottawa, Ont. KIA OE4. ISBN0-662-31120-5.
- [3]: Mann Mk, “Economics of renewable hydrogen it’s about more than production”.Renewable hydrogen energy forum, Washington.
- [4]: Le Gallou F., B. Bouchon-Meunier (Coordonnateurs) : “Systémique - Théorie et Applications”. Éditions Tec & Doc, Paris, 1994, 341pages.)
- [5]: Vaughn C. Nelson, Ken L. Starcher, Robert E. Foster, R. Nolon Clark, Deon Raubenheimer, “Wind hybrid systems technology characterization”, West Texas AM University – AEI, New Mexico State University – SWTDI, USDA – ARS Bushland, Vista University, May 2002.
- [6]: E. Ian Baring-Gould, L. Flowers, P. Lundsager, “Worldwide status of wind-diesel applications”, Pre-Workshop Wind-Diesel 101, 2004, Anchorage, Alaska.
- [7]: Musseli, M., Notton, G. & Louche, A., “Design of Hybrid-Photovoltaic power generator, with optimization of energy management”, Solar Energy, Vol.65, No.3, 1999, pp. 143-157.
- [8]: Ashok, S., “Optimised model for community-based hybrid energy system”, Renewable Energy Vol.32, No.7, 2007, pp. 1155-1164.
- [9]: BAGHDADI Fazia ‘ modélisation et simulation des performances d’une installation hybride de conversion d’énergies renouvelables’, Mémoire Magistère en Génie Mécanique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 26/09/2011
- [10]: S. Petibon, “Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l’énergie pour les applications photovoltaïques,” Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, Janvier, 2009.
- [11]: J .Labbé, “L’hydrogene electrolytique comme Moyen de Stockage d’electricite Pour Systemes Photovoltaïques Isoles”, Thèse de Doctorat, l’Ecole des Mines de Paris, pp. 5-17-18-21-50-68-69 , 21 décembre2006.
- [12]: M. Huart, “Guide des énergies renouvelables”, Association pour la Promotion des Energies Renouvelables, Ministère de la Région Wallonne éditeur, 1994.

- [13]: J. Muller, R. Desserrières, “Conversion photovoltaïque”, Publié par: Club CRIN, 2002.
- [14]: C. Alonso, J. Alzeu, C. Andrieu, S. Astier, J. Bonal, A. H. Ben, C. Combes, F. Costa, B. Dakyo, R. Desserrières, J. Fonio, O. Gergaud, C. Glazie, J-C. Muller, B. Multon, C. Nichita, X. Roboam, P. Rossetti, “L’électronique de puissance vecteur d’optimisation pour les énergies renouvelables”, ECRIN, ISBN : 2-912154-08-1, Paris, 2002.
- [15]: B. Flèche - D. Delagnes. « Energie solaire photovoltaïque », juin 07. <http://www.scribd.com/doc/3501633/Energie-solaire-photovoltaïque>.
- [16]: MAHAMMEDI Abdellatif, 'Etude et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque', Mémoire de magistère, Université Ferhat Abbas–Setif1-UFAS (ALGERIE), 2014.
- [17] : I. Kamwa, B. Saulier, “Modélisation, simulation et régulation d'un réseau éolien/diesel autonome”, Rapport N°IREQ4340, Varennes, Canada, 1989.
- [18]: I. Cruz, F. Arias, F. Avia, L. M. Arribas, R. P. Fiffe, “Assessment of different energy storage systems for wind energy integration”, European Wind Energy Conference 2001.
- [19]: Amar KHELIF, " Etude Technico-économique d'une Installation Hybride Photovoltaïque Diesel", THESE Présentée pour l'obtention du Grade de Docteur En Electronique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene 12/02/2013.
- [20]: Isabelle Duffaure-Gallais, « La première pile à combustible installée en France », CSTB Magasine, 1999.
- [21]: M. N. Mechalikh et C. Hamada, “ Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau”, Mémoire magistère, Université Kasdi Merbah –Ouargla, 2013.
- [22]: P. Barrade, “électronique de puissance méthodologie et convertisseurs élémentaire,” press polytechnique et universitaires, 1ère édition, 2006.
- [23] : J. G. McGowan, J.F. Manwell, “Hybrid/PV/Diesel system experiences”, Renewable Energy, 16, 928-933, 1999.
- [24]: P. Lundsager, H. Bindner, N. Clausen, S. Frandsen, L. H. Hansen, J. C. Hansen, “Isolated systems with wind power”, Risø-R-1256(EN), 2001.
- [25] : A. Yahiaoui, K. Benmansour, M. Tadjine , Control, analysis and optimization of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated rural city in Algeria , Solar Energy, 2016

- [26] : A. Zidane. Energy efficiency in the construction sector in the Mediterranean. GTZ, Baseline study MED-ENC, Algiers, February 2006.
- [27]:Fadhila Fodhil, "Performances des systèmes hybrides salaires-diesel dans L'électrification rurale", Mémoire de magister en Electronique. Université Saad Dahlab Blida Avril 2011.
- [28] : Abdel Kadet Ould Mahmoud, 'Caractérisation, modélisation, fonctionnement et impact d'un système hybride pour l'alimentation de charges mixtes'. Université Cheikh Anta Diop - Thèse d'Etat 2008 – Dakar.
- [29] :NREL (National Renewable Energy Laboratory). Getting started guide for HOMER version 2.1, April 2005.
- [30] : Givler T., Lilienthal P. «Using HOMER software, NREL's micropower optimization model, to explore the role of gen-sets in small solar power systems ». Technical Report NREL/TP-710-36744, May 2005.
- [31] : Iqbal M.T. « A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland ». Renewable energy, ISSN, 0960-1481. 2004, vol. 29, n° 2, pp. 277-289.
- [32] : Shaahid S.M., Elhadidy M.A. «Technical and economic assessment of grid independent of hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for commercial loads in desert environments ». Renewable and sustainable energy reviews, ISSN 1364-0321, 2007, vol. 11, n° 8, pp. 1794-1810.
- [33] : Beccali M., Brunone S., Cellura M., Franzitta.V. « Energy, economic and environmental analysis on RET-hydrogen system in residential buildings ». Renewable energy, ISSN 0960-1481, 2008, vol. 33, n° 3, pp. 366-382.
- [34] : <http://portail.cder.dz/spip.php?article1453>
- [35] : site de vente ouedekniss

# **ANNEXE**

## **A.1 Survol des différents logiciels :**

Étant donné les différents efforts des dernières années à travers le monde pour diminuer la dépendance au pétrole, beaucoup de ressources ont été mises de l'avant pour développer les énergies renouvelables et principalement, l'énergie éolienne et l'énergie solaire photovoltaïque. Ces énergies sont en forte croissance partout à travers le monde. Les outils comme les logiciels font partie des grandes réalisations concernant ces énergies à promouvoir. De nombreux logiciels existent maintenant pour modéliser, optimiser ou dimensionner les différents systèmes conçus à partir d'énergie renouvelable. Beaucoup de ces logiciels sont spécialisés pour un type d'énergie particulier. Il en existe un bon nombre pour le solaire photovoltaïque. Les logiciels qui font référence à plusieurs sources d'énergie sont, quant à eux, plus rares.

