



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE**  
**MENTION : GENIE ELECTRIQUE**  
**PARCOURS : MACHINES ELECTRIQUES, RESEAUX**  
**D'ENERGIE ELECTRIQUE ET ENERGIES**  
**RENOUVELABLES**



*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du grade de*  
*Master II professionnel en Génie Electrique*

**ETUDE D'UN PROJET D'ELECTRIFICATION PAR UNE**  
**CENTRALE HYBRIDE SOLAIRE-DIESEL DANS LA**  
**COMMUNE RURALE DE TONGOBORY**

Présenté par :

ANDRIANJATOVO Harinesy Eric

Encadré par :

Mr RAMAROZATOVO Vonjy

Date : 22 Mars 2018







**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE**  
**MENTION : GENIE ELECTRIQUE**  
**PARCOURS : MACHINES ELECTRIQUES, RESEAUX**  
**D'ENERGIE ELECTRIQUE ET ENERGIES**  
**RENOUVELABLES**



*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du grade de*  
*Master II professionnel en Génie Electrique*

**ETUDE D'UN PROJET D'ELECTRIFICATION PAR UNE CENTRALE**  
**HYBRIDE SOLAIRE-DIESEL DANS LA COMMUNE RURALE DE**  
**TONGOBOURY**

**Présenté par :**

ANDRIANJATOVO Harinesy Eric

**Membres du jury :**

<u>Président :</u>	Mr RAKOTONIAINA Solofo Hery	Maître de Conférences
<u>Encadreur:</u>	Mr RAMAROZATOVO Vonjy	Maître de Conférences
<u>Examineurs :</u>	Mr RANDRIAMORA Edmond	Maître de Conférences
	Mr RABENJARIVELO Patrice	Enseignant-Chercheur



## REMERCIEMENTS :

Tout d’abord, nous sommes vivement reconnaissants envers Dieu parce que l’aboutissement de ce travail est une de ses grâces. Ensuite, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribués ce mémoire.

Ainsi, mes témoignages de reconnaissance s’adressent particulièrement aux entités et personnes ci-après :

- Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon, Professeur Titulaire, Directeur de l’Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo (ESPA)
- Monsieur RAMAROZATOVO Vonjy, Maître de Conférences à l’ESPA, responsable de la mention Génie Electrique au sein de l’ESPA et aussi mon encadreur pédagogique.
- Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery, Maître de Conférences à l’ESPA et président du jury de ce mémoire.
- Mr RANDRIAMORA Edmond, Maître de Conférences et examinateur de ce mémoire
- Mr RABENJARIVELO Patrice, Enseignant-Chercheur et aussi examinateur
- Tous mes professeurs à l’ESPA
- Monsieur RAKOTOARIMANANA Mamisoa, le Secrétaire Exécutif de l’Agence de Développement de l’Electrification Rurale (ADER)
- Monsieur RATSARAEFADAHY Milison, le Directeur Technique de l’ADER
- Monsieur RAZAFINDRAKOTO Heritiana, chargé d’étude de l’ADER et mon encadreur professionnel
- Monsieur RAZAFINOMENA Tahina, chargé d’étude de l’ADER
- Toute ma famille et tous mes 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
SOMMAIRE :	ii
LISTE DES TABLEAUX :	v
LISTE DES FIGURES :	vii
ABREVIATIONS ET SYMBOLES :	viii
INTRODUCTION :	1
CHAPITRE I : ETUDE SOCIO-ÉCONOMIQUE	2
I.1. Le contexte du projet :	2
I.2. Description de la situation du projet	2
I.2.1. Object :	2
I.2.2. Démarche méthodologique :	3
I.2.3. Situation des infrastructures électriques la plus proche :	3
I.2.4. Données climatiques :	3
I.3. Méthodologie	4
I.4. Situation géographique et administrative	5
I.4.1. Situation géographique	5
I.4.2. Situation administrative :	6
I.5. Données démographiques	7
I.6. Activités économiques	7
I.7. Infrastructures sociales	8
I.8. Différents types de clients	9
I.8.1. Les différents types de client :	9
I.8.2. Cas particulier des certains clients :	9
CHAPITRE II : ETUDE DE LA DEMANDE EN ELECTRICITE	10

II.1.	Horizon du projet.....	10
II.2.	Analyse prévisionnelle de la demande .....	10
II.3.	Segmentation des clients ciblent dans la localité.....	11
II.3.1.	Les ménages : .....	11
II.3.2.	Les entreprises : .....	11
II.3.3.	Les administrations : .....	12
II.4.	Recensement et catégorisation par segment des clients dans la localité ciblent.....	12
II.4.1.	Les Ménages dans la localité : .....	14
II.4.2.	Commerces et services : .....	15
II.4.3.	Les services publics : .....	16
II.5.	Evolution de l'énergie consommée dans la localité cible : .....	17
II.6.	Bilan.....	19
II.6.1.	Courbe de charge journalière : .....	19
II.7.	Capacité globale moyenne à payer le raccordement et le kWh : .....	23
II.7.1.	Capacité à payer le matériel : .....	23
II.7.2.	Capacité à payer les besoins d'électricité par mois : .....	23
II.8.	Etude des scenarios sur la prévision de l'évolution de la demande: .....	24
CHAPITRE III : ETUDE TECHNIQUE.....		27
III.1.	Evaluation de gisement solaire .....	27
III.1.1.	Radiation mensuelle : .....	27
III.1.2.	Courbe de la Radiation mensuelle : .....	28
III.2.	Dimensionnement du système de production .....	30
III.2.1.	Principe de fonctionnement de la centrale : .....	30
III.2.2.	Dimensionnement du système hybride solaire/Diesel : .....	31
III.2.3.	Réseaux de distribution BT : .....	37
CHAPITRE IV : ETUDE FINANCIERE.....		40
IV.1.	Le cout d'investissement .....	40

IV.1. Plan de financement initial .....	44
IV.2. Cout d'exploitation .....	47
IV.3. Charges fixes .....	47
IV.4. Charges variables.....	47
IV.5. Etude de rentabilité du projet.....	49
CHAPITRE V :IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIO-ECONOMIQUE .....	51
V.1. Analyse des impacts .....	51
V.1.1. Impacts négatifs environnementaux :.....	51
V.1.2. Impacts négatifs sur le socio-culturel durant l'installation: .....	52
V.1.3. Impacts positifs : .....	52
CONCLUSION : .....	54
BIBLIOGRAPHIE .....	I
WEBOGRAPHIE.....	I
ANNEXE 1 : Elément de calcul de dimensionnement de la centrale : .....	II
ANNEXE 2 : Caractéristiques techniques des appareils.....	IV

## LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1:Donné climatique annuelle moyenne de Tongobory (1990-1995).....	4
Tableau 2 : Localisation géographique du site.....	6
Tableau 3:Situation administrative.....	7
Tableau 4:Bilan de segmentation de l'activité économique.....	7
Tableau 5: infrastructure administrative .....	8
Tableau 6:infrastructures éducatives .....	8
Tableau 7:infrastructures religieuses.....	9
Tableau 8:Evolution de la demande .....	10
Tableau 9 : Bilan de segmentation des ménages .....	11
Tableau 10:Segmentation des entreprises .....	12
Tableau 11:Segmentation des administrations .....	12
Tableau 12:l'évolution des clients dans 15 ans .....	13
Tableau 13: Les consommations estimatives des Ménages .....	14
Tableau 14:Les consommations estimatives des commerces et services.....	15
Tableau 15:Les consommations estimatives des services publics .....	16
Tableau 16:Evolution de la consommation annuelle du Village.....	18
Tableau 17:Synthese de l'évaluation de la demande.....	19
Tableau 18:Coefficient de simultanéité en fonction du nombre d'abonnés .....	21
Tableau 19: Charge journalière de Tongobory en année 1 .....	22
Tableau 20: capacité moyenne a payé des ménages.....	24
Tableau 21:Taux de raccordements des ménages par scenarios .....	25
Tableau 22:Évolution de la demande en fonction du scenario.....	26
Tableau 23:Irradiation solaire globale annuelle de Tongobory (PVGIS) .....	27
Tableau 24:Récapitulation de la centrale .....	31
Tableau 25: configuration des PV .....	34
Tableau 26: Caractéristique de section des câbles .....	38
Tableau 27:Devis estimatif du projet .....	40
Tableau 28: cout d'investissement du projet .....	44
Tableau 29:Plan de financement .....	44
Tableau 30:Plan d'amortissement .....	46
Tableau 31: Charge salariale .....	47
Tableau 32: Etude de cout du kWh .....	48

Tableau 33:Flux de trésorerie.....	50
Tableau 34:Impacts négatifs sur le socio-culturel.....	52
Tableau 35: impacts positifs sur le socio-économiques et culturel .....	53
Tableau 36:Moment de puissance des lignes principales.....	IV
Tableau 37: Données techniques du Sunny Tripower 10000TL entrée DC.....	V
Tableau 38: Données techniques du Sunny Tripower 10000TL sorti CA .....	V
Tableau 39:Caractéristique technique de l’onduleur Sunny Island 5048:.....	VII

## LISTE DES FIGURES :

Figure 1:Partie du village de Tongobory.....	5
Figure 2: Géolocalisation du site sur la carte de Madagascar .....	5
Figure 3:Plan du village, vue satellite sur " Google Earth" .....	6
Figure 4:Bureau de la mairie de Tongobory .....	8
Figure 5:courbe de puissance journalière en année 1 .....	19
Figure 6:courbe de puissance journalière en année 15 .....	20
Figure 7: courbe d'évolution de la demande des différents scenarios .....	26
Figure 8:Irradiation sur 23° et Irradiation directe normale .....	28
Figure 9:Facteur de trouble de Linke .....	29
Figure 10:Schéma synoptique unifilaire du système.....	30
Figure 11: schémas synoptique de la centrale hybride.....	31
Figure 12: Sunny Tripower avec un schéma électrique simplifié.....	34
Figure 13: Sunny Island 5048 avec vue intérieure .....	35
Figure 14: Vue intérieure du Multicluste Box .....	36
Figure 15: Aperçu système de la Multicluste Box.....	36
Figure 16:Appercu général du Groupe électrogène .....	37
Figure 17:Plan du réseau de distribution.....	39
Figure 18:Schémas de la ligne principale avec ses différentes charges .....	III

## ABREVIATIONS ET SYMBOLES :

°C : Degrés Celsius

A : Ampère

Ah : Ampère-heure

ADER : Agence de Développement de l'électrification Rurale

Ar : Ariary

BT : Basse Tension

CA : Courant Alternatif

CEG : Collège d'Enseignement Générale

CSB II : Centre de Santé de Base niveau II

CC : Courant continu

DRCI : Durée de Retour de la Capitale Investi

EIE : Etude d'Impact Environnementale

EP : Eclairage Publique

EPP : Ecole Primaire Publique

FNE : Fond National de l'Electricité

GE : Groupe Electrogène

HT : Hors Taxe

INSTAT : Institut National de la Statistique

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

kg : kilogramme

km : kilomètre

kWc : kilowatt crête

kWh : kilowattheure

m : mètre

M.Ar : Million d'Ariary

Max : maximum

Min : minimum

mm : millimètre

moy : moyenne

ONE : Office Nationale de l'Environnement

PDRi : Plans Directeurs Régionaux indicatifs

PV : Panneau Photovoltaïque

PVGIS : Photovoltaic Geographic Information System

RN : Route nationale

SMA : System-, Mess- und Anlagentechnik

STP : Sunny Tripower

TRI : Taux de Rentabilité Interne

TTC : Toutes Taxes Comprises

TV : Télévision

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée

## INTRODUCTION :

A l'heure actuelle, le taux d'électrification à Madagascar est plus faible que dans n'importe quelle région du monde. En effet, plus de 80 % des populations au niveau national sont exclus des avantages liés à l'électricité. Mais, la situation est un peu plus catastrophique en zones rurales.

L'électricité conditionne le bien être de l'homme moderne, elle est indispensable dans notre vie quotidienne, il ne se passe pas un moment dans une journée sans que nous ne l'utilisons, elle ou quelque chose qui n'existerait pas sans elle ; donc dans un pays, tout le monde doit bénéficier quel que soit l'endroit où il se trouve. Cependant, à Madagascar le taux d'accès à l'électricité dans les milieux ruraux est de l'ordre de 6,10 %.

Le partage d'électricité se fait principalement dans les zones urbaines, car la mise en place en réseau des zones rurales nécessite un cout d'investissement trop élevé. Pour les sites isolés des villages malgaches composés seulement de quelques centaines de foyers, les ressources renouvelables sont plus ajustées pour leur électrification. L'utilisation de l'énergie solaire paraît donc être une solution intéressante. Pourtant les champs photovoltaïques et les batteries solaires sont très onéreux.

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

Ainsi notre étude consiste l'électrification de la commune rurale de Tongobory (dans la Région Atsimo Andrefana) par le système hybride Solaire/Diesel. Notre travail va être divisée en cinq grands chapitres : Dans un premier temps les études socio-économiques, après l'évaluation de la demande en électricité du village, ensuite les études techniques de la centrale de production et des réseaux électriques, après l'étude financière et enfin l'impact environnemental et socio-économique.

## CHAPITRE I : ETUDE SOCIO-ÉCONOMIQUE

### **I.1. Le contexte du projet :**

Le gouvernement Malgache s'est doté d'une Nouvelle Politique de l'Energie (NPE) laquelle est pilotée par le Ministère de l'Energie, de l'Eau et des Hydrocarbures (MEEH) et l'Agence de Développement de l'Electrification Rurale (ADER) dont l'objectif est d'accélérer le processus d'électrification rurale d'une façon efficace et effective. Pour cela, ils envisagent de promouvoir des projets visant à maximiser l'impact positif de l'électrification sur les zones cibles comme le Sud du pays. La sélection de la zone se fait sur la base d'une nouvelle approche axée sur la valorisation des Plans Directeurs Régionaux Indicatifs (PDRI).

Ce projet priorise l'utilisation des énergies renouvelables (l'hydroélectricité, le solaire, la biomasse et l'éolienne), mais consiste aussi à développer un mix énergétique associant les énergies renouvelables et les hydrocarbures.

Pour répondre aux besoins d'électrification définis par les plans indicatifs repartis en lots dans les régions d'Anosy, Androy et Atsimo Andrefana.

Ce processus maximise l'engagement du secteur privé et invite les investisseurs et/ou les opérateurs, publics ou privés, seuls ou réunis en consortium, qui souhaitent investir dans le secteur.

### **I.2. Description de la situation du projet**

#### **I.2.1. Object :**

L'objectif du Projet est d'aider le Gouvernement Malgache, représenté par le Ministère chargé de l'Energie, avec l'Agence de Développement de l'Electrification Rurale (ADER), dans la mise en œuvre de la Nouvelle Politique de l'Energie (NPE) qui permettra d'atteindre le taux d'accès à l'électricité en milieu rural de 10% en 2020 et de 70% en 2030 au niveau national à travers l'utilisation de sources d'énergie plus efficaces.

Notre étude consiste le montage de projet d'électrification rurale dont la source d'énergie est le système hybride Solaire-Diesel et le site se trouve dans la commune rurale de Tongobory, district de Betioky Atsimo, région Atsimo Andrefana.

Le couplage d'énergie renouvelable avec le groupe électrogène permet de diminuer la consommation en carburant et d'exploiter les sources d'énergie locales, ici l'énergie solaire.

### **I.2.2. Démarche méthodologique :**

Tongobory, une des communes de la région Atsimo Andrefana nous a été confiée pour cette étude. Cette communes ont été choisies parmi plusieurs sites (communes et fokotany) dans la région, les villages les plus éloignés des chefs-lieux de commune n'ont pas la chance d'être étudié mais il y a aussi d'autres raisons.

La sélection a été réalisée avec la base d'une nouvelle approche axée sur la valorisation de Plans Directeurs Régionaux indicatifs (PDRi), qui a été un plan élaboré par l'ADER. Les critères dans ce plan sont : le faible taux d'accès d'électricité portant le nombre de population est un peu élevé, la situation sociale ou les conditions de vie de la population et l'économie des lieux. Elles obtiennent ces informations grâce à des données statistique comme l'indice de développement humain (IDH) ; ceci mesure le niveau de vie des populations par des variables telles que le taux de mortalité infantile (santé), l'accès à l'enseignement et le taux d'alphabétisation (éducation). C'est à partir de sa qu'elles choisissent les zones cibles. En outre ce projet est dans le cadre du programme de l'Objectif de Développement Durable.

### **I.2.3. Situation des infrastructures électriques la plus proche :**

La commune la plus proche qui bénéficie l'électricité est le chef-lieu district de Betioky Atsimo, qui se situe à 23 km de Tongobory. La société JIRAMA prend en charge l'électrification de ce village. La source d'énergie est thermique qui est composée d'un groupe électrogène constitué d'un moteur à combustion suivi d'un alternateur. En conséquence, pour la continuité de service, il faut un transport fréquent de carburant (gasoil).

La centrale ne produit pas d'électricité qu'à partir de 07 h du matin jusqu'à 22 h, donc elle fonctionne 15 heures par jours. L'électricité n'est pas distribuée à Tongobory qui se situe à quelques dizaines de km.

### **I.2.4. Données climatiques :**

La Région Atsimo Andrefana se distingue des autres régions de Madagascar par son climat semi-aride. C'est une région de plateaux et de plaines. Une alternance de deux saisons est remarquée dans la région à savoir la saison sèche, plus longue qui s'étale de 7 à 9 mois et une brève saison des pluies, parfois aléatoire, souvent très irrégulière et toujours pauvre en précipitations (moins de 600 mm/an).

Mais notre site se différencie par son climat un semi-humide à hiver tempéré. L'aridité est donc plus marquée, avec une durée de 8 mois secs. Les années sèches sont toutefois à redouter. La température moyenne annuelle varie de 20°C à 27°C.

Selon les données recueillies auprès du Service de la météorologie, ceci est la donnée climatique enregistrée dans le district de Betioky Atsimo, donc y compris la commune de Tongobory.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
T <sub>max moy</sub>	34	34	33	33	29	27	28	29	32	34	34	34	32
T <sub>min moy</sub>	21	24	20	18	14	12	11	13	14	17	19	21	17
T <sub>moy</sub>	27	27	26	25	22	20	20	21	23	25	27	27	24
P	158	110	67	14	11	9	4	5	11	14	65	140	610

*Tableau 1:Données climatiques annuelle moyenne de Tongobory (1990-1995)*

T max moy : température maximum moyenne mensuelle (°C)

T min moy : température minimum moyenne mensuelle (°C)

T moy : température moyenne mensuelle (°C)

P : pluviométrie moyenne mensuelle (mm)

### **I.3.Méthodologie**

L'objectif de l'étude socio-économique via des enquêtes est d'obtenir un descriptif aussi détaillé que possible des conditions de vie de la population de la Commune rural de Tongobory, en mettant l'accent sur l'accès à l'électrification rurale.

