

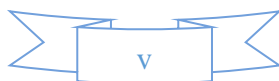
SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES PRINCIPAUX SYMBOLES ET UNITES	x
I. CHAPITRE I ÉTUDE SOCIO-ECONOMIQUE.....	7
I.1 METHODOLOGIE	7
I.2 SITUATION GEOGRAPHIE ET ADMINISTRATIVE	7
I.3 DONNEES DEMOGRAPHIQUES	8
I.4 ACTIVITES ECONOMIQUES	8
I.5 INFRASTRUCTURES SOCIALES.....	9
I.6 DIFFERENTS TYPES DE CLIENTS.....	10
II. CHAPITRE II ETUDE DE LA DEMANDE EN ELECTRICITE	11
II.1 HORIZON DU PROJET.....	11
II.2 SEGMENTATION DES CLIENTS CIBLENT DANS LA LOCALITE.....	11
II.3 RECENSEMENT ET CATEGORISATION PAR SEGMENT DES CLIENTS DANS LA LOCALITE CIBLENT	13
II.3.1 Les ménages :	13
II.3.2 Administration :	14
II.3.3 Commerces et services :	14
II.4 MENAGES DANS LA LOCALITE	15
II.4.1 Pour les ménages :	16
II.4.2 Concernant les administrations :	17
II.4.3 Pour les commerces et services :	18
II.5 ANALYSE PREVISIONNELLE DE LA DEMANDE	19
II.5.1 Méthode de calcul.....	19
II.6 EVOLUTION DE L'ENERGIE CONSOMMEE DANS LA LOCALITE CIBLE	25
II.7 BILAN.....	29

II.8	COURBE DE CHARGE JOURNALIERE	29
II.9	CAPACITE GLOBALE MOYENNE A PAYER LE RACCORDEMENT ET LE KWH	30
II.9.1	Pour les ménages :	30
II.10	VOLONTE A PAYER	31
II.10.1	Pour les commerces et services	32
II.10.1.1	Capacité à Payer	32
II.10.1.2	Volonté à payer	33
II.10.2	Administration.....	33
II.11	TAUX D'ACCES A L'ELECTRICITE A L'ANNEE 1	34
II.11.1	Ménages	34
II.11.1.1	Répartition	34
II.12	TAUX DE RACCORDEMENT ANNEE 1	34
II.13	NOMBRE DE CLIENTS ANNEE 1.....	34
II.13.1	Administration :.....	35
II.13.2	Commerces et services :	35
II.14	EVALUATION DE LA PUISSANCE A INSTALLER	36
II.14.1	Etude de scénarios sur la prévision d'évolution de la demande	36
II.15	L'ECLAIRAGE	36
II.15.1	L'éclairage chez les ménages non-électrifiées.....	36
II.15.1.1	Statistiques descriptives globales sur les lampes :	36
II.15.2	Les renseignements sur l'éclairage tirés des ménages déjà électrifiés	37
II.15.2.1	L'évolution du nombre de points lumineux.....	37
II.15.3	Les équipements	38
II.15.3.1	Équipement des villages non-électrifiés	38
II.15.3.2	Diffusion des appareils dans les ménages non électrifiés et désirs d'achat exprimés	38
II.15.3.3	Objectifs exprimés par les ménages en matière d'appareillage	39
II.16	ÉQUIPEMENT DES VILLAGES ELECTRIFIES	39
III.	CHAPITRE III : ETUDE TECHNIQUE	40
III.1	LE SYSTEME HYBRIDE EOLIENNE-DIESEL	40
III.2	COMPOSANTS.....	43
III.2.1	Les générateurs éoliens : L'énergie provenant des vents	43
III.2.1.1	Les types d'aérogénérateurs	43

III.2.1.2	L'Eoliennes à axe horizontal	44
III.2.1.3	Choix de technologie de l'éolienne	45
III.2.1.4	Architecture d'une éolienne à axe horizontale	45
III.2.1.5	Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne.....	45
III.2.1.6	Conversion électrique d'énergie éolienne.....	47
III.2.1.7	Machines électriques et systèmes de conversion d'énergie éolienne	47
III.2.1.8	Machines synchrones à aimants permanents	47
III.2.2	Onduleur pour site isolé :	48
III.2.2.1	Rôle et caractéristiques d'un onduleur pour site isolé	48
III.3	EQUIPEMENTS ELECTROMECHANQUES	49
III.4	EVALUATION DU POTENTIEL RENOUVELABLE	50
III.5	DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE PRODUCTION	51
III.6	RECAPITULATION DE LA DEMANDE	53
III.6.1	Distribution de Weibull	53
III.6.2	Extrapolation verticale des vitesses du vent :	54
III.7	POUR L'AEROGENERATEUR	55
III.7.1	Energie produite par un aérogénérateur	55
III.8	CHOIX DE LA TENSION NOMINALE DU SYSTEME	56
III.9	LE SYSTEME DE STOCKAGE : BATTERIES.....	57
III.10	LE GENERATEUR DIESEL :	59
III.10.1	Méthode de calcul :	59
III.11	LES CONVERTISSEURS :	60
III.11.1	Convertisseur bidirectionnel pour les batteries : Sunny Island 5048	61
III.11.1.1	Caractéristiques techniques	61
III.11.2	Onduleurs pour la turbine WB 6000 (SMA Windy Boy)	64
III.11.2.1	Modèle SMA WB 6000A	64
III.12	SYNTHESE DES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION	66
III.13	PRODUCTION ENERGETIQUE DU SEH	66
III.14	ETUDES DU RESEAU DE DISTRIBUTION : BASSE TENSION (BT)	67
III.15	PUISSANCE INSTALLEE – TENSION DE DISTRIBUTION	67
III.15.1	Tracé du réseau BT	67

III.15.2	Supports	68
III.15.3	Calcul mécanique :	68
III.15.3.1	Longueur du conducteur :	68
III.15.3.2	Calcul de la portée :	69
III.15.3.3	Calcul flèche :	69
III.15.3.4	Longueur total	70
III.15.3.5	Section du conducteur de la ligne principal :	70
III.15.3.6	Détermination de la section d'un conducteur neutre chargé (selon la méthode NF C 15-100 § 523.7) :	72
III.16	Récapitulation pour le câblage :	72
IV.	CHAPITRE IV ETUDE FINANCIERE	74
IV.1	INVESTISSEMENT PREVISIONNEL	74
IV.1.1	Coût estimatif du projet	74
IV.2	PLAN D'INVESTISSEMENT ET DE FINANCEMENT	78
IV.3	COUT MOYEN DU KWH.....	81
IV.4	CALCUL DU FLUX NETTE DE TRESORERIE OU CASH-FLOW ; VAN ; TRI DU PROJET	84
V.	CHAPITRE V ÉTUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	87
V.1	INTRODUCTION	87
V.2	LE FICHE DE RENSEIGNEMENT ET DE TRI.....	87
V.3	L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL OU EIE.....	88
V.4	LES IMPACTS PROBABLES DE PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT	89
V.5	CONCLUSION.....	90
	CONCLUSION GENERALE	82
	BIBLIOGRAPHIE.....	I
	ANNEXE I.....	II
	ANNEXE II.....	III
	ANNEXE III.....	IV
	ANNEXE IV.....	V