### **A.1.1 Logiciels pour le photovoltaïque :**

Les technologies des panneaux solaires photovoltaïques ont beaucoup évolué et ces outils aussi. Il existe des logiciels pour la simulation (TRNSYS, INSEL, HOMER, PV-DesignPro) d'autres pour l'évaluation des coûts et des différentes données économiques (SOLinvest, RETScreen) ou pour l'analyse et la planification des systèmes (PV F-Chart, Laplace System, PV\*SOL, PVcad, PVSYST, PV Professionnal, Kerychip, Tetti FV) certains sont destinés à l'industrie (APOS Photovoltaic Statlab, PV Cost Simulation Tool) certains sont développés pour la surveillance et le contrôle des systèmes installés (eteocontrol, SPYCE) ou encore pour l'évaluation de site (ECOTECT, Shadow Analyzer, Shadows, GOSOL, METEONORM, Horizon, Sombrero) et finalement, il existe des outils disponibles en ligne, facilement accessibles à tous (Solardesigntool, PV Potential Estimation Utility, Logiciel CalSol, Panel Shading), (Energy2011).

Certains de ces logiciels ne font appel qu'à un sous-domaine du solaire photovoltaïque comme les panneaux intégrés aux immeubles ou d'autres sont utiles seulement pour les systèmes connectés au réseau par exemple. Il existe maintenant tout un monde de logiciels. Il est donc important de définir ses besoins pour identifier facilement les logiciels utiles. De plus, plusieurs des logiciels faisant référence à l'énergie solaire photovoltaïque sont dans une seule langue (français, anglais, italien) et beaucoup sont d'origine allemande et en allemand uniquement, ce qui les rend plutôt inaccessibles.

### **A.1.2 Logiciels pour les énergies renouvelables :**

Il est intéressant de pouvoir comparer différents systèmes simples et des systèmes hybrides à l'aide d'un seul et même logiciel. De nombreux logiciels concernent les énergies renouvelables utilisées spécifiquement pour les bâtiments et les maisons et même plus précisément sur l'efficacité énergétique de ces bâtiments. Peu de logiciels traitent de la production d'énergie en intégrant plusieurs types d'énergie. En intégrant à la fois les outils de simulation et les outils de calculs des coûts, voici les quelques logiciels disponibles : In my backyard, EnergyPeriscope, Hybrid2, HOMER et RETScreen. Ces logiciels seront discutés dans une section ultérieure.

### **A.2 Paramètres pour le choix des logiciels :**

Afin de choisir les logiciels, il est indispensable de définir les besoins, donc de déterminer les attentes minimales auxquelles le logiciel doit répondre. Les logiciels devront avoir ces paramètres afin d'être sélectionnés :

- 1-Langue : anglais ou français,
- 2-Accessibilité à tous :
  - Prix : gratuit ou moins de 100 \$ par licence,
  - Facilement disponible : par Internet,
  - Simplicité d'utilisation,
  - Documentation en ligne,
- 3-Plusieurs technologies disponibles : photovoltaïque, diesel et éolien,
- 4-Systèmes hors réseau,
- 5-Simulation de systèmes dans plusieurs pays,
- 6-Évaluation des coûts,
- 7- Optimisation des systèmes.

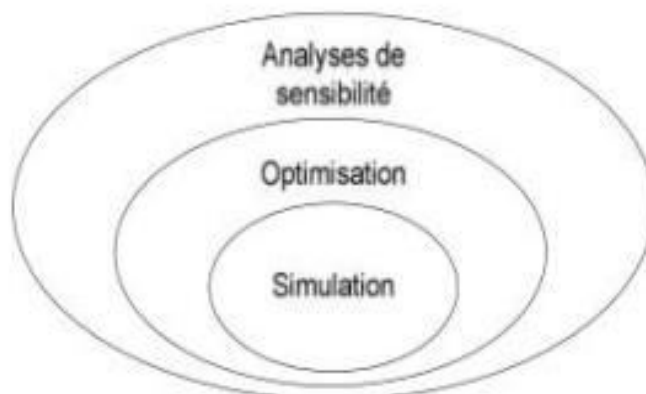
### A.3 Logiciels choisis :

#### A.4 Présentation de HOMER :

HOMER est un logiciel développé pour des systèmes de production d'énergie de petites puissances. Il permet de faire des simulations de systèmes avec des énergies renouvelables et avec des énergies fossiles. Un de ses grands atouts est la possibilité de pouvoir simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie qu'elle soit renouvelable ou fossile. La première version a été développée en 1992 pour NREL (US National Renewable Energy Laboratory), il a ensuite subi de nombreuses améliorations dans plus de 40 nouvelles versions. La version utilisée pour le présent projet est HOMER 2.68 beta sortie en juillet 2009. Depuis, il y a eu 2 nouvelles versions disponibles pour 2.75 et 2.76 qui sont maintenant vendues pour un faible coût 99 \$US pour les nouveaux utilisateurs et pour 49 \$US pour les anciens utilisateurs. La 27 version 2.68 beta est toujours disponible gratuitement. Ce logiciel est largement utilisé dans plus de 190 pays et par plus de 40 000 utilisateurs.

##### A.4.1 Principales caractéristiques :

Tout d'abord, ce logiciel permet de faire des simulations pour ensuite optimiser les systèmes et pour finalement terminer avec des analyses de sensibilité sur ces systèmes optimisés. La solution obtenue par HOMER est la solution la moins coûteuse parmi différentes combinaisons de systèmes d'énergies renouvelables, d'énergies fossiles ou de systèmes hybrides comprenant deux sources d'énergie ou plus. Voici, Figure A.1, le modèle conceptuel de HOMER.

