



+

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO**

DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de licence académique en Génie Electrique

ETUDE DE FAISABILITE DE L'ELECTRIFICATION DE LA VILLE D'ISOANALA PAR L'ENERGIE SOLAIRE

Présenté par :

- Mr ANDRIANANTENAINA Hery Nambinina
- Mr RAKOTONDRAIVA Rina Francis

Encadré par :

Mr RAVONISON Elie Rijatiana Hervé

Soutenu le : 24 Mars 2015

Promotion 2014



+

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO**

DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de licence académique en Génie Electrique

ETUDE DE FAISABILITE DE L'ELECTRIFICATION DE LA VILLE D'ISOANALA PAR L'ENERGIE SOLAIRE

Présenté par :

- Mr ANDRIANANTENAINA Hery Nambinina
- Mr RAKOTONDRANAIVO Rina Francis

Encadré par :

Mr RAVONISON Elie Rijatiana Hervé

Promotion 2014

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous sommes vivement reconnaissants envers Dieu parce que l'aboutissement de ce travail est une de ses grâces. Ce livre est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes dont :

- *Monsieur ANDRIANARY Philipe Antoine, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ;*
- *Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery, Chef de département Génie Electrique ;*
- *Monsieur RAVONISON Elie Rijatiana Hervé, encadreur de ce mémoire ;*
- *Monsieur RAMELINA Arimonjy qui a fait l'honneur de présidé ce présent mémoire ;*
- *Madame RAVALISON Nivo, examinateur de ce mémoire ;*
- *Tous mes professeurs à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ;*
- *Toutes nos familles et tous nos amis.*

Nous tenons à exprimer notre sincère et profonde gratitude à toutes ces personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	v
ABREVIATIONS ET SYMBOLES	vi
INTRODUCTION.....	1
Chapitre I : GENERALITES.....	2
I.1) L'énergie électrique	2
I.1.1) Production de l'énergie électrique.....	2
I.1.2) Les sources d'énergies non-renouvelables et renouvelables	2
I.2) L'électrification à Madagascar [3].....	3
I.2.1) La production d'électricité en général.....	3
I.2.2) L'électrification rurale.....	4
I.3) L'énergie solaire	5
I.3.1) Description de l'énergie solaire [4]	5
I.3.2) Quelques grandeurs de l'énergie solaire	5
I.3.3) L'effet photovoltaïque.....	6
Chapitre II : METHODOLOGIES	9
II.1) Evaluation du gisement solaire [6]	9
II.1.1) Les positions du soleil vue sur terre.....	9
II.1.2) Détermination de l'ensoleillement global d'un lieu.....	13
II.1.3) Détermination de l'irradiation solaire journalière d'un lieu	14
II.2) Etude technique	15
II.2.1) Evaluation du besoin énergétique [3].....	15
II.2.2) Dimensionnement du site de production d'énergie électrique [4]	16
II.2.3) Dimensionnement du transport et distribution d'énergie [2].....	18
II.3) Etude économique [1].....	20
II.3.1) Cout de l'électricité.....	20
II.3.2) Critères de rentabilité économique	20
II.3.3) Critères d'appréciation du projet.....	21
Chapitre III : CONCEPTION D'UN LOGICIEL DE GUIDE	22
III.1) Présentation	22
III.1.1) Objectifs.....	22

III.1.2) Caractéristiques.....	22
III.1.3) Fonctionnement	24
Chapitre IV : RESULTATS	29
IV.1) Partie technique de l'électrification d'Isoanala.....	29
IV.1.1) Détermination de la consommation journalière	29
IV.1.2) Dimensions des éléments du site de production de l'électricité.....	32
IV.1.3) Dimensions des lignes de transports	35
IV.2) Partie économique.....	38
IV.2.1) Devis estimatif.....	38
IV.2.2) Faisabilité économique.....	40
CONCLUSION	43
BIBLIOGRAPHIE	I
ANNEXES	II

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque	7
Figure 2 : Courbe $I=f(V)$ d'une cellule photovoltaïque	8
Figure 3 : Trajectoire annuelle du soleil en système de coordonnée écliptique.....	10
Figure 4 : Trajectoire journalière du soleil dans l'hémisphère N en système de coordonnée horizontale	12
Figure 5 : Schéma du réseau	19
Figure 6 : Interface du logiciel de guide	23
Figure 7 : Organigramme général	25
Figure 8 : Organigramme pour le gisement solaire.....	26
Figure 9 : Organigramme pour le dimensionnement du panneau solaire	27
Figure 10 : Organigramme pour le dimensionnement de la batterie.....	27
Figure 11 : Organigramme pour le choix du régulateur.....	28
Figure 12 : Organigramme pour le choix du convertisseur.....	28
Figure 13 : Diagramme de charge journalière $P=f(D)$	32
Figure 14 : Interface graphique du logiciel de guide avec des données et les résultats	33
Figure 15 : Schémas de branchement des panneaux et des batteries	34
Figure 16 : Schéma générale de l'installation	35
Figure 17 : Schémas de la ligne 1 avec ses différentes charges	36
Figure 18 : Schéma de la ligne secondaire	37
Figure 19 : Ensoleillement dans toute l'île.....	VI

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeur de l'albédo en Wm^2	14
Tableau 2 : Classement des ménages	15
Tableau 3 : Choix de la tension du système	16
Tableau 4 : Distribution des lignes conductrices	19
Tableau 5 : Consommation des ménages types 1	29
Tableau 6 : Consommation des ménages types 2	30
Tableau 7 : Consommation des ménages types 3	31
Tableau 8 : Charges journalières de la ville d'Isoanala	32
Tableau 9 : Les différents types de ligne	36
Tableau 10 : Moment de puissance des lignes principales	36
Tableau 11 : Moment de puissance des lignes secondaires	37
Tableau 12 : Devis estimatif du projet	40
Tableau 13 : Facture des 3 types de ménage	41
Tableau 14 : Etude comparative du cout de l'électricité de 2 centrales	42
Tableau 15 : Les données contenu dans le fichier donnee.txt	III
Tableau 16 : Valeurs de l'irradiation solaire	V
Tableau 17 : Coefficient de simultanéité en fonction du nombre d'abonnés	VI

ABREVIATIONS ET SYMBOLES

P_U : Puissance d'utilisation [W]

A_{ij} : Nombre d'appareil de type i pour le ménage de type j

B_j : Besoin journalier [Wh/J];

D_{ij} : Durée de fonctionnement de l'appareil de type i pour le ménage de type j [Heure]

E_{min} : Energie solaire minimale du lieu, en $\left[\frac{KWh}{m^2 \times jour}\right]$

F_{SA} : Flux solaire à la sortie de l'atmosphère

K_0 : Coefficient de simultanéité pour trois types de ménages

K_{CM} : Facteur de conversion du module

K_{ij} : Coefficient de simultanéité pour le nombre d'appareil de type i pour le ménage de type j

K_j : Coefficient de simultanéité pour le nombre d'habitat du ménage de type j

K_M : Coefficient de transmissivité

K_N : Coefficient de nébulosité

K_{PD} : Coefficient de profondeur de décharge

K_S : Constante solaire $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

P_{CT} : Puissance crête total [W]

P_{ij} : Puissance de l'appareil de type i pour le ménage de type j [W]

R_{albedo} : Ensoleillement produit par le l'albédo $\left[\frac{W}{m^2}\right]$.

R_{diffus} : Ensoleillement produit par le rayonnement diffus $\left[\frac{W}{m^2}\right]$;

R_{direct} : Ensoleillement produit par le rayonnement direct $\left[\frac{W}{m^2}\right]$;

R_{global} : Ensoleillement du rayonnement global sur la surface $\left[\frac{W}{m^2}\right]$;

T_j : Nombre d'habitat du ménage de type j

U_S : Tension du système [V]

ΔT : Durée d'ensoleillement en [heure].

ac : Orientation du capteur vers le nord

B_j : Energie que doit fournir le générateur

C_{bat} : Capacité batterie 120 [Ah]

DRCI : Durée de Récupération du Capital Investi

dt : durée d'ensoleillement journalière [h]

E_{jmax} : irradiation solaire maximum de l'année

E_{jmin} : irradiation solaire minimum de l'année

E_T : Irradiation solaire

I : Intensité [A]

K : Coefficient de simultanéité

km : Coefficient de transmissivité

kn : Coefficient de nébulosité

ks : Constante solaire

n : Durée d'autonomie ;

N_{BP} : Nombre de batterie en parallèle

N_{BS} : Nombre de batterie en série

N_{BT} : Nombre de batterie total

nf : Numéro fuseau horaire

N_{PP} : Nombre de module en parallèle

N_{PS} : Nombre de module en série

N_{PT} : Nombre de module total

P_{mod} : Puissance crête du module : 150 [Wc]

P_u : Puissance de pointe

R : Résistance

TRI : Taux de Rentabilité Interne

t_{sm} : Temps solaire moyenne

U : Tension [V]

V : Tension

VAN : Valeur Actuel Net

ρ : Résistivité du conducteur $\left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$.

INTRODUCTION

A Madagascar, l'approvisionnement en électricité de régions rurales par le réseau national est difficile. La plupart de ces milieux sont enclavées et très loin des lignes de transports d'énergie électriques.

L'utilisation de l'énergie solaire semble donc être une solution intéressante. Mais le dispositif photovoltaïque est très onéreux.

Il faut donc concevoir un système adapté au village et analyser les implications économiques de ce projet.

Ainsi la présente étude intitulée « ETUDE DE FAISABILITE DE L'ELECTRIFICATION DE LA VILLE D'ISOANALA PAR L'ENERGIE SOLAIRE » propose une installation selon le besoin de ce village et donne les critères de rentabilités de l'investissement.

L'objectif est d'évaluer la rentabilité économique de l'utilisation de l'énergie solaire pour le choix de mode d'électrification de la ville d'Isoanala.

Pour atteindre cet objectif, on a divisé ce travail en quatre chapitres, qui sont:

- Généralités ;
- Méthodologie;
- Conception d'un logiciel de guide ;
- Résultats.

Chapitre I : GENERALITES

I.1) L'énergie électrique

I.1.1) Production de l'énergie électrique

I.1.1.1) Définition de l'énergie électrique

L'énergie électrique est l'énergie produite par le déplacement de charge électrique dans un milieu conducteur. On peut la transporter et la transformer en d'autre forme d'énergie.

I.1.1.2) Production d'énergie électrique

L'énergie électrique est obtenue en transformant d'autres formes d'énergies par le biais des générateurs électriques. Il existe plusieurs sources de cette énergie, à savoir : les énergies fossiles et fissiles, l'énergie renouvelable.

I.1.1.3) Utilisation de l'énergie électrique

Il existe plusieurs domaine d'utilisation de l'électricité, dont :

a) Moteurs électriques

Les moteurs électriques mettent en jeu des phénomènes électromagnétiques pour avoir du travail. Ils sont utilisés dans les dispositifs nécessitant de l'énergie mécanique, tels que les broyeurs à riz, les appareils frigorifiques, les appareils électroménagers...

b) Electronique

L'électronique est le domaine où on exploite les variations des grandeurs électriques pour traiter des informations. Dans les ménages, les appareils électroniques sont utilisés en général pour le divertissement familial (le poste téléviseur, le poste radio...), la communication (téléphone cellulaires) et quelques taches ménagères.

c) Eclairage

- Lampe à incandescence : utilise le phénomène d'effet joule pour produire de la lumière.
- Lampe fluorescent : utilise le phénomène d'arc électrique pour avoir de la lumière.

I.1.2) Les sources d'énergies non-renouvelables et renouvelables

I.1.2.1) Les énergies non-renouvelables

Les énergies non-renouvelables sont les sources d'énergies qui peuvent s'épuiser dans le temps. Les deux principaux types de cette énergie sont :

- Les énergies fossiles : ce sont les combustibles fossiles, qui sont des roches issues de la fossilisation d'éléments organiques en : pétrole, gaz naturel et houille (charbon).
- Les énergies fissiles : ce sont les combustibles fissiles utilisés pour la réaction de fission nucléaire, l'uranium par exemple.

I.1.2.2) Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des sources qui se renouvellent et ne s'épuisent pas dans le temps à l'échelle humaine. Il y a plusieurs sources d'énergie renouvelable, par exemple :

- L'énergie éolienne : c'est l'énergie cinétique du vent, exploitée en général pour avoir un mouvement de translation (dans les bateaux à voiles) ou de rotation (dans une éolienne).
- La biomasse : toutes les matières et déchets organiques d'origine végétale ou animale.
- L'énergie hydraulique : c'est l'énergie cinétique de l'eau, exploitée en général pour avoir un mouvement de rotation grâce à une turbine hydraulique.
- L'énergie géothermique : énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique.
- L'énergie solaire : énergie fournie par les rayons du soleil.

I.2) L'électrification à Madagascar [3]

I.2.1) La production d'électricité en général

I.2.1.1) Caractéristiques de la production d'énergie électrique

A Madagascar, environ 90% de l'énergie électrique utilisée est produite par la société JIRAMA (Jiro sy Rano Malagasy). Elle possède 54 réseaux électriques dont la production est assurée par 12 centrales hydrauliques et 54 thermiques. Le 10% restant provient de l'autoproduction.

I.2.1.2) Capacité des installations de production d'électricité

En 2003, les installations de production d'énergies électrique de tout Madagascar est de 256 [MW]. Elle est composée essentiellement de :

- Installations thermiques : 124 MW soit 49% ;
- Installations hydraulique : 129 MW soit 51%.

I.2.2) L'électrification rurale

I.2.2.1) Le taux d'électrification

Madagascar possède un faible taux d'électrification, surtout en milieu rural. C'est environ 22,7 % dans tout le territoire, dont le taux de l'électrification rural est de 32 %.

I.2.2.2) Rôles de l'électrification rurale

L'électrification rurale consiste à approvisionner les usagers ruraux en énergie électrique. Elle offre une vie confortable dans le monde rurale, diminue les durs travaux et permet l'essor de la culture général.

I.2.2.3) Plans pour l'électrification d'un village

Pour l'électrification d'un village, il est nécessaire d'élaborer les trois plans suivants:

a) Plan technique

Le plan technique pour l'électrification d'un village contient :

- Le choix du mode de production ;
- La maîtrise de l'énergie ;
- Evaluation du cout de l'énergie.

b) Plan institutionnel

Ce plan comprend les rôles de l'Etat :

- définir les normes sur l'électrification ;
- planifier les processus de distributions ;
- protéger les usagers et les opérateurs ;
- aider ces derniers aux investissements initiaux nécessaires (co-financement).

Le rôle d'intermédiaire entre l'Etat et les usagers, et le développement du service pendant le contrat est assurée par le secteur privé.

c) Plan organisationnel

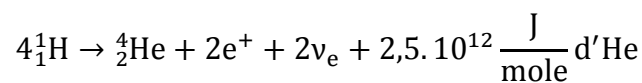
C'est l'ensemble de tous les travaux de gestion liée à la production et distribution de l'énergie électrique.

1.3) L'énergie solaire

1.3.1) Description de l'énergie solaire [4]

L'énergie solaire est l'énergie résultant de la réaction de fusion nucléaire dans soleil. Elle se propage dans l'espace sous forme de rayonnement électromagnétique.

Le soleil est l'Etoile la plus proche de la terre. C'est une sphère gazeuse d'environ 1 400 000 Km de diamètre. Ses éléments principaux sont l'hydrogène, l'hélium, et 70 autres éléments lourds. Il est le siège de la réaction de fusion thermonucléaire exothermique d'équation :



1.3.2) Quelques grandeurs de l'énergie solaire

1.3.2.1) Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est le mode de transfert de l'énergie solaire. Elle est composée de trois types de rayon :

- Le rayonnement direct ;
- Le rayonnement diffus ;
- L'albédo.