LISTE DES ABREVIATIONS

ADER : Agence de Développement de l'Electrification Rurale

BT : Basse Tension

CSB II : Centre de Santé de Base niveau II

CEG : collège d'enseignement général

CA : Courant Alternatif

CC : Courant Continue

EPP : école primaire public

EP : éclairage public

EIE : Etude d'Impact Environnemental

FNE : Fonds National de l'Electricité

GD : Générateur Diesel

HOMER : Hybrid Optimisation Model for Electric Renewable

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

MEEH : Ministère de l'eau de l'énergie et des Hydrocarbures

Mar : Millions d'Ariary

ONE : Office National pour l'environnement

SEH : Système d'Energie Hybride

SMA : System-, Mess- und Anlagentechnik

TRI : Taux de Rentabilité Interne

VAN : Valeur Actuelle Nette

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Vitesse du vent (m/s) pour la commune rurale de Soamanonga (source RETScreen).....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 2 : Liste et nombres des services publics et infrastructures sociales dans le fokontany.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 3 : Les sources des revenus des différents services publics dans le fokontany.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 4 : Estimation des budgets alloués à l'électricité.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 5 : Segmentation des clients ciblent dans la localité.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 6 : Répartitions et segmentations des clients ciblent.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 7 : Réparation des administrations et infrastructure sociales dans la localité cible.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 8 : Listes et nombres des activités génératrices de revenus.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 9 : Répartition et catégorisation des ménages selon leurs sources de revenu (source enquête par ménage).....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 10 : Puissance souscrite en (w) par catégories des ménages.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 11 : Puissance souscrite en (w) pour les administrations publiques.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 12 : Puissance souscrite en (w) pour les activités génératrices des revenus.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 13 : Besoin énergétique annuel (année 1) Pour les ménages.....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 14 : Besoin énergétique annuel (année 1) pour les commerces et services.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 15 : Besoin énergétique annuel (année 1) pour les infrastructures publiques.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 16 : Évolution de l'énergie consommée dans la localité cible durant l'horizon du projet.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 17 : bilan.....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 18 : Capacité globale moyenne a payé le raccordement et le kWh Pour les ménages.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 19 : Volonté a payé le kWh Pour les ménages.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 20 : Capacité à payer le kWh pour les commerces et services.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 21 : Volonté à payer le kWh pour les commerces et services.....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 22 : Répartition des ménages dans la localité cibles.....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 23 : Taux de raccordement des ménages en année 1.....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 24 : Nombre de clients : ménages année 1.....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 25 : Nombre de clients : Administrations année 1.....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 26 : Nombre de clients : Commerces et services année 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 27 : Etude de scénarios sur la prévision d'évolution de la demande.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 28 : Statistiques descriptives globales sur les lampes.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 29 : Les renseignements sur l'éclairage tiré des ménages déjà électrifiés.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 30 : Les taux de pénétration des appareils actuels et des principaux appareils envisagés à l'achat.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 31 : Diffusion des appareils dans les ménages non électrifiés et désirs d'achat exprimés.....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 32 : Équipement des villages électrifiés.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 33 : Rôle et caractéristiques d'un onduleur pour site isolé.....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 34 : Vitesse du vent m/s source NASA.....</i>	<i>51</i>

Tableau 35 : Récapitulation de la demande en termes de puissance et d'énergie	53
Tableau 36 : Nombre d'éoliennes ReDriven 10kW en fonction du Besoin énergétiques pour l'année15 (kWh/an)	55
Tableau 37 : Tension nominale du système en fonction de la puissance	56
Tableau 38 : Caractéristiques techniques du Convertisseur bidirectionnel Sunny Island 5048	63
Tableau 39 : Caractéristiques technique de l'onduleur WB 6000A	65
Tableau 40 : Synthèse des équipements de production	66
Tableau 41 : Production énergétique du SEH (source : simulation par HOMER)	67
Tableau 42 : Récapitulation pour les câbles utilisés.....	73
Tableau 43 : coût total d'investissement	77
Tableau 44 : Plan d'investissement et de financement du projet	80
Tableau 45 : Cout moyen du kW	83
Tableau 46 Flux nette de trésorerie du projet	85
Tableau 47 Aperçus du logiciel de calcul de la productibilité de l'éolienne.....	VI

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vitesse du vent mensuelle (source RETScreen).....	6
Figure 2 : Situation de la village de Soamanonga dans la region ATSIMO ANDREFANA	7
Figure 3 : Le vilage de Soamanonga (image satellite)	8
Figure 4 : Bureau de la mairie de Soamanonga Bureau de la gendarmerie de Soamanonga	10
Figure 5 : EPP de Soamanonga CSB II de la commune	10
Figure 6 : Courbe des charges $P=f(t)$ journalière année 01 du village de Soamanonga	30
Figure 7 : Système hybride avec composants à couplage AC	42
Figure 8 Technologies d'éoliennes	44
Figure 9 Configurations à axe horizontal : A- éolienne face au vent. B- éolienne sous le vent.	45
Figure 10 Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.....	46
Figure 11 topologies typiques d'interface de puissance pour système éolien avec générateur à aimants permanents synchrone.....	48
Figure 12 : Histogramme de charge journalière année 07 du projet	52
Figure 13 : Histogramme de charge journalière année 15 du projet	52
Figure 14 : Distribution de Weibull de la vitesse de vent pour la région de Soamanonga (source simulation par HOMER).....	54
Figure 15 : La courbe de puissance et d'énergie produire par l'éolienne ReDreven 10kW en fonction de la vitesse du vent dans le village de Soamanonga (source : simulation par RETScreen).....	56
Figure 16 : l'onduleur Sunny Island 5048	64
Figure 17 : l'onduleur WB 6000A.....	66
Figure 18 : La puissance moyenne mensuelle produite par chaque source (source : simulation par HOMER).....	67
Figure 19 : Tracé du réseau BT	68
Figure 20 : Graphe du cash-flow	86

LISTE DES PRINCIPAUX SYMBOLES ET UNITES

Symboles	Désignations	Unités
C	facteur d'échelle	[m/s]
α	Coefficient de rugosité	
h	hauteur	[m]
V	Vitesse	[m/s]
S	section	[m ²]
ρ	Masse volumique de l'air	[Kg/m ³]
C _{ij}	coefficient de foisonnement appareil	
C _i	coefficient de foisonnement abonné	
B _j	besoins journalier	[Ah/j]
C _{ah}	capacité	[Ah]
N _{ja}	nombre de jours d'autonomie nécessaires	Jour [j]
L	longueur	[m]
U	tension	[V]
I	courant	[A]
cos ϕ	facteur de puissance	
S _n	section normalisée	[mm ²]

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la nuit des temps, la technologie n'a cessé d'évoluer. Cette technologie des connaissances scientifiques dans la vie quotidienne est passée de la guerre du feu à la création de l'électricité. L'Energie constitue un secteur clé du développement d'un pays. En effet, l'ensemble des secteurs d'activités dans un pays a besoin d'Energie pour fonctionner afin de contribuer à la croissance économique et à l'amélioration de la vie sociale de la population.

Pour les spécialistes du développement, la consommation énergétique constitue un indicateur du niveau de développement du dynamisme de l'économie d'un pays. Ainsi, chaque pays élabore sa politique de l'Energie en assurant la mise à disposition de ressources énergétiques en quantité suffisante, correspondant aux besoins de ses utilisateurs en termes de qualité, d'efficacité et de sécurité, et qui leur sont accessibles physiquement et économiquement. L'énergie électrique est alors devenue une énergie indispensable à l'homme tant dans son foyer que dans son travail.