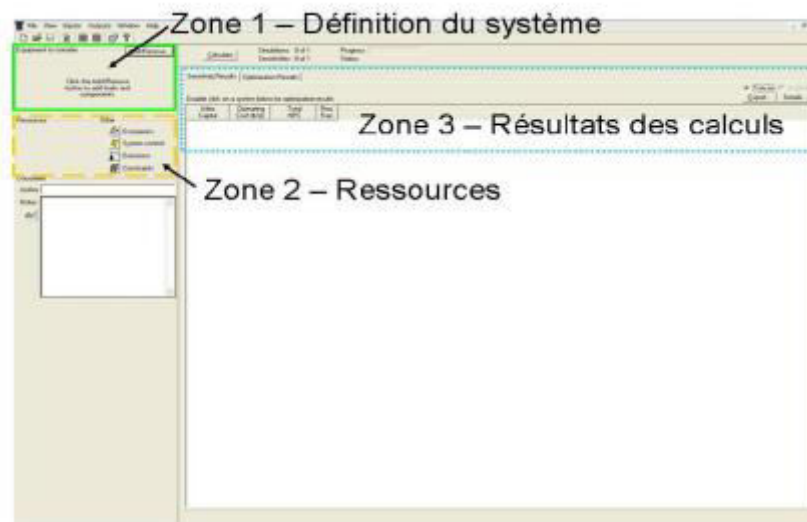


**Figure A.1.** Modèle conceptuel de HOMER.

Le logiciel permet de faire la simulation d'un système selon des données de gisement (solaire, éolien, diesel, etc.) en fonction d'une demande énergétique (besoins en énergie). Par la suite, il est possible d'analyser plusieurs configurations différentes pour ce même système afin d'en obtenir un système optimisé au niveau du coût. Le logiciel simule toutes les configurations demandées et donne la meilleure solution, la solution la moins chère, parmi celles -ci. Ensuite, il est finalement possible de faire des analyses de sensibilité afin de savoir si la solution trouvée reste la meilleure même s'il y a certains changements dans les différents paramètres entrés (variation du coût de la technologie, variation dans les données de gisement, etc.). Il est donc possible de faire bon nombre d'analyses avec de nombreuses configurations différentes en moins de quelques minutes de simulation.

#### A.4.2 Interfaces :

Le logiciel HOMER est facile à utiliser et son interface est similaire aux logiciels usuels, il est donc muni d'un menu dans le haut ainsi que des icônes que l'on peut utiliser sans aller dans les menus. On peut considérer que l'interface d'HOMER a trois zones importantes comme indiqué sur la Figure A.2 : la zone de définition du système, celle des ressources et celle des résultats.

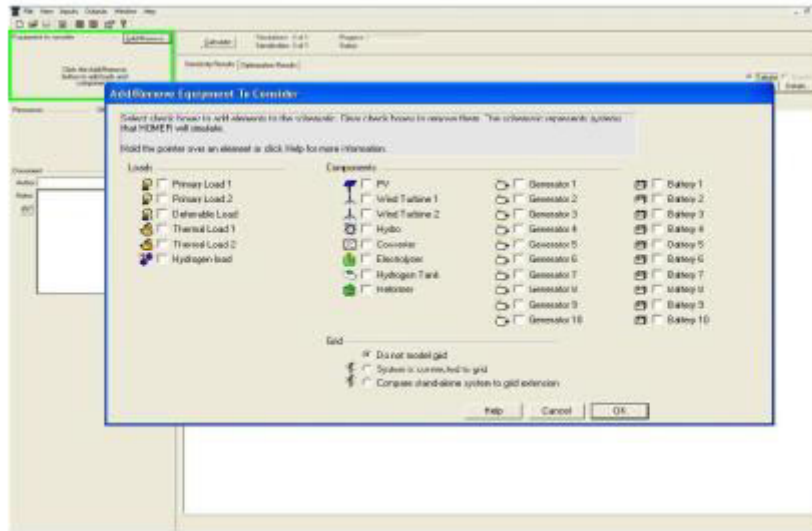


**Figure A.2.** Interface HOMER – Fichier vierge.

La zone de définition du système permet de choisir les équipements qui seront inclus dans le système à modéliser. Il suffit de cocher les éléments à utiliser selon les choix illustrés à la Figure A.3. De plus, dans cette même fenêtre, il est possible de choisir : de modéliser le

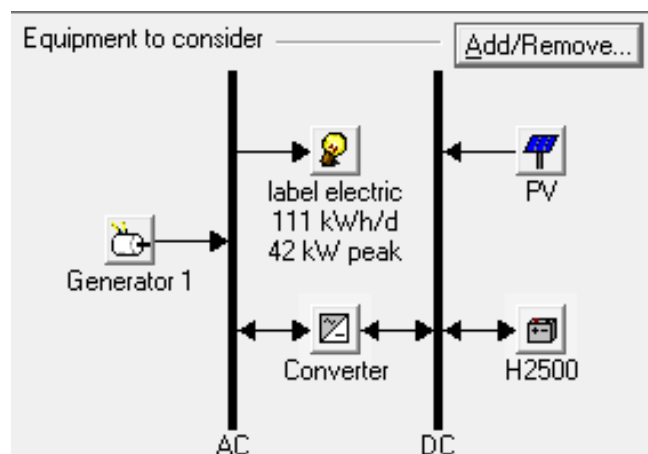


réseau électrique, d'en faire la comparaison avec un système hors réseau ou simplement de ne pas modéliser le réseau.



**Figure A.3.** Interface HOMER – Équipements à ajouter.

Une fois sélectionnés, les divers équipements apparaissent dans la zone 1 de définition du système comme à la Figure A.4 et les ressources nécessaires aux équipements sélectionnés apparaissent, elles, dans la zone 2 de définition des ressources comme à la Figure A.5



**Figure A.4.** Interface HOMER – Équipements sélectionnés

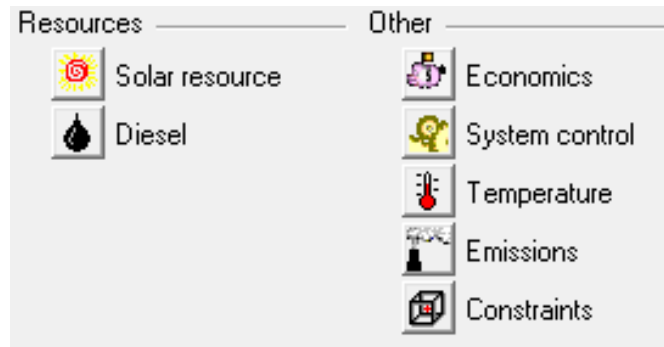


Figure A.5. Interface HOMER – Ressources.