Son spectre est constitué par:

- les rayons γ et rayons X : ayant une longueur d'onde $\lambda < 0,3 [\mu\text{m}]$, dangereux, arrêtés par l'atmosphère ;
- les rayons ultraviolets : $\lambda \approx 0,3 [\mu\text{m}]$, très agressifs et arrêtés par la couche d'ozone ;
- les rayons visibles ou la lumière blanche : $0,3 [\mu\text{m}] < \lambda < 0,7 [\mu\text{m}]$;
- les rayons infrarouges : $0,7 [\mu\text{m}] < \lambda < 2,7 [\mu\text{m}]$, transportent la chaleur.

1.3.2.2) L'ensoleillement

L'ensoleillement est la puissance par unité de surface du rayonnement solaire. Elle est exprimée en $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$.

1.3.2.3) L'irradiation solaire

L'irradiation solaire est l'énergie reçue sur une unité de surface par unité de temps. Elle est exprimée en $\left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \cdot [\text{unité de temps}]} \right]$.

I.3.3) L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la transformation du rayonnement solaire en courant électrique. C'est un phénomène photoélectrique se passant à l'intérieur d'une cellule photovoltaïque.

I.3.3.1) Les matériaux semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la conductivité électrique augmente sous température élevée, ou en présence de lumière, ou étant dopés. Voici quelques exemples de matériaux semi-conducteurs: le silicium, le germanium, le sélénium.

a) Bandes d'énergies des matériaux solides à structure cristalline

L'atome des matériaux à structures cristallines a plusieurs niveaux d'énergies distinctes occupées par des électrons. Dans la structure globale du solide, les niveaux d'énergies qui sont proches forment une bande d'énergie.

b) Conductivité électriques des matériaux semi-conducteurs

Les matériaux semi-conducteurs comprennent les trois bandes suivantes :

- La bande de valence : occupée par les électrons périphériques et complètement pleine ;
- La bande de conduction : elle est vide et plus élevée en énergie ;
- La bande interdite ou « gap » : elle sépare la bande de valence et la bande de conduction.

La transition des électrons de la bande de valence à la bande de conduction se fait par apport d'énergie qui peut rompre les liaisons covalentes. C'est une énergie supérieure ou égale à la largeur du gap. Cet apport d'énergie est donné par l'élévation de la température ou en présence de lumière.

c) Dopage des matériaux semi-conducteurs

Le dopage est l'ajout d'impuretés aux matériaux. Le nombre des électrons périphériques des dopants et des matériaux hôtes sont différents, d'où l'existence de particules chargées positivement ou négativement.

I.3.3.2) Les cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont des dispositifs qui transforment la lumière en énergie électrique.

a) Description physique des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont des plaquettes en matériaux semi-conducteurs, d'environ 0,2 [mm] d'épaisseurs et de quelques centimètres de cotées. La face exposée au soleil est dopée négativement et l'autre est dopée positivement. D'où, la jonction P-N est siège de champ électrique.

b) Fonctionnement en présence de lumière : l'effet photovoltaïque

En présence de lumière, les électrons pouvant passer à la bande de conduction laisse des trous dans la bande de valence. L'un des faces est alors chargée négativement, et l'autre positive, d'où le champ électrique dans la jonction P-N. Ce champ forme une barrière de potentiel au voisinage de la jonction, et une différence de potentiel entre les deux faces de la cellule.

I.3.3.3) Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

La représentation de la cellule photovoltaïque par son circuit équivalent permet d'évaluer ses grandeurs électriques.

a) schéma

Une cellule photovoltaïque en présence de lumière peut être représentée par le schéma suivant :

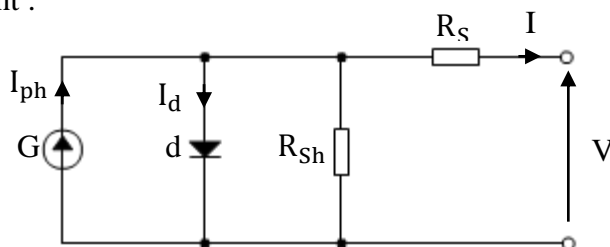


Figure 1 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Avec :

- G : générateur produisant un courant I_{ph} proportionnel à l'intensité de la lumière reçue;
- d : diode représentant le fonctionnement de la jonction P-N ;
- R_{Sh} et R_S : résistance shunt et résistance série représentant la qualité des matériaux.

b) Expression de $I=f(V)$

- La loi des nœuds appliquée à ce schéma donne la relation suivante :

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V}{R_{Sh}} \quad (1)$$

Pour une cellule au silicium multicristallin sous un ensoleillement de 1000 [W/m²],

$$I_{ph} = I_{cc} = 30 \text{ à } 35 \left[\frac{\text{mA}}{\text{cm}^2} \right]$$

- le courant traversant la diode est de la forme:

$$I_d = I_{ob} \times \left(e^{\frac{q \times V}{h \times K \times T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Avec :

- I_{ob} : courant de l'obscurité, $I_{ob} < 0,5 \text{ [mA]}$
- h : coefficient d'idéalité de la diode ;
- $\frac{K \times T}{q} = 26 \text{ [mV]}$ à température $T=600[^\circ\text{K}]$

D'où l'expression du courant en fonction de la tension :

$$I = f(V) = I_{ph} - I_{ob} \times \left(e^{\frac{q \times V}{h \times K \times T}} - 1 \right) - \frac{V}{R_{Sh}} \quad (3)$$

c) La courbe $I=f(V)$

L'allure de la représentation graphique de l'expression (3) est la suivante :

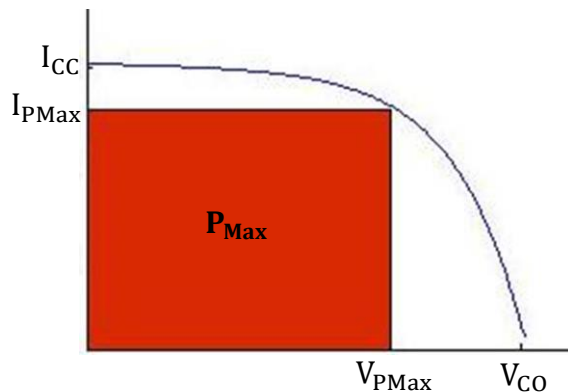


Figure 2 : Courbe $I=f(V)$ d'une cellule photovoltaïque

Cette courbe donne les grandeurs électriques d'une cellule photovoltaïque. Ce sont les points les points particuliers de cette courbe :

- I_{CC} : Courant de court-circuit ;
- V_{CO} : tension de circuit ouvert ;
- P_{Max} : puissance maximale fournie par la cellule.
- I_{PMax} et V_{PMax} : projection de P_{Max} sur les axes.

Chapitre II : METHODOLOGIES

II.1) Evaluation du gisement solaire [6]

II.1.1) Les positions du soleil vue sur terre

II.1.1.1) Les mouvements de la terre

Les différentes positions apparentes du soleil sur le ciel sont à cause des deux principaux mouvements de la terre:

- Mouvement de rotation autour du soleil pendant une année ;
- Mouvement de rotation par rapport à l'axe Nord-Sud de la terre pendant un jour.
- . La terre est sur une orbite de forme ellipse, et inclinée d'environ 23,45 degrés par rapport au plan normal a cet orbite,

II.1.1.2) Systèmes de coordonnées astronomiques

Les systèmes de coordonnées utilisés pour localiser les astres dans le ciel sont analogues au système de coordonnées géométrique pour localiser un point sur la surface du globe. Il existe plusieurs types de systèmes selon la référence choisit.

a) La sphère céleste

Les astres sont supposés se trouver sur une sphère imaginaire centrée sur un point d'observation sur terre. Cette sphère s'appelle la sphère céleste. On ne tient pas compte de la distance entre les astres et la terre.

b) Le système de coordonnées écliptique

Les différentes positions que prend le soleil sur la sphère céleste au cours d'une année forment un grand cercle appelé écliptique. C'est la trajectoire apparente du soleil sur la sphère céleste. Les références du système de coordonnée écliptique sont :

- L'équateur céleste : c'est la projection de l'équateur terrestre sur la sphère céleste. La coordonnée par rapport à ce référence est appelée déclinaison solaire. C'est l'homologue de la latitude en coordonnée géométrique terrestre ;
- Le méridien origine: c'est la cercle passant par l'intersection de l'équateur céleste et l'écliptique, et les pôles célestes. La coordonnée par rapport à ce référence est appelée ascension droite solaire. C'est l'homologue de la longitude en coordonnée géométrique terrestre ;

c) Le système de coordonnées horizontal

Les références du système de coordonnées horizontal sont :

- L'horizon de l'observateur: c'est le plan où se trouve l'observateur. La coordonnée par rapport à ce référence est appelée altitude solaire. C'est l'homologue de la latitude en coordonnée géométrique terrestre ;
- Le plan vertical contenant l'axe nord-sud: la coordonnée par rapport à ce référence est appelée azimuth solaire. C'est l'homologue de la longitude en coordonnée géométrique terrestre ;

II.1.1.3) Les positions du soleil dans une année vue sur terre

Les positions du soleil vu sur terre dans une année sont données par le mouvement de rotation de la terre autour du soleil. Ces positions sont localisées en système de coordonnées écliptiques.

a) Trajectoire du soleil en système de coordonnées écliptiques

La figure suivante montre :

- une demi-sphère céleste centrée sur un observateur O ;
- les références en coordonnées écliptiques ;
- la moitié de l'écliptique ;
- les coordonnées du soleil en un point S_1 .

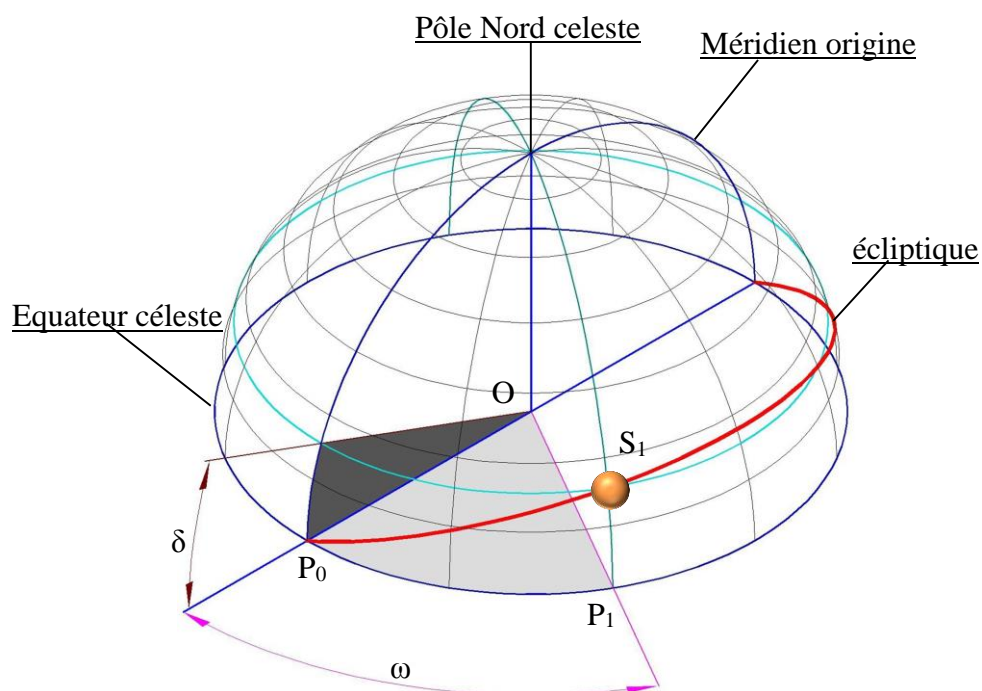


Figure 3 : Trajectoire annuelle du soleil en système de coordonnées écliptique

Avec :

- $\delta = \widehat{P_1OS_1}$: déclinaison du soleil ;
- $\omega = \widehat{P_0OP_1}$: ascension droite du soleil dans la sphère céleste.

L'équateur céleste et l'écliptique forme un angle de 23,45 degrés à cause de l'inclinaison de l'axe Nord-Sud de la terre.

b) Détermination de la déclinaison solaire :

La déclinaison solaire est en fonction du jour de l'année. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\delta = 23,45 \times \sin(0,986 \times (284 + J)) \quad (4)$$

Avec J : le numéro du jour de l'année.

c) Détermination de l'ascension solaire :

- L'angle du jour est défini par la formule suivante :

$$H_J = \frac{(J - 81) \times 360}{365} \quad (5)$$

- D'où l'équation du temps en [heure] :

$$ET = -9,87 \sin(2H_J) + 7,53 \cos(H_J) + 1,5 \sin(H_J) \quad (6)$$

- On a donc la relation suivante qui donne le Temps Solaire Vrai en [heure] :

$$TSV = TSM - NF + \frac{\lambda_0}{15} + \frac{ET}{60} \quad (7)$$

- L'ascension droite solaire est donnée par la formule :

$$\omega = \frac{TSV - 12}{15} \quad (8)$$

Avec :

- J : le numéro du jour de l'année
- TSM : Temps Solaire Moyen, c'est le temps réel au point O, en [heure];
- NF : Numéro du Fuseau horaire de O ;
- λ_0 : Longitude de O ;

II.1.1.4) Les positions du soleil vues sur terre dans une journée

Les positions du soleil vu sur terre dans une journée sont données par le mouvement de rotation de la terre autour de son axe Nord-Sud. Elles sont localisées en système de coordonnées horizontale.

a) Trajectoire du soleil en système de coordonnées horizontale

La figure suivante montre une demi-sphère céleste centrée sur un observateur O, les références en coordonnées horizontale, la trajectoire du soleil et les coordonnées en un point S_2 .