Pour la réalisation de l'enquête on a deux sortes de moyen de collecte de donnée :

- Collecte des données au niveau de ministères concernés à Antananarivo : base de données disponible auprès de l'INSTAT, mais ces données sont insuffisantes et ne sont pas à jour.
- Collecte des données sur terrain : la descente sur terrain qui se fait auprès de chef fokontany et quelque foyer avec des questionnaires socio-économique.

Des questionnaires destinés au chef fokontany pour avoir un aperçu global de l'activité des localités ciblées, ainsi que la démographie.

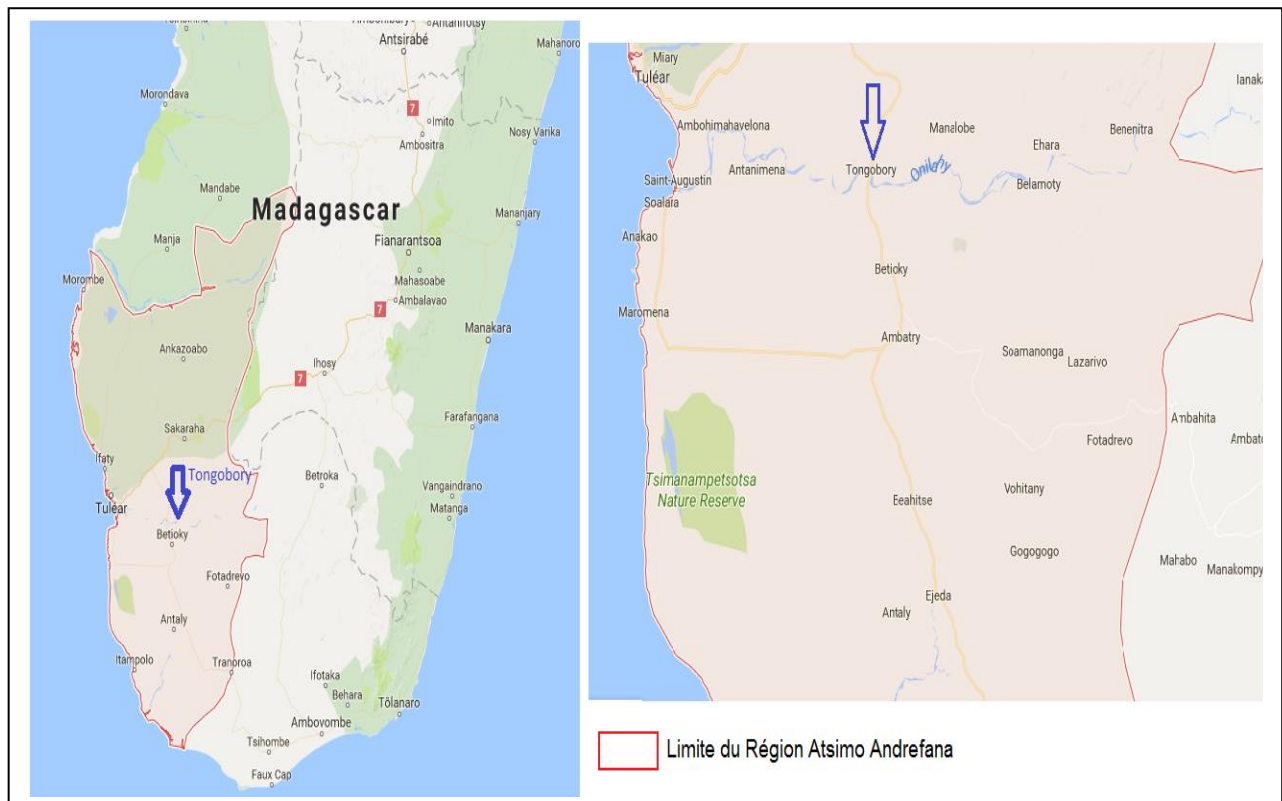
On a aussi utilisé la méthode d'échantillonnage : trois ménages par catégorie ont été interrogés. Ainsi, la finalité de cette phase d'étude est de pouvoir chiffrer les différents critères sociaux des ménages de Tongobory, leurs revenus mensuels, pour déterminer leur situation vis à vis de l'approvisionnement en électrification.



*Figure 1: Partie du village de Tongobory*

## **I.4. Situation géographique et administrative**

### **I.4.1. Situation géographique**

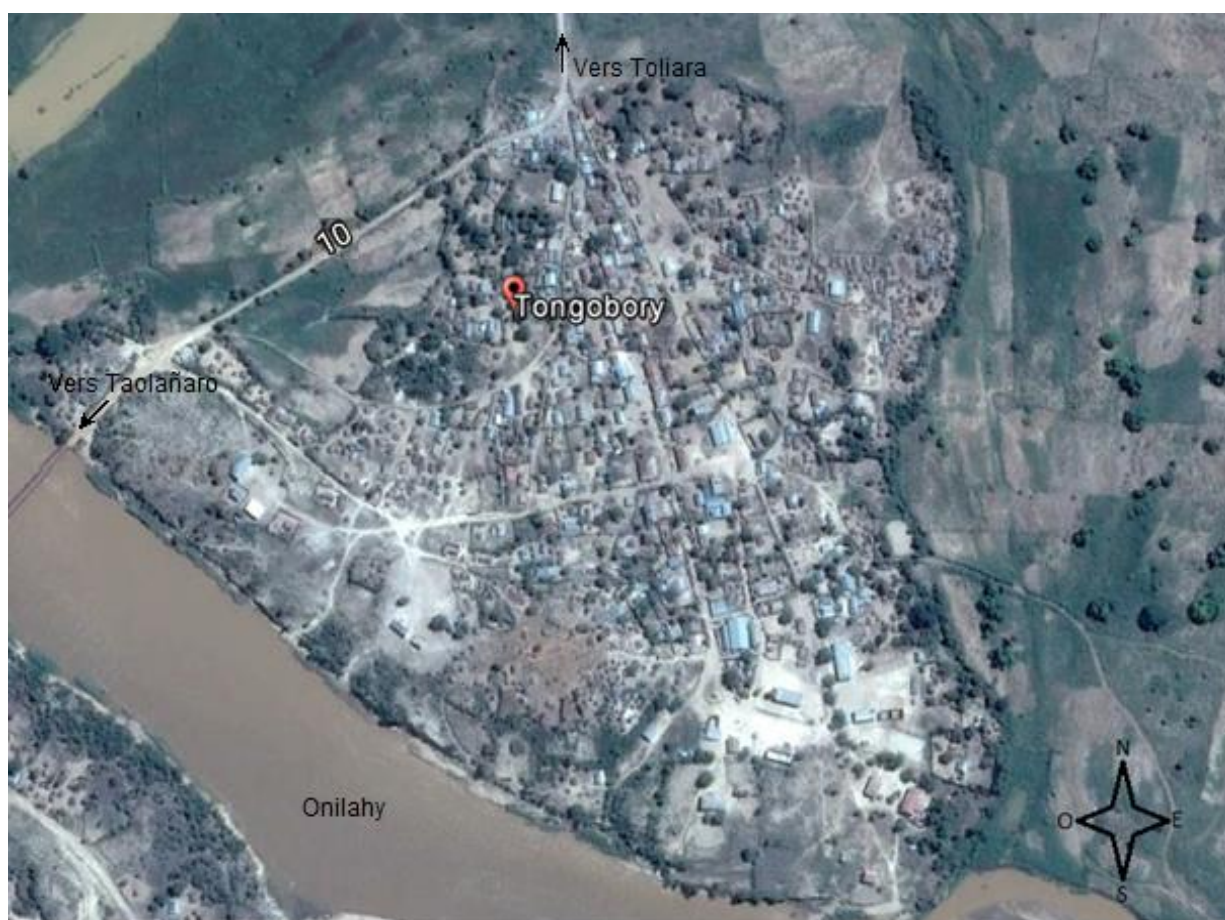


*Figure 2: Géolocalisation du site sur la carte de Madagascar*

Localisation géographique du site :

Coordonnées GPS	Présentation général
Chef-lieu commune : Tongobory <ul style="list-style-type: none"><li>- Latitude : 23°31' Sud</li><li>- Longitude : 44°19' Est</li><li>- Elévation : 90 m</li></ul>	La Commune Rural de Tongobory se situe au bord de la RN 10 qui relie Toliara-Taolañaro, environ à 135 km de Toliara et à 23 km de Chef-lieu de District Betioky. Elle se trouve sur la berge du fleuve Onilahy.

*Tableau 2 : Localisation géographique du site*



*Figure 3: Plan du village, vue satellite sur " Google Earth"*

**I.4.2. Situation administrative :**

La commune rurale de Tongobory est sous la direction du district de Betioky Atsimo, dans la région Atsimo Andrefana.

<b>Localisation Administrative :</b>	
Fokontany	Tongobory
Commune Rurale	Tongobory
District	Betioky Atsimo
Région	Atsimo Andrefana

*Tableau 3: Situation administrative*

Situation de la commune par rapport aux autres :

Les principales communes autour de Tongobory sont :

- Au Nord : Commune Rurale de Vatolatsaka ;
- Au Sud : Commune Rurale de Tameantsoa ;
- A l'Est : Commune Rurale d'Antohabato ;
- A l'Ouest : Commune Rurale d'Antanimena.

### **I.5. Données démographiques**

La commune rurale de Tongobory compte maintenant 3683 habitants dont 918 ménages.

Donc le nombre moyen d'individu par ménage est de 4 personnes. Avec un taux de croissance d'environ 4% et la densité démographique de la région en général est de 15 habitants/km².

### **I.6. Activités économiques**

La principale activité économique des habitants est l'agriculture ; ce sont les cultures de maïs, poids de cap, haricot, patate douce et le manioc. Ensuite ces activités économiques reposent sur le commerce ; la plupart de la population pratique des différentes activités commerciales. L'élevage est dominé par l'élevage de chèvre cependant l'élevage de bovin et volaille sont également assez répandus ; mais la pêche artisanale constitue aussi une place dans le secteur économique de la commune grâce à l'existence de lac Iotry et le fleuve Onilahy. Tout cela est récapitulé dans le tableau ci-dessous.

<b>Les secteurs</b>	<b>Les pourcentages</b>
Agriculture	45 %
Commerce	35 %
Elevage	15 %
Pêche	5%

*Tableau 4: Bilan de segmentation de l'activité économique.*

### I.7. Infrastructures sociales

C'est une commune en pleine expansion car elle se trouve au bord de la RN10. Le village contient toutes les infrastructures sociales et économiques.

Nous allons voir tous cela dans des tableaux.

➤ Situation administrative :

Infrastructures	Nombre de salle
Bureau communal	06
Gendarmerie	12

*Tableau 5: infrastructure administrative*



*Figure 4: Bureau de la mairie de Tongobory*

➤ Situation éducative : Nombre d'établissements

Ecoles	Nombre	Nombre de salle
EPP	1	6
CEG	1	8

*Tableau 6: infrastructures éducatives*

➤ Situation religieuse :

Eglise	Nombre
Catholique (ECAR)	1
Luthérienne	1

*Tableau 7:infrastructurs religieuses*

➤ Situation sanitaire : Il y a un CSB II avec de dizaine de salle et qui a déjà bénéficié de l'électricité grâce à des kits solaires pour alimenter deux réfrigérateurs.

## **I.8. Différents types de clients**

### **I.8.1. Les différents types de client :**

La localité comporte trois différents types de clients suivant le secteur et la consommation d'énergie des usagers.

Les différents types de clients sont :

- Les ménages, qui ont principalement des besoins liés au confort.
- Les entreprises qui ont des besoins liés à leurs activités économiques.
- Les services publics qui ont également des besoins liés aux services publics.

### **I.8.2. Cas particulier des certains clients :**

Les ménages à la fois ayant une activité génératrice de revenu. Les ménages qui ont donc potentiellement une consommation électrique «domestique » et une consommation électrique « commerciale », pourtant ils n'auront certainement qu'un seul raccordement au réseau. Pour simplifier l'étude, nous avons différencié les consommations « domestiques » des consommations « commerciales », comme s'il s'agissait de deux clients différents; de même pour les ménages résidant dans un bâtiment public.

## CHAPITRE II : ETUDE DE LA DEMANDE EN ELECTRICITE

En fonction de l'étude socio-économique, l'étude de la demande consiste à évaluer la demande en énergie électrique dans le temps, parce qu'elle évolue au cours du temps. Cette étude permet donc d'estimer la puissance installée de la centrale et la conception du réseau électrique pour satisfaire la demande à l'horizon de projet.

### II.1. Horizon du projet

L'horizon du projet est fixé à 15 ans, c'est la durée de concession pour les projets d'électrification à l'aide d'une centrale photovoltaïque, qui demande un temps de retour d'investissement généralement long.

### II.2. Analyse prévisionnelle de la demande

Afin de satisfaire les besoins des clients, il faut connaître ses modes de consommation. Mais dans le cadre de la mise en place de la centrale photovoltaïque, une campagne de sensibilisation à la maîtrise de l'énergie et l'utilisation d'appareils basse consommation doit être menée afin de réduire le taux de fonctionnement du groupe électrogène et augmentera ainsi l'autonomie de la centrale photovoltaïque. Donc dans cette hypothèse, l'évolution de l'énergie consommée annuelle (en kWh) pendant 15 ans du projet est la suivante.

ANNEE	1	2	3	4	5
Usages domestiques	38 383	39 316	41 260	42 272	43 313
Commerces et services	8 839	8 928	9 017	9 107	9 198
Services public	5 154	5 173	5 192	5 211	5 231
<b>TOTALES</b>	<b>52 376</b>	<b>53 416</b>	<b>55 469</b>	<b>56 591</b>	<b>57 743</b>

ANNEE	6	7	8	9	10
Usages domestiques	44 383	45 482	46 613	47 774	48 969
Commerces et services	9 290	9 383	9 477	9 572	9 667
Services public	5 251	5 271	5 291	5 312	5 332
<b>TOTALES</b>	<b>58 924</b>	<b>60 137</b>	<b>61 381</b>	<b>62 658</b>	<b>63 969</b>

ANNEE	11	12	13	14	15
Usages domestiques	50 196	51 458	52 756	54 090	55 461
Commerces et services	9 764	9 862	9 960	10 060	10 161
Services public	5 353	5 374	5 396	5 417	5 439
<b>TOTALES</b>	<b>65 314</b>	<b>66 695</b>	<b>68 112</b>	<b>69 567</b>	<b>71 061</b>

Tableau 8: Evolution de la demande

L'évolution de la demande d'électricité selon ce scénario augmente de 18 685 kWh entre l'année 1 jusqu'à la 15<sup>ème</sup> année du projet. Cette augmentation est due à la croissance démographique et économique du village.

### II.3. Segmentation des clients ciblent dans la localité

Dans cette partie on va segmenter les clients ciblent en fonction de critères socio-économiques. Pour être plus explicite, une segmentation pour chaque type de clients sera présentée dans les paragraphes qui suivent.

#### II.3.1. Les ménages :

La segmentation socio-économique des ménages se classe en trois catégories. Ce classement socio-économique a été obtenu suite aux enquêtes auprès de la Mairie, suivant le revenu monétaire mensuel moyen ou revenu annuel du ménage.

Le tableau ci-après représente, la répartition des ménages dans la localité ainsi que le nombre des clients à la première année. Le pourcentage des clients connectés à la première année est tiré du scénario probable.

Répartition des ménages	Pourcentage	Nombre	CLIENT EN ANNEE 1	
Pauvres	25%	230	20%	46
Intermédiaires	70%	643	45%	289
Riches	5%	46	60%	28
Total		918		363
Pourcentage des ménages raccordés en année 1			40%	

Tableau 9 : Bilan de segmentation des ménages

#### II.3.2. Les entreprises :

Comme les ménages, pour simplifier l'analyse des résultats, nous avons segmenté cette population suivant leurs caractéristiques socio-économiques et selon leurs comportements face à l'électricité.

Répartition des entreprises	Consommateurs faibles	Consommateurs Intermédiaires	Consommateurs importants
segmentation	28%	52%	20%
Activités	Hotely Gargote	Epicerie Salle de projection de Video	Épicerie-Bar

Tableau 10:Segmentation des entreprises

### II.3.3. Les administrations :

Comme pour les ménages et les entreprises, pour simplifier l'analyse des résultats, après enquête et analyse, nous avons segmenté les services, suivant leurs dépenses électriques potentielles et leurs capacités à payer. Trois classes ont été définies.

Types d'utilisateurs	Consommateurs faible	Consommateurs Intermédiaires	Consommateurs importants
segmentation	28%	28%	44%
Administrations	EPP CEG	Mairie Gendarmerie	CSB II Eclairage Public Eglises

Tableau 11:Segmentation des administrations

## II.4. Recensement et catégorisation par segment des clients dans la localité ciblent

Dans le recensement et catégorisation par segment des clients. On va voir la prévision probable de l'évolution des clients, du nombre d'entreprises et des commerces, pendant l'horizon de projet. C'est-à-dire l'évolution de nombre de client annuelle dans 15 ans à partir de l'année de démarrage du projet. Donc la variation sur chaque type de clients, sauf les administrations qui reste constante pendant tout le projet.

L'évolution des clients est donnée par la relation suivante :

$$N_n = N_0(1 + \tau)^n \quad (1)$$

$N_0$  : Nombre de client initial.

$\tau$ : Taux de croissance de client.

$n$  : L'année de projet, avec  $1 \leq n \leq 15$

	Taux	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
<b>Menages</b>		<b>363</b>	<b>373</b>	<b>395</b>	<b>406</b>	<b>418</b>	<b>430</b>	<b>442</b>	<b>455</b>	<b>468</b>	<b>481</b>	<b>495</b>	<b>509</b>	<b>524</b>	<b>539</b>	<b>554</b>
Pauvre	3%	46	47	50	52	53	55	57	58	60	62	64	66	68	70	72
Moyen	3%	289	298	316	325	335	345	355	366	377	388	400	412	424	437	450
Riche	1%	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33

	Taux	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
<b>Commerces et Services</b>		<b>25</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>29</b>
Epicerie	1%	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14
Epi-Bar	1%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
Hotely	1%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Gargote	1%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
Video	1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	Taux	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
<b>Administration</b>		<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
MAIRIE	0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CSB II	0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GENDARMERIE	0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CEG	0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EPP	0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EGLISE	0%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
EP	1%	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

<b>Nombre Total Clients</b>		402	413	435	446	458	471	483	496	510	523	538	552	567	583	599
-----------------------------	--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tableau 12:l'evolution des clients dans 15 ans

#### II.4.1. Les Ménages dans la localité :

On va estimer la consommation actuelle en énergie substituable par l'électricité par segment, soit la charge actuelle équivalente watt des usagers.