Dans ces deux zones, pour chaque icône, il y a une fenêtre à remplir ; ce sont les données à fournir pour faire une simulation. Les données entrées pour le présent projet seront définies dans la 4. Une fois les données entrées, on peut faire calculer HOMER, en cliquant sur l’icône comme illustré dans la Figure A.6.

	PV (kW)	Gener (kW)	H2500	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gener (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	20	42	24	43	\$ 131,173	11,010	\$ 239,275	0.602	0.71	5,358	497	11.4
	20	42	24	44	\$ 131,884	11,094	\$ 240,806	0.605	0.71	5,358	497	11.4
	20	42	24	45	\$ 132,595	11,177	\$ 242,336	0.609	0.71	5,358	497	11.4
	22	42	24	43	\$ 135,173	10,977	\$ 242,948	0.611	0.74	5,179	487	11.4
	22	42	24	44	\$ 135,884	11,061	\$ 244,478	0.615	0.74	5,179	487	11.4
	23	42	24	43	\$ 137,173	10,947	\$ 244,648	0.615	0.75	5,076	478	11.4
	22	42	24	45	\$ 136,595	11,144	\$ 246,009	0.618	0.74	5,179	487	11.4
	23	42	24	44	\$ 137,884	11,030	\$ 246,178	0.619	0.75	5,076	478	11.4
	24	42	24	43	\$ 139,173	10,955	\$ 246,731	0.620	0.76	5,029	476	11.3
	23	42	24	45	\$ 138,595	11,113	\$ 247,709	0.623	0.75	5,076	478	11.4
	24	42	24	44	\$ 139,884	11,038	\$ 248,261	0.624	0.76	5,029	476	11.3
	25	42	24	43	\$ 141,173	10,957	\$ 248,750	0.625	0.77	4,956	470	11.3
	24	42	24	45	\$ 140,595	11,122	\$ 249,792	0.628	0.76	5,029	476	11.3
	25	42	24	44	\$ 141,884	11,040	\$ 250,280	0.629	0.77	4,956	470	11.3
	25	42	24	45	\$ 142,595	11,124	\$ 251,811	0.633	0.77	4,956	470	11.3
	20	42	48	43	\$ 179,173	9,407	\$ 271,533	0.683	0.71	5,264	482	20.0
	20	42	48	44	\$ 179,884	9,491	\$ 273,063	0.686	0.71	5,264	482	20.0
	20	42	48	45	\$ 180,595	9,574	\$ 274,594	0.690	0.71	5,264	482	20.0
	22	42	48	43	\$ 183,173	9,386	\$ 275,324	0.692	0.74	5,106	476	20.0
	22	42	48	44	\$ 183,884	9,469	\$ 276,854	0.696	0.74	5,106	476	20.0
	23	42	48	43	\$ 185,173	9,384	\$ 277,308	0.697	0.75	5,049	474	20.0
	22	42	48	45	\$ 184,595	9,553	\$ 278,385	0.700	0.74	5,106	476	20.0
	23	42	48	44	\$ 185,884	9,468	\$ 278,839	0.701	0.75	5,049	474	20.0

Figure A.6. Interface HOMER – Fichier complété.

Lorsque le calcul est complété, les résultats apparaissent et la solution la plus économique est la première comme illustré à la Figure A.7. Un résumé du système et des coûts reliés sont affichés dans la zone des résultats.

Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	Gener (kW)	H2500	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)
	20	42	24	43	\$ 131,173	11,009	\$ 239,262	0.601
	20	42	24	44	\$ 131,884	11,093	\$ 240,793	0.605
	20	42	24	45	\$ 132,595	11,176	\$ 242,324	0.609
	22	42	24	43	\$ 135,173	10,976	\$ 242,932	0.611
	22	42	24	44	\$ 135,884	11,059	\$ 244,463	0.615
	23	42	24	43	\$ 137,173	10,944	\$ 244,622	0.615
	22	42	24	45	\$ 136,595	11,142	\$ 245,993	0.618
	23	42	24	44	\$ 137,884	11,027	\$ 246,152	0.619
	24	42	24	43	\$ 139,173	10,953	\$ 246,707	0.620
	23	42	24	45	\$ 138,595	11,111	\$ 247,683	0.623
	24	42	24	44	\$ 139,884	11,036	\$ 248,238	0.624
	25	42	24	43	\$ 141,173	10,956	\$ 248,741	0.625
	24	42	24	45	\$ 140,595	11,120	\$ 249,769	0.628
	25	42	24	44	\$ 141,884	11,039	\$ 250,271	0.629
	25	42	24	45	\$ 142,595	11,123	\$ 251,802	0.633
	20	42	48	43	\$ 179,173	9,407	\$ 271,529	0.683
	20	42	48	44	\$ 179,884	9,490	\$ 273,060	0.686
	20	42	48	45	\$ 180,595	9,574	\$ 274,590	0.690
	22	42	48	43	\$ 183,173	9,385	\$ 275,320	0.692
	22	42	48	44	\$ 183,884	9,469	\$ 276,850	0.696
	23	42	48	43	\$ 185,173	9,374	\$ 277,211	0.697
	22	42	48	45	\$ 184,595	9,552	\$ 278,381	0.700
	23	42	48	44	\$ 185,884	9,458	\$ 278,742	0.701

Figure A.7 : Interface HOMER – Résultats des calculs de dimensionnement du cout sur le logiciel.