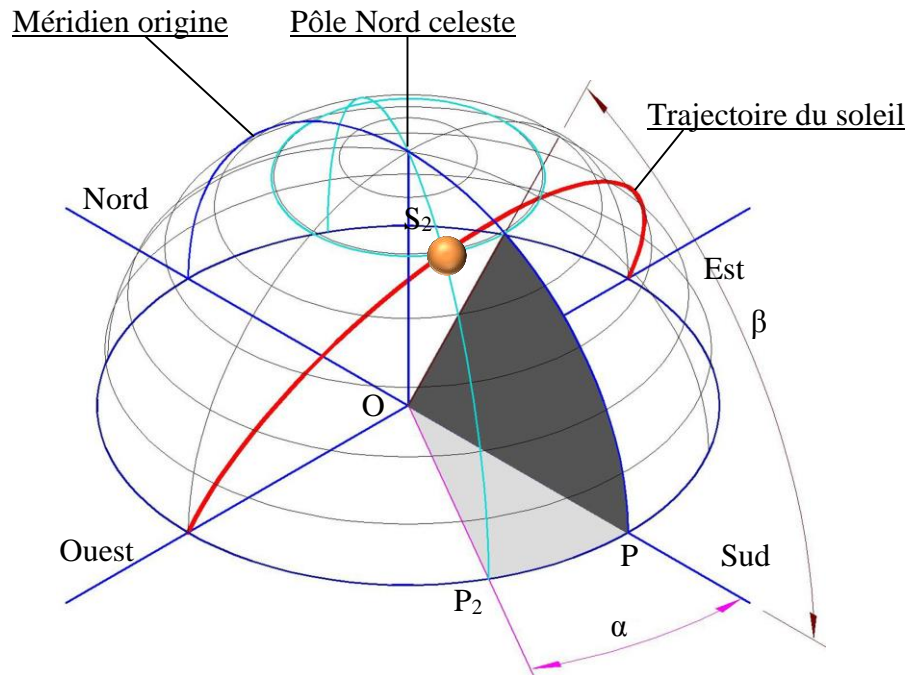


Figure 4 : Trajectoire journalière du soleil dans l'hémisphère N en système de coordonnée horizontale

Avec :

- α : azimut solaire;
- β : altitude solaire.

b) Détermination de l'altitude solaire :

On peut obtenir l'altitude solaire par la formule suivante :

$$\sin(\beta) = \sin(\delta) \times \sin(\lambda_a) + \cos(\delta) \times \cos(\lambda_a) \times \cos(\omega) \quad (9)$$

Avec λ_a : latitude du point O.

c) Détermination de l'azimut solaire :

L'azimut solaire est obtenu par la formule suivante :

$$\sin(\alpha) = \frac{\sin(\delta) \times \cos(\lambda_a) - \cos(\delta) \times \sin(\lambda_a) \times \sin(\omega)}{\sin(\beta)} \quad (10)$$

II.1.2) Détermination de l'ensoleillement global d'un lieu

II.1.2.1) Angle d'incidence du rayonnement solaire sur un capteur

L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur un capteur est l'angle que fait ce rayonnement par rapport à la normale du capteur. Il se calcule comme suit :

$$\cos(I_R) = \cos(\beta) \times \sin(I_C) \times \cos(\alpha_C - \alpha) + \sin(\beta) \times \cos(I_C) \quad (11)$$

Avec :

- I_R : angle d'incidence du rayonnement solaire sur le capteur ;
- β : altitude solaire ;
- I_C : Angle d'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontale ;
- α : azimut solaire ;
- α_C : Orientation du capteur :
 - 0° pour une orientation vers le Nord ;
 - 90° pour une orientation vers l'Est ;
 - 180° pour une orientation vers le Sud ;
 - -90° pour une orientation vers l'Ouest.

II.1.2.2) L'ensoleillement global du lieu

On a vu que le rayonnement global est formée de trois rayonnement solaire. L'ensoleillement global est donc la somme des ensoleillements produit par ces trois types de rayonnement:

$$R_{\text{global}} = R_{\text{direct}} + R_{\text{diffus}} + R_{\text{albédo}} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (12)$$

Avec :

- R_{direct} : ensoleillement produit par le rayonnement direct, exprimée en $\left[\frac{W}{m^2} \right]$;
- R_{diffus} : ensoleillement produit par le rayonnement diffus, exprimée en $\left[\frac{W}{m^2} \right]$;
- $R_{\text{albédo}}$: ensoleillement produit par le l'albédo, exprimée en $\left[\frac{W}{m^2} \right]$.

a) L'ensoleillement du rayonnement direct

L'ensoleillement produit par le rayonnement direct est obtenu par la formule suivante :

$$R_{\text{direct}} = S_c \times F_{SA} \times K_M \times \cos(I_R) \quad (13)$$

- $S_c = 0$ ou 1 , selon l'ombrage ;
- F_{SA} : flux solaire à la sortie de l'atmosphère

$$F_{SA} = K_S \times \left(1 - \frac{\sin \delta}{11,7}\right) \quad (14)$$

➤ K_S : constante solaire, en $\left[\frac{W}{m^2}\right]$.

- K_M : coefficient de transmissivité, représentant la fraction du rayonnement incident à la surface de l'atmosphère qui atteint le sol le long d'une trajectoire verticale.

b) L'enseillement du rayonnement diffus :

L'enseillement du rayonnement diffus est donné par la relation suivante :

$$R_{diffus} = F_{SA} \times (0,271 - 0,294 \times K_M) \times \sin(\beta) \times 10 \quad (15)$$

c) L'enseillement de l'albédo

L'enseillement de l'albédo est donné dans le tableau suivant :

Type de sol	Albédo
Sol humide	0,05 à 0,30
Sol sec	0,15 à 0,40
Savane	0,16 à 0,21
Forêt tropicale humide	0,13
Forêt de conifère	0,08 à 0,13
Neige	0,45 à 0,90

Tableau 1 : Valeur de l'albédo en $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

II.1.3) Détermination de l'irradiation solaire journalière d'un lieu

L'irradiation solaire journalière d'un lieu est donnée par la formule :

$$E_J = (1 - K_N) \frac{2}{\pi} R_{global} \Delta T \quad (16)$$

Elle est exprimée en $\left[\frac{Wh}{m^2 \cdot \text{jours}}\right]$, avec :

- K_N : coefficient de nébulosité, désignant la couverture du ciel par les nuages, de l'ordre de 1/8 à 8/8 ;
- R_{global} : enseillement du rayonnement global sur la surface, en $\left[\frac{W}{m^2}\right]$;
- ΔT : durée d'enseillement en [heure].

II.2) Etude technique

II.2.1) Evaluation du besoin énergétique [3]

II.2.1.1) Classification des ménages

a) Données sur la ville d'Isoanala

Les Données sur la ville d'Isoanala sont :

- Nombres d'habitats (maison) : 500
- Nombres d'habitants : environs 3000 habitants
- Besoin en électricité : 2 éclairages / habitats, 20 frigo / 500 habitats, 220 audiovisuels / 500, 220 Lecteurs / 500

b) Classement en 3 types de ménage

Les ménages de la ville d'Isoanala sont classifiés en trois types selon les différents appareils électriques utilisés. Le tableau suivant résume cette classification :

Nom	Type 1	Type 2	Type 3
Nombre	280	200	20
Appareils utilisés	2 lampes	2 lampes 1 radio 1 poste téléviseur 1 lecteur	2 lampes 1 radio 1 poste téléviseur 1 frigo

Tableau 2 : Classement des ménages

II.2.1.2) Evaluation de la consommation journalière

La consommation journalière est donnée par la relation suivante :

$$B_j = K_0 \times \sum_{j=1}^m K_j \times T_j \times \sum_{i=1}^n K_{ij} \times A_{ij} \times P_{ij} \times D_{ij} \quad (17)$$

Avec :

K_0 : Coefficient de simultanéité pour trois types de ménages ;

K_j : Coefficient de simultanéité pour le nombre d'habitat du ménage de type j ;

T_j : Nombre d'habitat du ménage de type j ;

K_{ij} : Coefficient de simultanéité pour le nombre d'appareil de type i pour le ménage de type j ;

A_{ij} : Nombre d'appareil de type i pour le ménage de type j ;

P_{ij} : Puissance de l'appareil de type i pour le ménage de type j ;

D_{ij} : Durée de fonctionnement de l'appareil de type i pour le ménage de type j ;

La puissance de pointe est la puissance du point maximum de la courbe donnée par la relation (17).

II.2.2) Dimensionnement du site de production d'énergie électrique

[4]

II.2.2.1) Choix de la tension du système

Le choix de la tension du système est donné par le tableau suivant :

Conditions	Tension du système
$P_U \leq 200[W]$	$U_S=12[V]$
$200 < P_U \leq 1000 [W]$	$U_S=24[V]$
$P_U > 1000 [W]$	$U_S=48[V]$

Tableau 3 : Choix de la tension du système

- P_U : puissance d'utilisation;
- U_S : tension du système.

II.2.2.2) Dimensionnement du module photovoltaïque à installer

a) La puissance crête nécessaire

La puissance crête du module à installer est donnée par la formule suivante :

$$P_{CT} = \frac{B_j}{K_{CM} \times E_{min}} [Wc] \quad (18)$$

Avec :

- P_{CT} : puissance crête total du (des) module(s) à installer ;
- B_j : besoin journalier, en [Wh/J];
- K_{CM} : facteur de conversion du module. La valeur approchée pour un système avec batterie est : 0,65 ;
- E_{min} : énergie solaire minimale du lieu, en $\left[\frac{KWh}{m^2 \times jour}\right]$;

b) Nombre de panneau solaire

- Le nombre de module en série est :

$$N_{PS} = \frac{U_S}{U_{mod}} \quad (19)$$

- Le nombre de branche en parallèle est :

$$N_{PP} = \frac{P_{CT}}{P_{mod} \times N_{PS}} \quad (20)$$

D'où le nombre total de module photovoltaïque :

$$N_{PT} = N_{PS} \times N_{PP} \quad (21)$$

Avec U_{mod} : tension du module choisi ;

II.2.2.3) Dimensionnement de la batterie

a) Capacité de la batterie

La capacité de la batterie est donnée par la formule :

$$C_T = \frac{B_J \times n}{K_{PD} \times U_S} [Ah] \quad (22)$$

Avec :

- n : durée d'autonomie ;
- K_{PD} : coefficient de profondeur de décharge. Sa valeur idéale est de 20%, soit $K_{PD} = 0,2$. C'est la valeur limite pour éviter l'irréversibilité la sulfatation de l'électrode.

b) Nombre de batterie

- Le nombre de batterie en série est :

$$N_{BS} = \frac{U_S}{U_{bat}} \quad (23)$$

- Le nombre de batterie en parallèle est :

$$N_{BP} = \frac{C_T}{C_{bat} \times N_{BS}} \quad (24)$$

D'où le nombre total de batterie :

$$N_{BT} = N_{BS} \times N_{BP} \quad (25)$$

Avec U_{bat} : tension de la batterie

II.2.2.4) Dimensionnement du régulateur

a) Courant maximal du système

Le courant maximal du système est la valeur la plus grande entre le courant débitée par le panneau solaire et le courant d'utilisation.

$$I_{\text{Max}} = \max\{I_P; I_U\} \text{ [A] , avec } I_P = \frac{P_{\text{mod}} \times N_{\text{PT}}}{U_{\text{min}}} \text{ [A] et } I_U = \frac{P_T}{U_{\text{min}}} \text{ [A]} \quad (26)$$

- U_{min} : Tension minimale à la sortie de la batterie, égale à 1,9 [V] par élément de 2 volts ;
- I_P : courant débitée par le panneau solaire ;
- I_U : courant d'utilisation.

b) Choix du régulateur

La condition pour que le régulateur supporte le courant I_{Max} est :

$$I_{\text{reg}} \geq I_{\text{Max}} \quad (27)$$

Avec I_{reg} : calibre du régulateur.

II.2.2.5) Choix du convertisseur

Le convertisseur à utiliser est un onduleur avec un transformateur élévateur de tension intégré. On prend le type de convertisseur qui a une puissance supérieur a la puissance de pointe.

II.2.3) Dimensionnement du transport et distribution d'énergie [2]

II.2.3.1) Le réseau

La ligne choisit est une ligne monophasée 220 [V]. Le schéma du réseau est montré par la figure suivante.

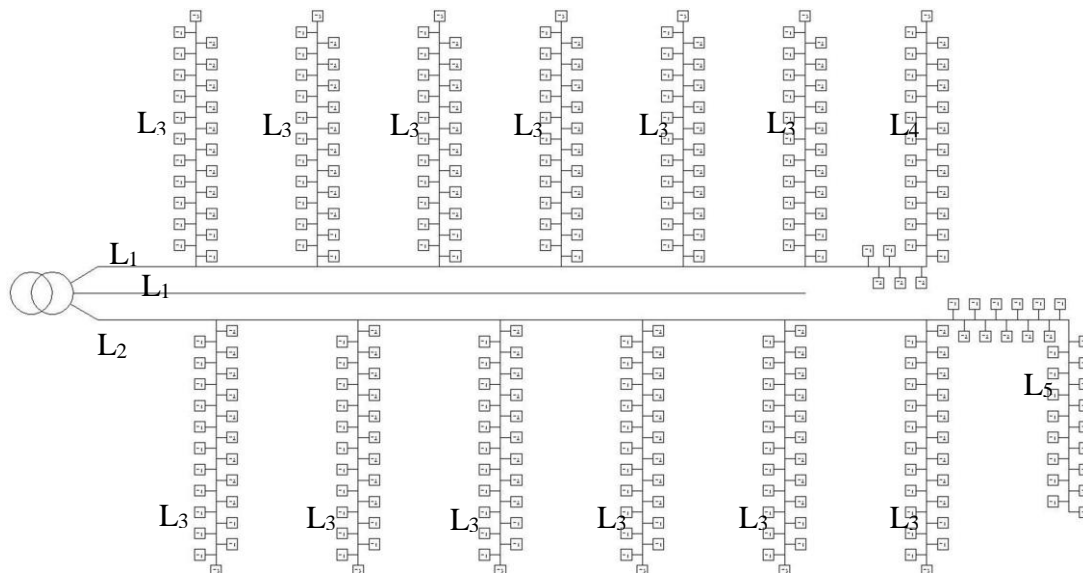


Figure 5 : Schéma du réseau

Le reseau contient 5 types de ligne dont leurs caracteristiques sont resumees dans le tableau ci-dessous.

lignes	quantite	caracteristiques
L ₅	1	- 16 menages type 1 - 12 menages type 2
L ₄	1	- 15 menages type 1 - 12 menages type 2 - 1 menage type 3
L ₃	19	- 13 menages type 1 - 9 menages type 2 - 1 menage type 3
L ₂	1	- 1 ligne type L ₅ - 6 lignes type L ₃
L ₁	2	- 1 ligne type L ₄ - 5 lignes type L ₃

Tableau 4 : Distribution des lignes conductrices

II.2.3.2) Sections des câbles

La chute de tension au bout de la ligne est donnée par la formule :

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\max} = \frac{\rho \times K \times \sum(P \times l)}{A \times U^2} \quad (28)$$

D'où la relation qui donne la section :

$$A \geq \frac{\rho \times K \times \sum(P \times l)}{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\max} \times U^2} \quad (29)$$

Avec :

- ρ : résistivité du conducteur en $\left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}\right]$.
- K : coefficient de simultanéité ;
- $P \times l$: moment de puissance ;
- $\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\max} = 0,03$, chute de tension admissible au bout de la ligne ;
- U : tension du réseau.

II.3) Etude économique [1]

II.3.1) Cout de l'électricité

La méthode empirique pour déterminer le cout de l'unité d'un produit est le rapport entre l'investissement et le produit obtenu. En considérant que la durée de vie du panneau solaire est de 25 ans, le cout du kilowattheure de l'électricité produit est donc le rapport entre le montant total de l'installation et l'énergie total produit par le système pendant ces 25 ans.

$$\text{Cout de l'électricité} = \frac{\text{Cout total du projet}}{\text{Energie total recus pendant 25 ans}} \left[\frac{\text{Ariary}}{\text{Kwh}}\right] \quad (30)$$

II.3.2) Critères de rentabilité économique

II.3.2.1) Durée de récupération du capital investi ou DRCI

La DRCI est la durée au bout de laquelle le cumul des argents perçus par consommation d'énergie électrique est égal au montant de l'investissement de l'installation photovoltaïque :

$$\text{DRCI} = \frac{\text{montant de l'investissement}}{\text{cumulation annuelle des argents perçus}} \quad (31)$$

II.3.2.2) Taux de rentabilité interne ou TRI

Le TRI est le taux d'actualisation qui annule la valeur actuelle nette (VAN). La VAN est donné par la relation :

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1 + \text{TRI})^t} - I_0 \quad (32)$$

II.3.3) Critères d'appréciation du projet

II.3.3.1) Critères selon la DRCI

Les critères d'appréciation suivant la DRCI sont :

- Temps d'amortissement de l'installation par rapport à la durée de vie du panneau solaire ;
- Nombre d'année où on va récolter du bénéfice.

II.3.3.2) Les critères d'appréciation suivant le TRI

Le TRI permet de comparer le projet avec d'autre cas ou autre dispositifs. Le projet est rentable si TRI est supérieur au taux d'intérêt.