Normalement dans un pays, tout le monde doit jouir équitablement du même développement quel que soit l'endroit où il se trouve. Cependant, à Madagascar seulement 6,10% des villages ruraux accèdent à l'électrification à cause de leur éloignement aux réseaux électriques existant et du coût élevé de l'énergie fossile des centrales thermiques.

Face à la crise énergétique rencontrée par Madagascar provoquée par l'augmentation du prix de pétrole et la faillite rencontrée par le JIRAMA premier distributeur de l'énergie électrique dans notre pays et pour anticiper la fin des énergies fossiles, il est nécessaire de chercher à diversifier et rajouter les ressources d'énergies. De prétexte éolienne, photovoltaïque, hydraulique, géothermique, marémotrice, ou autre, les énergies renouvelables sont les seules ressources d'énergie alternatives capables de répondre au besoin énergétique de notre pays.

L'Agence de Développement de l'Electrification Rurale (ADER) aura pour rôle principal de promouvoir la prestation de services, comme l'électricité, exécutée par des opérateurs privés. Elle supervise et finance les projets d'Electrification Rurale grâce aux ressources du Fonds National de l'Electricité (FNE), fournit une assistance technique aux opérateurs, et assure le suivi et l'évaluation socio-économique et environnementale des projets.

Notre projet consiste alors à exploiter des énergies disponible localement plus précisément l'énergie du vent que nous allons transformer en énergie électrique pour alimenter

la commune rurale de SOAMANONGA. Et c'est pour cela que nous avons choisi comme thème de mémoire : « Etude d'un projet d'électrification rurale par une centrale hybride Eolien-Diesel pour la commune rurale de SOAMANONGA. »

Pour bien mener à terme notre projet, on va diviser en cinq grandes chapitres dont : le premier chapitre concerne l'étude socio-économique du projet ; le second chapitre expose la prévision de la demande, dans le troisième chapitre on parlera l'étude technique du projet (cartographie, définition des ouvrages et équipements, réseaux de transport et distribution (B.T 400V ; 230V/50Hz), ensuite le quatrième chapitre sera consacrée à l'étude financière du projet, et pour terminer le dernier est une présentation de l'étude d'impact environnementale.

A. LE CONTEXTE DU PROJET

Le projet d'électrification rurale dans la région ANTSIMO-ANDREFANA, sur la commune rurale de SOAMANONGA, district de Betioky Atsimo est lancé dans le cadre de la mise en œuvre de la Nouvelle Politique de l'énergie, du Ministère de l'énergie et des Hydrocarbures (MEH) et l'agence de Développement de l'Electrification rural (ADER).

B. DESCRIPTION DE LA SITUATION DU PROJET

1 OBJET

L'objectif de ce projet est de desservir en électricité les localités de SOAMANONGA par un système hybride éolien-diesel avec stockage et de promouvoir l'accès à l'électricité de la population pour soutenir et appuyer les initiatives de développement dans leurs fonkotany et le bon fonctionnement de ces services sociaux.

Les installations envisagées à implanter est composées d'un système hybride éolien-diesel, des lignes basses tension en mode réseaux de distributions aérien reliant la centrale avec les localités cibles.

Pour atteindre cet objectif, nous avons fait des études socioéconomiques des localités à desservir, l'évaluation de la demande en énergie, des études techniques de la centrale de production et des réseaux électriques ainsi que des études économiques et financières du projet et en fin l'étude d'impact environnementaux .

Comme résultat attendu dans ce projet, la puissance disponible sur le site de Soamanonga peut couvrir les demandes des localités cibles pendant toute l'année et pendant 24 sur 24 heures.

2 DEMARCHE METHODOLOGIQUE

Concernant la demarche methodologique,pour bien mener à termes ces etudes, nous avons adopté les démarche si dessous :

- ✚ La recherche et étude des documents, des données et informations existantes concernant le site, permettant d'avoir une base de travail solide et de préparer les descentes sur site.
- ✚ La preparation de l'équipe, des supports et matériels pour les descentes sur site.
- ✚ La collecte des données pour les études : réalisation des enquêtes socio-économiques, impacts environnementaux.

- ✚ La collecte des données pour les différentes variantes possibles d'implantations des ouvrages.
- ✚ Traçé des réseaux de transport et de distribution électriques.
- ✚ Traitements, compilations et analyses des données collectées.
- ✚ La rédaction des rapports de travail.

3 SITUATION DES INFRASTRUCTURES ELECTRIQUES LES PLUS PROCHES

La commune rurale de Soamanonga se trouve plus proche de la commune rurale de BETIOKY ATSIMO, cette commune est déjà électrifiée par le JIRAMA, alimentée par une centrale thermique associée à du réseau BT.

La société JIRAMA prend en charge l'électrification de la ville de BETIOKY ATSIMO. Seul l'utilisation des groupes thermiques diesel est jusqu'à maintenant le moyen pour de production d'électricité.

4 DONNEES CLIMATIQUES

Concernant les données climatiques, nous avons utilisés le logiciel RETScreen pour obtenir les données climatiques de la région considérée.

5 PRESENTATION DU LOGICIEL DE CALCUL UTILISE:

✚ RETScreen4 :

RETScreen® International est à la fois un outil de sensibilisation aux énergies propres, d'aide à la décision et de renforcement des compétences. L'outil consiste en un logiciel standardisé et intégré d'analyse de projets d'énergies propres qui peut être utilisé partout dans le monde pour évaluer la production énergétique, les coûts du cycle de vie et les réductions d'émissions de gaz à effet de serre pour différentes technologies d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable. Chaque modèle de technologie d'énergie propre RETScreen (par exemple projet de centrale éolienne, etc.) a été développé dans un classeur Microsoft® Excel individuel. Chaque classeur est ensuite composé d'une série de feuilles de calcul. Ces feuilles de calcul ont un aspect commun et suivent une démarche standardisée, commune à tous les modèles RETScreen. En plus du logiciel, l'outil comprend des bases de données (produits, coûts

et données météorologiques), un manuel en ligne, un site Web, un manuel d'ingénierie, des études de cas et un cours de formation.

HOMER

HOMER (Hybrid Optimisation Model for Electric Renewable) est un logiciel initialement développé dès 1993 par le National Renewable Energy Laboratory pour les programmes d'électrification rurale. Depuis 2009, il est disponible sous la licence Homer Energy.

C'est un outil pour la conception et l'analyse des systèmes d'alimentation hybrides (générateurs conventionnels, production combinée de chaleur et d'électricité, éoliennes, solaire photovoltaïque, piles, piles à combustible, énergie hydraulique, biomasse etc.). Il permet de déterminer la faisabilité économique d'un système d'énergie hybride, d'optimiser la conception du système et permet aux utilisateurs de comprendre comment fonctionne un système hybride d'énergies renouvelables. Il est utilisé pour effectuer des simulations de différents systèmes énergétiques, comparer les résultats et obtenir une projection réaliste de leur capital et les dépenses d'exploitation.

C'est un outil intéressant au service des décideurs publics, des intégrateurs de systèmes, et de nombreux autres types de développeurs de projets, afin d'atténuer le risque financier de leurs projets de centrales hybrides.

Pour notre cas, il pourrait bien servir au dimensionnement optimal du système.

6 DONNEE CLIMATIQUE POUR LA COMMUNE RURALE DE SOAMANONGA

RETScreen a donné directement les données climatiques concernant la région considéré en ajoutant le nom de la région que l'on veut dans le champ lieu des données climatiques. Si la région considérée n'est pas affichée dans les listes des régions ayant directement des données, on peut utiliser les données satellite de la NASA en cliquant sur l'onglet télécharger les données satellite de la NASA en suivant les instructions données par le logiciel.