### A.5 Simulation de notre système :

Loads

- label electric
- Primary Load 2
- Deferrable Load
- Thermal Load 1
- Thermal Load 2
- Hydrogen load

Components

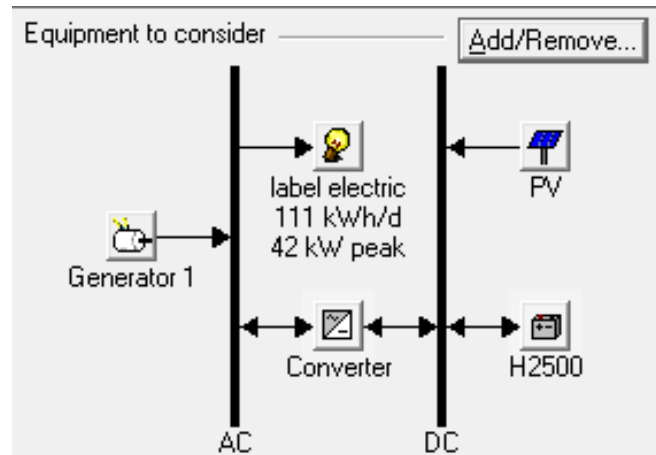
- PV
- Wind Turbine 1
- Wind Turbine 2
- Hydro
- Converter
- Electrolyzer
- Hydrogen Tank
- Reformer

- Generator 1
- Generator 2
- Generator 3
- Generator 4
- Generator 5
- Generator 6
- Generator 7
- Generator 8
- Generator 9
- Generator 10

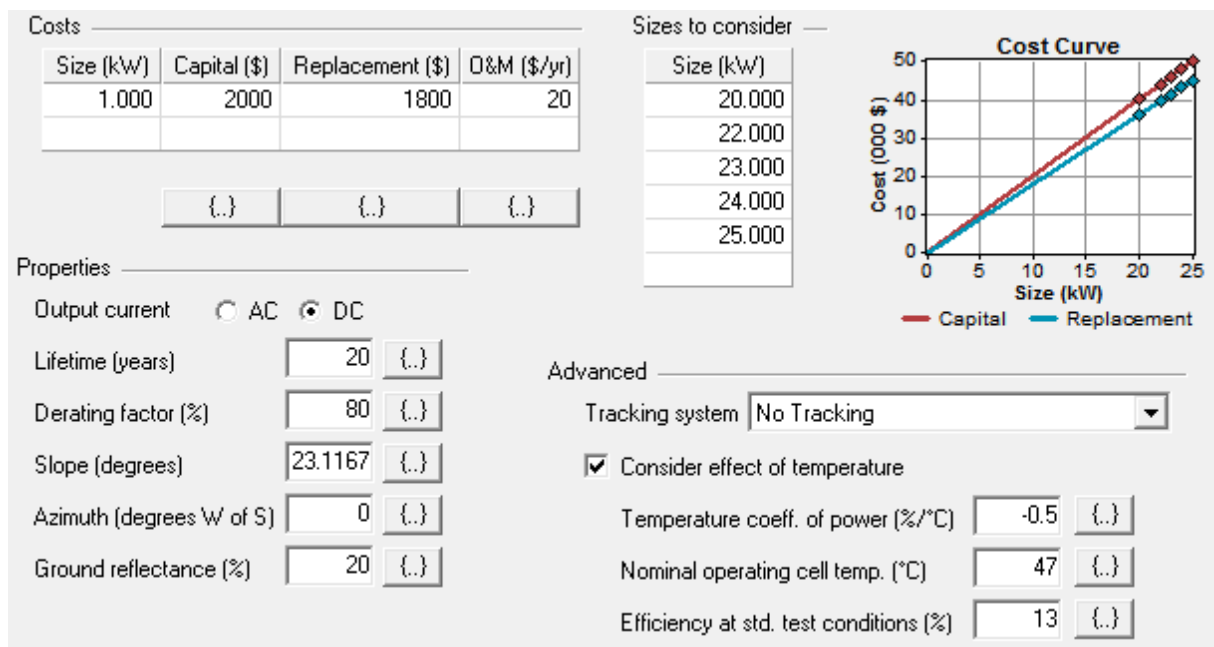
- Hoppecke 20 OPzS 25
- Battery 2
- Battery 3
- Battery 4
- Battery 5
- Battery 6
- Battery 7
- Battery 8
- Battery 9
- Battery 10

Grid

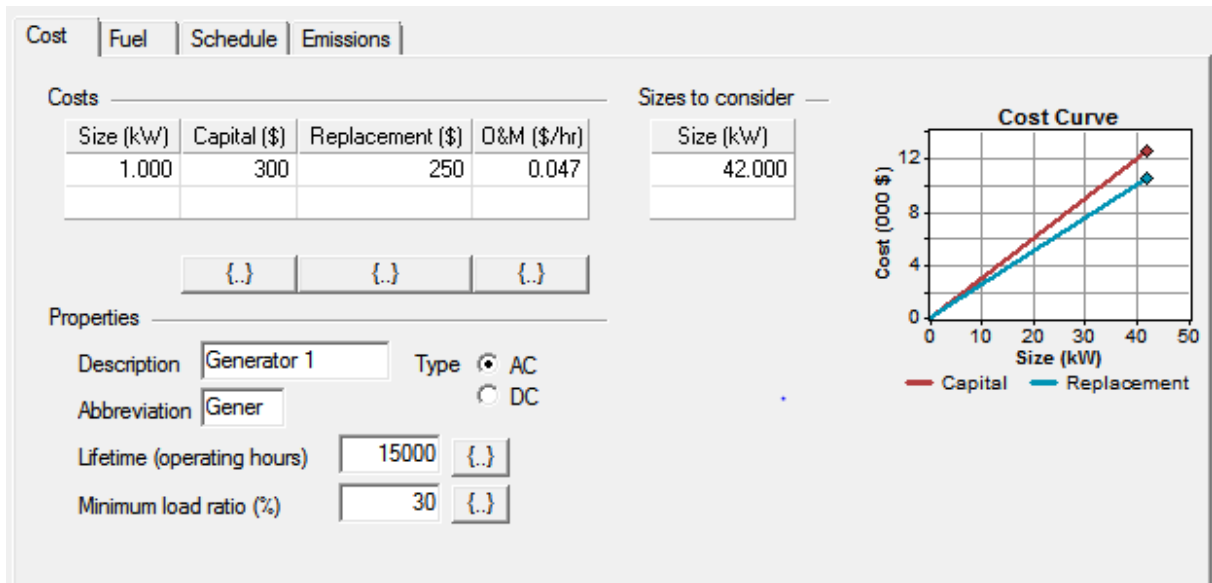
Figure A.8 : Fenêtre des composants à ajouter.