$\text{TRI} > \text{Taux d'intérêt} \rightarrow \text{Projet acceptable}$

$\text{TRI} < \text{Taux d'intérêt} \rightarrow \text{Projet non acceptable}$

Chapitre III : CONCEPTION D'UN LOGICIEL DE GUIDE

III.1) Présentation

III.1.1) Objectifs

III.1.1.1) Caractéristique du gisement solaire d'un lieu

Le système photovoltaïque produit de l'énergie électrique en fonction du gisement solaire qui est différent chaque jour pendant une année. D'où il est nécessaire de connaître le gisement solaire pendant 365 jours pour évaluer l'énergie électrique produit.

MATLAB permet de manipuler les matrices comme étant un simple variable, donc, il est plus facile de déterminer les caractéristiques du gisement solaire journalier d'un lieu considéré sur cet outil.

III.1.1.2) Dimensionnement du site de production d'énergie électrique

Pour assurer que le système peut répondre au besoin en énergie électrique pendant toute l'année, il est plus intéressant de le dimensionner en fonction de l'irradiation solaire minimum du lieu. MATLAB peut sélectionner cette valeur minimum parmi les 365 valeurs obtenues.

III.1.2) Caractéristiques

III.1.2.1) Interface graphique

L'interface graphique permet de faciliter la saisie des données et l'aperçu des résultats. La figure suivante montre la GUI (Graphic User Interface) pour le dimensionnement du système :

Figure 6 : Interface du logiciel de guide

Avec :

L'interface n° 1: zone pour entrer les différentes données montrées par les étiquettes suivantes : latitude, longitude, tsm (temps solaire moyen), nf (numéro fuseau horaire), ks (constante solaire), ac (orientation du capteur), km (coefficient de transmissivité), albédo, kn (coefficient de nébulosité), dt (durée d'ensoleillement), Pu (puissance d'utilisation), Bj (besoin journalier), Pmod (puissance crête du module), Cbat (capacité de la batterie), Aut. (durée d'autonomie) ;

L'interface n° 2: zone pour afficher les résultats du calcul du gisement solaire : ejmin (irradiation solaire journalière minimal), ejmax (irradiation solaire journalière maximal), num jour (numéro du jour de l'année pour ejmin/ejmax), jours, mois (date du ejmin/ejmax)

L'interface n° 3: zone pour montrer la courbe représentant les irradiances solaires journalières de l'année :

L'interface n° 4: zone de texte affichant la tension du système, montrée par l'étiquette (us) ;

L'interface n° 5: zone montrant les dimensions du parc panneau solaire : Pct (puissance crête total), Nps (nombre de panneau en série), Npp (nombre de panneau en parallèle), Npt (nombre total de panneau solaire) ;

L'interface n° 6: zone pour afficher les dimensions du parc batterie : Ct (capacité total), Nbs (nombre de batterie en série), Nbp (nombre de batterie en parallèle), Npt (nombre total de batterie) ;

L'interface n° 7: zone pour montrer la caractéristique du régulateur et du convertisseur : Ip (courant débitée par le panneau solaire), Iu (courant d'utilisation), Ireg (calibre du régulateur), Pconv (puissance du convertisseur)

III.1.2.2) Les résultats obtenus

Les résultats obtenus sont :

- Les irradiances solaires journalières d'une année avec courbe;
- La tension du système ;
- Dimensions du parc panneau solaire (puissance crête nécessaire et nombre de module), et du parc batterie (capacité nécessaire et nombre de batterie) ;
- Courant maximal, proposition de régulateur et de convertisseur.

III.1.3) Fonctionnement

III.1.3.1) Organigramme général

L'algorithme de calcul suit la méthode vue en paragraphe II.2.1 pour le calcul du gisement solaire, et celle du paragraphe II.2.2 pour le dimensionnement du système photovoltaïque. La figure suivante montre l'organigramme général de calcul :

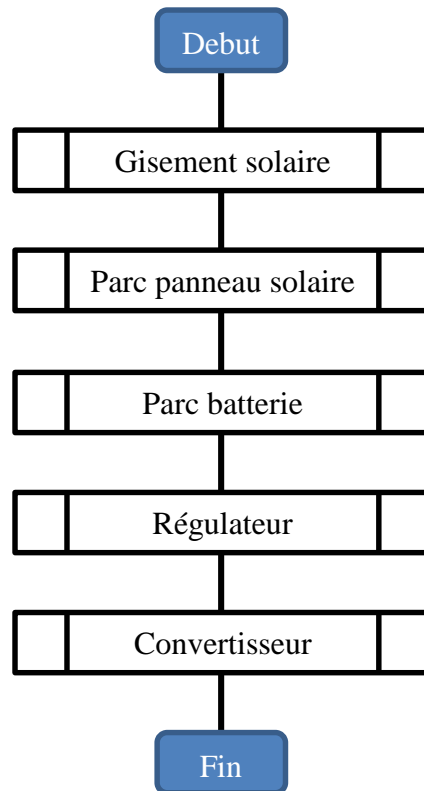


Figure 7 : Organigramme général

III.1.3.2) Organigramme pour le gisement solaire

La figure suivante montre l'organigramme suivi pour le calcul du gisement solaire :

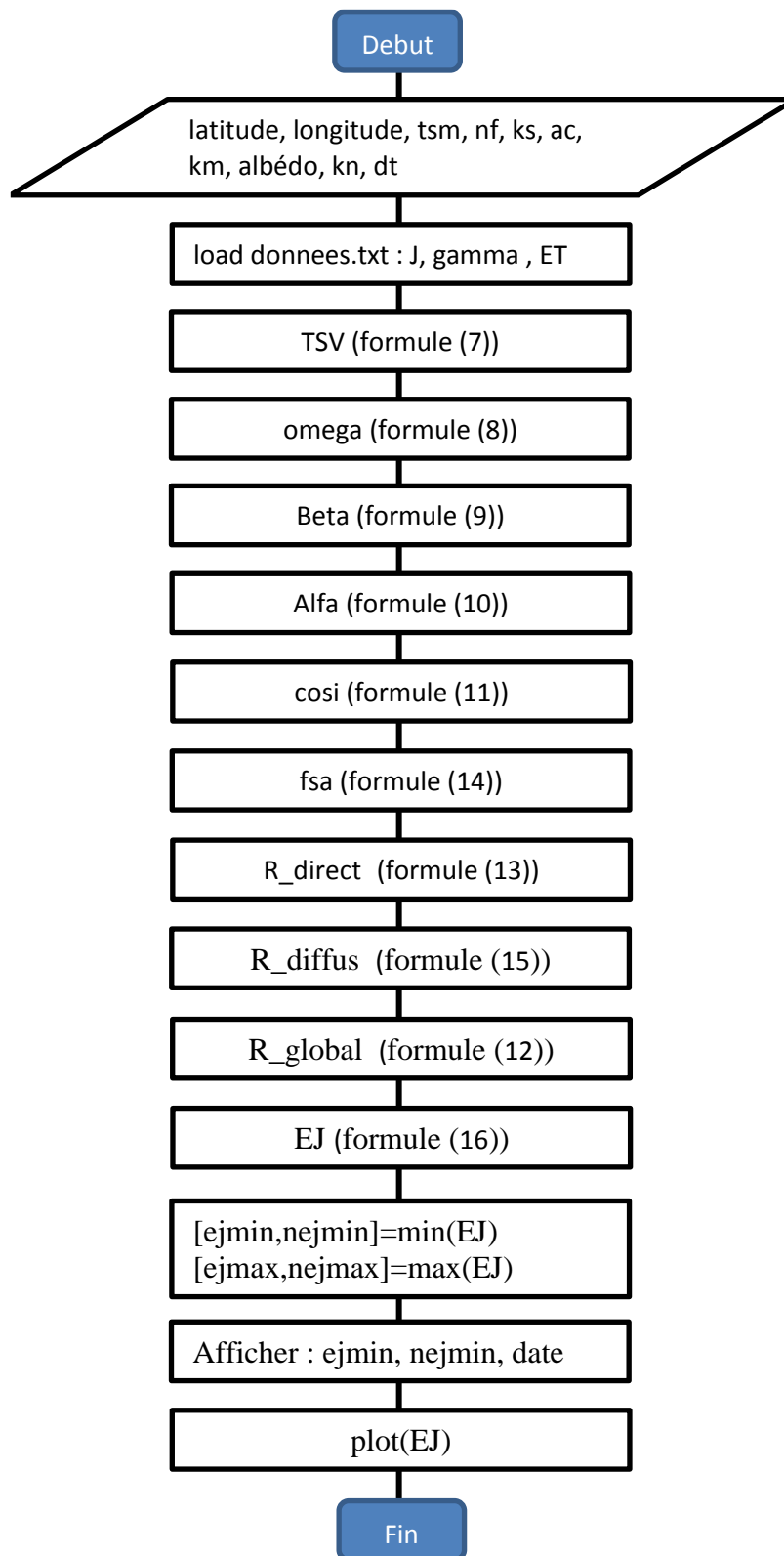


Figure 8 : Organigramme pour le gisement solaire

Les contenues du fichier donnees.txt sont données en annexe.