Les usages substituables par l'électricité sont les dépenses énergétiques liées à l'éclairage, aux medias et les activités utilisant des moteurs (réfrigérateur et ventilateur). Mais le bois et le charbon, c'est-à-dire les besoins de chauffage (cuisson et fer à repasser) n'ont pas été pris en compte dans le calcul. En raison des puissances électriques demandées pour ces usages, le coût de l'électricité est en effet plus élevé que l'utilisation traditionnelle du bois de chauffe pour les mêmes usages.

Les consommations estimatives des Ménages :

Ménages	Nombres	Coeff.de foison.	Application	Puissance unitaire	Nombre d'Application	Heures de marche journalière	Cons. journalière [Wh]	Cons. mensuelle [kWh]	Cons. annuelle [kWh]
REVENUE ELEVE	28	0,5	LAMPE	15	4	5	300	911	10 927
			RADIO	10	1	14	140		
			MINI-CHAINE	25	1	12	300		
			TV & LECTEUR	70	1	6	420		
			REFRIGERATEUR	120	1	8,4	1008		
							30 352		
REVENUE MOYENNE	289	0,35	LAMPE	15	2	5	150	2 154	25 854
			RADIO	10	1	14	140		
			TV & LECTEUR	70	1	6	420		
							71 817		
FAIBLE REVENUS	46	0,45	LAMPE	15	1	5	75	134	1 602
			RADIO	10	1	14	140		
							4 451		
TOTAL							106 619	3 199	38 383

Tableau 13: Les consommations estimatives des Ménages

##### II.4.1.a) Ménage à Faible Revenus :

Une maison avec une seule pièce faite avec des « Rotsi-peta » ou terre battue; le toit est en feuille; une radio et une lampe chargeable et pour les autres des bougies; jusqu'à 6 personnes vivent dans une chambre.

##### II.4.1.b) Ménage à Revenu Moyenne :

Une maison plus large de 3 pièces; les murs est couvert de planches en bois et de toit en tôle ondulée; 2 lits avec des matelas en mousse ; avec des appareils comme de Télévision et de lecteur VCD.

#### II.4.1.c) Ménage à Revenu élevé :

Une maison plus large 3 à 5 pièces; les murs couverts de planches en bois et souvent cimenter, le toit en tôle ondulée; une armoire, quelques meubles, une valise pour rangers des affaires personnelles et vêtements, une Mini-chaîne + TV et souvent avec des Canal Sat qui sont alimentés par des kits photovoltaïques des quelques centaines de Watt.

#### II.4.2. Commerces et services :

Le principe de substitution de l'énergie interchangeable par l'électricité est le même que les ménages. Le plus grand client potentiel est l'Epi-Bar car il est en activité jusqu'à 22 h ou 23 h tous les jours avec ces différents appareils comme la sonorisation et le réfrigérateur. Par contre, les autres commerces et services ne s'activent que peu de temps dans une journée.

#### Les consommations estimatives des commerces et services :

Entreprises	Nombres	Coeff. de foison.	Application	Puissance unitaire	Nombre d'Appli.	Heures de marche journaliere	Cons. journalière [Wh]	Cons. mensuelle [kWh]	Cons. annuelle [kWh]
EPICERIES	12	0,6	LAMPE	15	1	5	75	264	3 170
			RADIO	10	1	14	140		
			REFRIGERATEUR	120	1	8,4	1008		
							8805,6		
EPI-BAR	5	0,75	LAMPE	15	3	5	225	383	4 597
			MINI-CHAINE	25	1	12	300		
			TV & LECTEUR	70	1	6	420		
			CONGELATEUR	150	1	8,4	1260		
			SONORISATION	200	1	6	1200		
							12768,75		
HOTELY	2	0,85	LAMPE	15	1	5	75	11	132
			RADIO	10	1	14	140		
							365,5		
GARGOTE	5	0,75	LAMPE	15	1	5	75	24	290
			RADIO	10	1	14	140		
							806,25		
VIDEO	1	1	LAMPE	15	1	5	75	47	563
			TV & LECTEUR	70	1	8	560		
			SONORISATION	200	1	8	1600		
							2235		
TOTAL							24 981	729	8 752

Tableau 14: Les consommations estimatives des commerces et services

### II.4.3. Les services publics :

La consommation d'énergie dans les infrastructures publiques englobe les besoins d'éclairage des voies publique, et l'énergie consommée par l'édifice publiques généralement rencontrés en milieu rural parmi lesquels, l'église, le CSB II, l'école,...

Les consommations estimatives des services publics :

Les services publics	Nombres	coeff.de foison.	Application	Puissance unitaire	Nombre d'Applica tion	Heures de marche journalière	Cons. journalière [Wh]	Cons. mensuelle [kWh]	Cons. annuelle [kWh]
MAIRIE	1	1	LAMPE	15	1	2	30	30	365
			RADIO	10	1	8	80		
			Ordi+Imprim	80	1	6	480		
			Photocopieuse	120	1	4,5	540		
			VENTILATEUR	40	1	8	320		
							1450		
CSB II	1	1	LAMPE	15	8	5	600	96	1 152
			RADIO	10	1	14	140		
			STERILISATEUR	250	1	6	1500		
			VENTILATEUR	40	3	8	960		
							3200		
GENDARMERIE	1	1	LAMPE	15	6	5	450	43	511
			RADIO	10	1	14	140		
			TV & LECTEUR	70	1	5	350		
			Ordi+Imprim	80	1	6	480		
							1420		
CEG	1	1	LAMPE	15	3	2	90	6	73
			VENTILATEUR	40	1	5	200		
							290		
EPP	1	1	LAMPE	15	4	2	120	7	81
			VENTILATEUR	40	1	5	200		
							320		
EGLISE	2	1	LAMPE	15	6	4	360	52	624
			VENTILATEUR	40	2	8	640		
			SONORISATION	200	1	8	1600		
							5200		
EP	1	0,8	Eclairage public	25	6	5	750	18	216
							600		
TOTAL							12 480	252	3 022

Tableau 15: Les consommations estimatives des services publics

Le nombre de jours mensuel pris comme base de l'étude est de 30 jours sauf pour les autres services publics qui ne sont pas ouverts le week-end (école et bureau de mairie), donc 21 jours par mois. Et un cas particulier pour l'église qui ne fonctionne que le week-end seulement en général.

## **II.5. Evolution de l'énergie consommée dans la localité cible :**

L'évolution de l'énergie consommée dépend de la variation des clients cible. Tous les calculs sont faits, la simulation est réalisée grâce à un logiciel spécialement conçu sous Excel. Le logiciel prend également pour hypothèse qu'un usager se raccordera toujours au meilleur des services qui lui est proposé du moment qu'il puisse se payer la facture.

L'objectif de cette partie est de traiter les informations socio-économiques précédentes pour simuler l'évolution du taux de raccordement de la population et l'évolution de la consommation en fonction des années. Cette simulation permet donc de prévoir la puissance de la centrale qu'il faut installer pour satisfaire la demande à l'horizon de projet.

L'évolution de l'énergie consommée par le village de Tongobory se déduit comme suit : les unités sont en kWh/an.

Formule de l'évolution de l'énergie consommée:

$$E_n = N_n * C_{sp} * 12 \quad (2)$$

$E_n$  : Energie consommée en année n en (kWh) ( $1 \leq n \leq 15$ )

$N_n$ :Nombre de client en année n

$C_{sp}$  : Consommation spécifique d'un client (kWh/mois)

12 : nombre de mois dans une année

### Evolution de la consommation annuelle du Village :

CLIENTS	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2 024	2 025	2 026	2 027	2 028	2 029	2 030	2 031	2 032	2 033
<b>MENAGES</b>	<b>38 383</b>	<b>39 316</b>	<b>41 260</b>	<b>42 272</b>	<b>43 313</b>	<b>44 383</b>	<b>45 482</b>	<b>46 613</b>	<b>47 774</b>	<b>48 969</b>	<b>50 196</b>	<b>51 458</b>	<b>52 756</b>	<b>54 090</b>	<b>55 461</b>
FAIBLE REVENUS	1 602	1 650	1 751	1 803	1 857	1 913	1 970	2 030	2 090	2 153	2 218	2 284	2 353	2 423	2 496
REVENUE MOYENNE	25 854	26 630	28 251	29 099	29 972	30 871	31 797	32 751	33 734	34 746	35 788	36 862	37 967	39 106	40 280
REVENUE ELEVE	10 927	11 036	11 258	11 370	11 484	11 599	11 715	11 832	11 950	12 070	12 191	12 313	12 436	12 560	12 686
<b>COMMERCES ET SERVICES</b>	<b>8 839</b>	<b>8 928</b>	<b>9 017</b>	<b>9 107</b>	<b>9 198</b>	<b>9 290</b>	<b>9 383</b>	<b>9 477</b>	<b>9 572</b>	<b>9 667</b>	<b>9 764</b>	<b>9 862</b>	<b>9 960</b>	<b>10 060</b>	<b>10 161</b>
EPICERIES	3 202	3 234	3 266	3 299	3 332	3 365	3 399	3 433	3 467	3 502	3 537	3 572	3 608	3 644	3 680
EPICERIE - BAR	4 643	4 689	4 736	4 783	4 831	4 880	4 928	4 978	5 027	5 078	5 128	5 180	5 232	5 284	5 337
HOTELY	133	134	136	137	138	140	141	142	144	145	147	148	150	151	153
GARGOTE	293	296	299	302	305	308	311	314	317	321	324	327	330	334	337
VIDEO	569	575	580	586	592	598	604	610	616	622	628	635	641	647	654
<b>ADMINISTRATION</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>	<b>3 245</b>
BUREAU MAIRIE	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
CENTRE DE SANTE DE BASE II	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152	1 152
GENDARMERIE	511	511	511	511	511	511	511	511	511	511	511	511	511	511	511
CEG	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
ECOLE PRIMAIRE PUBLIQUE	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
EGLISE	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062	1 062
<b>ECLAIRAGE PUBLIC</b>	<b>1 909</b>	<b>1 928</b>	<b>1 947</b>	<b>1 967</b>	<b>1 986</b>	<b>2 006</b>	<b>2 026</b>	<b>2 047</b>	<b>2 067</b>	<b>2 088</b>	<b>2 109</b>	<b>2 130</b>	<b>2 151</b>	<b>2 173</b>	<b>2 194</b>
ECLAIRAGE PUBLIC	1 909	1 928	1 947	1 967	1 986	2 006	2 026	2 047	2 067	2 088	2 109	2 130	2 151	2 173	2 194
<b>Consommation Total</b>	<b>52 376</b>	<b>53 416</b>	<b>55 469</b>	<b>56 591</b>	<b>57 743</b>	<b>58 924</b>	<b>60 137</b>	<b>61 381</b>	<b>62 658</b>	<b>63 969</b>	<b>65 314</b>	<b>66 695</b>	<b>68 112</b>	<b>69 567</b>	<b>71 061</b>

Tableau 16: Evolution de la consommation annuelle du Village

## II.6. Bilan

Année	Puissance de Pointe [kW]		Consommation Annuelle [kWh]		
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Total
1	12,55	19,91	20 706	31 670	52 376
2	12,84	20,72	21 074	32 342	53 416
3	13,41	21,17	21 793	33 676	55 469
4	13,72	21,62	22 188	34 403	56 591
5	14,03	22,09	22 593	35 149	57 743
6	14,36	22,57	23 009	35 915	58 924
7	14,69	23,06	23 435	36 702	60 137
8	15,03	23,57	23 871	37 510	61 381
9	15,35	24,09	24 319	38 339	62 658
10	15,75	24,62	24 778	39 191	63 969
11	16,12	25,17	25 249	40 065	65 314
12	16,5	25,73	25 731	40 963	66 695
13	16,9	26,31	26 226	41 886	68 112
14	17,3	26,09	26 734	42 833	69 567
15	17,72	27,51	27 255	43 806	71 061

Tableau 17: Synthèse de l'évaluation de la demande

### II.6.1. Courbe de charge journalière :

- Puissance journalière pour l'année 1 : la courbe suivante résume les puissances journalières en première année du village.

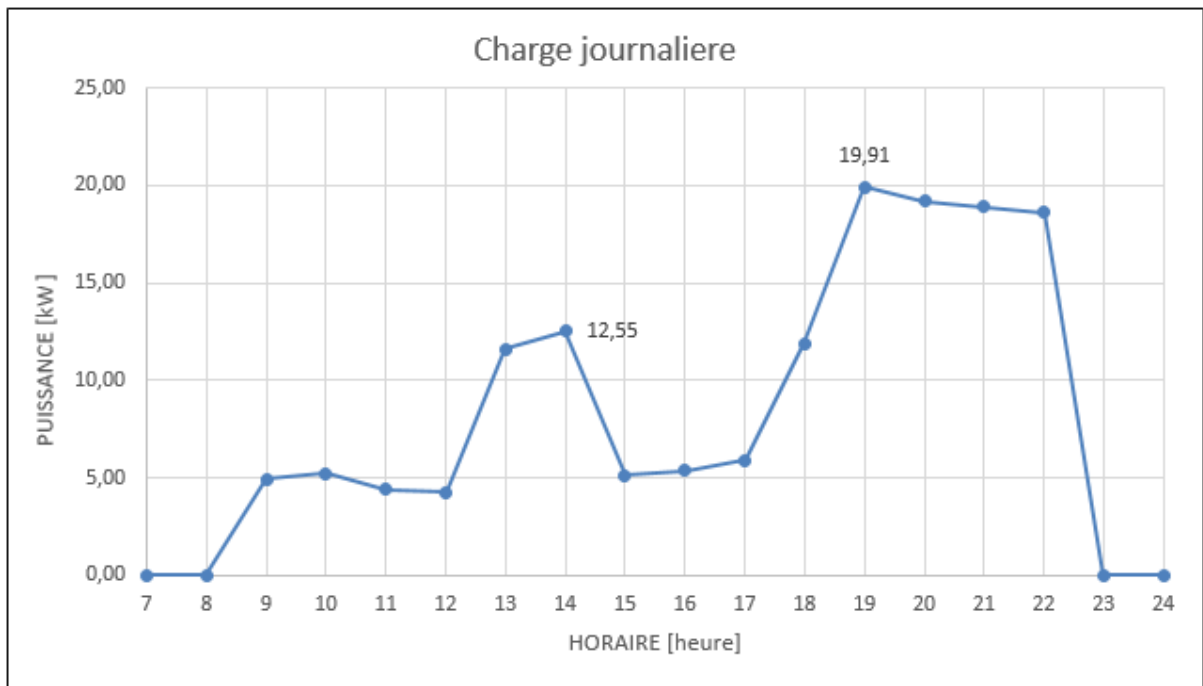


Figure 5: courbe de puissance journalière en année 1

La courbe montre la charge typique d'un village rural ; elle est composée d'une pointe significative en soirée (en 19 heures), qui correspond principalement aux usages d'éclairage domestique. Au cours de la journée les activités économiques représentent l'essentiel de la puissance appelée. Et une charge de base qui concerne généralement les premières heures du jour (l'heure de fonctionnement de la centrale), de 8h jusqu'à 12h. La puissance de pointe nocturne est de quatre à cinq fois plus élevée que la puissance en période de base. Et cette puissance augmente de 7,6 kW pendant 15 ans.

➤ Puissance journalière pour l'année 15 :

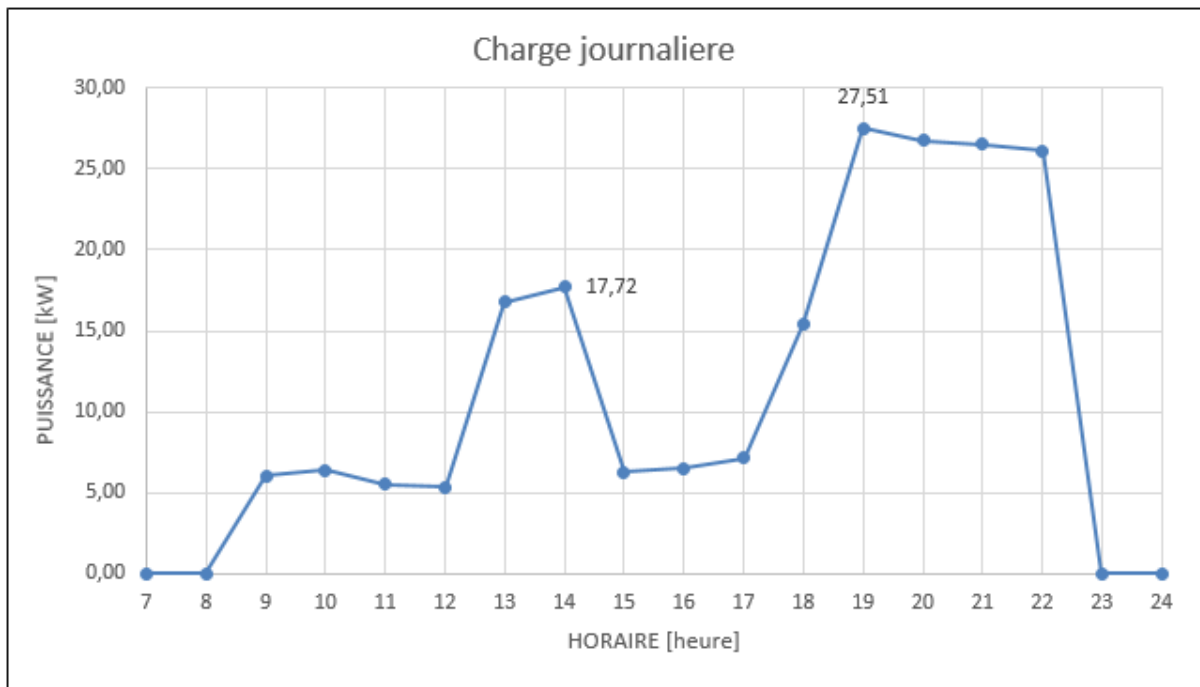


Figure 6: courbe de puissance journalière en année 15

Formule de la consommation énergétique journalière :

$$B_j = K_0 \sum_{j=1}^m K_j \times T_j \times \sum_{i=1}^n K_{ij} \times A_{ij} \times P_{ij} \times D_{ij} \quad (3)$$

Avec :

$K_0$  : Coefficient de simultanéité pour les trois types de clients.

$K_j$  : 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 le point maximum de la courbe donnée par cette relation.