Voici les données climatiques pour Soamanonga :

Mois	Vitesse du vent m/s NASA (à 10 m)
Janvier	3,6
Février	4,0
Mars	3,7
Avril	3,8
Mai	3,7
Juin	4,0
Juillet	4,0
Aout	4,2
Septembre	4,3
Octobre	4,2
Novembre	4,0
décembre	3,6
Annuel	3,9

Tableau 1 : Vitesse du vent (m/s) pour la commune rurale de Soamanonga (source RETScreen)

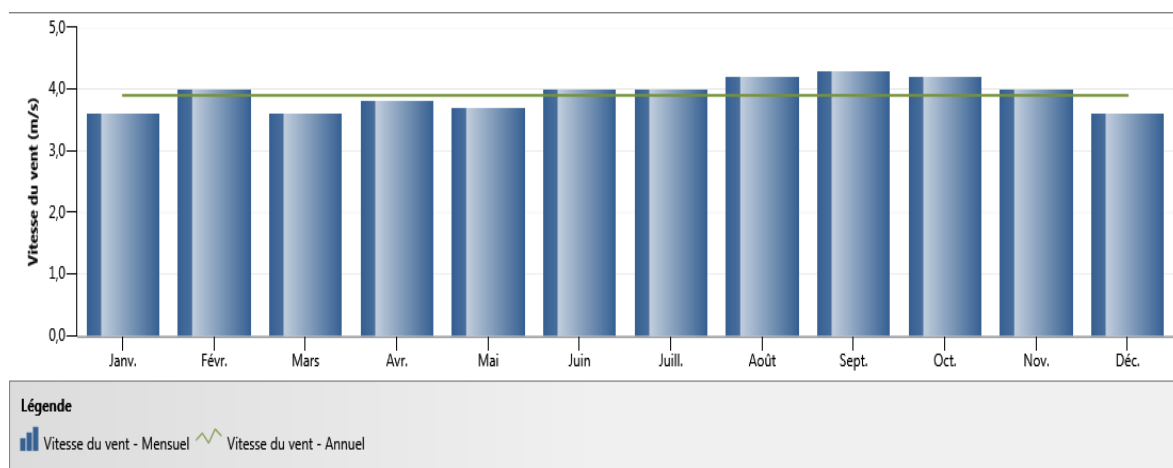


Figure 1 : Vitesse du vent mensuelle (source RETScreen)

I. CHAPITRE I ÉTUDE SOCIO-ECONOMIQUE

L'étude socio-économique vise à recueillir et analyser les informations sur les utilisateurs potentiels d'électricité à court, moyen et long terme de la Commune rurale de Soamanonga. Cette étude permettra de déterminer leur besoin en énergie électrique.

I.1 METHODOLOGIE

L'étude a pour objectif de déterminer le profil socio-économique des ménages cibles. Ainsi, on a réalisé une enquête au niveau de fonkotany dans la commune rurale de Soamanonga.

I.2 SITUATION GEOGRAPHIE ET ADMINISTRATIVE

La commune rurale de Soamanonga se trouve sur la région ANTSIMO ANDREFANA district de Betioky Atsimo.

La commune est délimitée au Nord par la Commune Rurale de Belamoty, au Sud par la Commune Rurale de Fotadrevo, à l'Est par la Commune Rurale d'Ambatry et à l'Ouest par la Commune Rurale de Lazarivo.

Comme coordonné géographique, la commune se trouve sur $24^{\circ}20'47.89''$ S et $44^{\circ}31'04.63''$ E qui a une élévation de 443 m.

Situe à 70,5 Km du Chef-lieu de District (Betioky Atsimo) on prend la route nationale 10, arrivée dans la commune rurale Ambatry, on suit la déviation Est. Environ 4h en voiture 4x4, le problème de la communication s'avère être une grande barrière pour son développement.

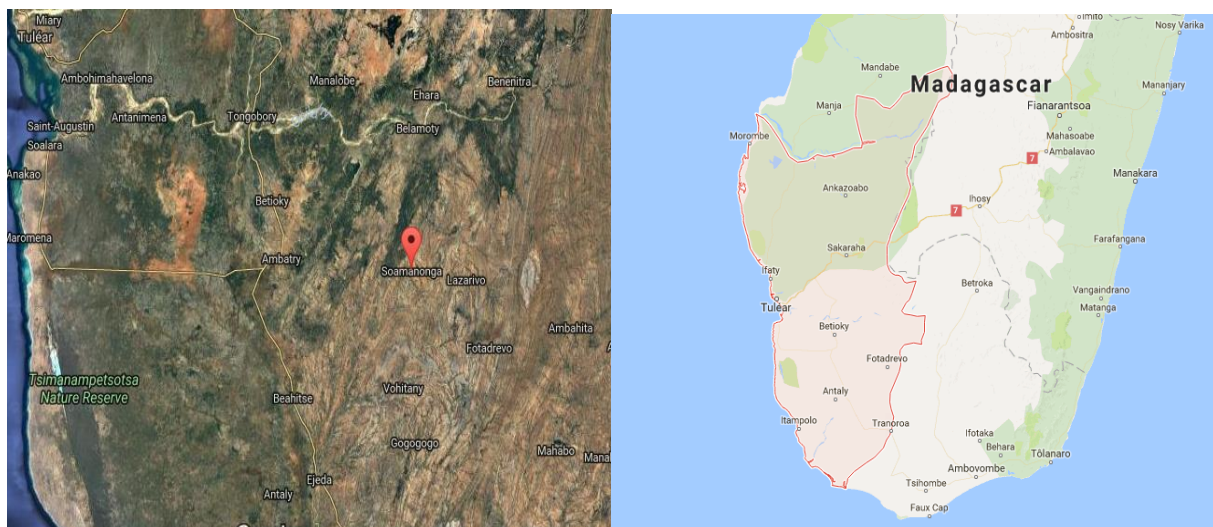


Figure 2 : Situation de la village de Soamanonga dans la region ATSIMO ANDREFANA



Figure 3 : Le village de Soamanonga (image satellite)

I.3 DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Répartition de la population de la commune rurale de Soamanonga.

Actuellement, selon le recensement effectué au niveau de la commune rurale de Soamanonga, le nombre de la population compte 1700 habitants. Cette population est approximativement répartie en 260 ménages. La taille moyenne des ménages est estimée à 6,5 personnes et le taux d'accroissement des ménages est de l'ordre de 2%, le taux de mortalité est de 0,20 %.

I.4 ACTIVITES ECONOMIQUES

Les ménages de la commune rurale de Soamanonga sont majoritairement des agriculteurs. Selon les enquêtes réalisées auprès des ménages, 85% d'entre eux ont pour activité principale l'agriculture ; la riziculture occupe la première place dans cette activité puis la culture de maïs et de pistache. Ensuite l'élevage de bovin et caprin.

En moyenne, chaque ménage dans la commune gagne aux environs de 70 000 Ar par mois. Le maximum atteint 200 000 Ar contre 15 000Ar pour le minimum indépendamment de leurs sources de revenus.