III.1.3.3) Organigramme pour le dimensionnement du panneau solaire

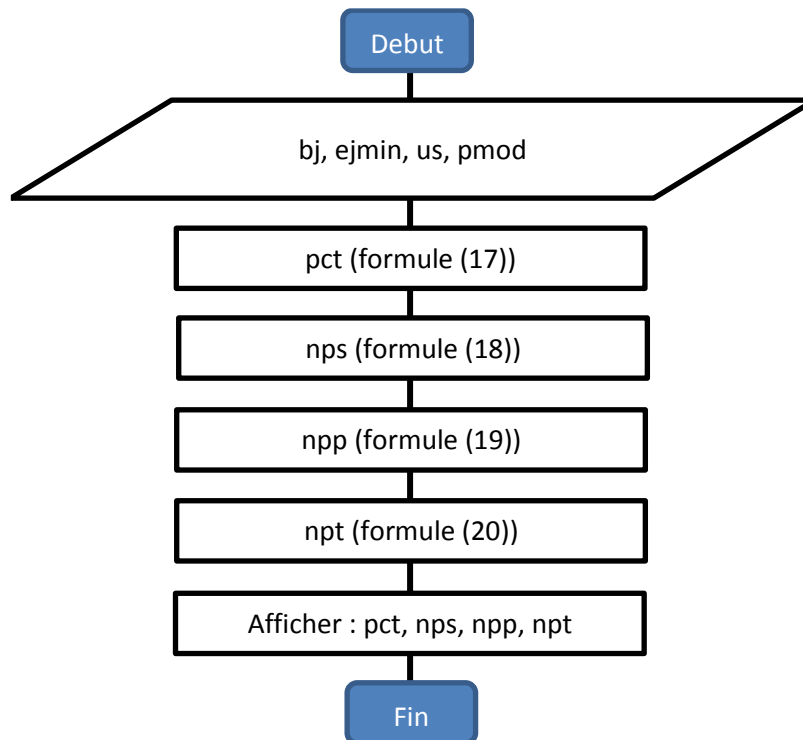


Figure 9 : Organigramme pour le dimensionnement du panneau solaire

III.1.3.4) Organigramme pour le dimensionnement de la batterie

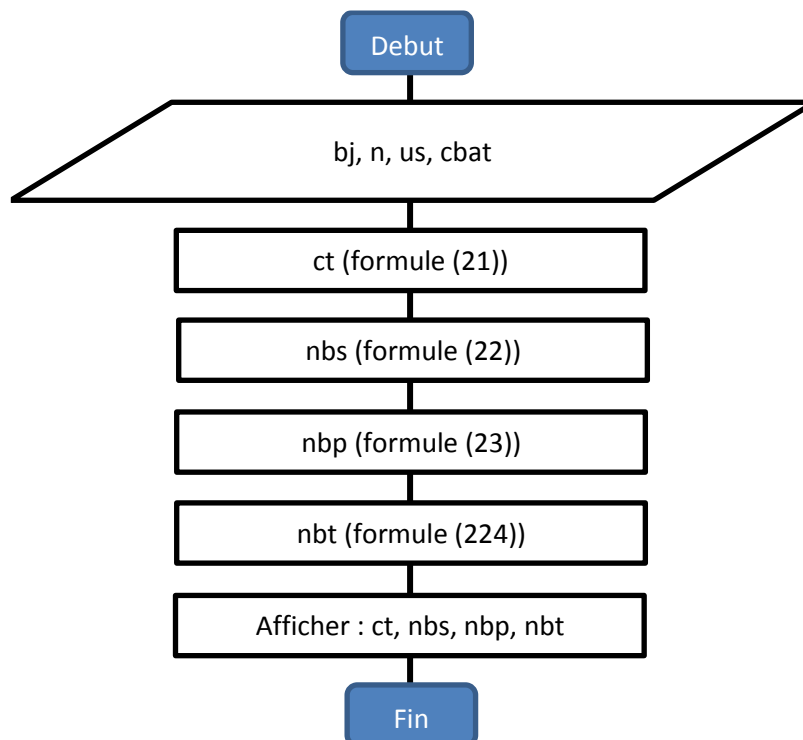


Figure 10 : Organigramme pour le dimensionnement de la batterie

III.1.3.5) Organigramme pour le choix du régulateur

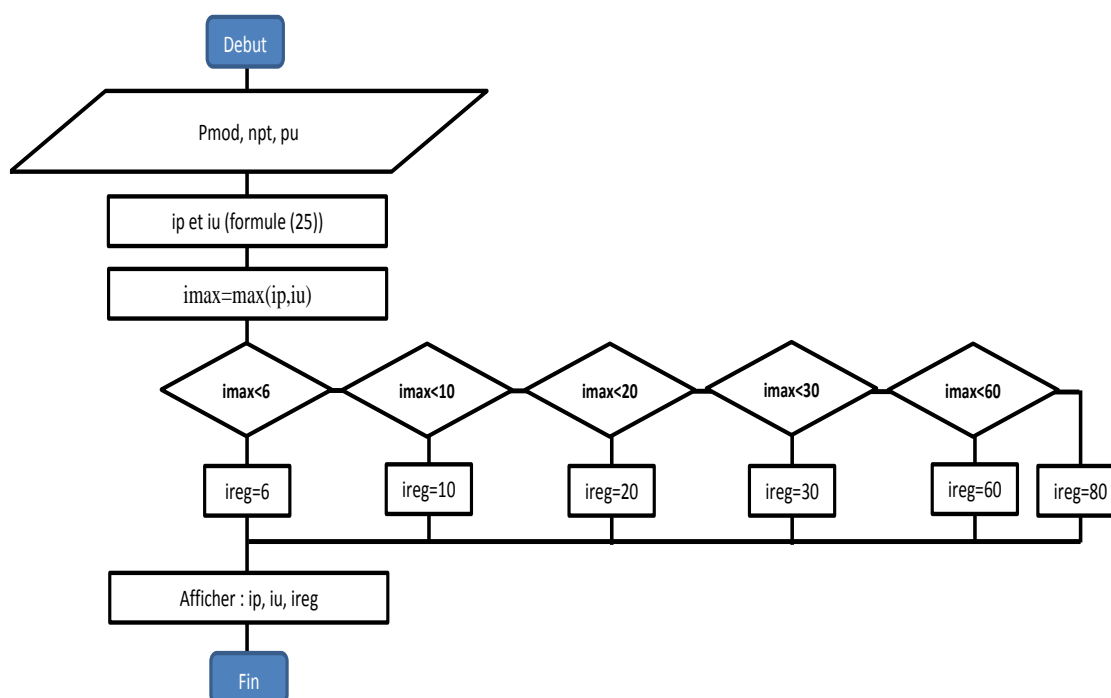


Figure 11 : Organigramme pour le choix du régulateur

III.1.3.6) Organigramme pour le choix du convertisseur

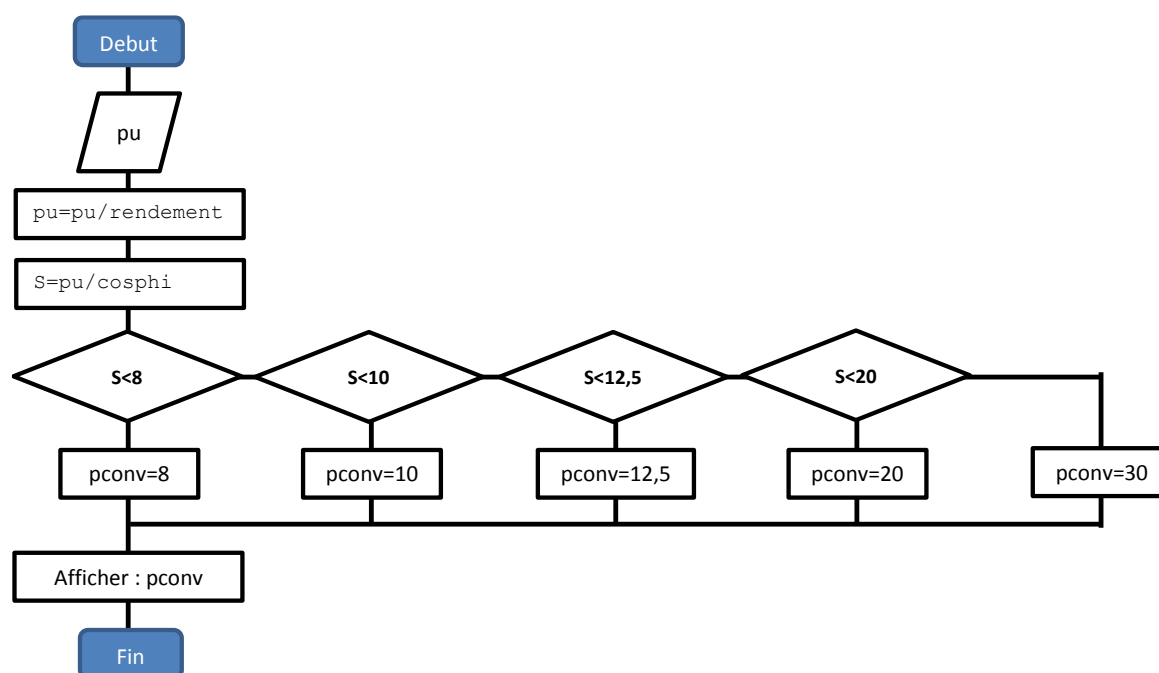


Figure 12 : Organigramme pour le choix du convertisseur

Avec :

- Rendement : rendement de conversion du convertisseur ;
- Cosphi : facteur de puissance ;
- S : puissance apparente.

Chapitre IV : RESULTATS

IV.1) Partie technique de l'électrification d'Isoanala

IV.1.1) Détermination de la consommation journalière

Pour déterminer la consommation journalière, on a détaillé le besoin des ménages dans des tableaux. Le besoin journalière est calculé à partir de la formule (17), les coefficients de simultanéité sont donnés en annexe.

IV.1.1.1) Ménage type 1

Pour le ménage de type 1 les consommateurs n'utilise que deux lampes (A_{11}).

D_{i1}	P_{11}	$K_{11} \times A_{11} \times P_{11}$	$K_j \times T_j \times K_{11} \times A_{11} \times P_{11}$
18_19	20	34	3332
19_20	20	34	3332
20_21	20	34	3332

Tableau 5 : Consommation des ménages types 1

- Consommation journalière de ce type de ménage :

$$B_{J1} = \sum_{i=1}^1 K_{i1} \times A_{i1} \times P_{i1} \times P_{11} \times D_{i1} = 102 \text{ [Wh]} \text{ (Somme des éléments de la quatrième colonne)}$$

- Consommation journalière de 280 ménages de type 1 :

$$B_{JT1} = K_1 \times T_1 \times \sum_{i=1}^1 K_{i1} \times A_{i1} \times P_{i1} \times P_{11} \times D_{i1} = 9996 \text{ [Wh]} \text{ (Somme des éléments de la dernière colonne)}$$

- La puissance maximal d'un ménage type 1 est $P_{1\max} = 34 \text{ [W]}$;

IV.1.1.2) Ménage type 2

Dans le ménage type 2 les utilisateurs utilisent deux lampes (A_{12}), un radio (A_{22}), une télévision (A_{32}) et un lecteur (A_{42}).

D_{i2}	P_{12}	P_{22}	P_{32}	P_{42}	$\sum_{i=1}^4 K_{i2} \times A_{i2} \times P_{i2}$	$K_2 \times T_2 \times \sum_{i=1}^4 K_{i2} \times A_{i2} \times P_{i2}$
6_7		10			10	700
7_8		10			10	700
8_9		10			10	700
11_12		10			10	700

12_13		10	90		100	7000
13_14		10	90		100	7000
18_19	20		90	60	184	12880
19_20	20		90	60	184	12880
20_21	20		90	60	184	12880
21_22	20		90	60	184	12880

Tableau 6 : Consommation des ménages types 2

- Consommation journalière de ce type de ménage :

$$B_{J2} = \sum_{i=1}^4 K_{i2} \times A_{i2} \times P_{i2} \times D_{i2} = 976[\text{Wh}] \text{ (Somme des éléments de la sixième colonne)}$$

- Consommation journalière de 200 ménages de type 2 :

$$B_{JT2} = K_2 \times T_2 \times \sum_{i=1}^4 K_{i2} \times A_{i2} \times P_{i1} \times P_{i2} \times D_{i2} = 68320[\text{Wh}] \text{ (Somme des éléments de la dernière colonne)}$$

- La puissance maximal d'un ménage type 2 est $P_{2\max} = 184 [\text{W}]$;

IV.1.1.3) Ménage type 3

Pour le ménage type 3, les consommateurs utilisent des appareils un peu plus que les deux types de ménage d'avant. Et le frigo fonctionne à 1 heure de marche et 1 heure d'arrêt.

D_{i2}	A_{i3}	P_{i3}	P_{23}	P_{33}	P_{43}	P_{53}	$\sum_{i=1}^5 K_{i3} \times A_{i3} \times P_{i3}$	$K_3 \times T_3 \times \sum_{i=1}^5 K_{i3} \times A_{i3} \times P_{i3}$
0_1	2					60	60	660
1_2	2					0	0	0
2_3	2					60	60	660
3_4	2					0	0	0
4_5	2					60	60	660
5_6	2					0	0	0
6_7	2		10			60	70	770
7_8	2		10			0	10	110
8_9	2					60	60	660
9_10	2					0	0	0
10_11	2					60	60	660
11_12	2		10			0	10	110
12_13	2		10	90		60	160	1760

13_14	2		10	90		0	100	1100
14_15	2		10			60	70	770
15_16	2		10			0	10	110
16_17	2		10			60	70	770
17_18	2		10			0	10	110
18_19	2	20	10	90	60	60	254	2794
19_20	2	20	10	90	60	0	194	2134
20_21	2	20	10	90	60	60	254	2794
21_22	2	20		90	60	0	184	2024
22_23	2	20				60	94	1034
23_24	2					0	0	0
						e3=	1790	19690

Tableau 7 : Consommation des ménages types 3

- Consommation journalière de ce type de ménage :

$$B_{J3} = \sum_{i=1}^5 K_{i3} \times A_{i3} \times P_{i3} \times D_{i3} = 1790[\text{Wh}] \text{ (Somme des éléments de la huitième colonne)}$$

- Consommation journalière de 200 ménages de type 2 :

$$B_{JT3} = K_3 \times T_3 \times \sum_{i=1}^5 K_{i3} \times A_{i3} \times P_{i3} \times D_{i3} = 19690[\text{Wh}] \text{ (Somme des éléments de la dernière colonne)}$$

- La puissance maximal d'un ménage type 3 est $P_{2\max} = 254 [\text{W}]$;

IV.1.1.4) Charge journalière de la ville d'Isoanala

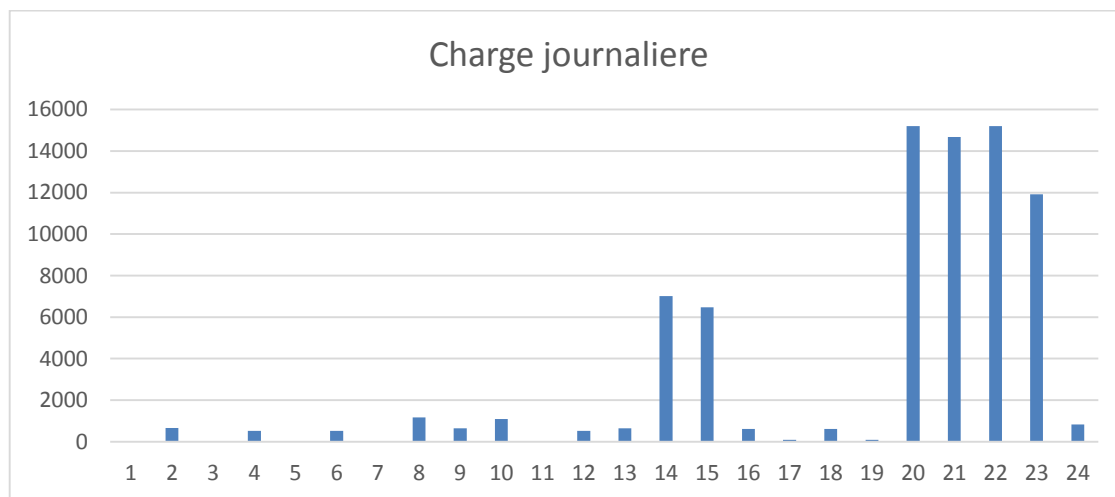
Après calcul on a le tableau suivant qui nous montre les charges journalières de la ville :

heure de marche	Charge journalière [W]	heure de marche	Charge journalière [W]
0_1	660	12_13	7008
1_2	0	13_14	6480
2_3	528	14_15	616
3_4	0	15_16	88
4_5	528	16_17	616
5_6	0	17_18	88
6_7	1176	18_19	15204,8
7_8	648	19_20	14676,8

8_9	1088	20_21	15204,8
9_10	0	21_22	11923,2
10_11	528	22_23	827,2
11_12	648	23_24	0
		TOTAL	78536,8[Wh]

Tableau 8 : Charges journalières de la ville d'Isoanala

Et à partir de ces différentes charges journalières on a pu construire le diagramme suivant.

Figure 13 : Diagramme de charge journalière $P=f(D)$

Avec : P : puissance des charges pour 1 heure

D : durée de fonctionnement

Ce diagramme montre que l'heure de pointe est entre 19 et 23 heures. La puissance de pointe est de 15204,8 [W].

IV.1.2) Dimensions des éléments du site de production de l'électricité

IV.1.2.1) Les différentes données

Pour le dimensionnement des éléments du site de production de l'électricité, on a entré les données suivantes dans l'application MALTLAB vue au paragraphe III.1.2 :

Latitude=-23,8 ;

Longitude=45,7 ;

tsm = 12 : pour l'ensoleillement à midi ;

nf = 3 : numéro fuseau horaire de m/car ;

ks = 1367 [W/m²]: valeur fournie par world radiation center ;

ac = 0 : orientation du capteur vers le nord

$km = 0,6$: Gates, 1980 ;

$albedo = 0,2$ [W/m^2] ;

$kn = 0,25$: 25% du ciel est couvert par des nuages ;

$dt = 12$ [heures] ;

$Pu = 15204,8$ [W] : la puissance de pointe ;

$Bj = 78536,8$ [Wh/j] : charge journalière de la ville d'Isoanala ;

$Pmod = 85$ [Wc] : puissance crête du module ;

$Cbat = 190$ [Ah] : capacité batterie ;

Autonomie des batteries = 1 jour.

IV.1.2.2) Les résultats

La figure suivante montre les résultats:

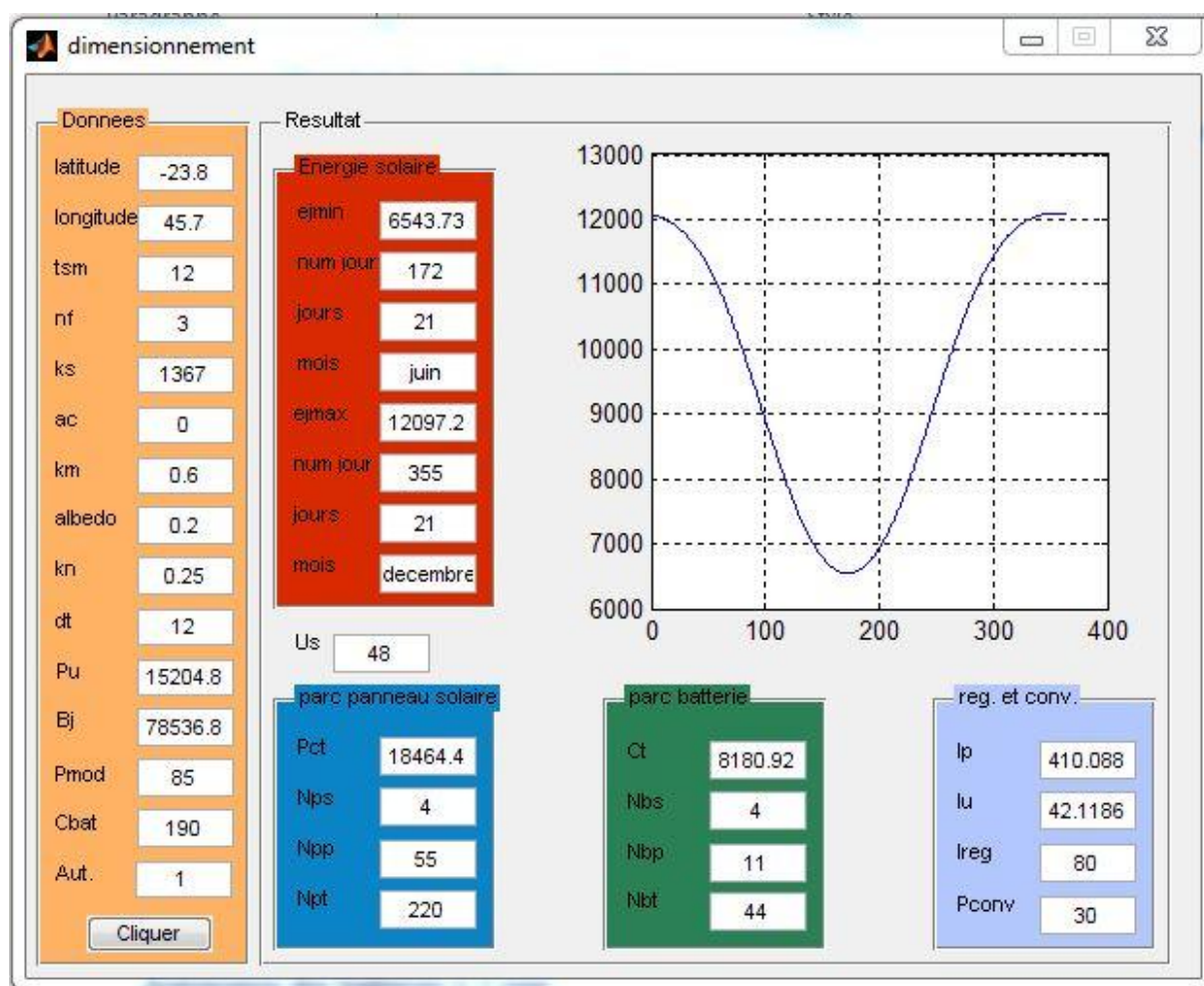


Figure 14 : Interface graphique du logiciel de guide avec des données et les résultats

$E_{jmin} = 6543,73$ [W/m^2] : irradiation solaire minimum de l'année;

$E_{jmax} = 12097,2$ [W/m^2] : irradiation solaire maximum de l'année ;

Ces valeurs d'ensoleillement et la courbe donnée dans le GUI nous permet de voir le flux d'énergie disponible dans le site.