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 18: Coefficient de simultanéité en fonction du nombre d'abonnés*

**Charge journalière du village en première année :**

ANNEE	2019		CHARGE JOURNALIERE																		kWh/j
CLIENTS	Nombres	K foison.	Heures	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
FAIBLE REVENUS	46	0,45	-	-	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,518	0,518	0,518	0,518	0,518	-	-	4,45
REVENUE MOYENNE	289	0,35	-	-	1,012	1,012	1,012	1,012	8,092	8,092	1,012	1,012	1,012	4,046	11,127	11,127	11,127	11,127	-	-	71,82
REVENUE ELEVE	28	0,5	-	-	1,498	1,498	1,498	1,498	2,128	2,128	1,498	1,498	1,498	2,338	3,318	3,318	3,318	3,318	-	-	30,35
EPICERIES	12	0,6	-	-	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,705	0,705	0,705	0,705	0,705	-	-	8,89
EPICERIE - BAR	5	0,75	-	-	0,436	0,701	0,701	0,436	0,341	0,341	0,436	0,436	1,193	1,629	1,629	1,629	1,629	1,364	-	-	12,90
HOTELY	2	0,85	-	-	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	-	-	0,37
GARGOTE	5	0,75	-	-	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	-	-	0,81
VIDEO	1	1	-	-	0,273	0,273	0,000	0,000	0,000	0,273	0,273	0,273	0,273	0,288	0,288	0,015	0,015	0,015	-	-	2,26
BUREAU MAIRIE	1	1	-	-	0,200	0,200	0,200	0,200	0,000	0,050	0,200	0,200	0,125	0,075	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	1,45
CSB II	1	1	-	-	0,135	0,135	0,010	0,130	0,130	0,255	0,255	0,255	0,135	0,380	0,380	0,500	0,250	0,250	-	-	3,20
GENDARMERIE	1	1	-	-	0,070	0,070	0,070	0,070	0,080	0,080	0,070	0,070	0,070	0,160	0,170	0,170	0,170	0,100	-	-	1,42
CEG	1	1	-	-	0,000	0,000	0,040	0,040	0,000	0,000	0,040	0,085	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,29
EPP	1	1	-	-	0,000	0,000	0,040	0,040	0,000	0,000	0,040	0,100	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,32
EGLISE	2	0,85	-	-	0,476	0,476	0,000	0,000	0,000	0,476	0,476	0,578	0,578	0,578	0,578	0,000	0,000	0,000	-	-	4,22
ECLAIRAGE PUBLIC	7	1	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	-	-	5,30
TOTAL	402																				
		kW	0,00	0,00	4,96	5,22	4,43	4,28	11,63	12,55	5,16	5,36	5,93	11,91	19,91	19,18	18,93	18,59	0,00	0,00	148,05

Tableau 19: Charge journalière de Tongobory en année 1

## **II.7. Capacité globale moyenne à payer le raccordement et le kWh :**

La « capacité à payer l'électricité » est le montant des dépenses des clients qui sont allouées aux énergies substituables par l'électricité aujourd'hui. En général, elle se divise en deux :

- la capacité à payer l'appareil électrique ou le matériel substituable par un appareil électrique (les lampes à pétrole et les bougies qui seront remplacées par des lampes électriques);
- la capacité à payer les consommations énergétiques courantes substituables par l'électricité (pétrole, bougies, carburant, lampe solaire et piles) ;

### **II.7.1. Capacité à payer le matériel :**

Le matériel électrique ou substituable par l'électricité

Les différents types d'achats de matériels électrique ou substituable par l'électricité des ménages, sont :

- les générateurs d'énergie électriques : panneau solaire, batterie et groupe électrogène ;
- les supports d'éclairage: lampe à pétrole, lampe torche, lampe solaire et ampoule ;
- les loisirs: radio, radio lecteur carte, TV, amplificateur, Vidéo et téléphone ;
- les autres appareils minoritaires : mixer et ventilateur.

### **II.7.2. Capacité à payer les besoins d'électricité par mois :**

✓ L'éclairage

- Les lampes à pétrole : « Jiro Kapoaka »

La lampe à pétrole n'est pas l'éclairage le plus répandu. Tandis, cet éclairage a une très faible qualité et les vapeurs toxiques qu'il dégage, nuit à la santé. Aujourd'hui, 1 L de pétrole lampant coûte 2 500 Ar à Tongobory et l'éclairage par lampe à pétrole revient à 100 Ar/soir/lampe en moyenne, soit 3 000 Ar/mois/lampe (prix qui varie suivant la durée de l'éclairage désirée).

✓ Les bougies :

Quelques ménages utilisent des bougies, mais ils sont peu nombreux, qui assure un éclairage de meilleur qualité que la lampe à pétrole et ne nuit pas à la santé. Sur le marché de Tongobory, il en existe des modèles suivant leur durée de vie : de 300 et 500Ar. Ainsi,

l'éclairage par bougie revient à 300 Ar/soir/bougie environ, soit 9 000 Ar/mois/pour une bougie tous les soirs (prix qui, évidemment, varie suivant la durée d'éclairage).

✓ Les lampes électriques rechargeables :

Quelques groupes des usages privé fonctionnent de manière très irrégulière, en général lorsque leurs propriétaires désirent regarder la TV. Les groupes alimentent alors en général une ou deux ampoules en même temps. Il est assez difficile d'évaluer avec précision le coût de l'éclairage par groupe électrogène, mais d'après notre enquête, nous pouvons l'estimer à 100 Ar/heure par ampoule de 24 W (basse consommation), ce qui nous conduit à environ 200 Ar/soir/ampoule (une ampoule qui fonctionne 2 heures/jour) soit 6 000 Ar/mois pour une ampoule fonctionnant tous les soirs.

✓ Les piles pour les torches :

Selon nos estimations, les habitants qui ont une lampe torche, dépensent en moyenne 1 600Ar/mois pour les piles de la lampe.

✓ La radio

Les radios fonctionnent avec des piles qui coûtent de 400 à 500 Ar suivant leur taille. Les ménages qui ont une radio dépensent en moyenne 2 000 Ar/mois pour les piles de leur radio.

Donc le tableau suivant montre la capacité moyenne a payé par client :

CLIENTS	Pauvre	Moyen	Riche
Montant pour le kWh/ mois (en Ar/mois)	10 000	20 000	> 30 000
Montant pour le branchement (en Ar)	20 000	40 000	50 00

*Tableau 20: capacité moyenne a payé des ménages*

## II.8. Etude des scenarios sur la prévision de l'évolution de la demande:

On va élaborer une étude de scénario, pessimiste pour imaginer le pire des cas et optimiste pour espérer le meilleur. Ces scenarios nous permet d'évaluer les revenus possibles une fois la situation se présente.

En fait le taux d'accroissement est tous les mêmes dans les scenarios: le taux d'accroissement des abonnés est de :

- 1% pour les ménages riches
- 3% pour les ménages moyens
- 3% pour les ménages à faibles revenus.

Le taux d'accroissement des abonnées dans la catégorie commerces et services est de 1%. Mais la différence entre les scénarios se joue dans le taux de raccordement des ménages. Le taux de raccordement des ménages et leurs répartitions sont les suivantes en fonction des scénarios étudiés :

Scenario		Pessimiste	Probable	Optimiste
Taux d'accès des ménages		<b>35%</b>	<b>40%</b>	<b>45%</b>
Répartition des ménages	Pauvre	15%	20%	25%
	Moyen	40%	45%	50%
	Riche	55%	60%	65%

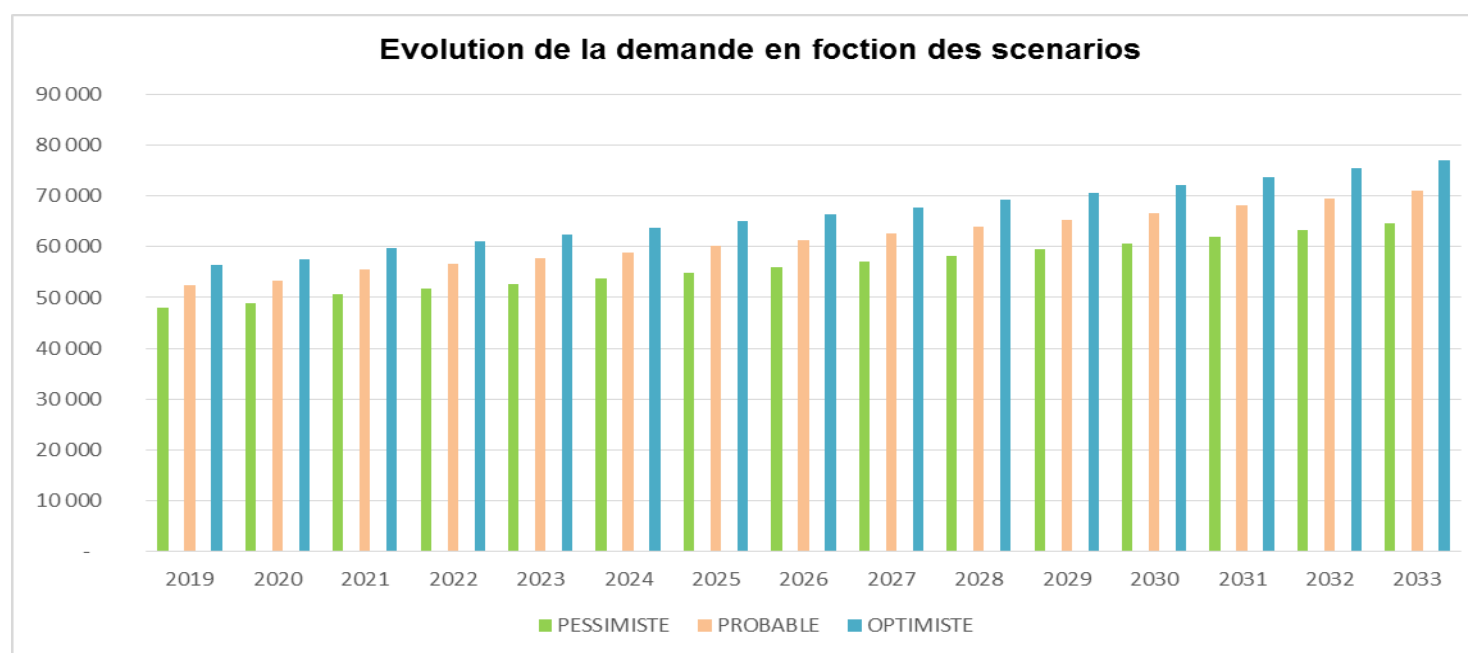
*Tableau 21: Taux de raccordements des ménages par scénarios*

Dans tous les cas, Il n'y aura aucun accroissement pour les infrastructures publiques, par contre les ménages connaîtront une évolution considérable. Cependant, La variation de la consommation énergétique annuelle repose seulement sur les variances de l'évolution des ménages. Les autres clients seront constants dans tous les cas.

Evolution de la demande en fonction du scenario :

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
PESSIMISTE	47 924	48 855	50 678	51 680	52 709	53 764	54 847	55 957	57 097	58 266	59 466	60 698	61 962	63 259	64 591
PROBABLE	52 376	53 416	55 469	56 591	57 743	58 924	60 137	61 381	62 658	63 969	65 314	66 695	68 112	69 567	71 061
OPTIMISTE	56 402	57 548	59 820	61 057	62 326	63 628	64 965	66 338	67 747	69 193	70 678	72 202	73 767	75 374	77 024

*Tableau 22:Évolution de la demande en fonction du scenario*



*Figure 7: courbe d'évolution de la demande des différents scenarios*

## CHAPITRE III : ETUDE TECHNIQUE

### III.1. Evaluation de gisement solaire

Le site se distingue par son climat semi-aride comme partout dans les régions du Sud avec un ensoleillement quasi permanent pendant tout l'année.

Pour dimensionner un système photovoltaïque, il est nécessaire de connaître la quantité d'énergie solaire ou l'ensoleillement que le système peut accueillir.

L'ensoleillement est la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée. Donc la radiation solaire est spécifique à chaque région, parce que ça dépend de plusieurs paramètres comme la longitude, la latitude, la saison de la journée et les conditions météorologique.

Dans cette étude, tous les calculs ont été faits par le logiciel PVGIS (Photovoltaic Geographic Information System). C'est un logiciel de simulation en ligne que nous pouvons trouver sur le site internet. Nous allons voir les gisements solaires mensuels de cette région.

#### III.1.1.Radiation mensuelle :

Site: 23°31' Sud, 44°19' Est, Élévation: 90 m

Mois	H(23)	DNI	TL
Janvier	6420	6650	4.6
Fevrier	6800	7050	4.5
Mars	6890	7170	3.8
Avril	6580	6860	3.7
Mai	6070	6800	3.1
Juin	5910	6580	3.3
Juillet	6130	6860	2.9
Août	6720	7310	2.9
Septembre	7150	7480	3.5
Octobre	7340	7730	4.0
Novembre	6920	7400	4.3
Décembre	6520	7060	4.4
Année	6620	7080	3.7

Tableau 23:Irradiation solaire globale annuelle de Tongobory (PVGIS)

H(23) : Irradiation sur un plan avec l'inclinaison de 23° en (Wh/m²/jour)

DNI: Irradiation directe normale en (Wh/m²/jour)

TL: Turbidité de Linke (-)

### III.1.2.Courbe de la Radiation mensuelle :

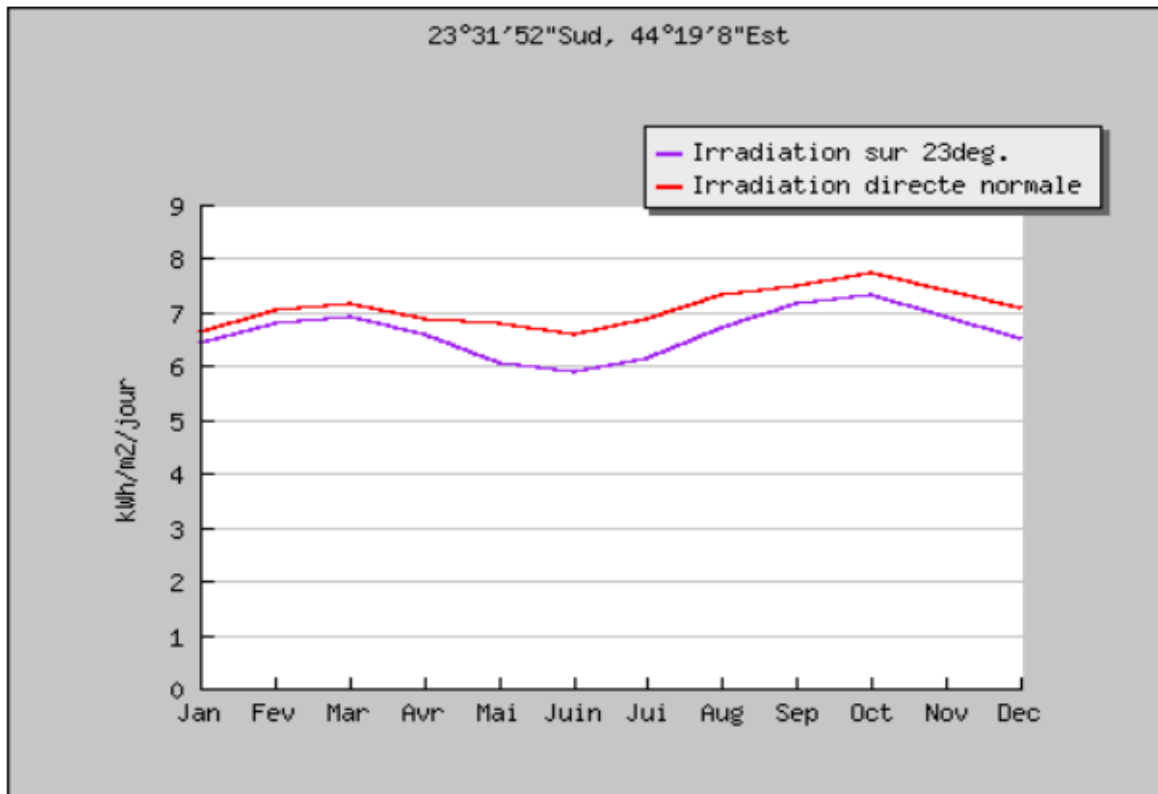


Figure 8:Irradiation sur 23° et Irradiation directe normale

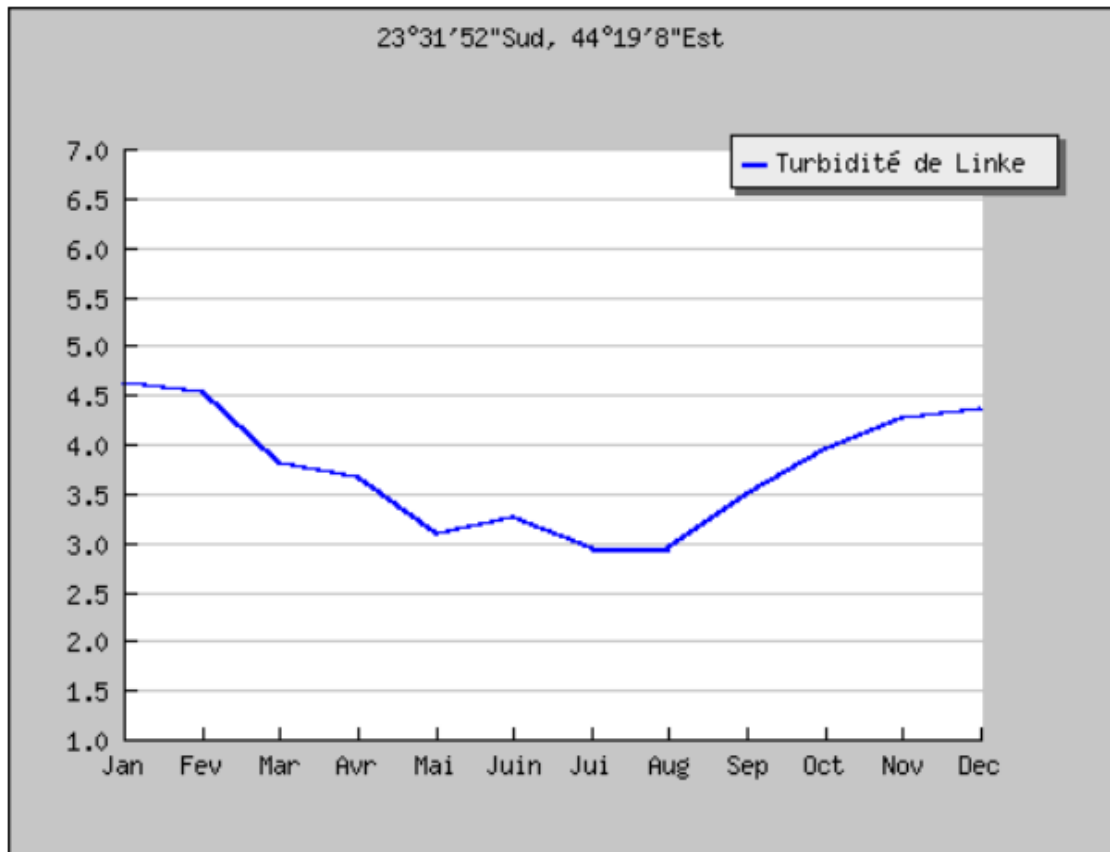
#### Irradiation sur un plan avec l'inclinaison de 23° :

On constate que pendant le mois de Janvier ainsi que le mois de Decembre et le Mai jusqu'au mois de Juillet, l'irradiation est minimal. Par contre, l'irradiation est maximale pendant les autres mois ou les autres saisons de l'année. C'est l'irradiation sur l'inclinaison de 23°, qui est l'angle que fait le panneau solaire avec l'horizontale. Cette inclinaison est égale à latitude du site près pour un fonctionnement permanent sur l'année, pour une latitude de 10° à 25° à Madagascar.