I.5 INFRASTRUCTURES SOCIALES

Les services publics et infrastructures sociales dans le fokontany sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

CATEGORIES	INFRASTRUCTURE	NOMBRE
Administrations	Bureau mairie	1
	Gendarmerie	1
	Marché	1
Santé	CSB II	1
	Pharmacie	1
Education	CEG	1
	EPP	1
Autre	Eglise	4

Tableau 2 : Liste et nombres des services publics et infrastructures sociales dans le fokontany

Les revenus des différents services publics, on peut décrire comme suit :

CATEGORIES	INFRASTRUCTURE	SOURCE DE REVENUE
Administrations	Bureau mairie	subvention de l'Etat, recette de différentes taxes, frais de dossier.
	Gendarmerie	
	Marché	
Santé	CSB II	subvention de l'Etat
	Pharmacie	Recette
Education	CEG	Subvention de l'Etat, cotisation annuelle des parents d'élève
	EPP	
Autre	Eglise	Les quêtes des fidèles, subvention siège

Tableau 3 : Les sources des revenus des différents services publics dans le fokontany

On constate que les revenus des services publics sont dépendantes de la subvention.

Estimation des budgets alloués à l'électricité :

CATEGORIES	INFRASTRUCTURE	BUDGET ALLOUER A L'ELECTRICITE
Administrations	Bureau mairie	La commune et la gendarmerie prévoit dans les budgets prévisionnels.
	Gendarmerie	
	Marché	
Santé	CSB II	
	Pharmacie	
Education	CEG	le secteur de l'éducation ne possède pas de budget spécial pour l'électrification.
	EPP	
Autre	Eglise	Les églises n'ont pas prévoir de budget spécial pour l'électrification.

Tableau 4 : Estimation des budgets alloués à l'électricité



Figure 4 : Bureau de la mairie de Soamanonga



Bureau de la gendarmerie de Soamanonga



Figure 5 : EPP de Soamanonga



CSB II de la commune

I.6 DIFFERENTS TYPES DE CLIENTS

Afin d'harmoniser toutes les demandes, Les consommateurs sont repartis en trois catégories :

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

II. 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 dans le temps en fonction des tarifs de l'électricité proposés et de l'évolution de critères socio-économiques.

II.1 HORIZON DU PROJET

L'horizon du projet est fixé à 15 ans, durées de concession généralement admise pour les projets de réseaux hybrides, dont le temps de retour sur investissement est généralement long, à la 8 emme année du projet (voire analyse financière).

II.2 SEGMENTATION DES CLIENTS CIBLENT DANS LA LOCALITE

D'après l'enquête que nous avons fait sur la localité, les clients ciblent dans la commune rurale de Soamanonga se résume dans le tableau ci-dessous :

CLIENTS CIBLENT	MATERIELS UTILISE ANNEE T1	SOURCE ENERGETIQUE SUBSTITUABLE PAR L'ELECTRICITE ANNEE T0
MENAGE		
Riche	Lampe à basse consommation, radio, mini chaine, télévision couleur et lecteur VCD, frigo, ventilateur	Bougie, pile, batterie, carburant

Moyen	Lampe à basse consommation, radio, télévision couleur et lecteur VCD	Bougie pile batterie Pétrole
Vulnérable	Lampe à basse consommation, radio	Bougie Pile Pétrole
ADMINISTRATION		
Bureau commune	Lampe à basse consommation, radio, mini chaine, télévision couleur et lecteur VCD, ventilateur ordinateur +imprimante	Carburant pile
CSB II	Lampe à basse consommation, radio, frigo ventilateur ordinateur +imprimante	Panneau solaire de 600 w
EPP	Lampe à basse consommation, ventilateur	
Bureau de la Gendarmerie	Lampe à basse consommation, radio,	pile

	ventilateur	
CEG	Lampe à basse consommation, ventilateur	
COMMERCES ET SERVICES		
Epicerie	Lampe à basse consommation, radio	pile
Salle de projection vidéo	Lampe à basse consommation, télévision couleur et lecteur VCD, ventilateur, sonorisation	Carburant
Eglise	Lampe à basse consommation Sonorisation ventilateur	Carburant

Tableau 5 : Segmentation des clients ciblent dans la localité

II.3 RECENSEMENT ET CATEGORISATION PAR SEGMENT DES CLIENTS DANS LA LOCALITE CIBLE

II.3.1 Les ménages :

De par l'évaluation des revenus et du niveau de vie de la population, et de par nos interviews vis-à-vis des responsables dans la commune rurale de Soamanonga, on a pu catégoriser les ménages en 3 repartitions économiques et leur nombre.

LOCALITE	MENAGE					
SOAMANONGA	Population	Catégorie	nombre de ménage	Taux de ménage	nombre de ménage cible	Taux ménage cible

		riche	13	5%	8	61%
	1700	moyen	156	60%	62	38%
		vulnérable	91	35%	9	10%
	TOTAL		260		79	

Tableau 6 : Répartitions et segmentations des clients ciblent

II.3.2 Administration :

La réparation des administrations et infrastructure sociales est donnée par le tableau suivant :

ADMINISTRATION		
Désignation	Effectif	NOMBRE DE SALLE
Bureau commune	1	4
CSB II	1	5
Bureau de la Gendarmerie	1	4
EPP	1	4
CEG	1	2
TOTAL	5	19

Tableau 7 : Réparation des administrations et infrastructure sociales dans la localité cible

II.3.3 Commerces et services :

Dans la localité cible, on a inventorié les activités génératrices de revenus suivantes

COMMERCE ET SERVICES

Désignation	Effectif	NOMBRE DE SALLE
Epicerie	7	21
Epi bar	2	4
Salle de projection vidéo	8	8
Eglise	4	9
Marche publique	1	1
TOTAL	22	43

Tableau 8 : Listes et nombres des activités génératrices de revenus

II.4 MENAGES DANS LA LOCALITE

La zone à raccorder compte actuellement 1700 habitants répartis en 260 ménages. En générale, 85% des maisons sont en dure et de toiture en tôle et de végétaux, 14% en « rotsipeta »et 1% en bois. Le nombre de chambre varie de 1à 4.

Afin d’harmoniser toutes les demandes, on adoptera les subdivisions suivantes : les ménages seront partitionnés en trois catégories suivant leurs revenus ainsi que le nombre d’appareils domestiques qu’ils possèdent.

Ces trois segments sont identifiés suivant leur revenu.

Les ménages pauvres qui gagnent au plus 60 000 Ar mensuellement, les ménages de classe moyenne gagnant entre 60 000Ar et 170 000 Ar par mois et en fin les ménages riches qui gagnent au moins 170 000 Ar par mois.

Le tableau ci-après nous donne la répartition des ménages enquêtés selon cette catégorisation.

Catégories	Revenu mensuel	Pourcentage
Vulnérable	≤ 60000 Ar	35%
Moyen] 60000 Ar – 170000 Ar [60%
Riche	≥ 170000 Ar	05%
Total		100%

Tableau 9 : Répartition et catégorisation des ménages selon leurs sources de revenu (source enquête par ménage)

D'après l'enquête que nous avons faite sur les différents ménages, le taux de raccordement aux réseaux à la première année par catégories des ménages est estimé comme suit :

- Riche : 61%
- Moyenne : 38%
- Vulnérable : 10 %

Durant les enquêtes, chaque ménage interrogé a décrit, les appareils de la liste ci-dessous qu'il utilisait et leurs nombres.

Les lampes considérées sont des lampes à basse consommation de type fluo compactes de puissance moyenne 15W.

Les appareils frigorifiques sont des réfrigérateurs et congélateurs de classe de consommation A (appareils basse consommation dans la nomenclature européenne).