**Figure A.9.** Configuration de notre système.



**Figure A.10 :** Caractéristiques du générateur PV à utiliser.



**Figure A.11** : Caractéristiques de générateur diesel.

Price (\$/L)

Limit consumption to (L/yr)

Fuel properties

Lower heating value: 43.2 MJ/kg

Density: 820 kg/m<sup>3</sup>

Carbon content: 88 %

Sulfur content: 0.33 %

**Figure A.12** : les prix de 1 litre de diesel en dollar.

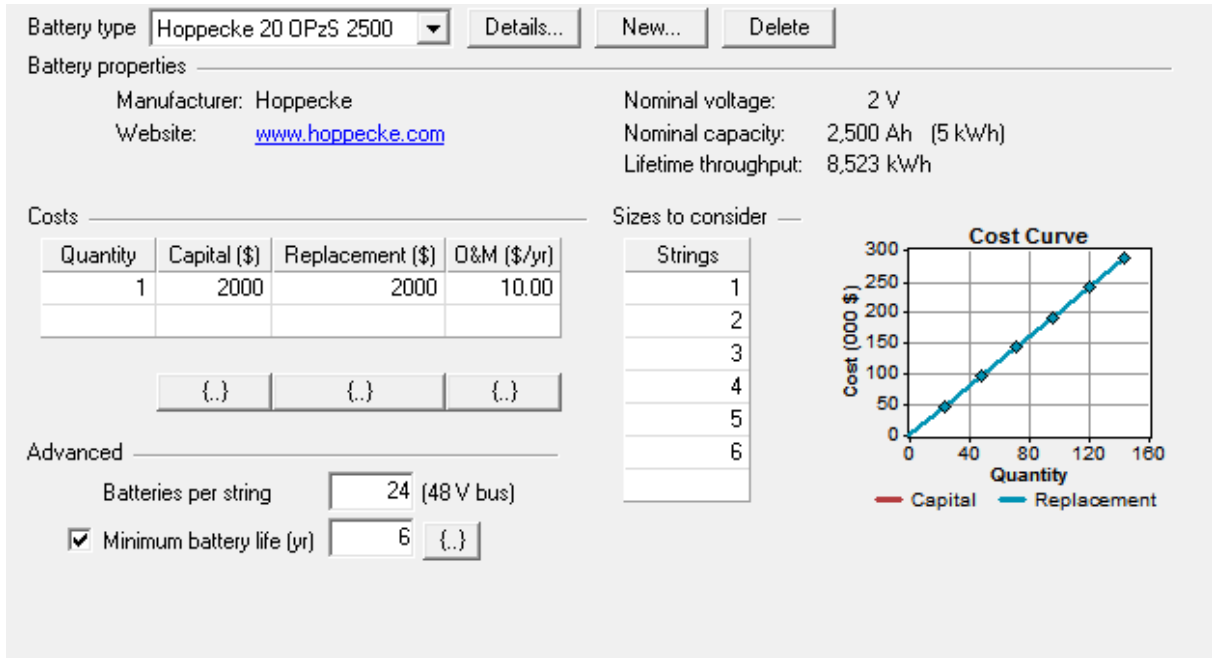


Figure A.13 : Choix des batteries.

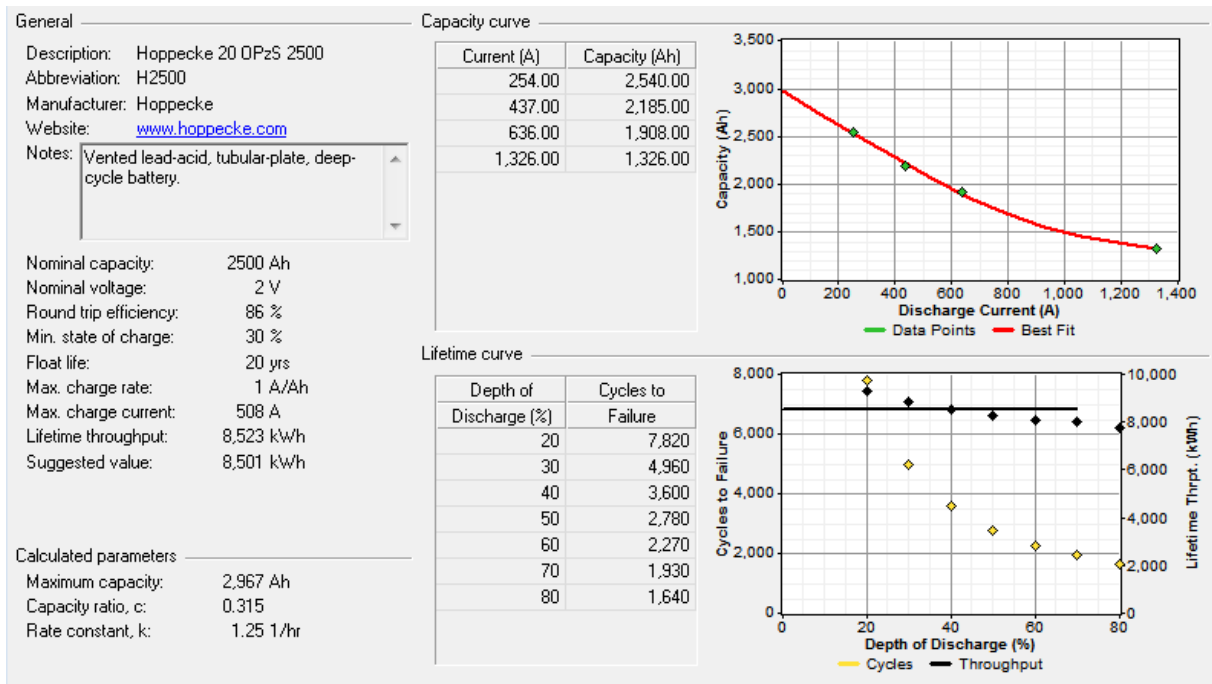


Figure A.14 : Caractéristiques de la batterie à utiliser.