#### Irradiation directe normale :

L'irradiation directe normale est la valeur mensuelle de l'énergie solaire provenant directement du disque solaire (en excluant la lumière provenant du ciel et des nuages) reçue sur un plan d'un mètre carré sur une surface qui suit les mouvements du soleil (système suiveur solaire). Cette irradiation est la plus optimale pour dimensionner, car le système suiveur capte un maximum d'énergie solaire, par contre ceci nécessite une mise en place d'un dispositif suiveur solaire intégré au module photovoltaïque, qui engendrera surement un surplus d'investissement dans les champs photovoltaïques et équipements.

### Facteur de trouble de Linke :



*Figure 9:Facteur de trouble de Linke*

La turbidité de Linke donne de l'information sur comment la radiation solaire est atténuée par les aérosols et les différents composants atmosphériques, Il sert à caractériser le trouble atmosphérique (dû à la vapeur d'eau, la brume, aux fumées, aux poussières...) d'un ciel sans nuage ou peu nuageux. Dans notre zone le facteur de trouble est entre les valeurs de 3 à 4,5. Par définition, le facteur de trouble de Linke est le nombre d'atmosphères idéales superposées qui entraîne la même atténuation que l'atmosphère réelle.

### **Conclusion :**

Le logiciel PVGIS nous permet de déterminer les différentes valeurs de l'irradiation solaire mensuelle du site. Il donne des résultats montrant les valeurs d'irradiation solaire mensuelle et les courbes permettant de voir l'évolution mensuelle de ces valeurs.

Notre système photovoltaïque est un système fixe ; pour un fonctionnement permanent pendant tout l'année, donc on choisira de prendre les résultats sur l'irradiation de l'angle 23° et d'installer les modules dans cet angle pour pouvoir capter l'irradiation dans cette position durant toute l'année.

Le potentiel en énergie solaire du site:

- Valeur maximale de l'ensoleillement: 7340 [Wh/m<sup>2</sup>/jour] au mois d'Octobre.
- Valeur minimale de l'ensoleillement: 6080 [Wh/m<sup>2</sup>/jour] au mois de Juin.
- Valeur moyenne annuelle de l'ensoleillement est de 6620 [Wh/m<sup>2</sup>/jour].

### III.2. Dimensionnement du système de production

#### III.2.1. Principe de fonctionnement de la centrale :

Le système hybride est composé d'un champ photovoltaïque, d'un parc batteries et d'un groupe électrogène (GE) qui assurent quotidiennement un complément de production et une sécurité en cas d'insuffisance de production solaire.

Pendant la journée, le champ photovoltaïque fournit l'alimentation nécessaire aux consommateurs et charge les batteries si la consommation durant la journée est inférieure à la production solaire. Durant la nuit, lorsque l'état de décharge des batteries atteint le seuil prédéterminé (70% de décharge); à partir de cet instant il intervient pour alimenter le réseau de distribution et/ou charger les batteries. Le groupe s'arrête automatiquement lorsque les batteries ont retrouvés une partie de sa charge, par exemple l'équivalent de la consommation globale d'une nuit. Par conséquent le GE intervient en appoint, avec un fonctionnement de quelques heures par jour (de 0,5 h à 3 h/jours) dont la durée est en fonction du niveau de consommation et de l'ensoleillement.

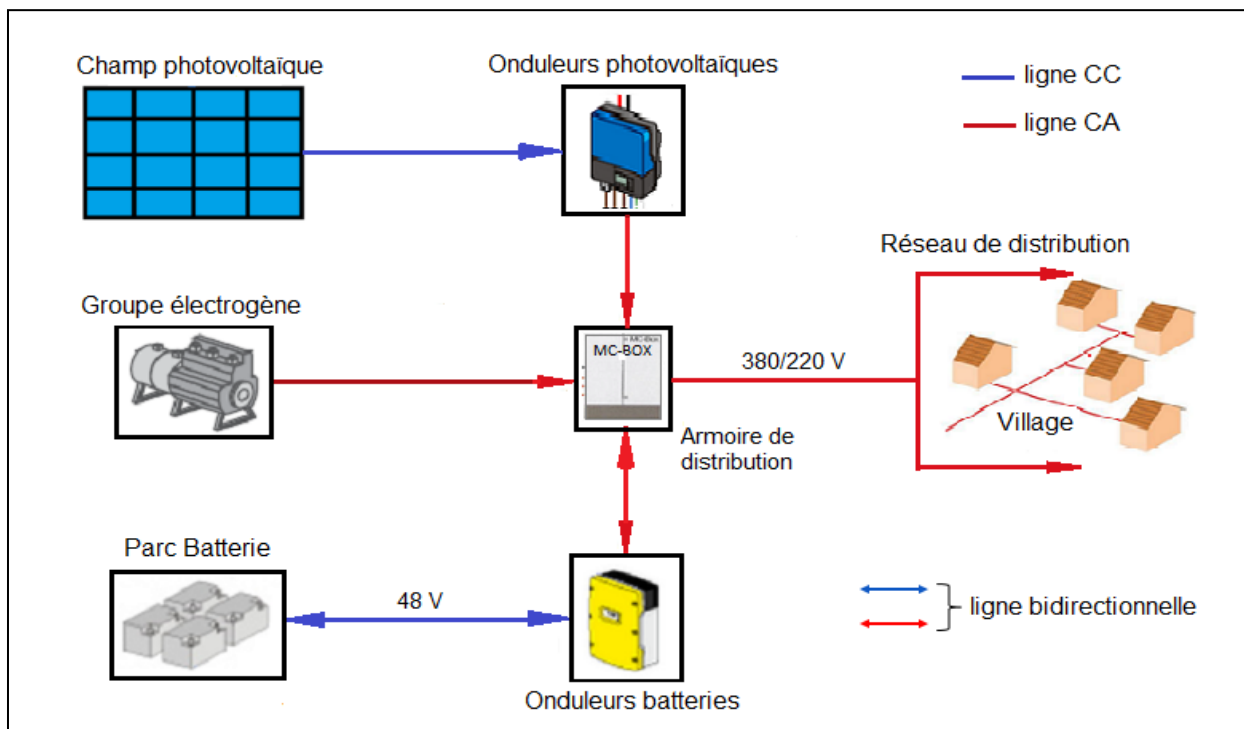


Figure 10: Schéma synoptique unifilaire du système

### III.2.2. Dimensionnement du système hybride solaire/Diesel :

COMPOSANTS	DESIGNATIONS	NOMBRE
Champs Photovoltaïques	44 kWc	176 × 250 Wc
Batteries	9702 Ah (2 jours d'autonomie)	48 × 4700 Ah (2V)
Onduleurs photovoltaïques	Sunny Tripower 10000 TL	4
Onduleurs batteries	Sunny Island 5048	6
Armoire de distribution	Multicluster Box 6	1
Groupe Electrogène	35 kVA – 400 V - triphasé	1

Tableau 24: Récapitulation de la centrale

La centrale est composée de champs Photovoltaïques de 44 kWc connectés à des onduleurs de SMA Solar Technology de type Sunny Tripower 10000 TL, ensuite ces onduleurs sont liés à une armoire de distribution ou Multicluster Box et ce dernière est relié au réseau de distribution. Les batteries de capacité totale de 9702 Ah avec une tension de 48V est relié à ce Multicluster Box par l'intermédiaire des onduleurs de type Sunny Island 5048. Le groupe électrogène est aussi connecté directement sur l'armoire de distribution, donc la Multicluster Box joue le rôle de simplicité de distribution de courant alternatif vers le réseau pour les Sunny Island, le GE et l'installation photovoltaïque.

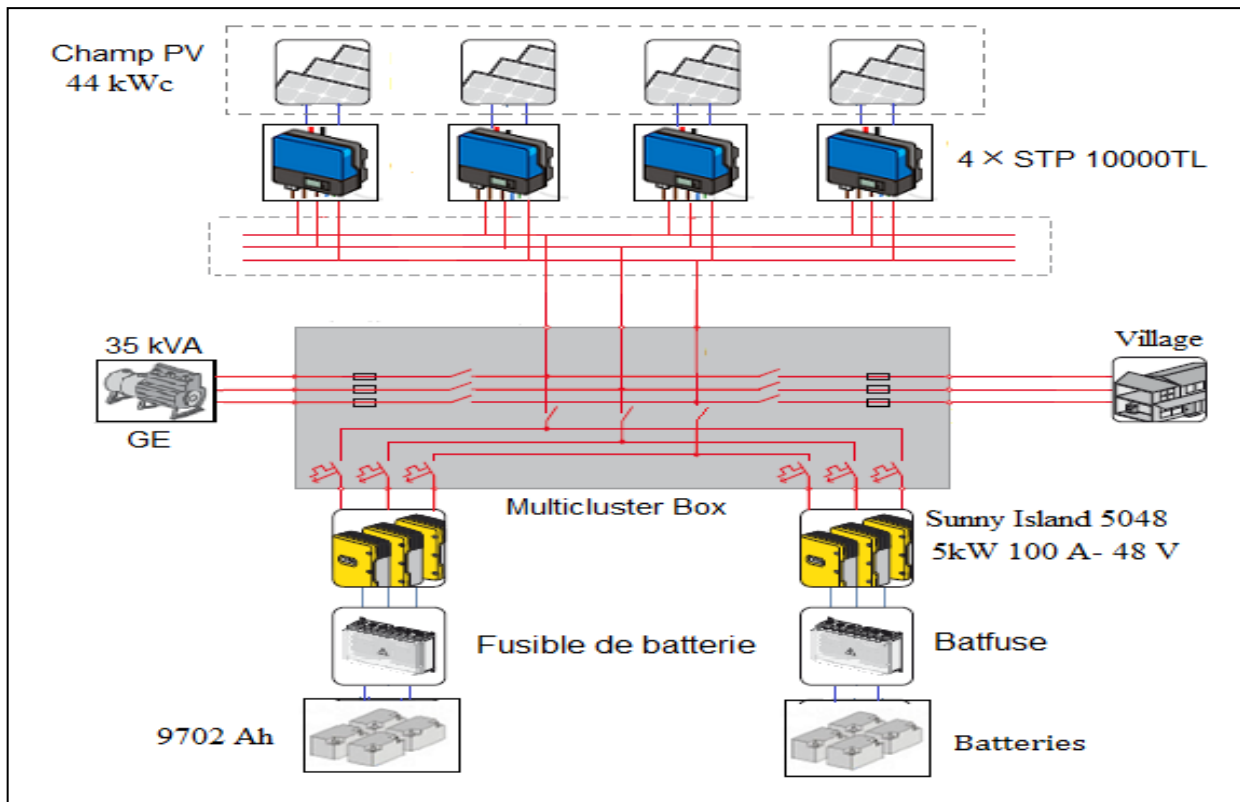


Figure 11: schémas synoptique de la centrale hybride

### III.2.2.a) Champs photovoltaïques :

#### Puissance crête :

Comme nous avons estimés dans le chapitre précédent la consommation électrique journalière du village et d'après l'évaluation du gisement solaire, on peut calculer maintenant la puissance crête du champ photovoltaïque suivant la formule :

$$P_c = \frac{B_j}{k \times E_{\text{moy}}} \quad (4)$$

Où  $P_c$  : puissance crête du champ [kWc],

$B_j$  : Besoin journalier du village [kWh/j],

$k$  : facteur qui compensent les pertes ( $k \approx 0,63$ ),

$E_{\text{moy}}$  : ensoleillement moyen journalier [kWh/m<sup>2</sup>/j].

Après le calcul, on trouvera le résultat suivant :

$$P_c = 43,12 \text{ kWc}$$

Mais on choisit la puissance crête de  **$P_c = 44 \text{ kWc}$**

#### Nombre du module :

On a choisi des panneaux solaires Polycristallin de puissance nominale de 250 Wc, avec une tension maximale de 30 V (dans une condition de test standardisé). Donc d'après le calcul, on trouve le nombre total de module qui est égale 176 module pour une surface au sol d'environ 300 m<sup>2</sup>.

$$\text{Nbr} = 176 \text{ modules}$$

### III.2.2.b) La capacité du parc batterie :

La capacité du parc batterie se détermine à partir de la formule :

$$C_T = \frac{B_j \times N_j}{k_{dp} \times U_s} \quad (5)$$

$C_T$  = capacité totale du parc

$N_j$  : nombre de jours d'autonomie ;

$U_s$  : tension du parc batterie ;

$K_{dp}$  : coefficient de profondeur de décharge ( $k_{dp}=0,7$ )

Après calcul, on trouve le résultat suivant :  **$C_T = 9702 \text{ Ah}$**

On prend deux jours d'autonomie. C'est-à-dire l'installation PV fonctionnera deux jours sans ensoleillement.

### **Nombre de Batteries :**

$$\text{Soit} \quad N_{bs} = \frac{U_s}{U_b} \quad (6)$$

$$\text{Et} \quad N_{bp} = \frac{C_T}{C_b} \quad (7)$$

$$\text{Ainsi} \quad N_{bT} = N_{bs} * N_{bp} \quad (8)$$

Avec :

$N_{bs}$  : Nombre de batterie en série

$N_{bp}$  : Nombre de batterie en parallèle

$N_{bT}$  : Nombre de batterie Total

$C_b$  : Capacité unitaire de la batterie

$C_T$  : Capacité total du parc batterie

$U_b$  : Tension Unitaire de la batterie

$U_s$  : Tension de sortie du parc batterie

Le parc batterie sera formé par des batteries 2V de capacité de 4700 Ah. Ce sont des batteries HOPPECKE OPzS Solar Power 4700, des batteries Plomb stationnaire tubulaire avec électrolyte gélifiée. Pour couvrir le besoin électrique du village avec une autonomie de deux jours il faut donc 48 batteries de ce type.

**Nbr = 48 batteries 2V, 4700 Ah**

### **III.2.2.c) Onduleurs photovoltaïques :**

On a choisi les onduleurs SMA Sunny Tripower 10000TL ou STP 10000 TL. Le Sunny Tripower est un onduleur photovoltaïque qui transforme le courant continu délivré par les panneaux en courant alternatif compatible avec le réseau de distribution, l'alimentation s'effectue de manière triphasée. L'onduleur est dimensionné de manière à faire face aux appels de puissance de pointe journalière et aussi sur la compatibilité de puissance du PV. Afin d'apporter une flexibilité au fonctionnement du champ photovoltaïque, les onduleurs seront au nombre de 4 avec chacun a une puissance nominale de 10kW afin d'absorber la puissance crête

du PV (44 kWc) avec un léger sous dimensionnement de 90% ; car cela mène à un rendement plus élevé des onduleurs.

Ainsi, le champ photovoltaïque sera décomposé en 4 unités distinctes et identiques fonctionnant en toute autonomie.

Onduleurs STP 10000 TL	Nombre de modules par onduleur	Chaîne PV	Puissance du PV
Onduleur 1	44	2×22	11 kWc
Onduleur 2	44	2×22	11 kWc
Onduleur 3	44	2×22	11 kWc
Onduleur 4	44	2×22	11 kWc
TOTAL	176		44 kWc

Tableau 25: configuration des PV

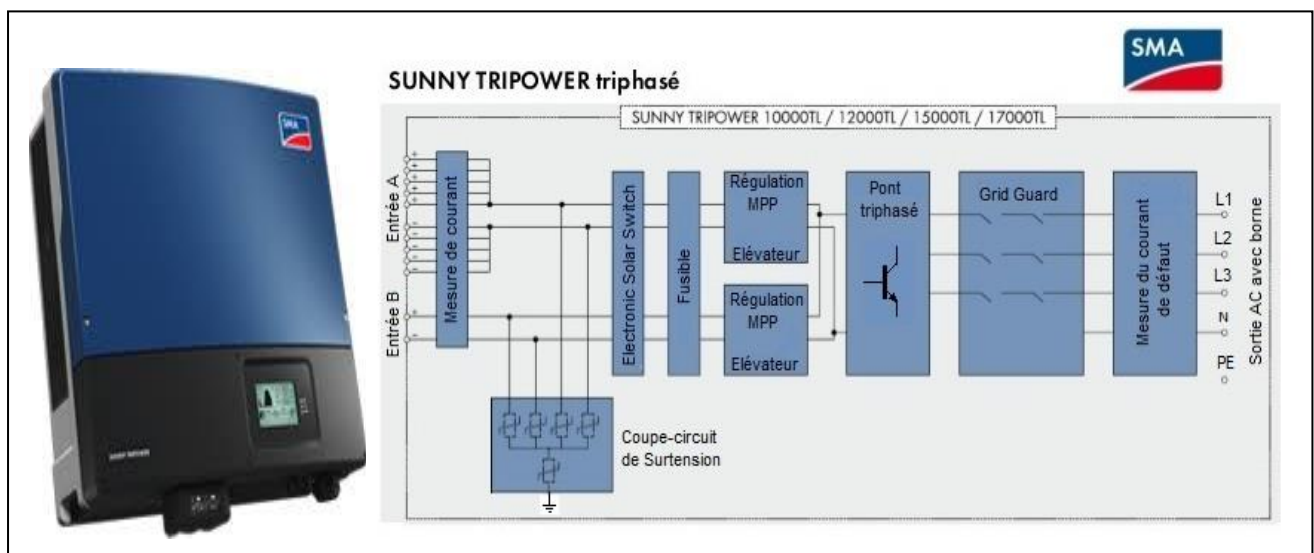


Figure 12: Sunny Tripower avec un schéma électrique simplifié

#### III.2.2.d) Onduleurs batteries :

On a choisi les onduleurs SMA Sunny Island 5048 qui sont des onduleurs chargeur et gère le bilan énergétique électrique dans un réseau en site isolé. Ce sont des onduleurs multifonctionnels ou onduleurs bidirectionnel qui comprennent : un redresseur, un régulateur et un onduleur ; donc une composante convertissant le courant continu (provenant des batteries) en courant alternatif, ainsi que le fonctionnement inverse avec une composante régulant la charge des batteries.

Pour déterminer le nombre d'onduleurs pour le système triphasé il convient de diviser la puissance maximale (puissance de point du village)  $P_{max}$  par la puissance nominale du Sunny Island. Ensuite, le résultat doit être arrondi au nombre immédiatement supérieur divisible par 3, afin de permettre une répartition équilibrée des onduleurs entre les phases :

$$\frac{P_{max}}{P_{SI}} = \text{Nombre de SI 5048} \quad (9)$$

$P_{max}$ : Puissance de pointe nocturne du village (27,5 kW)

$P_{SI}$ : Puissance nominale de sortie en CA du Sunny Island (5 kW)

$$\frac{27,5}{5} = 5,5 \approx 6 \times \text{SI 5048}$$

Pour apporter une flexibilité au fonctionnement du système et afin d'absorber la puissance de pointe du village, les onduleurs seront au nombre de 6.