II.4.1 Pour les ménages :

Ménages	Nombre année 1	Application	Puissance unitaire (W)	Nombre Application	coefficient de foisonnement appareil	Puissance souscrite (w)
Riche	60	LBC	15	3	1	280
		RADIO	10	1	1	
		MINI CHAINE	25	1	1	
		TVC&LECTEUR	80	1	1	
		FRIGO	80	1	1	
		VENTILATEUR	40	1	1	

Moyenne	40	LBC	15	2	1	120
		RADIO	10	1	1	
		TVC&LECTEUR	80	1	1	
Vulnérable	10	LBC	15	1	1	25
		RADIO	10	1	1	
TOTALE						425

Tableau 10 : Puissance souscrite en (w) par catégories des ménages

II.4.2 Concernant les administrations :

Administration	Application	Puissance unitaire (w)	Nombre Application	coefficient de foisonnement appareil	Puissance souscrite (w)
Bureau commune	LBC	15	4	0,75	675
	RADIO	10	1	1	
	TVC&LECTEUR	80	1	1	
	VENTILATEUR	40	1	1	
	ORDI+IMPRIMENT E	500	1	1	
CSB II	LBC	5	5	0,75	648,75
	RADIO	10	1	1	
	FRIGO	80	1	1	
	VENTILATEUR	40	1	1	
	ORDI+IMPRIMENT E	500	1	1	
EPP	LBC	15	4	0,75	85
	VENTILATEUR	40	1	1	
Bureau de la Gendarmerie	LBC	15	5	0,75	106,25
	RADIO	10	1	1	
	VENTILATEUR	40	1	1	
CEG	LBC	15	2	1	70
	VENTILATEUR	40	1	1	
EP	LAMPE	25	6	0,7	105
TOTALE					1690

Tableau 11 : Puissance souscrite en (w) pour les administrations publiques

II.4.3 Pour les commerces et services :

Dans la majorité, l'activité de commerce est représentée par des petites épiceries, commerce de proximité qui assure essentiellement les besoins de première nécessité des populations locales.

Les localités de la commune de Soamanonga se trouvent en brousse bordant pour la plupart la piste en terre et ne représente pas grande chose en matière de commerce et services.

Ces activités de commerce sont dans la plupart des cas tenus par les catégories de ménages aisés et moyens, et très souvent dans le même lieu d'habitation. Il devient alors difficile de dissocier leurs consommations de celles des ménages qui les tiennent.

Pour simplifier l'évaluation et pour éviter le double recensement en tant que ménage et activité il est plus simple d'assimiler cette branche aux ménages correspondants.

Mais on peut prendre en particulier le cas pour les épi-bar, le Salle de projection vidéo et l'église nous avons différencié les consommations « domestiques » des consommations « commerciales », comme s'il s'agissait de deux clients différents.

commerces et services	Application	Puissance unitaire (w)	Nombre Application	coefficient de foisonnement	Puissance souscrite (w)
Epicerie	LBC	15	4	0,75	95
	RADIO	10	1	1	
	VENTILATEUR	40	1	1	
Pharmacie	LBC	15	5	0,75	676,25
	FRIGO	80	1	1	
	VENTILATEUR	40	1	1	
	ORDI+IMPRIMENTE	500	1	1	
Salle de projection vidéo	LBC	15	2	1	350
	VENTILATEUR	40	1	1	
	SONORISATION	200	1	1	
	TV+LECTEUR	80	1	1	
Eglise	LBC	15	2	1	270
	SONORISATION	200	1	1	
	VENTILATEUR	40	1	1	
Epicerie - Bar	LBC	15	2	1	615
	FRIGO	80	1	1	
	SONORISATION	200	1	1	
	TV+LECTEUR	80	1	1	
	CONGELATEUR	200	1	1	
	MINI CHAINE	25	1	1	

Tableau 12 : Puissance souscrite en (w) pour les activités génératrices des revenus

II.5 ANALYSE PREVISIONNELLE DE LA DEMANDE

II.5.1 Méthode de calcul

On utilise la formule suivante pour calculer l'énergie moyenne consommé par les clients en une année :

$$E_1 = N \sum_{i=1}^k c_i a_i \sum_{j=1}^n e_{ij} \quad (\text{II.1})$$

Et

$$e_{ij} = \sum_{j=1}^n c_{sij} a_{ij} h_{ij} p_{ij} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

c_{sij} : coefficient de simultanéité,

a_{ij} : nombre d'équipement de type « j » de l'abonné de type « i » ;

h_{ij} : heures de marche d'équipement de type « j » de l'abonné de type « i » ;

P_{ij} : puissance d'équipement de type « j » de l'abonné de type « i » ;

N : nombre de jours d'utilisation

e_{ij} : énergie consommée par un appareil « j » de l'abonné « i »,

a_i : nombre d'abonnés,

c_i : coefficient de simultanéité des abonnés.

Les tableaux suivants montrent l'énergie moyenne annuelle consommée par les différents types de clients en fonction de leur appareil qu'ils utilisent, en fonction de chaque coefficient de simultanéité de différentes type appareil et le coefficient de simultanéité des abonnés et l'heure de marche de chaque appareil.

Pour les ménages :

Ménages	Nombre année 1 (1)	Application	Puissance unitaire (W)	Nombre Application	Heure de marche journalière	coefficient de foisonnement abonné Ci	coefficient de foisonnement appareil Cij	KWh journalière par application	KWh journalier	KWh Mensuel	Kwh Annuel (2)	Total Kwh Annuel Année 1 (3)=(1)*(2)
Riche	9	LBC	15	3	5	0,65	1	0,14625	1,36305	40,8915	490,698	4416,282
		RADIO	10	1	14	0,65		0,091				
		MINI CHAINE	25	1	12	0,65		0,195				
		TVC&LECTEUR	80	1	6	0,65		0,312				
		FRIGO	80	1	8,4	0,65		0,4368				
		VENTILATEUR	40	1	7	0,65		0,182				
Moyenne	62	LBC	15	2	5	0,4	1	0,06	0,308	9,24	110,88	6874,56
		RADIO	10	1	14	0,4		0,056				
		TVC&LECTEUR	80	1	6	0,4		0,192				
Vulnérable	8	LBC	15	1	5	0,65	1	0,04875	0,13975	4,1925	50,31	402,48
		RADIO	10	1	14	0,65		0,091				
TOTALE	79								1,8108	54,324	651,888	11693,322

Tableau 13 : Besoin énergétique annuel (année 1) Pour les ménages

Le nombre de jours annuel effectif pris comme base de l'étude est de 347 jours compte tenu de l'indisponibilité de la centrale du fait des pannes éventuels, coupures et maintenances.

On estime en effet que la disponibilité globale de la centrale devra être supérieure à 90% donc un taux d'indisponibilité inférieur à 10%. Ici, le taux que l'on adopté est de 5% annuel.