$U_s = 48$ [V] : Tension du système ;

$P_{ct} = 18464,4$ [Wc] : puissance crête nécessaire ;

Nombre de panneau en série = 4 ;

Nombre de branche de panneau en parallèle = 55 ;

Nombre total des panneaux : 220 panneaux ;

$C_t = 8180,92$ [Ah] : capacité total de la batterie ;

Nombre de batterie en série = 4 ;

Nombre de branche de batterie en parallèle = 11 ;

Nombre total batteries = 44 batteries;

Pour le régulateur, le courant à la sortie du panneau solaire est de 407,895 [A], le courant d'utilisation est de 42,1186 [A], donc il faut un régulateur de 80 [A] ;

Pour le convertisseur, il faut un onduleur DC-AC de 16 [KW] avec 48 [V] DC/380 [V] AC triphasé.

IV.1.2.3) Schémas de branchement des panneaux et batteries

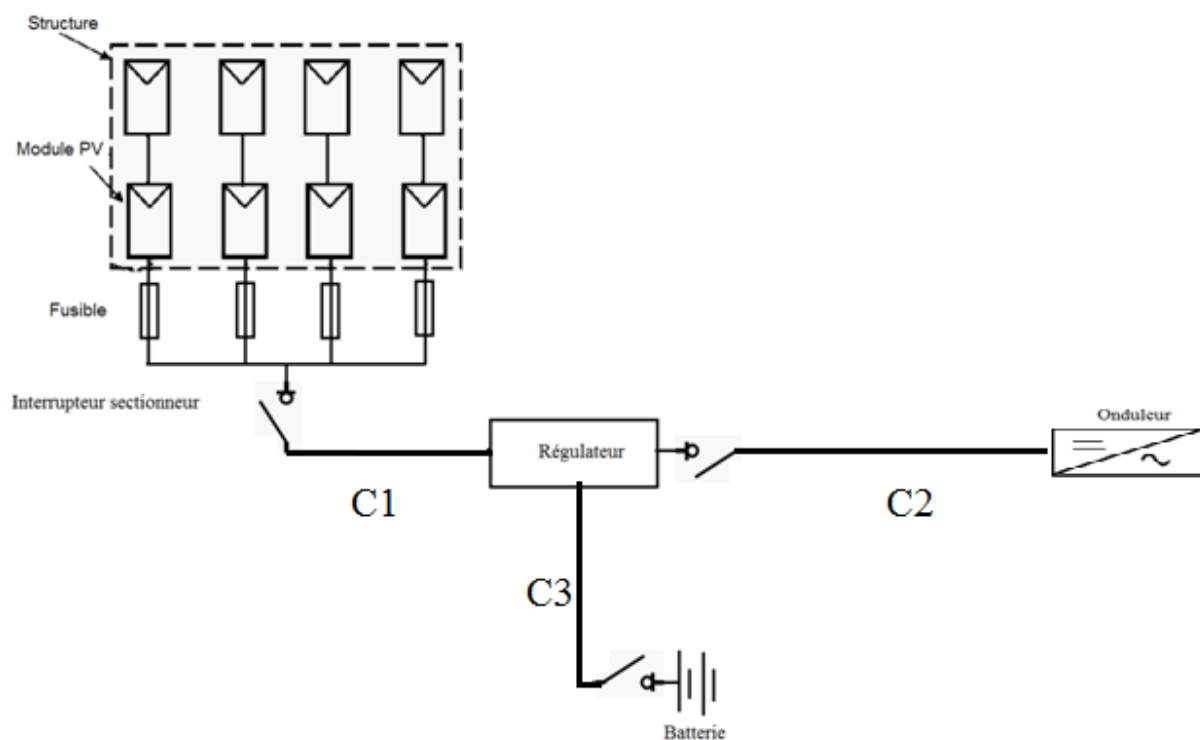


Figure 15 : Schémas de branchement des panneaux et des batteries

IV.1.2.1) Schéma générale de l'installation

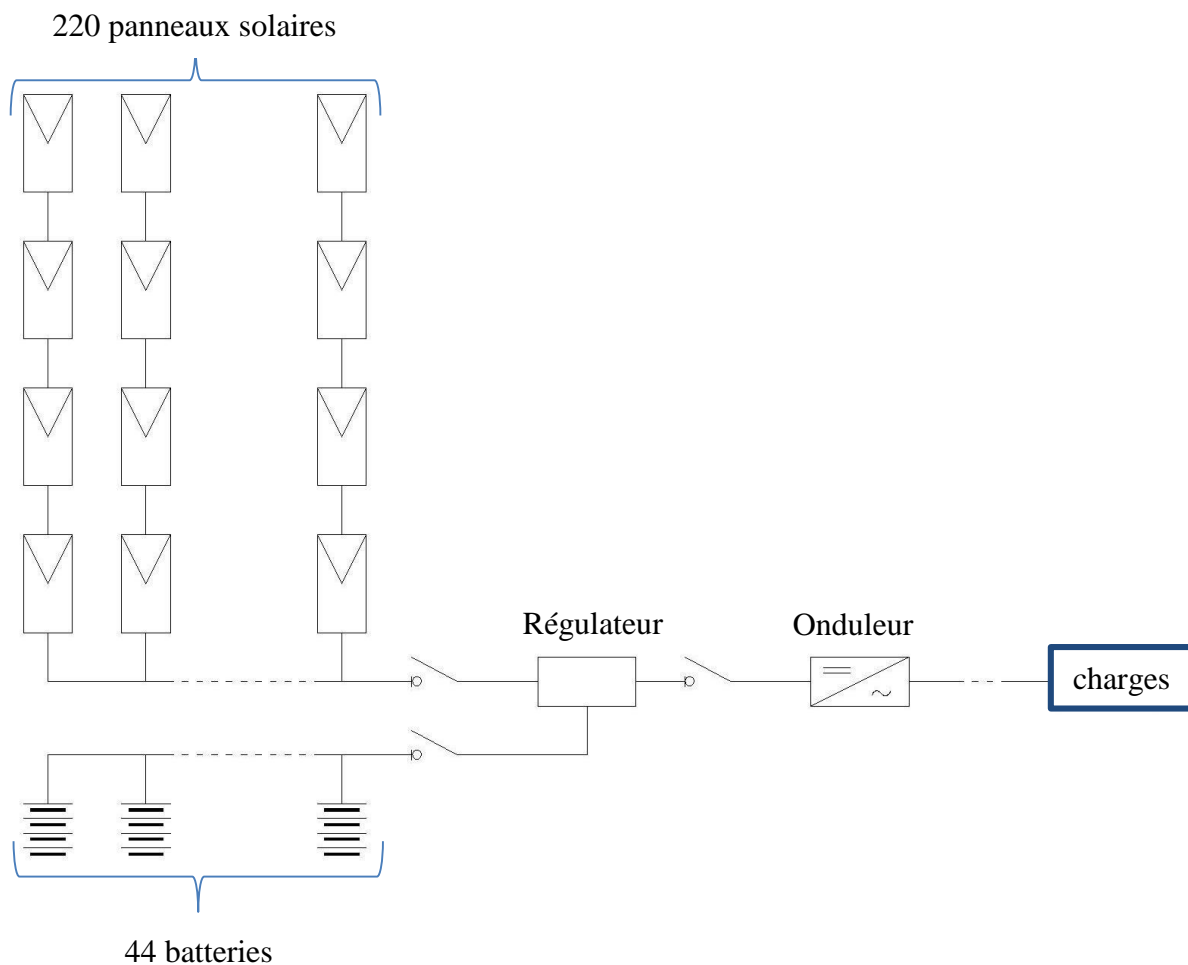


Figure 16 : Schéma générale de l'installation

IV.1.3) Dimensions des lignes de transports

La section du conducteur est obtenue en faisant l'application numérique de la formule (29). Les différentes lignes sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Lignes	Quantité	Ramification	Nombre	Pmax [w]
L ₅	1	T1	16	34
		T2	14	184
		T3	0	254
		TOTAL Pmax L5		1844,8
L ₄	1	T1	15	34
		T2	12	184
		T3	1	254
		TOTAL Pmax L4		1884,8

L ₃	19	T1	13	34
		T2	9	184
		T3	1	254
TOTAL Pmax L3				1595,6
L ₂	1	L5	1	1844,8
		L3	6	1595,6
L ₁	2	L4	1	1884,8
		L3	6	1595,6

Tableau 9 : Les différents types de ligne

a) Dimensionnement de la ligne principale

Supposons que la ligne L1 est représentée par la figure ci-dessous :

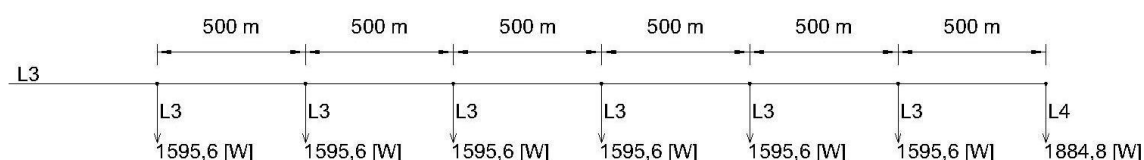


Figure 17 : Schémas de la ligne 1 avec ses différentes charges

Le moment de puissance est résumé dans le tableau suivant :

Distance[m]	(P × l)[Wm]
500	797800
1000	1595600
1500	2393400
2000	3191200
2500	3989000
3000	4786800
3500	6596800
$\sum (P \times l)$	23350600

Tableau 10 : Moment de puissance des lignes principales

On a :

$$A \geq \frac{0,028 \times 0,7 \times 23350600}{0,03 \times 380^2} = 105,64[\text{mm}^2]$$

La différence entre la puissance maximale supportée par L1 et L2 n'est pas très grande, d'où on peut prendre $A=120[\text{mm}^2]$.

b) Dimensions des lignes secondaires

Prenons le cas de la ligne L4 qui est au bout de la ligne L1.

- Calcul de la chute de tension pour les lignes secondaires

Supposons que la ligne L4 est représentée par la figure ci-dessous :

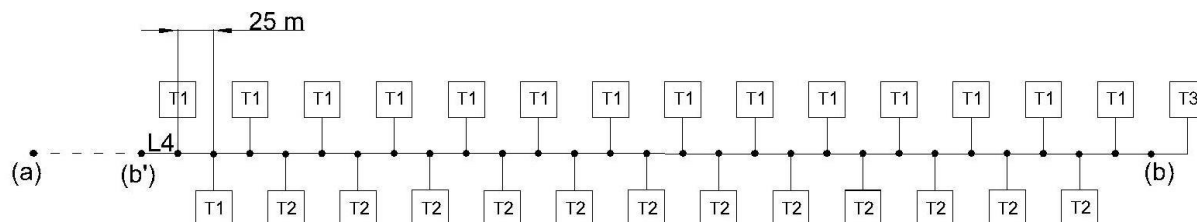


Figure 18 : Schéma de la ligne secondaire

La chute de tension admissible entre (b') et (b) est donnée par la relation :

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{b'-b} = \left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{a-b} - \left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{a-b'}$$

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{b'-b} = 0,03 - \frac{0,028 \times 0,7 \times 23350600}{120 \times 380^2} = 0,36$$

- Tableau pour le moment de puissance

Distance	Moment de puissance	Distance	Moment de puissance
25	850	375	12750
50	1700	400	73600
75	2550	425	78200
100	3400	450	82800
125	4250	475	87400
150	5100	500	92000
175	5950	525	96600
200	6800	550	101200
225	7650	575	105800
250	8500	600	110400
275	9350	625	115000
300	10200	650	119600
325	11050	675	124200
350	11900	700	177800
		$\sum (P \times l)$	1466600

Tableau 11 : Moment de puissance des lignes secondaires

- D'où la section du câble :

$$A \geq \frac{0,028 \times 0,7 \times 1466600}{0,36 \times 380^2} = 6,64[\text{mm}^2]$$

On prend $A=10 [\text{mm}^2]$.

IV.2) Partie économique

IV.2.1) Devis estimatif

Le devis estimatif du projet d'électrification de la ville d'Isoanala par l'énergie solaire est donné par le tableau suivant :

DESIGNATION	Unite	QTE	TU [h]	TT [h]	PU [Ar]	Prix [Ar]
Systèmes photovoltaïques						
Modules de 12[V]/85[Wc]	u	220	1	220	800 000	176 000 000
Batteries 12[V]/190[Ah]	u	44	1	44	400 000	17 600 000
Régulateur 80 [A]	u	1	1	1	1 798 000	1 798 000
Câble	m	50	0,25	12,50	90 000	4 500 000
Onduleur 16 [KW]	u	1	1	1	8 300 000	8 300 000
TOTAUX				265		208 198 000

Fixations et supports des panneaux						
Fer cornière 40x40	m	470	0,50	235	8 500	3 995 000
Boulons de fixation M10 50mm	u	744	0,50	372	500	372 000
Rondelles	u	1488		0	50	74 400
Electrode 3.2 en boite de 5Kg	u	1		0	30 000	30 000
Silicone blanche sanitaire 310 ml	u	4	1	4	10 000	40 000
Béton	m3	0,53	60	31,80	250 000	132 500
Ferraillages	kg	31,8	0,80	25,44	5 500	174 900
Coffrages	m2	5,3	5	26,50	9 500	50 350
TOTAUX				694,74		4 869 150

Equipements électriques et transport d'énergie						
cable electrique 120 mm2	m	3500	0,10	350	90 000	315 000 000
cable electrique 10 mm3	m	63000	0,10	6 300	10 000	630 000 000
Disjoncteurs	u	500	1	500	26 000	13 000 000
Compteur	u	500	1	500	166 000	83 000 000
TOTAUX				7 650		1 041 000 000

Dispositifs de protection						
Protection contre la foudre et mise à la terre	u	1	10	10	400 000	400 000
TOTAUX				10		400 000

Local technique						
décapage sol existant et reprofilage	m2	13,44	0,10	1,34	1 500	20 160
fouille fondation	m3	0,96	8	7,68	3 900	3 744
évacuation de déblai	m3	1,15	8	9,20	1 500	1 725
béton ordinaire dose à 150kg	m3	0,24	36	8,64	100 000	24 000
Maçonnerie de moellon	m3	1,92	9	17,28	180 000	345 600
hérissone 8cm	m3	0,936	2	1,87	80 000	74 880
béton dose à 250kg sur 8cm	m3	0,936	36	33,70	190 000	177 840
béton dose à 350 kg	m3	0,918	60	55,08	249 000	228 582
ferraillage	kg	55,08	0,80	44,06	4 000	220 320
coffrage	m2	9,18	5	45,90	3 000	27 540
mur de brique de 20	m2	34,59	9	311,35	23 000	795 662
enduit ciment	m2	69,19	2	138,38	5 500	380 534
chape	m2	9,36	2	18,72	6 000	56 160
badigeonnage a chaux	m2	69,19	4	276,75	600	41 513
peinture ext à l'eau	m2	34,59	4	138,38	5 000	172 970
peinture int à l'eau	m2	34,59	4	138,38	4 000	138 376
Portail métallique 98x220 cm	u	1	4	4	60 000	60 000
TOTAUX				1 250,70		2 769 606

Main d'œuvre						
Manœuvres	heures	9870			1 000	9 870 442
Ouvriers spécialisées	heures	9870			1 500	14 805 663
Chefs d'équipe	heures	2468			2 000	4 935 221
Chef de chantier	heures	308,5			2 500	771 129
TOTAUX						20 512 013

Autre charge						
Transport	ens	1			18 000 000	18 000 000
Installation, baraquement, préparation et replis chantier	ens	1			127 774 877	127 774 877
TOTAUX						145 774 877

Tableau 12 : Devis estimatif du projet

Avec :

- TU : temps unitaire ;
- TT : temps total ;
- PU : prix unitaire ;
- PT : prix total ;

Le montant total est alors de 1 423 523 646 [Ar].