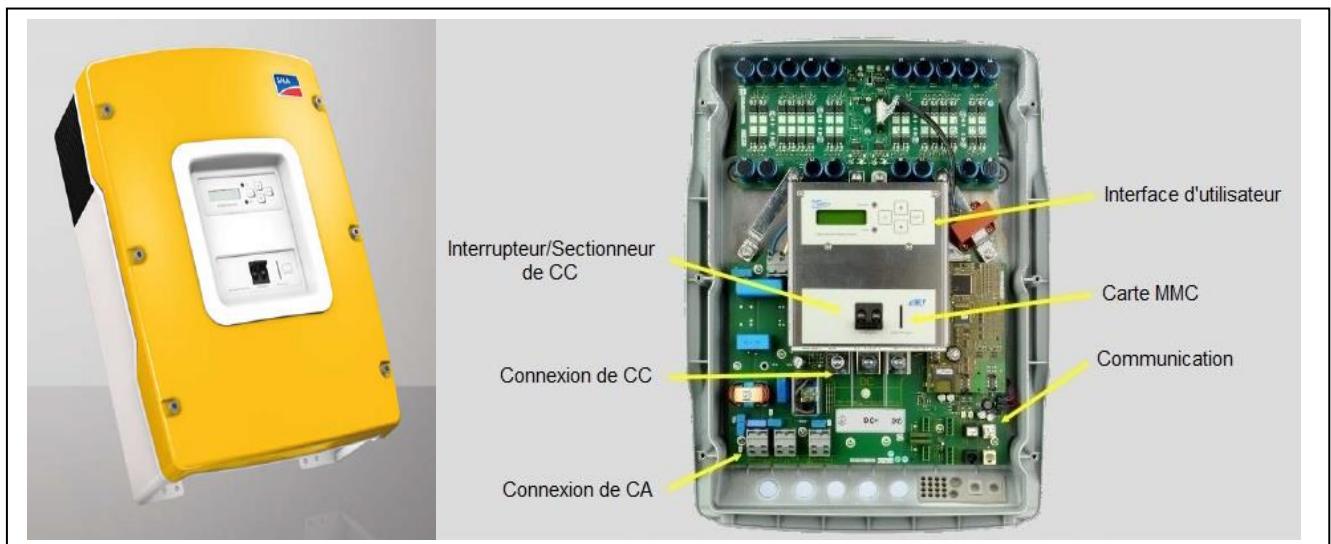


Figure 13: Sunny Island 5048 avec vue intérieure

### III.2.2.e) Armoire de distribution :

Notre Armoire de distribution est la Multicluster Box de SMA, qui est spécialement conçue comme de centre de distribution de CA (à l'aide des contacteurs) pour le raccordement des générateurs et les consommateurs à alimenter. Elle est destinée à une installation de réseaux en site isolé constitués de plusieurs Sunny Island.



Figure 14: Vue intérieure du Multiclusterc Box

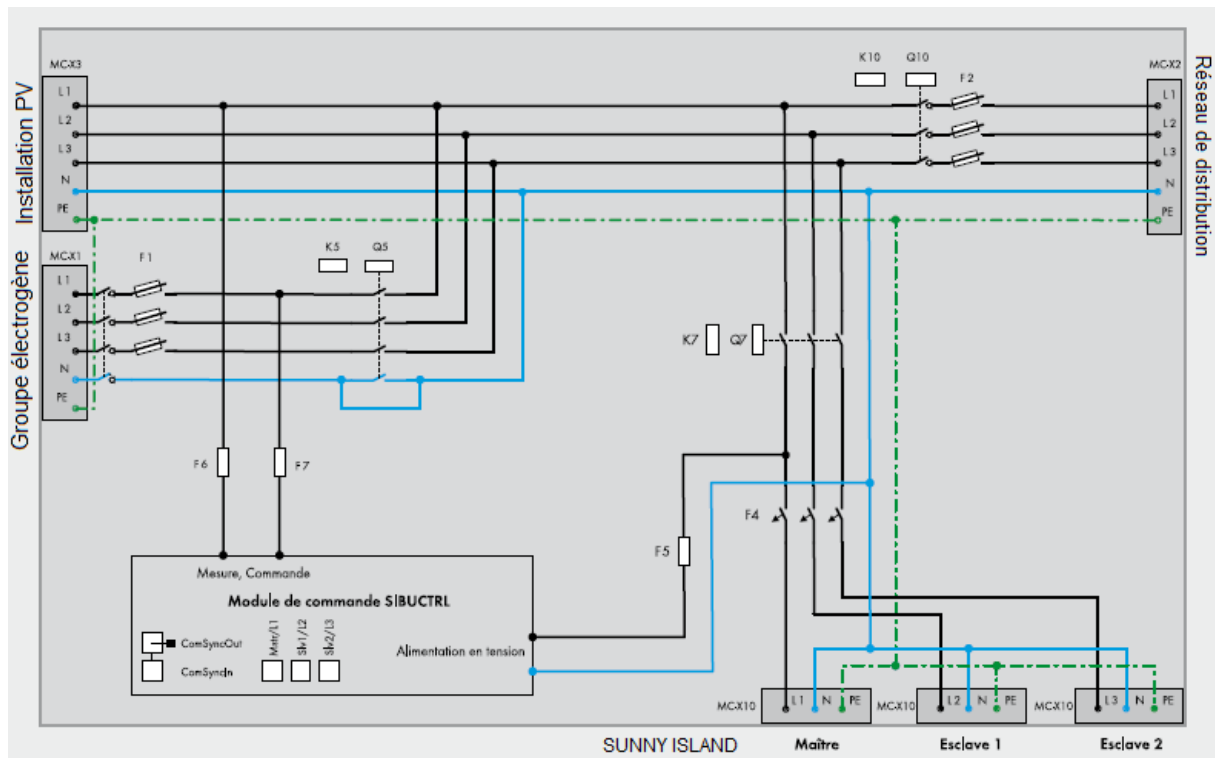


Figure 15: Aperçu système de la Multiclusterc Box

### III.2.2.f) Groupe Electrogène :

D'après la courbe de charge de la 15<sup>ème</sup> année, le pic maximal est de 27,5 kW. Ceci représente la puissance maximale que pourrait présenter la commune à l'année 15. La puissance apparente de la commune sera donc  $27,5 \text{ kW} / 0.8$  sa donne 34,3 kVA (car on prend  $\cos \varphi = 0,8$ ).

Donc on a choisi :  **$P_{GE} = 35 \text{ kVA}$**

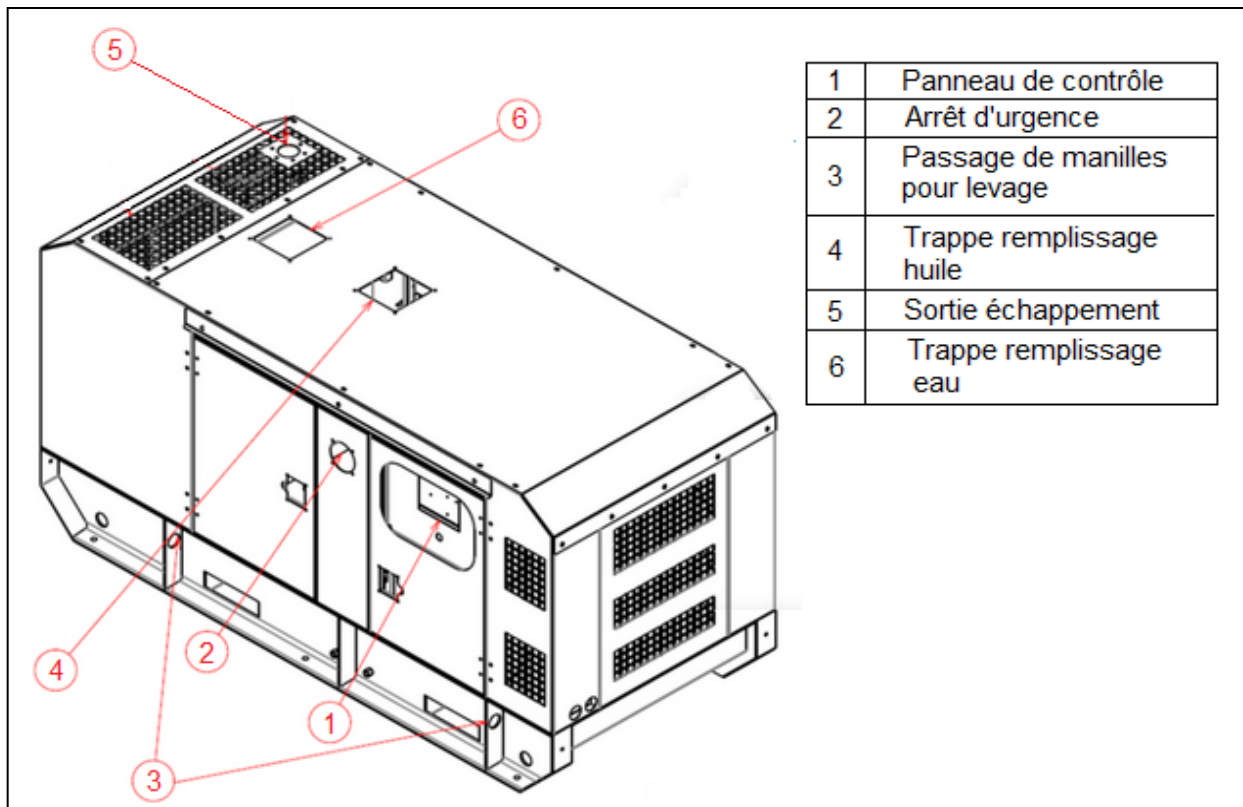


Figure 16: Appercu général du Groupe électrogène

Notre Groupe électrogène sera équipé de démarrage automatique, c'est l'un de critère technique qu'on voudra avoir sur le GE.

Le fiche technique du GE est présentée dans l'annexe, dans les caractéristiques techniques des appareils.

### III.2.3. Réseaux de distribution BT :

Il s'agit d'une conception d'un réseau radial de branche triphasé de 380 V. Les lignes aériennes devront transiter la puissance dont les charges à besoin. Avec notre configuration du réseau, on a estimé toutes les charges au bout de chaque ligne. Le réseau à un facteur de puissance de  $\cos \varphi = 0,8$  et une chute de tension maximal au bout de ligne de 3%.

Tous les détails de calcul électrique des lignes sont précisés dans l'annexe.

#### III.2.3.a) Tension de distribution

La tension de distribution sont : 380 V entre phase et 220 V entre phase et neutre

#### III.2.3.b) Support :

Les supports sont des poteaux en bois de 9m traités de nombre total de 40 poteaux. L'écart entre les deux poteaux est de 40 m.

La partie enterrée des supports est :

$$P = H / 10 + 0,5 \quad (10)$$

Où : P est la partie enterrée,

H la hauteur des poteaux

Pour des poteaux 9m, la partie enterrée est de 1,4m et la partie hors du sol est de 7,6m.

### III.2.3.c) Câbles :

L'énergie électrique produite via la centrale est distribué vers le réseau BT du type triphasé, de tension 220V/380V. Les câbles seront du type pré-assemblé et torsadé avec  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  Alu +  $1 \times 54,6 \text{ mm}^2$  Almelec +  $1 \times 16 \text{ mm}^2$  cuivre (pour l'éclairage public). Ensuite de torsadé  $2 \times 16 \text{ mm}^2$  Alu pour les lignes secondaire et les raccordements des compteurs d'abonnés.

Lignes	Types	Longueur
Ligne principale	$3 \times 50 \text{ mm}^2 + 1 \times 54,6 \text{ mm}^2 + 1 \times 16 \text{ mm}^2$	480 m
Ligne secondaire	$2 \times 16 \text{ mm}^2$	1080 m

Tableau 26: Caractéristique de section des câbles

### III.2.3.d) Eclairage public : EP

Une unité comprend :

- Un luminaire,
- Une console,
- Une platine,
- Une lampe de 25W

Dans cette étude le nombre d'EP est estimé à 6 dans la première année. La commande de l'allumage et l'extinction se fait à l'aide des minuteurs. Les énergies actives consommées sont comptées par des compteurs.



Figure 17: Plan du réseau de distribution

## CHAPITRE IV : ETUDE FINANCIERE

L'étude financière a pour objectif d'estimer le coût total du projet, le cout du kilowattheure de l'électricité produit, le montant des subventions et des apports nécessaires garantissant la rentabilité économique du projet sur la durée de concession.

### IV.1. Le cout d'investissement

Le cout d'investissements rassemble tous les capitaux nécessaires pour la réalisation du projet. Le tableau suivant est le résumé de l'investissement : tous les montants d'investissement indiqués ci-dessous sont des montants TTC.

Désignations	Montant (Ar)
<b>PREPARATION DU PROJET</b>	<b>20 880 000</b>
TRAVAUX PREPARATOIRES	17 880 000
INGENIERIE	3 000 000
<b>CENTRALE DE PRODUCTION</b>	<b>694 456 420</b>
GENIE CIVIL	20 325 000
GROUPE ELECTROGENE	35 300 000
CHAMPS SOLAIRES ET EQUIPEMENT	335 471 420
BATTERIES SOLAIRES	303 360 000
<b>RESEAU DE DISTRIBUTION</b>	<b>55 690 020</b>
RESEAU BASSE TENSION	55 690 020
<b>ACCESSOIRES DE RACORDEMENT</b>	<b>85 602 560</b>
<b>MONTANT TOTAL TTC</b>	<b>856 629 000</b>

*Tableau 27:Devis estimatif du projet*

Le montant de l'investissement est constitué de quatre grands travaux qui sont : la préparation du projet, la centrale de production, le réseau de distribution et l'accessoire de raccordement du client. Le coût du système solaire photovoltaïque dans la centrale de production est le plus onéreux par rapport aux autres équipements et infrastructures (qui représentent 40% du coût total du projet). Mais le coût des batteries solaires est aussi très significatif (35% du cout d'investissement) ; en outre celle-ci sera changée tous les cinq ans à cause de leur durée de vie qui est estimé de cinq ans de fonctionnement.

Tous les détails de l'investissement du projet sont résumés dans le tableau suivant, qui comprend : le cout des infrastructures, les mains d'œuvre, le prix unitaire de chaque appareillage avec leur nombre, les prix des différentes fournitures.

**Tableau de couts d'investissement :**

DESIGNATION	Unité	QTE	PRIX UNITAIRE		TOTAL TTC
			Fourniture	Pose	
PREPARATION DU PROJET					20 880 000
TRAVAUX PREPARATOIRES					17 880 000
Installation et repli de chantier	fft	1	-	7 080 000	7 080 000
Approvisionnement en matériaux et matériels	fft	1	-	10 800 000	10 800 000
INGENIERIE					3 000 000
Elaboration plan d'exécution du réseau BT	fft	1	-	2 400 000	2 400 000
Mise à jour du business plan	fft	1	-	600 000	600 000
CENTRALE DE PRODUCTION					694 456 420
GROUPE ELECTROGENE					35 300 000
Groupe électrogène diesel triphasé de 35kVA	U	1	32 400 000	2 900 000	35 300 000
GENIE CIVIL					20 325 000
Construction du local du groupe électrogène	fft	1	10 200 000	1 000 000	11 200 000
Socle en béton armé pour support du container	m³	0,5	510 000	100 000	305 000
Clôture	fft	1	7 920 000	900 000	8 820 000
CHAMPS SOLAIRES ET EQUIPEMENTS					335 471 420
Module solaire Asantys ASM 250Wc	U	176	564 864	10 000	101 176 064
Socle en Beton armée dosé a 350 kg/m³	m³	6	1 200 000	100 000	7 800 000
Structure de fixation des modules en alu avec vis de fixation	U	1	8 524 800	100 000	8 624 800
Convertisseur PV SMA Sunny Tripower 10000TL	U	4	9 276 000	50 000	36 680 000

Convertisseur Batteries SMA Sunny Island 5048	U	6	15 260 700	50 000	63 111 600
Multicluster Box SMA MCB6.3	U	1	11 508 480	50 000	11 558 480
Interface pour Sunny Island	U	1	383 616	50 000	433 616
Moniteur système PV SMA Sunny Webbox	U	1	2 549 000	50 000	2 599 000
Boîte fusible batterie 250A	U	3	809 856	30 000	2 519 568
Câble solaire UV-proof 6mm <sup>2</sup>	m	600	2 688	500	1 912 800
Câble de terre 1x10mm <sup>2</sup>	m	500	6 912	600	3 756 000
Connecteur de câble 6mm <sup>2</sup> (paire)	U	6	8 832	500	55 992
Câble batteries H07 VK 90mm <sup>2</sup>	m	75	24 192	700	1 866 900
Lampe LED OSRAM 6W	U	4	34 700	500	140 800
Container avec équipements	U	1	43 200 000	150 000	43 350 000
Compteur d'énergie triphasé	U	1	477 600	2 000	479 600
Lots de matériels divers	U	1	2 880 000	100 000	2 980 000
Caissons pour batteries et transport matériels	U	1	17 049 600	-	17 049 600
<b>BATTERIES SOLAIRES</b>					<b>303 360 000</b>
Batteries solaires Hoppeck OPzS 2V-4700Ah , 3900Ah @ C10	U	48	6 300 000	20 000	303 360 000
<b>RESEAU DE DISTRIBUTION</b>					<b>55 690 020</b>
Poteaux bois traité de 9 m C simple	U	45	180 000	35 000	9 675 000
Poteaux bois traité de 9 m C jumelés	U	6	340 000	42 000	2 292 000
Ensemble isolé pour câble préassemblé type ES	U	22	62 600	3 000	1 443 200
Ensemble isolé pour câble préassemblé type EAS	U	3	91 800	4 000	287 400

Ensemble isolé pour câble préassemblé type EADS	U	5	140 640	5 000	728 200
Pince d'ancrage DN3 PA 25	U	82	19 000	1 500	1 681 000
Connecteur de dérivation 35 <sup>2</sup> -95 <sup>2</sup> /25 <sup>2</sup> -35 <sup>2</sup>	U	30	27 000	2 000	870 000
Connecteur de dérivation 16 <sup>2</sup> -25 <sup>2</sup> /16 <sup>2</sup> -25 <sup>2</sup>	U	30	26 400	2 000	852 000
BQC 14 x 250 avec 2 rondelles	U	70	34 100	2 000	2 527 000
Boulon galva 14x400 avec rondelle	U	18	34 000	2 000	648 000
Boulon galva 14x250 avec rondelle	U	10	27 700	2 000	297 000
Câble préassemblés alu à neutre porteur 3x50mm <sup>2</sup> +1x54,6mm <sup>2</sup> +1x16mm <sup>2</sup>	m	500	12 000	800	6 400 000
Câble torsadé retylène 2x16 mm <sup>2</sup>	m	1100	2 500	500	3 300 000
Barrette de mesure	U	16	61 200	1 200	998 400
Câble cuivre nu de 29mm <sup>2</sup>	m	530	19 000	600	10 388 000
Câble mise à la terre neutre H027 VR 1x35 <sup>2</sup>	m	150	19 150	600	2 962 500
Piquets de terre galvanisé l: 1,5m avec connecteur	U	96	64 000	1 300	6 268 800
Tuyau PVC de 25, barre de 2m	U	16	14 280	600	238 080
Ensemble d'éclairage public comprenant: Luminaire, douille, console, platine, lampe 25W	U	6	497 760	12 000	3 058 560
Disjoncteur différentiel 5-15A	U	1	255 960	2 000	257 960
Compteur d'énergie 5-15A	U	1	327 720	2 000	329 720
Câble U1000R02V de 2 x 2,5 mm <sup>2</sup>	m	48	3 200	700	187 200

ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT					85 602 560
Compteur 10A pour 3 clients monophasés	U	140	533 760	2 000	75 006 400
Console portable pour programmation et recharge des cartes à puce	U	1	2 1120 00	-	2 112 000
Disjoncteur 6A	U	140	53 760	2 000	7 806 400
Carte à puce	U	140	3 264		456 960
Kit de plomb	U	140	380	200	81 200
Pince de plomb	U	1	153 600	-	153 600
<b>MONTANT TOTAL DU PROJET</b>					<b>856 629 000</b>

Tableau 28: cout d'investissement du projet

#### IV.1. Plan de financement initial

Ce cout d'investissement est trop élevé pour être pris en charge par l'exploitant seulement, avec un contrat d'autorisation fixer à 15 ans. Il faut donc une subvention pour financer une partie du projet.