Concernant les activités productives :

Commerces et services

commerces et services	Nombre année 1 (1)	Application	Puissance unitaire (W)	Nombre Application	coefficient de foisonnement appareil Cij	coefficient de foisonnement abonné Ci	Heure de marche journalière	KWH journalière par application	KWH journalier	KWH Mensuel	KWH Annuel (2)	Total KWH Annuel Année 1 (3)=(1)*(2)
Epi - Bar	2	LBC	15	2	1	0,85	6	1,8	59,37	1781,1	21373,2	36334,44
		FRIGO	80	1	1		8,4	6,72				
		SONORISATION	200	1	1		11	22				
		TV+LECTEUR	80	1	1		11	8,8				
		CONGELATEUR	200	1	1		8,4	16,8				
		MINI CHAINE	25	1	1		13	3,25				
Salle de projection vidéo	8	LBC	15	2	1	0,65	5	1,5	33,9	1017	12204	63460,8
		VENTILATEUR	40	1	1		4	1,6				
		SONORISATION	200	1	1		11	22				
		TV+LECTEUR	80	1	1		11	8,8				
EGLISE	4	LBC	15	4	0,75	0,75	5	2,25	13,45	53,8	645,6	1936,8
		VENTILATEUR	40	1	1		3	1,2				
		SONORISATION	200	1	1		5	10				
TOTALE												99795,24

Tableau 14 : Besoin énergétique annuel (année 1) pour les commerces et services

Infrastructure public

Administration	Nombre année 1 (1)	Application	Puissance unitaire (W)	Nombre Application	coefficient de foisonnement appareil Cij	coefficient de foisonnement abonné Ci	Heure de marche journalière	KWH journalière par application	KWH journalier	KWH Mensuel	KWH Annuel (2)	Total KWH Annuel Année 1 (3)=(1)*(2)
Bureau commune	1	LBC	15	4	0,75	1	2	0,09	3,776	75,52	906,24	906,24
		RADIO	10	1	0,65		4	0,026				
		VENTILATEUR	40	1	1		4	0,16				
		ORDI+IMPRIMENTE	500	1	1		7	3,5				
CSB II	1	LBC	15	5	0,6	1	5	0,225	0,905	27,15	325,8	325,8
		RADIO	10	1	1		4	0,04				
		FRIGO	80	1	1		6	0,48				
		VENTILATEUR	40	1	1		4	0,16				
EPP	1	LBC	15	4	0,75	1	1	0,045	0,125	2,5	30	30
		VENTILATEUR	40	1	1		2	0,08				
Bureau de la Gendarmerie	1	LBC	15	5	0,75	1	11	0,61875	0,81875	16,375	196,5	196,5
		RADIO	10	1	1		4	0,04				
		VENTILATEUR	40	1	1		4	0,16				
CEG	1	LBC	15	2	1	1	1	0,03	0,11	2,2	26,4	26,4
		VENTILATEUR	40	1	1		2	0,08				
TOTALE									5,73475	123,745	1484,94	1484,94

Eclairage Publique	Nombre année 1 (1)	Application	Puissance unitaire (W)	Nombre Application	coefficient de foisonnement appareil Cij	coefficient de foisonnement abonné Ci	Heure de marche journalière	KWH journalière par application	KWH journalier	KWH Mensuel	KWH Annuel (2)	Total KWH Annuel Année 1 (3)=(1)*(2)
EP	1	LAMPE	25	6	0,7	1	5	0,525	0,525	16,275	195,3	195,3
TOTALE												195,3

Tableau 15 : Besoin énergétique annuel (année 1) pour les infrastructures publiques

L'éclairage public sera estimé à 6 unités de points d'éclairage qui seront répartis suivant les lignes et les axe de la rue.

Les consommations estimées de ces catégories sont les suivantes

II.6 EVOLUTION DE L'ENERGIE CONSOMMEE DANS LA LOCALITE CIBLE

Tous calculs faits, l'évolution annuelle de l'énergie consommée se déduit comme suit :

EVOLUTION ENERGIE CONSOME PAR LES CLIENTS PENDANT L'HORIZON DU PROJET (kW/h)									
ANNEE DE MISE EN SERVICE				ANNEE					
Consommation annuel diurne (kW/h)									
CLIENTS	JOUR	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
MENAGES		-	131 309	134 975	138 748	142 631	146 629	150 743	154 978
VULNERABLE		-	9 647	9 937	10 235	10 542	10 858	11 184	11 519
MOYEN		-	107 997	111 237	114 574	118 011	121 551	125 198	128 954
RICHE		-	13 664	13 801	13 939	14 079	14 219	14 362	14 505
		-							
COMMERCE ET SERVICE		-	619 754	625 951	632 211	638 533	644 918	651 368	657 881
Salle de projection vidéo		-	486 671	491 538	496 453	501 418	506 432	511 496	516 611
Eglise		-	3 046	3 076	3 107	3 138	3 169	3 201	3 233
Epicerie - Bar		-	130 037	131 337	132 651	133 977	135 317	136 670	138 037
		-							
ADMINISTRATION		-	34 787	34 787	34 787	34 787	34 787	34 787	34 787
Bureau commune		-	1 278	1 278	1 278	1 278	1 278	1 278	1 278
CSB II		-	13 896	13 896	13 896	13 896	13 896	13 896	13 896

EPP	-	816	816	816	816	816	816	816
Bureau de la Gendarmerie	-	18 125	18 125	18 125	18 125	18 125	18 125	18 125
CEG	-	672	672	672	672	672	672	672
EP	-	0	0	0	0	0	0	0
Total consommation jour	-	785 849	795 713	805 746	815 951	826 334	836 898	847 646

CLIENTS	JOUR	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
MENAGES		159 338	163 825	168 444	173 198	178 092	183 130	188 316	193 654
VULNERABLE		11 865	12 221	12 588	12 965	13 354	13 755	14 167	14 592
MOYEN		132 822	136 807	140 911	145 139	149 493	153 978	158 597	163 355
RICHE		14 650	14 797	14 945	15 094	15 245	15 397	15 551	15 707
COMMERCE ET SERVICE		664 460	671 105	677 816	684 594	691 440	698 354	705 338	712 391
Salle de projection vidéo		521 778	526 995	532 265	537 588	542 964	548 393	553 877	559 416
Eglise		3 265	3 298	3 331	3 364	3 398	3 432	3 466	3 501
Epicerie - Bar		139 417	140 811	142 220	143 642	145 078	146 529	147 994	149 474
ADMINISTRATION		34 787	34 787	34 787	34 787	34 787	34 787	34 787	34 787
Bureau commune		1 278	1 278	1 278	1 278	1 278	1 278	1 278	1 278
CSB II		13 896	13 896	13 896	13 896	13 896	13 896	13 896	13 896
EPP		816	816	816	816	816	816	816	816
Bureau de la Gendarmerie		18 125	18 125	18 125	18 125	18 125	18 125	18 125	18 125
CEG		672	672	672	672	672	672	672	672
EP		0	0	0	0	0	0	0	0
Total consommation jour		858 584	869 716	881 046	892 579	904 319	916 271	928 440	940 832

Consommation annuel nocturne (kW/h)

CLIENTS	NUIT	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
MENAGES		-	6 016 857	6 197 110	6 382 768	6 573 993	6 770 952	6 973 817	7 182 766
VULNERABLE		-	30 260	31 168	32 103	33 066	34 058	35 080	36 132
MOYEN		-	5 973 949	6 153 167	6 337 762	6 527 895	6 723 732	6 925 444	7 133 207
RICHE		-	12 649	12 775	12 903	13 032	13 162	13 294	13 427
		-							
COMMERCE ET SERVICE		-	270 980	273 690	276 427	279 191	281 983	284 803	287 651
Salle de projection vidéo		-	182 870	184 699	186 546	188 412	190 296	192 199	194 121
Eglise		-	0	0	0	0	0	0	0
Epicerie - Bar		-	88 110	88 991	89 881	90 780	91 688	92 604	93 530
		-							
ADMINISTRATION		-	49 210	49 565	49 923	50 285	50 651	51 021	51 394
Bureau commune		-	0	0	0	0	0	0	0
CSB II		-	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528
EPP		-	0	0	0	0	0	0	0
Bureau de la Gendarmerie		-	1 176	1 176	1 176	1 176	1 176	1 176	1 176
CEG		-	0	0	0	0	0	0	0
EP		-	35 506	35 861	36 219	36 581	36 947	37 317	37 690
Total consommation Nuit		-	6 337 047	6 520 365	6 709 118	6 903 470	7 103 586	7 309 641	7 521 811