IV.2.2) Faisabilité économique

IV.2.2.1) Estimation de l'argent perçu pendant une année

a) L'énergie électrique produit par le système pendant 25 ans

L'irradiation solaire reçue par le panneau solaire chaque jour pendant une année a été calculée par l'application MATLAB vue en chapitre III. L'énergie électrique produit par le système pendant 365 jours est calculée à partir de la formule (18), mais avec :

- B_J : L'énergie électrique produit par le system pendant la journée ;
- E_{min} : irradiations journalières ;
- $P_{CT}=150 \times 124 = 18\,600$ [Wc] ;

Le tableau contenant la valeur de l'irradiation solaire journalière et l'énergie électrique produit par le panneau solaire est donnée en annexe. La somme de ces énergies électriques

journalières est de 42 486,63 [KWh], d'où l'énergie électrique produite pendant 25 ans est de 1 062 165,75 [KWh].

b) Facture des 3 types de ménages

D'après le paragraphe II.3.11, le coût du kilowattheure est alors :

$$\frac{1\,423\,523\,646}{1\,062\,165,75} = 1\,340,21 \left[\frac{\text{Ar}}{\text{KWh}} \right]$$

La facture des 3 types de ménages est résumée dans le tableau suivant :

	Type 1	Type 2	Type 3
consommation mensuel [KWh]	3,06	29,28	53,70
coût de consommation [Ar]	4 101,04	39 241,31	71 969,20
Redevance pour l'installation (25%)	1 025,26	9 810,33	17 992,30
total dépense des ménages 1 mois	5 126,30	49 051,63	89 961,50
argent perçu pour 1 ménage sur 1 mois	5 126,30	49 051,63	89 961,50
argent perçu pour tous les ménages sur 1 mois	1 435 363,40	9 810 326,85	1 799 230,03
argent perçu pour tous les ménages sur 1 an	17 224 360,75	117 723 922,21	21 590 760,32
TOTAL DE L'ARGENT PERCU PENDANT UNE ANNEE			156 539 043,28

Tableau 13 : Facture des 3 types de ménage

IV.2.2.2) Etudes de rentabilité

a) Valeur de la durée de récupération du capital investi (DRCI)

La DRCI de ce projet selon la formule (31) est :

$$\text{DRCI} = \frac{1\,423\,523\,646}{156\,539\,043,28} = 9,09 \text{ [années]}$$

b) Valeur du taux de rentabilité interne (TRI)

La formule (32) devient : $0 = \sum_{t=1}^{25} \frac{156\,539\,043,28}{(1+\text{TRI})^t} - 1\,423\,523\,646$

$$\text{D'où } \frac{1\,423\,523\,646}{156\,539\,043,28} = \sum_{t=1}^{25} \frac{1}{(1+\text{TRI})^t} = 9,6596$$

On a :

$$\Rightarrow \sum_{t=1}^{25} \frac{1}{(1+0,092)^t} = 9,6655$$

$$\Rightarrow \sum_{t=1}^{25} \frac{1}{(1+0,093)^t} = 9,5885$$

Par extrapolation :

$$TRI = 0,092 + \frac{(0,093 - 0,092) \times (9,6655 - 9,6596)}{(9,5885 - 9,6596)} = 0,0919$$

Soit 9,19%

IV.2.2.3) Discussions et proposition

L'étude technique a permis de voir la dimension de l'installation, cette installation est possible. D'après l'étude sur la rentabilité, on a vu que le montant de l'investissement est récupéré après neuf ans. Notre projet est rentable économiquement si le taux d'intérêt est inférieur à 9,19%. Mais le prix de la consommation supportée par les usagers est très cher.

L'étude comparative entre le mode d'électrification par l'énergie solaire et par groupe électrogène est donnée en annexe.

Pour réduire le prix du kilowattheure d'électricité à payer par les usagers, il faut la subvention de l'Etat et/ou des organismes extérieurs.

IV.2.2.4) Etude comparative de deux types de microcentrale

Nous allons effectuer une étude comparative entre les microcentrales suivantes :

- Photovoltaïque
- Thermique groupe électrogène.

La comparaison s'effectue avec les hypothèses suivantes :

- Puissance ; 1 kW,
- Heure de fonctionnement ; 24 h sur 24 h,
- Qualité d'énergie ; 230 V, 50 Hz.

Les résultats sont représentés par le tableau ci-dessous :

	Photovoltaïque	Thermique
Coût de l'électricité	1 340,21 Ar/KWh	1 499.85 Ar/KWh

Tableau 14 : Etude comparative du coût de l'électricité de 2 centrales

CONCLUSION

L'utilisation de l'énergie solaire est une solution intéressante pour approvisionner les régions rurales en électricités. Mais on a vu que le dispositif photovoltaïque est très cher. Cette étude a pour but de montrer que l'utilisation de ce dispositif est faisable.

Le mode d'électrification de la ville d'Isoanala par l'énergie solaire est possible techniquement et le projet est rentable. Pour cela, le besoin en énergie électrique de la ville d'Isoanala a été évaluée à partir des données sur la population, l'énergie solaire disponible et la dimension du système ont été calculés sur MATLAB, le quantitatif obtenu a permis de chiffrer le projet afin de voir la rentabilité.

On peut approfondir notre sujet en créant un grand centrale pour toute la région d'Anosy et d'injecter l'énergie électrique sur un réseau interconnectée.

Bref, on peut l'évoluer autant qu'on veut mais cela nécessite pas mal d'investissement, et nous mène dans un domaine plus approfondi.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Cours de Madame GENTILLINI sur l'économie ;
- [2] Cours de Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon sur le réseau électrique ;
- [3] Cours de Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery sur l'électrification rurale ;
- [4] Cours de Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery sur l'énergie solaire ;
- [5] Microsoft Encarta 2009 - Collection DVD ;
- [6] RAMAMP Y José Sylvain, « ETUDE DU GISEMENT SOLAIRE DE MADAGASCAR CAS DE LA REGION D'ANALAMANGA », ESPA, 2010 ;
- [7] RANDRIAMIANDRISOA Nirina Jean Claude et RAMANANJANAHARY Andry Heritiana, « LOGICIEL DE SUPPORT TECHNIQUE ET COMMERCIAL POUR SOLAR TECHNOLOGY », ESPA, 2010 ;
- [8] RANDRIANARISOA Solomalala Herizo, « CONCEPTION D'UN LOGICIEL DE DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUE ET EOLIENNE DE LA SOCIETE MAJINCO -CAS DE MADAGASCAR », ESPA, 2010 ;
- [9] Alain RICAUD : « Les cellules photovoltaïques », Université de Cergy-Pontoise, 2011.
- [10] Bernard BASSEMEL : « Les énergies nouvelles et renouvelables. Cas de l'énergie solaire: Méthode simple de calcul et choix des éléments d'une installation photovoltaïque à usage domestique », présentation faite aux étudiants de l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique de l'Université de Douala au Cameroun, 2008.
- [11] Daniel Antraigue : « Choix des investissements et des financements », IUT GEA, 832S3.

ANNEXES

ANNEXE 1: Présentation des données contenues dans le fichier donnee.txt

J	δ	ET	J	δ	ET	J	δ	ET	J	δ	ET	J	δ	ET	J	δ	ET	J	δ	ET
1	-23,01	3,71	56	-9,78	13,70	111	11,58	-1,19	166	23,31	0,19	221	15,67	5,21	276	-5,01	-11,79	331	-21,52	-11,57
2	-22,93	4,15	57	-9,41	13,55	112	11,93	-1,40	167	23,35	0,40	222	15,36	5,06	277	-5,40	-12,10	332	-21,67	-11,22
3	-22,84	4,59	58	-9,04	13,39	113	12,27	-1,60	168	23,39	0,61	223	15,06	4,91	278	-5,79	-12,39	333	-21,83	-10,87
4	-22,75	5,02	59	-8,67	13,22	114	12,62	-1,80	169	23,41	0,82	224	14,74	4,74	279	-6,18	-12,68	334	-21,97	-10,50
5	-22,65	5,45	60	-8,29	13,04	115	12,95	-1,98	170	23,43	1,03	225	14,43	4,56	280	-6,57	-12,96	335	-22,11	-10,13
6	-22,54	5,88	61	-7,91	12,85	116	13,29	-2,16	171	23,44	1,24	226	14,11	4,37	281	-6,96	-13,23	336	-22,24	-9,75
7	-22,42	6,29	62	-7,53	12,65	117	13,62	-2,33	172	23,45	1,45	227	13,78	4,18	282	-7,34	-13,49	337	-22,36	-9,36
8	-22,30	6,70	63	-7,15	12,45	118	13,95	-2,49	173	23,45	1,66	228	13,46	3,97	283	-7,72	-13,74	338	-22,48	-8,96
9	-22,17	7,10	64	-6,76	12,23	119	14,27	-2,64	174	23,44	1,87	229	13,12	3,75	284	-8,10	-13,99	339	-22,59	-8,56
10	-22,04	7,50	65	-6,38	12	120	14,59	-2,79	175	23,42	2,08	230	12,79	3,53	285	-8,48	-14,22	340	-22,70	-8,14
11	-21,90	7,89	66	-5,99	11,77	121	14,90	-2,92	176	23,40	2,28	231	12,45	3,29	286	-8,86	-14,44	341	-22,80	-7,72
12	-21,75	8,27	67	-5,60	11,53	122	15,21	-3,04	177	23,37	2,49	232	12,10	3,05	287	-9,23	-14,66	342	-22,89	-7,30
13	-21,60	8,64	68	-5,20	11,28	123	15,52	-3,15	178	23,34	2,69	233	11,75	2,80	288	-9,60	-14,86	343	-22,97	-6,87
14	-21,44	9	69	-4,81	11,02	124	15,82	-3,26	179	23,29	2,89	234	11,40	2,54	289	-9,97	-15,05	344	-23,05	-6,43
15	-21,27	9,35	70	-4,41	10,76	125	16,11	-3,35	180	23,24	3,09	235	11,05	2,27	290	-10,33	-15,23	345	-23,12	-5,99
16	-21,10	9,69	71	-4,02	10,49	126	16,40	-3,44	181	23,18	3,28	236	10,69	1,99	291	-10,69	-15,40	346	-23,18	-5,54
17	-20,92	10,03	72	-3,62	10,22	127	16,69	-3,51	182	23,12	3,47	237	10,33	1,71	292	-11,05	-15,55	347	-23,24	-5,09
18	-20,73	10,35	73	-3,22	9,94	128	16,97	-3,58	183	23,05	3,66	238	9,97	1,42	293	-11,40	-15,70	348	-23,29	-4,64
19	-20,54	10,66	74	-2,82	9,65	129	17,25	-3,63	184	22,97	3,84	239	9,60	1,12	294	-11,75	-15,83	349	-23,34	-4,18
20	-20,34	10,96	75	-2,42	9,36	130	17,52	-3,68	185	22,89	4,02	240	9,23	0,81	295	-12,10	-15,95	350	-23,37	-3,72
21	-20,14	11,26	76	-2,02	9,06	131	17,78	-3,71	186	22,80	4,19	241	8,86	0,50	296	-12,45	-16,06	351	-23,40	-3,25
22	-19,93	11,54	77	-1,61	8,76	132	18,04	-3,74	187	22,70	4,36	242	8,48	0,18	297	-12,79	-16,15	352	-23,42	-2,79
23	-19,71	11,81	78	-1,21	8,46	133	18,30	-3,75	188	22,59	4,52	243	8,10	-0,15	298	-13,12	-16,23	353	-23,44	-2,32
24	-19,49	12,06	79	-0,81	8,15	134	18,55	-3,76	189	22,48	4,68	244	7,72	-0,48	299	-13,46	-16,30	354	-23,45	-1,85
25	-19,26	12,31	80	-0,40	7,84	135	18,79	-3,76	190	22,36	4,83	245	7,34	-0,81	300	-13,78	-16,36	355	-23,45	-1,38
26	-19,03	12,54	81	0	7,53	136	19,03	-3,74	191	22,24	4,97	246	6,96	-1,15	301	-14,11	-16,40	356	-23,44	-0,91
27	-18,79	12,76	82	0,40	7,22	137	19,26	-3,72	192	22,11	5,11	247	6,57	-1,50	302	-14,43	-16,43	357	-23,43	-0,44
28	-18,55	12,97	83	0,81	6,90	138	19,49	-3,69	193	21,97	5,24	248	6,18	-1,85	303	-14,74	-16,45	358	-23,41	0,03
29	-18,30	13,17	84	1,21	6,58	139	19,71	-3,65	194	21,83	5,36	249	5,79	-2,20	304	-15,06	-16,45	359	-23,39	0,49
30	-18,04	13,36	85	1,61	6,26	140	19,93	-3,60	195	21,67	5,48	250	5,40	-2,56	305	-15,36	-16,44	360	-23,35	0,96
31	-17,78	13,53	86	2,02	5,94	141	20,14	-3,54	196	21,52	5,58	251	5,01	-2,92	306	-15,67	-16,42	361	-23,31	1,42
32	-17,52	13,69	87	2,42	5,62	142	20,34	-3,47	197	21,35	5,68	252	4,61	-3,28	307	-15,96	-16,38	362	-23,27	1,89