Désignations	Montant TTC (Ar)	SUBVENTION		EXPLOITANT	
		Taux	Montant MAr	Taux	Montant MAr
<b>PREPARATION DU PROJET</b>	<b>20 880 000</b>				
TRAVAUX PREPARATOIRES	17 880 000	0%	-	100%	17,88
INGENIERIE	3 000 000	0%	-	100%	3,00
<b>CENTRALE DE PRODUCTION</b>	<b>694 456 420</b>				
GENIE CIVIL	20 325 000	0%	-	100%	20,33
GROUPE ELECTROGENE	35 300 000	0%	-	100%	35,30
CHAMPS SOLAIRES ET EQUIPEMENT	335 471 420	97%	325,41	3%	10,06
BATTERIES SOLAIRES	303 360 000	98%	297,29	2%	6,07
<b>RESEAU DE DISTRIBUTION</b>	<b>55 690 020</b>				
RESEAU BASSE TENSION	55 690 020	68%	37,87	32%	17,82
<b>ACCESSOIRES DE RACORDEMENT</b>	<b>85 602 560</b>	0%	-	100%	85,60
<b>MONTANT TOTAL DU PROJET</b>	<b>856 629 000</b>		<b>660,57</b>		<b>196,06</b>
<b>Pourcentage d'investissement</b>		<b>77%</b>		<b>23%</b>	

Tableau 29: Plan de financement

Pour que le projet soit rentable, la simulation est basée sur cette répartition de financement. Avec 77% d'investissement est subventionné et 23% est le capital propre de l'exploitant ; le montant de la subvention apportée pour la mise en œuvre du projet est de diminuer le prix de vente de l'électricité et favoriser le raccordement de toute la population tout en garantissant la rentabilité du projet.

Il est à noter qu'une tarification élevée ne garantit pas la meilleure rentabilité : si le tarif est peu élevé, les consommateurs auront plus tendance à consommer.

**Plan d'amortissement :**

Désignation	Valeur d'acquisition	Année d'acquisition	Durée (ans)	Taux	Amortissement Annuel	1	2	3	4	5	10	15
TRAVAUX PREPARATOIRES	17,88	1	5	20%	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58
INGENIERIE	3,00	1	5	20%	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
GENIE CIVIL	20,33	1	20	5%	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
GROUPE ELECTROGENE	35,30	1	15	7%	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
CHAMPS SOLAIRES ET EQUIPEMENT	10,06	1	15	7%	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
BATTERIES SOLAIRES	6,07	1	5	20%	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
RESEAU DE DISTRIBUTION	17,82	1	15	7%	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
ACCESSOIRES DE RACORDEMENT	85,60	1	15	7%	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71
<b>Total Dotation</b>						<b>16,32</b>	<b>16,32</b>	<b>16,32</b>	<b>16,32</b>	<b>16,32</b>	<b>16,32</b>	<b>16,32</b>
<b>Cumul Amortissement</b>						<b>16,32</b>	<b>32,65</b>	<b>48,97</b>	<b>65,30</b>	<b>81,62</b>	<b>163,25</b>	<b>244,87</b>

*Tableau 30: Plan d'amortissement*

#### IV.2. Cout d'exploitation

Le cout d'exploitation est les charges lié à l'exploitation, donc c'est après l'année d'investissement du projet qu'il aura le cout d'exploitation. Il est divisé en deux charges distinctes : les charges fixes et les charges variables.

#### IV.3. Charges fixes

Ce sont les charges salariales des personnels, qui sont payés mensuellement.

PERSONNEL	Ar/mois
CHEF D'EXPLOITATION	800 000
TECHNICIEN PRODUCITON	600 000
TECHNICIEN RESEAU	600 000
COMPTABLE	400 000
GARDIEN	200 000
<b>TOTAL</b>	<b>2 600 000</b>

*Tableau 31: Charge salariale*

#### IV.4. Charges variables

- **Fournitures consommables**

Ce sont l'huile et le carburant pour le groupe électrogène.

- **Entretien et réparations**

Entretien des infrastructures et maintenance, matériels et équipements.

- **Frais de siège**

Frais liés directement ou indirectement au siège dans la gestion. Les stratégies de gestion, la tenue de la comptabilité seront traités au niveau du siège central. Ces charges représentent aussi les frais des déplacements pour visites de contrôle et missions diverses.

- **Frais de télécommunications**

Ce sont les frais de dépenses en communications téléphoniques et les connections internet

- **Redevances à l'ORE**

Redevances dues à verser pour le compte de l'ORE.

Le montant des redevances est de 1.2% du chiffre d'affaires annuel.

DONNEES DE PRODUCTION		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
NOMBRE DE CLIENTS		0	402	413	435	446	458	471	483	496	510	523	538	552	567	583	599
TOTAL VENTE ENERGIE	kWh	-	52 376	53 416	55 469	56 591	57 743	58 924	60 137	61 381	62 658	63 969	65 314	66 695	68 112	69 567	71 061
PRODUCTION TOTALE CENTRALE:	kWh	-	52 448	52 538	55 538	56 948	57 548	60 115	60 115	61 114	62 814	64 114	65 514	66 714	68 114	69 444	70 114
INVESTISSEMENTS (hors subvention)	MAr																
FONDS PROPRES		196,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INVESTISSEMENTS (hors subv)		196,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
COUT CARBURANT	Mar	0,00	3,23	3,32	6,17	7,51	8,09	0,00	0,00	0,95	2,57	3,80	5,14	6,28	7,61	8,87	9,51
COUT HUILE MOTEUR		0,00	0,17	0,17	0,32	0,40	0,43	0,00	0,00	0,05	0,14	0,20	0,27	0,33	0,40	0,47	0,50
COUT TOTAL COMBUSTIBLES		0,00	3,40	3,49	6,50	7,91	8,51	0,00	0,00	1,00	2,70	4,00	5,41	6,61	8,01	9,34	10,01
PERSONNEL	MAr/mois	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
CHEF D'EXPLOITATION	0,80	0,00	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
TECHNICIEN PRODUCTION	0,60	0,00	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
TECHNICIEN RESEAU	0,60	0,00	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
COMPTABLE	0,40	0,00	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
GARDIEN	0,20	0,00	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
PERSONNEL	MAr	0,00	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20
ACHATS MATIERES PREMIERES	MAr	0,00	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
TRAVAUX-FOURNITURES-SERVICES EXT.		0,00	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
TRANSPORTS ET DEPLACEMENTS		0,00	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
FRAIS DE GESTION DIVERS		0,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ENTRETIEN ET MAINTENANCE		0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
AUTRES FRAIS		0,00	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
COUTS TOTAUX ANNUELS	MAr	196,06	53,35	53,44	56,45	57,86	58,46	85,19	49,95	50,95	52,65	53,95	55,36	56,56	57,96	59,29	59,96
TAUX D'ACTUALISATION	10%																
COUTS TOTAUX ACTUALISES		196,06	48,50	44,17	42,41	39,52	36,30	48,08	25,63	23,77	22,33	20,80	19,40	18,02	16,79	15,61	14,35
SOMME DES COUTS TOTAUX ACTUALISES		632															
ENERGIE ACTUALISEE		-	47 614	44 146	41 675	38 653	35 854	33 261	30 860	28 635	26 573	24 663	22 892	21 251	19 730	18 319	17 011
SOMME DES ENERGIES ACTUALISEES		451 135															

COUTS MOYEN DU KWH

Ar/kWh

1 400

(coûts économiques)

Tableau 32: Etude de cout du kWh

#### **IV.5. Etude de rentabilité du projet**

L'étude de rentabilité nous permet une analyse plus concise sur le résultat prévisionnel du projet. Elle comprendra donc, la valeur actuelle nette, le taux de rentabilité interne, le flux de trésorerie et la durée de récupération du capital.

##### **La valeur actuelle nette (VAN) :**

La VAN est un indicateur financier qui peut être utilisé pour apprécier la rentabilité d'un investissement.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (11)$$

$I_0$ : Investissement Initial

$n$ : durée du projet (horizon)

$i$  : taux d'actualisation

$CF_t$  : Cash-Flow prévisionnels de l'année  $t$

Avec  $CF$ = Recettes-Dépenses

L'investissement est rentable si la VAN des Cash-flow, flux nets ou recettes nettes d'exploitation est positive. Le projet est rentable car : Les capitaux ont été totalement récupérés, les capitaux ont été rémunérés pendant la durée de vie du projet au taux d'actualisation.

##### **La durée de récupération du capital investi (DRCI) :**

Le DRCI est le nombre d'année requis pour récupérer le capital investi.

##### **Le Taux de Rentabilité Interne (TRI) :**

C'est le taux maximum auquel les revenus du projet permettent de récupérer le capital investi sans que le projet ne devienne déficitaire. Autrement dit c'est le taux d'actualisation pour lequel la VAN est nulle. Dans notre étude le taux d'actualisations est 10%.

AVANTAGES		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
PRODUCTION MOYENNE ANNUELLE	kWh	-	52 448	52 538	55 538	56 948	57 548	60 115	60 115	61 114	62 814	64 114	65 514	66 714	68 114	69 444	70 114
NOMBRE DE CLIENTS	U	0	402	413	435	446	458	471	483	496	510	523	538	552	567	583	599
RECETTES																	
OPERATIONS DE FINANCEMENT	MAr	856,63	0,00	0,00	0,00	0,00	312,56	0,00	0,00	0,00	0,00	312,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUBVENTION	MAr	660,57	0,00	0,00	0,00	0,00	312,56	0,00	0,00	0,00	0,00	312,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FONDS PROPRES	MAr	196,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OPERATION D'EXPLOITATION																	
CLIENTS MONOPHASES	MAr	0,00	93,81	95,70	99,45	101,50	103,60	105,76	107,97	110,24	112,57	114,96	117,42	119,94	122,53	125,19	127,92
TOTAL RECETTES ENERGIE	MAr	0,00	89,04	90,81	94,30	96,20	98,16	100,17	102,23	104,35	106,52	108,75	111,03	113,38	115,79	118,26	120,80
TOTAL RECETTES REDEVANCES	MAr	0,00	3,95	4,06	4,28	4,39	4,51	4,63	4,76	4,89	5,02	5,16	5,30	5,44	5,59	5,75	5,90
TOTAL RECETTES LOCATION COMPTEUR	MAr	0,00	0,82	0,84	0,88	0,90	0,93	0,95	0,98	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21
TOTAL RECETTES		856,63	93,81	95,70	99,45	101,50	416,16	105,76	107,97	110,24	112,57	427,52	117,42	119,94	122,53	125,19	127,92
DEPENSES																	
INVESTISSEMENT	MAr	856,63	0,00	0,00	0,00	0,00	312,56	0,00	0,00	0,00	0,00	312,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TRAVAUX BRANCHEMENTS CLIENTS	MAr	0,00	32,19	0,85	1,75	0,93	0,95	0,98	1,01	1,04	1,07	1,10	1,13	1,17	1,20	1,24	1,27
DEPENSES D'EXPLOITATION	MAr	0,00	70,62	70,73	73,77	75,20	75,82	67,33	67,36	68,38	70,10	71,43	72,86	74,08	75,51	76,87	77,57
IMPOTS SUR BENEFICE	MAr	0,00	11,08	5,17	5,49	5,45	5,75	7,88	8,32	8,58	8,71	8,93	9,14	9,41	9,64	9,91	10,32
REDEVANCE ORE	MAr	0,00	1,57	1,21	1,27	1,28	1,31	1,33	1,36	1,39	1,42	1,45	1,48	1,51	1,55	1,58	1,61
REDEVANCE FNE	MAr	0,00	1,11	1,14	1,18	1,20	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,36	1,39	1,42	1,45	1,48	1,51
TAXE COMMUNAL	MAr	0,00	1,41	1,44	1,49	1,52	1,55	1,59	1,62	1,65	1,69	1,72	1,76	1,80	1,84	1,88	1,92
TOTAL DES COUTS		856,63	117,97	80,52	84,94	85,58	399,17	80,37	80,95	82,35	84,32	398,55	87,76	89,38	91,19	92,95	94,21
CASH FLOW		0,00	-24,17	15,18	14,51	15,92	16,99	25,39	27,02	27,89	28,25	28,97	29,66	30,56	31,34	32,24	33,71
TAUX D'ACTUALISATION	10,0%																
CASH FLOW ACTUALISE NET		0,00	-21,97	12,55	10,90	10,88	10,55	14,33	13,86	13,01	11,98	11,17	10,40	9,74	9,08	8,49	8,07
VAN= 120,9 MAr		au taux d'actualisation de 10,0%															
TRI= 69%		sur la période de la durée de l'Autorisation															
DRCI = 9 ans																	

Tableau 33: Flux de trésorerie

## CHAPITRE V : IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIO-ECONOMIQUE

Les objectifs du développement durable sont le maintien de l'intégrité écologique et l'amélioration de l'efficacité économique dans le but d'obtenir le bien être de la population actuelle et celui des générations futures. Par conséquent il est indispensable de préserver l'environnement.

Comme tous les projets de développements, le projet d'électrification rurale doit être déclaré au sein de l'office national pour l'environnement (ONE) pour obtenir l'approbation de l'étude d'impact environnementale (EIE) avant de commencer les travaux.

### **V.1. Analyse des impacts**

La mise en place d'un projet d'électrification rural peut générer différentes sortes d'impacts, autant positifs que négatifs, directs et indirects. L'évaluation et la détermination des impacts du projet a pour but de mettre en relation les activités et les composantes du milieu récepteur. Nous allons analyser les effets de l'exploitation d'énergie solaire sur la population, l'environnement, le social et l'économie, on peut identifier les impacts suivant :

#### **V.1.1. Impacts négatifs environnementaux :**

##### **V.1.1.a) Impacts sur l'esthétique du paysage :**

- Modification du paysage sur l'emplacement des poteaux et le champ PV
- Contamination des sols par des produits de fabrication du béton.

##### **V.1.1.b) Impacts négatifs sur les faunes et les flores :**

L'utilisation de l'énergie solaire est généralement sans danger pour l'environnement car il n'y a aucune émission de gaz carbonique lors de la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique or la fabrication, le fonctionnement et le traitement des systèmes photovoltaïques en fin de vie ont, comme tout produit industriel, un impact sur l'environnement. Cependant il y a peut-être de destruction ou déboisement des couvertures végétales lors de l'emplacement de champ PV.

### V.1.2. Impacts négatifs sur le socio-culturel durant l'installation:

Sources d'impacts	Récepteurs	Impacts probables
Installation de chantier	Sociale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les préoccupations quant à la présence, près des sites, d'une cité de travailleurs, entraînant des problèmes de santé publique et de sécurité.</li> <li>- Les enjeux de l'immigration interne des travailleurs, incluant la problématique de la maladie sexuellement transmissible.</li> </ul>
Transport et circulation de véhicules et des équipements	Air, ambiance sonore	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Augmentation de la quantité de poussières constituant une nuisance pour le bien-être de la population.</li> <li>-Perturbation de l'ambiance sonore par l'augmentation des niveaux de bruit ambiant.</li> </ul>

Tableau 34: Impacts négatifs sur le socio-culturel

### V.1.3. Impacts positifs :

#### V.1.3.a) Les impacts positifs sur le socio-culturels et économiques :

Éléments récepteurs	Avantages	Conséquences positives
Ecoliers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apport en éclairage pour les études du soir</li> <li>- Accès à l'information</li> <li>- Utilisation des équipements pédagogiques</li> </ul>	Amélioration de la qualité de l'enseignement
Familles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement de nouvelles activités</li> <li>- Utilisation des machines électriques</li> <li>- Apport en éclairage et accès à la TV</li> </ul>	Modernisation de la qualité de travail et augmentation des revenus

CSB II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité de conservation des vaccins et de stérilisation</li> <li>- Eclairage pour les soins de nuit et ventilation</li> </ul>	Augmentation du confort des malades et amélioration de la qualité des soins.
Administration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestion des données administratives</li> <li>- Utilisations de l'ordinateur et ses périphériques.</li> </ul>	Amélioration de l'efficacité des services administratifs.

*Tableau 35: impacts positifs sur le socio-économiques et culturel*

#### **V.1.3.b) Impacts sur l'environnement :**

- Energie propre et énergie verte
- Réduction des émissions de gaz en effet de serre
- Diminution des déchets produit en phase d'exploitation

#### **V.1.3.c) Impacts sur le développement durable :**

Les critères d'un développement durable sont vérifiés par une centrale solaire si elle est bien conçue.

En effet une centrale solaire PV est :

- Acceptable du point de vue environnemental conformément au principe de développement durable,
- Accueil favorablement par les communautés locales.
- Répond aux besoins de l'actuelle.

## CONCLUSION :

Notre site se distingue par une énergie solaire naturellement disponible en quantité et inépuisable. Le système photovoltaïque présent donc un avantage à cette zone reculée afin de pouvoir bénéficier de l'électricité.

Le mix énergétique associant le Solaire /Diesel peut ainsi une solution efficace. L'approvisionnement en électricité du village de Tongobory à l'aide de ce système est possible techniquement. Mais coté financière le projet est rentable à condition qu'il soit subventionné. Ici le mode de subvention est la subvention des équipements (champs PV, batteries solaires et réseau de distribution). Néanmoins, le prix du kWh est un peu cher et il y a un risque que les clients ne supportent pas la facture.