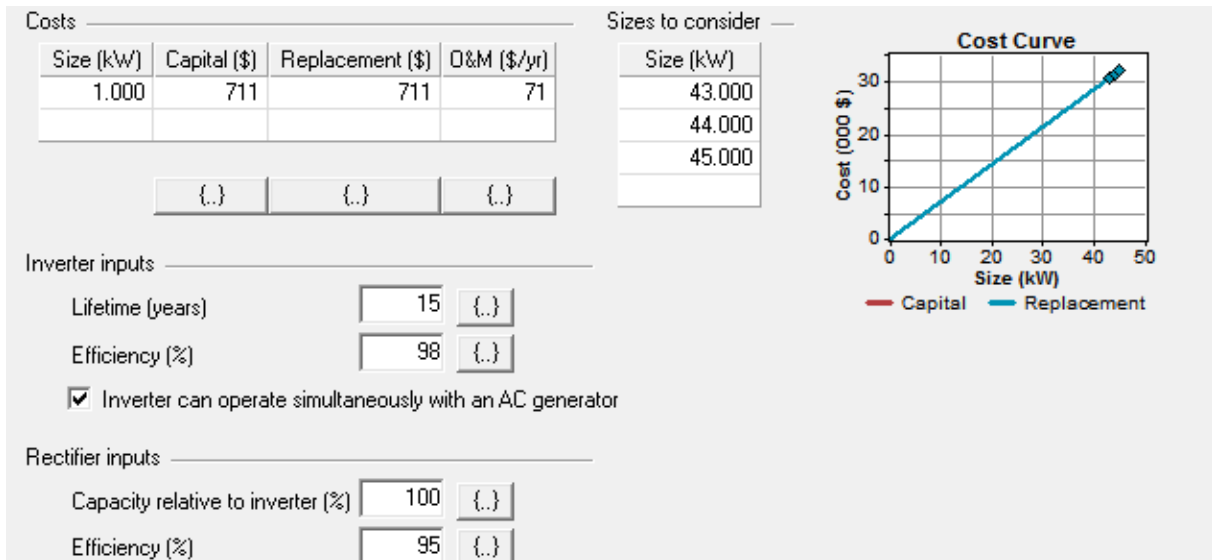


Figure A.15 : Fenêtre des caractéristiques de convertisseur.

### A.5.1. Autres résultats de la simulation du système :

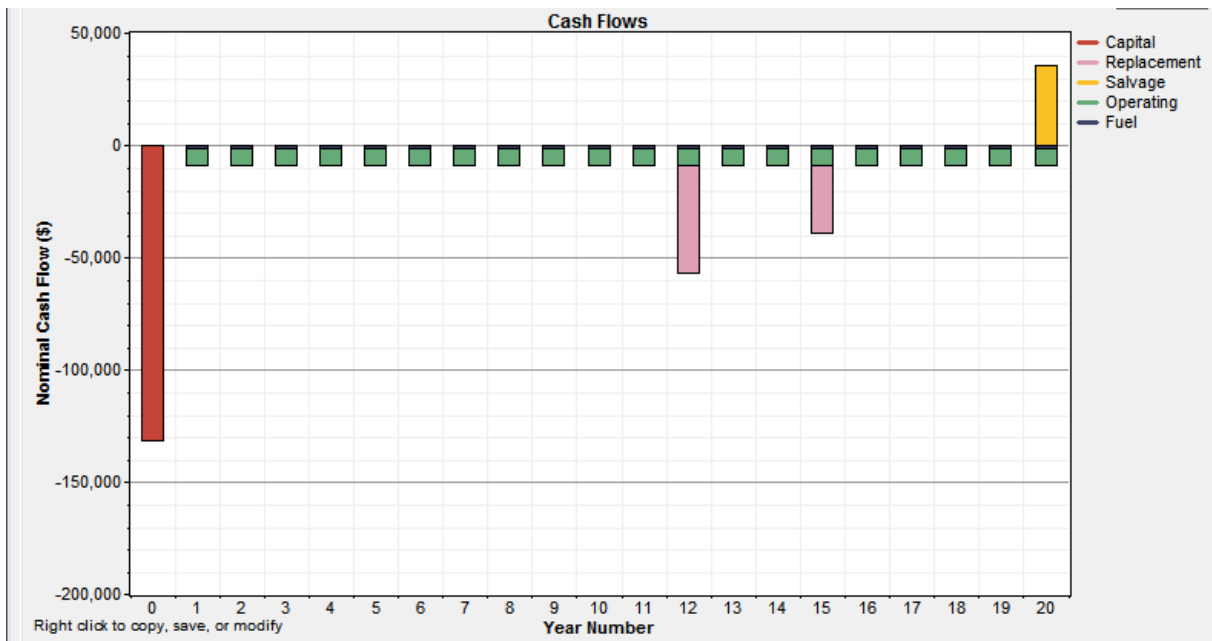


Figure A.16 : Fenêtre des différents coûts du système durant sa durée de vie.

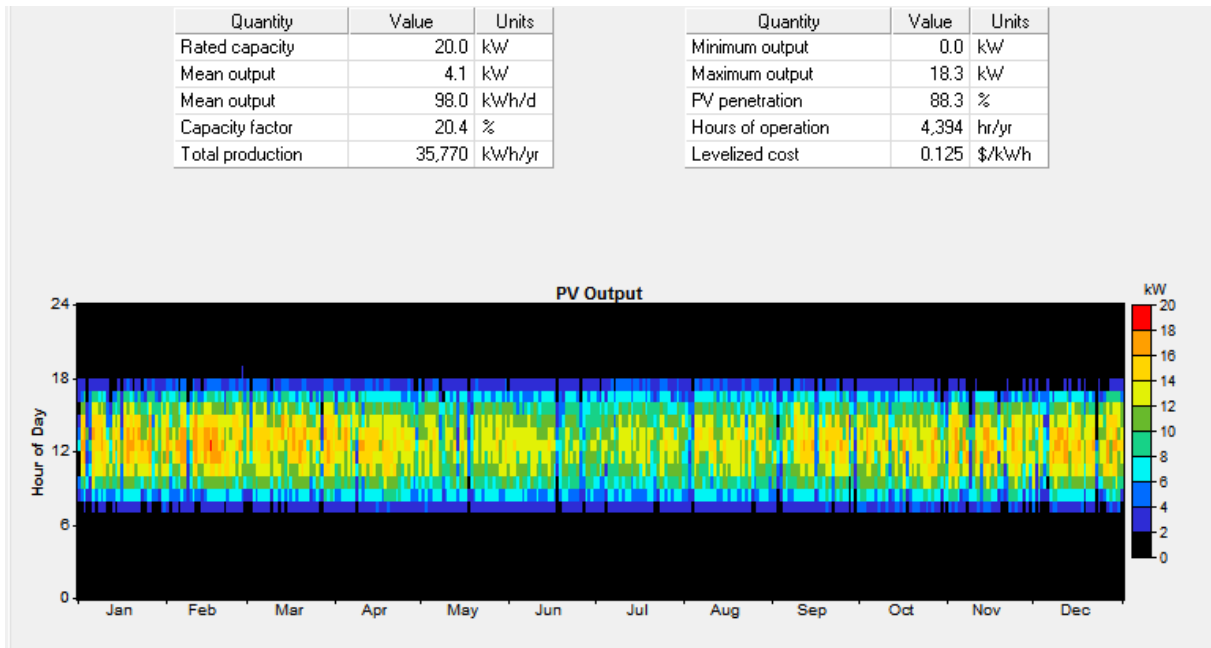


Figure A.17 : Production du groupe photovoltaïque.