33	-17,25	13,84	88	2,82	5,30	143	20,54	-3,40	198	21,18	5,77	253	4,22	-3,65	308	-16,26	-16,33	363	-23,21	2,35
34	-16,97	13,97	89	3,22	4,98	144	20,73	-3,31	199	21,01	5,86	254	3,82	-4,01	309	-16,55	-16,26	364	-23,15	2,80
35	-16,69	14,09	90	3,62	4,66	145	20,92	-3,22	200	20,82	5,93	255	3,42	-4,38	310	-16,83	-16,19	365	-23,09	3,26
36	-16,40	14,20	91	4,02	4,34	146	21,10	-3,12	201	20,64	5,99	256	3,02	-4,75	311	-17,11	-16,09			
37	-16,11	14,30	92	4,41	4,03	147	21,27	-3,01	202	20,44	6,05	257	2,62	-5,13	312	-17,38	-15,99			
38	-15,82	14,38	93	4,81	3,71	148	21,44	-2,89	203	20,24	6,10	258	2,22	-5,50	313	-17,65	-15,87			
39	-15,52	14,45	94	5,20	3,40	149	21,60	-2,77	204	20,03	6,13	259	1,81	-5,87	314	-17,91	-15,74			
40	-15,21	14,50	95	5,60	3,10	150	21,75	-2,64	205	19,82	6,16	260	1,41	-6,24	315	-18,17	-15,59			
41	-14,90	14,55	96	5,99	2,79	151	21,90	-2,50	206	19,60	6,18	261	1,01	-6,61	316	-18,42	-15,43			
42	-14,59	14,58	97	6,38	2,49	152	22,04	-2,36	207	19,38	6,19	262	0,61	-6,98	317	-18,67	-15,26			
43	-14,27	14,59	98	6,76	2,19	153	22,17	-2,20	208	19,15	6,18	263	0,20	-7,35	318	-18,91	-15,07			
44	-13,95	14,60	99	7,15	1,90	154	22,30	-2,05	209	18,91	6,17	264	-0,20	-7,71	319	-19,15	-14,88			
45	-13,62	14,59	100	7,53	1,61	155	22,42	-1,89	210	18,67	6,15	265	-0,61	-8,08	320	-19,38	-14,67			
46	-13,29	14,57	101	7,91	1,32	156	22,54	-1,72	211	18,42	6,11	266	-1,01	-8,44	321	-19,60	-14,44			
47	-12,95	14,54	102	8,29	1,04	157	22,65	-1,54	212	18,17	6,07	267	-1,41	-8,79	322	-19,82	-14,21			
48	-12,62	14,49	103	8,67	0,77	158	22,75	-1,37	213	17,91	6,02	268	-1,81	-9,15	323	-20,03	-13,96			
49	-12,27	14,43	104	9,04	0,50	159	22,84	-1,18	214	17,65	5,95	269	-2,22	-9,50	324	-20,24	-13,70			
50	-11,93	14,37	105	9,41	0,24	160	22,93	-1	215	17,38	5,88	270	-2,62	-9,84	325	-20,44	-13,43			
51	-11,58	14,28	106	9,78	-0,02	161	23,01	-0,81	216	17,11	5,79	271	-3,02	-10,18	326	-20,64	-13,15			
52	-11,23	14,19	107	10,15	-0,26	162	23,09	-0,61	217	16,83	5,70	272	-3,42	-10,52	327	-20,82	-12,85			
53	-10,87	14,08	108	10,51	-0,51	163	23,15	-0,42	218	16,55	5,59	273	-3,82	-10,84	328	-21,01	-12,55			
54	-10,51	13,97	109	10,87	-0,74	164	23,21	-0,22	219	16,26	5,48	274	-4,22	-11,17	329	-21,18	-12,23			
55	-10,15	13,84	110	11,23	-0,97	165	23,27	-0,01	220	15,96	5,35	275	-4,61	-11,48	330	-21,35	-11,91			

Tableau 15 : Les données contenu dans le fichier donnee.txt

ANNEXE 2: Valeur de l'irradiation solaire journalière et l'énergie électrique produit par le panneau solaire

ej	ep	ej	ep	ej	ep	ej	ep	ej	ep	ej	ep	ej	ep	ej	ep	ej	ep	ej	ep	ej	ep
12,08	145,99	11,65	140,87	10,44	126,23	8,60	103,96	7,04	85,07	6,55	79,20	7,30	88,21	9,01	108,89	10,77	130,25	11,80	142,65	12,10	146,23
12,07	145,94	11,63	140,59	10,39	125,66	8,55	103,31	7,01	84,69	6,56	79,25	7,34	88,68	9,06	109,56	10,81	130,74	11,82	142,86	12,10	146,24
12,07	145,89	11,61	140,32	10,35	125,10	8,49	102,66	6,98	84,34	6,56	79,31	7,37	89,15	9,12	110,22	10,86	131,24	11,83	143,05	12,10	146,25
12,06	145,83	11,58	140,03	10,30	124,51	8,44	102,02	6,95	83,99	6,57	79,40	7,41	89,64	9,17	110,89	10,90	131,72	11,85	143,24	12,10	146,25
12,06	145,76	11,56	139,74	10,25	123,92	8,39	101,37	6,92	83,65	6,57	79,48	7,46	90,13	9,23	111,55	10,93	132,19	11,86	143,42	12,10	146,25
12,05	145,70	11,53	139,42	10,20	123,33	8,33	100,75	6,89	83,32	6,58	79,58	7,50	90,64	9,28	112,21	10,97	132,66	11,88	143,61	12,10	146,25
12,04	145,61	11,51	139,11	10,15	122,74	8,28	100,12	6,87	83,01	6,59	79,70	7,54	91,15	9,34	112,87	11,01	133,12	11,89	143,77	12,10	146,24
12,04	145,54	11,48	138,79	10,10	122,13	8,23	99,49	6,84	82,71	6,60	79,82	7,58	91,67	9,39	113,54	11,05	133,57	11,91	143,93	12,10	146,23
12,03	145,45	11,45	138,45	10,05	121,52	8,18	98,87	6,82	82,42	6,61	79,96	7,63	92,20	9,45	114,19	11,09	134,02	11,92	144,09	12,09	146,22
12,02	145,37	11,42	138,12	10,00	120,91	8,13	98,26	6,79	82,14	6,63	80,11	7,67	92,74	9,50	114,84	11,12	134,45	11,93	144,25	12,09	146,19
12,02	145,27	11,40	137,77	9,95	120,28	8,08	97,64	6,77	81,87	6,64	80,27	7,72	93,29	9,55	115,50	11,16	134,88	11,94	144,39	12,09	146,17
12,01	145,18	11,37	137,41	9,90	119,67	8,03	97,05	6,75	81,62	6,65	80,45	7,76	93,84	9,61	116,15	11,19	135,29	11,95	144,52	12,09	146,14
12,00	145,07	11,34	137,05	9,85	119,03	7,98	96,44	6,73	81,38	6,67	80,63	7,81	94,41	9,66	116,80	11,22	135,70	11,97	144,66	12,09	146,11
11,99	144,96	11,30	136,67	9,79	118,40	7,93	95,85	6,71	81,15	6,69	80,83	7,86	94,98	9,71	117,44	11,26	136,10	11,98	144,78	12,08	146,07
11,98	144,84	11,27	136,29	9,74	117,76	7,88	95,27	6,69	80,93	6,70	81,04	7,90	95,56	9,77	118,08	11,29	136,48	11,99	144,90	12,08	146,04
11,97	144,72	11,24	135,89	9,69	117,12	7,83	94,70	6,68	80,72	6,72	81,27	7,95	96,15	9,82	118,71	11,32	136,86	11,99	145,01		
11,96	144,58	11,21	135,49	9,63	116,48	7,79	94,13	6,66	80,53	6,74	81,50	8,00	96,74	9,87	119,35	11,35	137,23	12,00	145,12		
11,95	144,45	11,17	135,08	9,58	115,82	7,74	93,56	6,65	80,35	6,76	81,75	8,05	97,35	9,92	119,97	11,38	137,60	12,01	145,23		
11,94	144,32	11,14	134,66	9,53	115,17	7,69	93,02	6,63	80,18	6,78	82,01	8,10	97,95	9,98	120,60	11,41	137,95	12,02	145,32		
11,93	144,17	11,10	134,24	9,47	114,52	7,65	92,48	6,62	80,04	6,81	82,27	8,15	98,56	10,03	121,21	11,44	138,29	12,03	145,41		
11,91	144,02	11,07	133,80	9,42	113,86	7,60	91,93	6,61	79,89	6,83	82,56	8,20	99,17	10,08	121,83	11,47	138,62	12,04	145,50		
11,90	143,86	11,03	133,35	9,36	113,20	7,56	91,41	6,60	79,76	6,85	82,85	8,26	99,80	10,13	122,44	11,49	138,95	12,04	145,58		
11,89	143,69	10,99	132,89	9,31	112,55	7,52	90,89	6,59	79,64	6,88	83,17	8,31	100,43	10,18	123,04	11,52	139,28	12,05	145,66		
11,87	143,52	10,95	132,43	9,25	111,88	7,48	90,38	6,58	79,53	6,91	83,48	8,36	101,06	10,23	123,63	11,55	139,58	12,05	145,72		

11,86	143,34	10,92	131,96	9,20	111,22	7,43	89,88	6,57	79,43	6,93	83,82	8,41	101,70	10,28	124,22	11,57	139,88	12,06	145,79		
11,84	143,15	10,88	131,48	9,14	110,55	7,39	89,39	6,56	79,35	6,96	84,16	8,47	102,34	10,32	124,81	11,59	140,17	12,06	145,85		
11,82	142,95	10,84	131,00	9,09	109,90	7,35	88,91	6,56	79,29	6,99	84,51	8,52	102,98	10,37	125,39	11,62	140,46	12,07	145,91		
11,81	142,76	10,79	130,49	9,04	109,23	7,32	88,44	6,55	79,23	7,02	84,88	8,57	103,64	10,42	125,95	11,64	140,74	12,07	145,96		
11,79	142,54	10,75	129,99	8,98	108,57	7,28	87,98	6,55	79,18	7,05	85,26	8,63	104,29	10,46	126,51	11,66	141,01	12,08	146,01		
11,77	142,32	10,71	129,47	8,93	107,90	7,24	87,53	6,55	79,14	7,08	85,65	8,68	104,94	10,51	127,07	11,68	141,26	12,08	146,06		
11,75	142,11	10,67	128,95	8,87	107,24	7,20	87,10	6,54	79,12	7,12	86,04	8,73	105,59	10,56	127,61	11,71	141,51	12,08	146,10		
11,74	141,88	10,62	128,42	8,82	106,59	7,17	86,67	6,54	79,12	7,15	86,46	8,79	106,25	10,60	128,15	11,73	141,76	12,09	146,13		
11,72	141,63	10,58	127,89	8,76	105,92	7,13	86,25	6,54	79,12	7,19	86,88	8,84	106,91	10,64	128,69	11,74	141,98	12,09	146,16		
11,70	141,39	10,53	127,34	8,71	105,27	7,10	85,85	6,55	79,13	7,22	87,31	8,90	107,58	10,69	129,22	11,76	142,21	12,09	146,18		
11,67	141,13	10,49	126,79	8,65	104,61	7,07	85,45	6,55	79,17	7,26	87,76	8,95	108,23	10,73	129,74	11,78	142,43	12,09	146,20		

Tableau 16 : Valeurs de l'irradiation solaire

Avec :

- e_j : irradiation solaire journalière ;
- e_p : énergie électrique produit suivant e_j .

ANNEXE 3: Les coefficients de simultanéité

Nombre	2	3	4-5	6-7	8-10	11-15	16-20	21-30	31-50	51-150	>150
k_{si}	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35

Tableau 17 : Coefficient de simultanéité en fonction du nombre d'abonnés

ANNEXE 4: Ensoleillement dans toute l'île

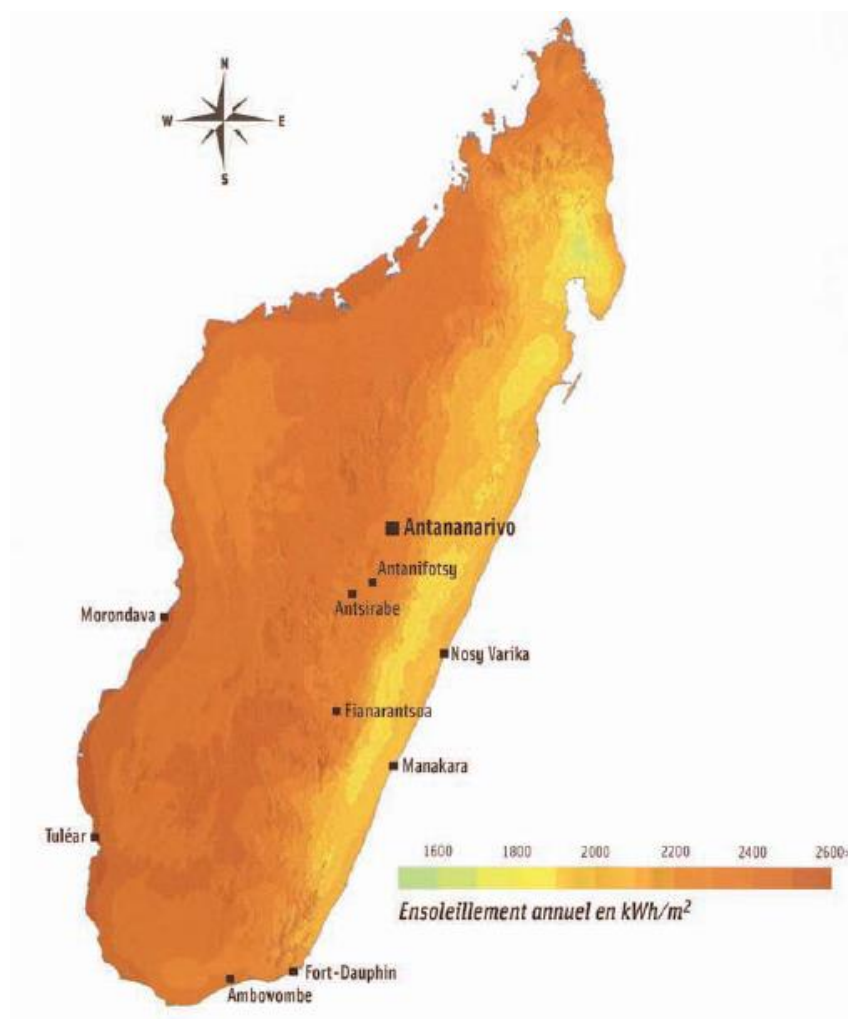


Figure 19 : Ensoleillement dans toute l'île

ANNEXE 5: Caractéristiques des appareils**Caractéristiques du panneau monocristallin**

Fabricant : SUNTECH en Chine

Modèle : monocristallin SUNTECH STP085S-12/Bb

Capacité par unité : 85Wc

Rendement : 13,1%

Température nominale des cellules en opération : 45°C

Coefficient de température : 0,40%/°C

Surface du cadre : 0,64m²

- Panneaux solaires : Modèle monocristallin fabriqué en Chine
- Accumulateur: Batteries à électrolyte gel et étanches de 190 Ah/12V en Inde.
- Régulateur de charge : Modèle Apollo T80 TurboVhargeur
- Onduleur : Modèle PROSTAR 30 KVA triphasé, entrée 48 V, sortie 380/220 V

Nom: ANDRIANANTENAINA

Prénoms: Hery Nambinina

Adresse: Lot 21 A 140 Avaratsena ANTSIRABE

Téléphone : 033 46 165 44

Mail : herynambininaa@yahoo.com

Nom: RAKOTONDRANAIVO

Prénoms: Rina Francis

Adresse: lot III S 50 FF Ambohibarikely Anosibe

Téléphone : 0331489906

Mail : rnarakoton@gmail.com

THEME DU MEMOIRE

ETUDE DE FAISABILITE DE L'ELECTRIFICATION DE LA VILLE D'ISOANALA PAR L'ENERGIE SOLAIRE

Nombre de pages : 43

Nombre de tableaux : 17

Nombre de figures : 19

RESUME

Ce présent mémoire nous a permis de faire une étude de l'électrification rurale de la ville d'Isoanala. Pour ce faire on a dû passer sur les généralités, ensuite sur la méthodologie qui afficher les différentes formules sur notre étude. Ainsi notre étude est consacrée à la conception du logiciel de guide qui nous a permis de déterminer plus rapidement les nombres de module et des batteries.

Dans le résultat, nous avons pu établir les parties techniques de l'installation ensuite l'étude économique pour faire le devis estimatif de l'installation et de déterminer le taux de rentabilité interne.

ABSTRACT

This present report enabled us to make a study of the rural electrification of the town of Isoanala. With this intention one had to pass on the general information, then on the methodology which to post the various formulas on our study. Thus our study is devoted to the design of the software of guide which enabled us more quickly to define the numbers of module and the batteries.

In the result, we could establish the technical parts of the installation then the economic survey to make the estimate of the installation and to determine the internal rate of profitability.