Cette étude nous a permis d'explorer d'une manière plus approfondie le montage d'un Avant-Projet Sommaire d'une électrification rurale. Et de connaître les différents principaux paramètres mis en jeu dans le système.

L'électrification doit être considérée comme une priorité. Mais elle avance très lentement dans les zones rurales. Le coût du kWh par abonné est d'autant plus élevé que la densité de population est faible. A ce rythme le taux d'accès à l'électricité en milieu rural progresse d'une faible proportion pendant plusieurs années.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1]- ETUDE D'AVANT PROJET SOMMAIRE « Des documents à l'ADER »
- [2]-Cours de Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery sur l'électrification rurale ;
- [3]-Cours de Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery sur l'énergie solaire ;
- [4]-Cours de Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon sur le réseau électrique ;
- [5]- Electrotechnique et normalisation, 3. Installations électriques, Henri NEY, Edition Nathan juillet 1994, p.73

## WEBOGRAPHIE

- [6]- Google Earth, 15 Septembre 2017 à 18h 30
- [7]- <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/madagascar>; Novembre 2017
- [8]- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa&lang=fr>; Juillet 2017
- [9]- [http://www.photovoltaique.info/Estimer-la-production.html#3\\_ancre](http://www.photovoltaique.info/Estimer-la-production.html#3_ancre) Aout 2017
- [10]- [http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-autonome-1/cours\\_photovoltaique-autonome.php](http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-autonome-1/cours_photovoltaique-autonome.php) ; Octobre 2017
- [11]-[http:// www.SMA-Solar.com](http://www.SMA-Solar.com).
- [12]- <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759> ; Octobre 2017
- [13]- <http://www.sitecnosolar.com/fr/sistema-hibrido-con-baterias-compatible-con-generator-diesel/> Octobre 2017
- [14]- <http://www.photovoltaique.info/-Tarif-d-achat-.html>; Septembre 2017

## ANNEXE 1 : Elément de calcul de dimensionnement de la centrale :

- Calcul de la puissance crête :

$$P_c = \frac{B_j}{k \times E_{\text{moy}}}$$

$B_j$ : Benjoin journalière du village en 5 eme année

$$P_c = \frac{163}{0,63 \times 6} = 43,12 \text{ kWc}$$

Calcul nombre de module :  $N = \frac{44\,000}{250} = 176 \text{ modules}$

- Calcul de la capacité de batterie :

$$C_T = \frac{163\,000 \times 2}{0,7 \times 48} = 9702,38 \text{ Ah}$$

- Calcul nombre de batterie :

$$N_{bs} = \frac{U_s}{U_b} \quad \text{Et} \quad N_{bp} = \frac{C_T}{C_b} \quad \text{ainsi,} \quad N_{bT} = N_{bs} * N_{bp}$$

$$N_{bs} = \frac{48}{2} = 24 \quad \text{Et} \quad N_{bp} = \frac{9702,38}{4700} = 2,06 \quad \text{on prend} \quad N_{bp} = 2$$

Donc  $N_{bT} = 24 * 2 = 48 \text{ batteries}$

- Calcul électrique des lignes :

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

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\text{max}} = \frac{\rho \times K \times \sum(P \times l)}{A \times U^2} \quad (10)$$

D'où la relation (10) qui donne la section :

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

Avec :

- $\rho$ : 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.

- Dimensionnement de la ligne principale : (de la source S jusqu'aux 13 eme poteaux)

Pour notre cas, nous admettons que la portée moyenne de ligne entre deux poteaux est 40m. La ligne principale est représentée par la figure ci-dessous, on a estimé toutes les charges au bout de chaque nœud.

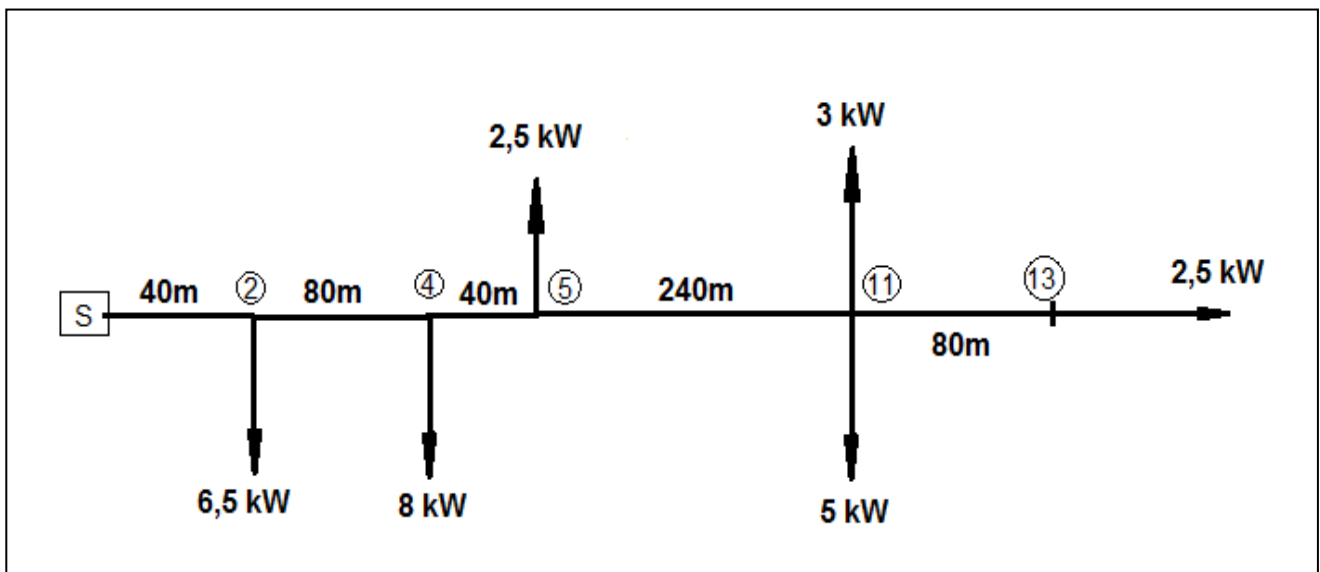


Figure 18: Schémas de la ligne principale avec ses différentes charges

- Application Numérique :

$$\rho = 0,028$$

$$K = 1$$

$$U = 380 \text{ [V]}$$

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\max} = 0,03$$

Le moment de puissance est résumé dans le tableau suivant :

Poteaux N°	2	4	5	11	13
P (kW)	6,5	8	2,5	7,5	3
L(m)	40	120	160	400	480
P*l (kW.m)	260	960	400	3000	1440

Tableau 36: Moment de puissance des lignes principales

D'où :  $\sum(P \times l) = 6\,060\,000 \text{ (W.m)}$

$$A \geq \frac{0,028 \times 6060000}{0,03 \times 380^2} = 39,16 \text{ [mm}^2\text{]}$$

D'après le catalogue des sections de câble, on prend  $A = 50 \text{ [mm}^2\text{]}$

Pour les lignes secondaires ou les lignes ramifié, les sections qu'on a trouvé d'après les calculs sont inférieure à  $16 \text{ mm}^2$  donc On prend  $A = 16 \text{ [mm}^2\text{]}$

## ANNEXE 2 : Caractéristiques techniques des appareils

### Caractéristiques techniques des Panneaux Photovoltaïques :

Dimensions Module	1650 x 992 x 40 mm
Dimensions Verre	1644 x 986 mm
Poids	20.3 kg
Puissance nominale Pmpp*	250 W
Tension à puissance max. Vmpp*	30 V
Courant à puissance max. Impp*	8.33 A
Tension en circuit ouvert Voc	36.01 V
Courant de court-circuit Isc	9.4 A

\* Caractéristiques électriques selon STC (valeurs aux Conditions de test standardisées (STC): irradiation  $1000 \text{ W/m}^2$ , température de cellule  $25^\circ\text{C}$ , masse d'air 1,5)

Puissance nominale (tolérance +/- 3%)	250 W
Type de cellules	Polycristallin
Nombre de cellules couplées en série	60
Tension maximale système	1000 V
Coefficient de température de Pmpp (%)	-0,48/ $^\circ\text{C}$
Coefficient de température de Voc (%)	-0,35/ $^\circ\text{C}$
Coefficient de température de Isc (%)	+0,037/ $^\circ\text{C}$
Température de fonctionnement	-40 $^\circ\text{C}$ à +85 $^\circ\text{C}$
Résistance aux impacts (grêle)	23 m/s, 7,53 g

Tolérance de puissance	+/-3%
Cadre	Aluminium
Garantie produit	5 ans
Garantie de puissance	10 ans 90% + 25 ans 80% de la puissance minimale

### **Caractéristiques techniques de l'onduleur PV :**

#### **Entrée DC**

Puissance maximale DC pour $\cos \varphi = 1$	10 200 W
Tension d'entrée maximale	1 000 V
Plage de tension MPP	320 à 800 V
Tension d'entrée assignée	600 V
Tension d'entrée minimum	150 V
Tension d'entrée de démarrage	188 V
Courant de retour maximal	2 A
Courant d'entrée maximal, entrée A	22,0 A
Courant d'entrée maximal, entrée B	11,0 A
Courant d'entrée maximal par entrée de string A*	33,0 A
Courant d'entrée maximal par entrée de string B*	12,5 A
Nombre d'entrées MPP indépendantes	2
Strings par entrée MPP, entrée A	4
Strings par entrée MPP, entrée B	1

*Tableau 37: Données techniques du Sunny Tripower 10000TL entrée DC*

#### **Sortie AC**

Puissance assignée à 230 V, 50 Hz	10 000 W
Puissance apparente AC maximale à $\cos \varphi = 1$	10 000 VA
Tension de réseau assignée	3/N/PE, 230 V/400 V
Plage de tension AC*	160 à 280 V
Courant nominal AC à 230 V	14,5 A
Courant de sortie maximal	16,0 A
Courant de sortie maximal en cas de dysfonctionnement	0,05 kA
Coefficient de distorsion harmonique du courant de sortie pour tension nominale AC < 2 %, puissance AC > 0,5 puissance nominale AC	≤ 3 %
Courant de défaut maximal à la sortie	96 mA

*Tableau 38: Données techniques du Sunny Tripower 10000TL sorti CA*

### **Caractéristique technique de la batterie :**

#### **Batterie HOPPECKE 26 OPzS solar.power 4700 – (2V ; 4700 Ah)**

Les batteries Opzs sont des batteries stationnaires à plaques tubulaires à électrolyte liquide.

La gamme solar.power a été spécialement développée pour le stockage des énergies renouvelables, solaire et éolien.

Les plaques sont constituées d'un mélange de plomb et de sélénium pour assurer une longue durée de vie, un minimum d'entretien et des performances optimales pour des applications de cycles et de stand-by.

**Durée de vie:** 20 ans en maintien de charge (floating) à 20°C

1500 cycles à 80 % de décharge à 20 °C

#### **Caractéristiques Electriques**

Tension Nominale : 2 V (6 batteries en série pour un système 12 V)

Capacité C100 : 4700 Ah à 20°C

Capacité C50 : 4355 Ah à 20°C

Capacité C10 : 3488 Ah à 20°C

Tension de charge en floating / élément : 2,23 V

Tension de charge en absorption / élément : 2,40 V

Courant de charge max : 20 A pour une capacité de 100 Ah C10

#### **Caractéristiques mécaniques**

Densité nominale de l'électrolyte : 1,24 kg/l

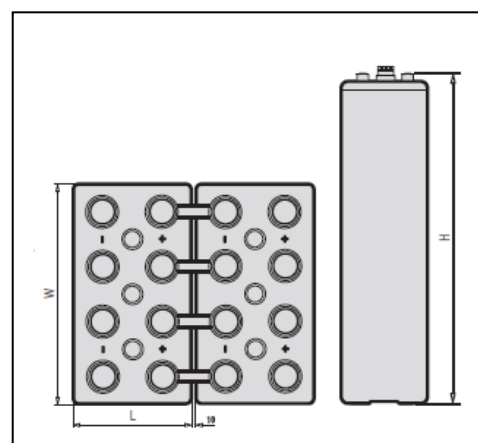
Matériau du bac : SAN, translucide

Dimensions : Lxlxh = 215 x 580 x 815 mm

Poids rempli : 229,6 kg

Poids sec : 164,2 kg

Type de Borne : Insert M8 isolé



**Caractéristique technique de l'onduleur Sunny Island 5048:**

Valeurs de sortie		SI 5048
Tension nominale AC (réglable)	$U_{AC, nom}$	230 V (202 V ... 253 V)
Fréquence nominale	$f_{nom}$	45 Hz ... 65 Hz
Puissance continue AC à 25 °C	$P_{nom}$	5 000 W
Puissance continue AC à 45 °C	$P_{nom}$	4 000 W
Puissance AC pendant 30 min à 25 °C	$P_{30min}$	6 500 W
Puissance AC pendant 1 min à 25 °C	$P_{1min}$	8 400 W
Puissance AC pendant 3 min à 25 °C	$P_{3sec}$	12 000 W
Courant nominal AC	$I_{AC, nom}$	21 A
Courant maximal (valeur de crête) pour 60 ms	$I_{AC, max}$	120 A
Coefficient de distorsion harmonique de la tension de sortie	$K_{VAC}$	< 3 %
Facteur de puissance $\cos\phi$		- 1 ... +1

Valeurs d'entrée		
Tension d'entrée (réglable)	$U_{AC, ext}$	230 V (172,5 V ... 264,5 V)
Fréquence d'entrée (réglable)	$f_{ext}$	50 Hz ( 40 Hz ... 70 Hz)
Courant d'entrée AC maximal (réglable)	$I_{AC, ext}$	56 A (0 A ... 56 A)
Puissance d'entrée maximale	$P_{AC, ext}$	12,8 kW

*Tableau 39: Caractéristique technique de l'onduleur Sunny Island 5048***Fiche technique du groupe électrogène :**

Groupe électrogène « Atlas Copco » type QAS 38YD :

Puissance continue (Prime) KVA / KW : 35/ 28

Tension (Volt) : 400 tri + neutre

Intensité (Ampères) à  $\cos\phi$  0,8 : 50

Fréquence (Hertz) : 50

Régulation diesel : Mécanique

Démarrage automatique : oui

Capacité du réservoir fuel (litres) : 100

Consommation à 4/4 de charge (l/heure) : 7,70

Autonomie (heure) : 13

Niveau sonore à 7 mètres dB(A) / LWA :	65,8/ 91,5
Connexion puissance :	Bornier
Section des câbles de puissance (mm <sup>2</sup> ) pour 25 m :	5 x 16 <sup>2</sup>
Dimension (LxlxHt en mètres) :	2,08 x 0,95x 1,15
Poids (kg) en ordre de marche :	1050

### **Caractéristiques techniques de la Multicluste Box 6.3 :**

#### **Raccordement des appareils consommateurs**

Quantité	1 x triphasé
Puissance assignée	55 kW
Tension de service assignée entre L et N	230 V
Tension de service assignée entre L1 et L2	400 V
Courant aux grandeurs assignées	3 x 80 A
Diamètre des bornes à tige pour le raccord de N	6 mm
Diamètre des bornes à tige pour le raccord de PE	6 mm
Diamètre des vis du fusible interrupteur-sectionneur pour le raccordement de L1, L2 et L3	8 mm
Couple de serrage maximal de la borne à tige	6 Nm
Couple de serrage maximal du fusible interrupteur-sectionneur	14 Nm
Section de conducteur maximale raccordable	35 mm <sup>2</sup>
Fusible	NH00
Puissance de fusible maximale autorisée	80 A

#### **Raccordement des onduleurs Sunny Island**

Nombre maximal de Sunny Island	6
Puissance assignée des onduleurs Sunny Island	36 kW
Tension de service assignée entre L et N	230 V
Tension de service assignée entre L1 et L2	400 V
Intensité avec valeurs nominales du Sunny Island	3 x 52,2 A
Courant de court-circuit maximal non influencé à la borne d'injection	≤ 17 kA
Section de conducteur maximale raccordable	Câble rigide : 25 mm <sup>2</sup> Câble à fils de faible diamètre : 16 mm <sup>2</sup>
Fusibles	6 disjoncteurs miniatures C 40A

## Raccordement du groupe électrogène

Quantité	1 x triphasé
Puissance d'entrée nominale	55 kW
Tension de service assignée entre L et N	230 V
Tension de service assignée entre L1 et L2	400 V
Courant d'entrée AC	3 x 80 A
Courant de court-circuit maximal conditionnel à la borne d'injection	$\leq 25$ kA
Diamètre des bornes à tige pour le raccord de N	6 mm
Diamètre des bornes à tige pour le raccord de PE	6 mm
Diamètre des vis du fusible interrupteur-sectionneur pour le raccordement de L1, L2 et L3	8 mm
Couple de serrage maximal de la borne à tige	6 Nm
Couple de serrage maximal du fusible interrupteur-sectionneur	14 Nm
Section de conducteur maximale raccordable	35 mm <sup>2</sup>
Fusible	NH00
Puissance de fusible maximale autorisée	80 A

## Raccordement de l'installation photovoltaïque

Quantité	1 x triphasé
Puissance assignée de l'installation photovoltaïque	55 kW
Tension de service assignée entre L et N	230 V
Tension de service assignée entre L1 et L2	400 V
Courant AC aux grandeurs assignées	3 x 80 A
Courant de court-circuit maximal conditionnel à la borne d'injection	$\leq 17$ kA
Courant nominal maximal du fusible de puissance	80 A
Capacité de coupure du fusible de puissance en cas de courant de court-circuit	$\geq 25$ kA
Courant de passage du fusible	$\leq 17$ kA
Diamètre de la borne à tige	6 mm
Couple de serrage maximal de la borne à tige	6 Nm
Section de conducteur maximale raccordable	35 mm <sup>2</sup>
Fusible	non disponible



**Nom:** ANDRIANJATOVO

**Prénoms:** Harinesy Eric

**Adresse:** Lot I 108 Bis A Manarintsoa Sabotsy-Namehana

**Téléphone :** 034 47 711 07

**Mail :** nesyeric@gmail.com

THEME DU MEMOIRE :

## **ETUDE D'UN PROJET D'ELECTRIFICATION PAR UNE CENTRALE HYBRIDE SOLAIRE-DIESEL DANS LA COMMUNE RURALE DE TONGOBOURY**

### **RESUME**

Dans le cadre de l'électrification rurale, l'ADER effectue une étude préliminaire d'un projet, afin de pouvoir présenter les données au bailleur de fonds et au futur concessionnaire. La commune rurale de Tongobory bénéficie d'un programme d'électrification. Ce présent mémoire est l'étude d'Avant-Projet Sommaire qui concerne le projet d'électrification du village à l'aide d'un système hybride Solaire-Diesel.

Ainsi notre étude est de concevoir un système de production électrique et de l'analyser de point de vue économique et financier pour que le projet soit rentable pendant une durée de concession de 15 ans.

**Mots clés :** Système hybride Solaire-Diesel, Centrale photovoltaïque, Énergie solaire, Électrification rurale, Étude, Projet, Rentabilité