Figure A.18 : Energie produite par le groupe diesel.



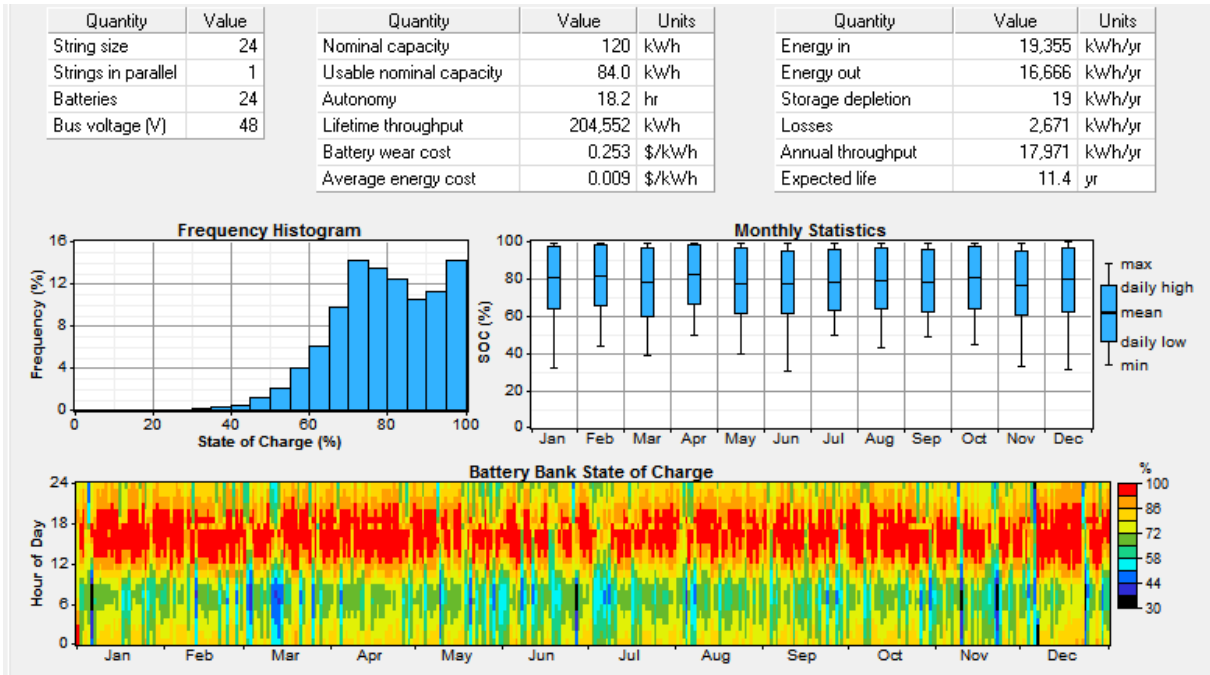


Figure A.19 : Etat de charge/décharge des batteries.

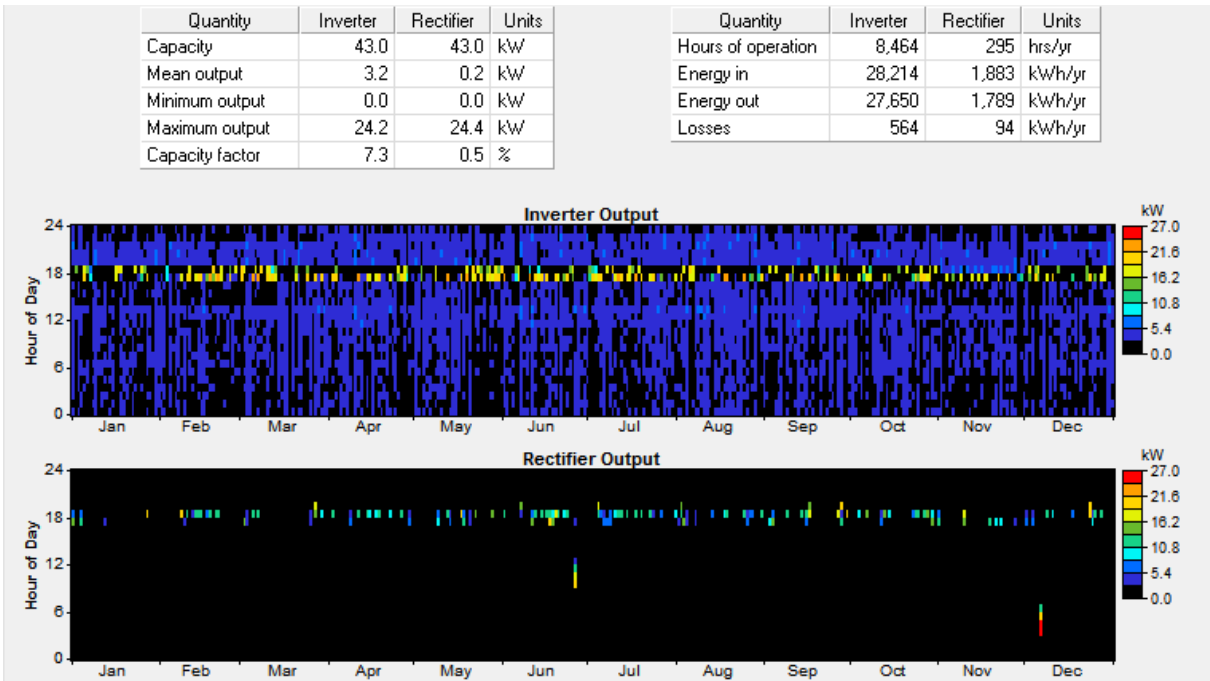


Figure A.20 : Energie de sortie par jour du convertisseur.

Pour les prix dans le marché algérien

1) Convertisseur / Chargeur solaire Hybride 5000W 48V MPPT. 75000 DA

Prix : 75000 DA Négociable

2) Un panneau solaire de 278 à 40.000 DA environ a-t-il estimé.

3) Groupe électrogène 6,3 kva marque ; kipor modèle ; kde 6700 t3 silencieux/diesel

140000 DA

4) Batterie Plomb, Gel & AGM, panneaux solaires :

Batterie tubulaire 2V - 2500 Ah/ OPzS Solar 2500 - CLASSIC SOLAR EXIDE 190000 DA

La bourse :

1 dollar américain = 108.38 dinars algériens le 28/07/2017