CLIENTS	NUIT	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
MENAGES		7 397 980	7 619 649	7 847 964	8 083 126	8 325 341	8 574 819	8 831 778	9 096 444
VULNERABLE		37 216	38 333	39 483	40 667	41 887	43 144	44 438	45 771
MOYEN		7 347 203	7 567 619	7 794 648	8 028 488	8 269 342	8 517 422	8 772 945	9 036 133
RICHE		13 561	13 697	13 834	13 972	14 112	14 253	14 395	14 539

COMMERCE ET SERVICE	290 528	293 433	296 367	299 331	302 324	305 347	308 401	311 485
Salle de projection vidéo	196 062	198 022	200 003	202 003	204 023	206 063	208 124	210 205
Eglise	0	0	0	0	0	0	0	0
Epicerie - Bar	94 466	95 410	96 365	97 328	98 301	99 284	100 277	101 280
ADMINISTRATION	51 771	52 151	52 536	52 924	53 316	53 713	54 113	54 517
Bureau commune	0	0	0	0	0	0	0	0
CSB II	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528
EPP	0	0	0	0	0	0	0	0
Bureau de la Gendarmerie	1 176	1 176	1 176	1 176	1 176	1 176	1 176	1 176
CEG	0	0	0	0	0	0	0	0
EP	38 067	38 447	38 832	39 220	39 612	40 009	40 409	40 813
Total consommation Nuit	7 740 279	7 965 233	8 196 867	8 435 381	8 680 981	8 933 879	9 194 292	9 462 445

Tableau 16 : Évolution de l'énergie consommée dans la localité cible durant l'horizon du projet

II.7 BILAN

ANNEE	2019	2023	2028	2033
Consommations annuel (kW/h)	86,6	91,66	98,59	106,28
Puissance de pointe (kW)	7,98	8,57	9,39	10,32
Nombre de client raccordé	81	91	104	120

Tableau 17 : bilan

II.8 COURBE DE CHARGE JOURNALIERE

Elle représente la demande en énergie des populations. Pour déterminer les besoins des populations, nous avons procédé à des enquêtes sur le terrain auprès des échantillons de ménages de Soamanonga. Un questionnaire leur a été soumis. Au terme de nos investigations, nous avons pu établir une courbe de charge, eu égard aux puissances mises en jeu pendant une journée de fonctionnement. La demande est constituée pour l'essentiel de l'éclairage, et du petit matériel électroménager (radios, lecteurs DVD, téléviseurs etc.).

Le village est un village des agriculteurs. Il est alors presque inoccupé durant les heures de travail. Les villageois quittent le village pendant les heures de travail. Le reste comme les commerçant pratiquement au village tous les jours.

En tenant compte de chaque activités, on a la courbe de besoin en électricité du village. Cette courbe de besoin du village est composée d'une pointe significative en soirée entre 18 H et 20 H, elle inclue l'heure de pointe, (le pic). Tous les éléments de l'installation doivent être dimensionnés par rapport à la valeur de ce pic qui est de 7,5 KW entre 18 H à 19H la première année et de l'ordre de 11 KW l'année 15 pris comme référence au dimensionnement de l'installation du centrale ,qui correspond principalement aux usages d'éclairage, d'une demande importante l'après-midi environ entre 13h à 14h. La demande énergétique nocturne est assez limitée dans le village : la puissance appelée est donc d'ordinaire très basse la nuit, comparée aux pointes du soir et de la mi-journée.

En répartissant les charges de chaque ménage cité précédemment ; on a le courbe de charge suivante :

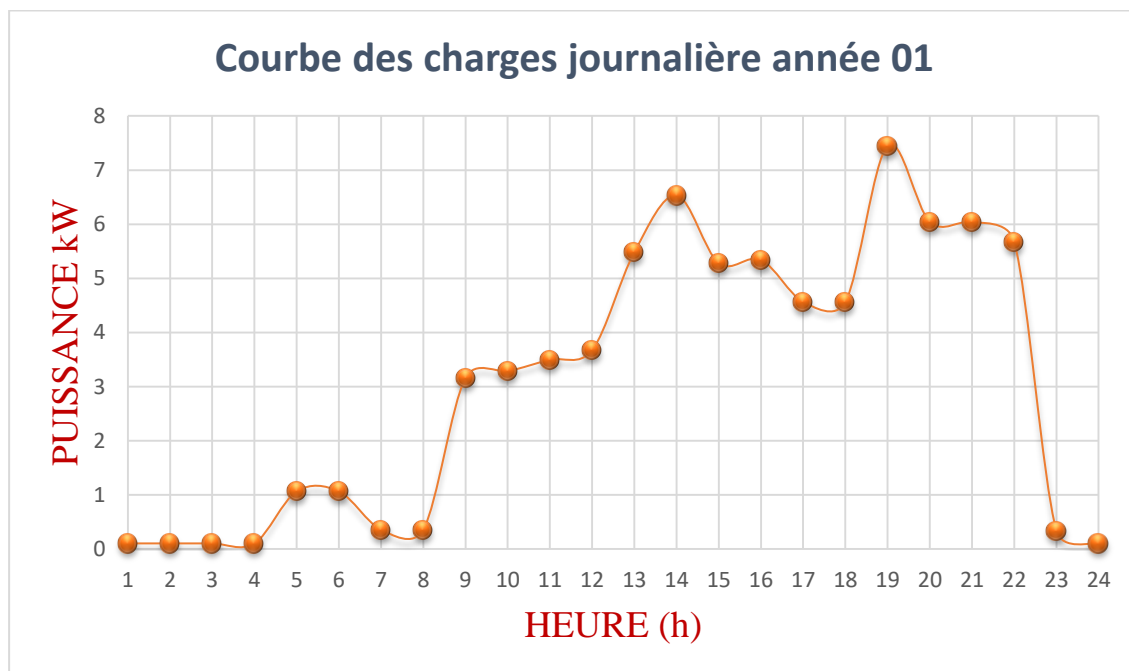


Figure 6 : Courbe des charges $P=f(t)$ journalière année 01 du village de Soamanonga

II.9 CAPACITE GLOBALE MOYENNE A PAYER LE RACCORDEMENT ET LE KWH

II.9.1 Pour les ménages :

Les revenus des ménages permettent d'estimer la capacité à payer, mais ceux-ci ne sont pas suffisants. Les dépenses des ménages allouées aux énergies substituables par l'électricité aujourd'hui peuvent contribuer à la détermination de la capacité à payer.

Ces dépenses traduisent les moyens financiers réels des ménages et correspondent aux dépenses en éclairage, au fonctionnement des équipements tels que la radio, la télé.

Le tableau suivant nous renseigne sur les dépenses énergétiques substituables par catégorie de ménages :

Catégorie	Moyenne Revenu Mensuel (Ar)	Dépenses moyenne en Energies Substituables en électricité (Ar/mois)
Vulnérable	≤ 60000 Ar	5000
Moyen	$] 60000$ Ar – 170000 Ar [10000
Riche	≥ 170000 Ar	25000

Tableau 18 : Capacité globale moyenne à payé le raccordement et le kWh Pour les ménages

Les dépenses actuelles des ménages en énergie substituable en électricité (éclairage et fonctionnement des équipements) représentent 15% des revenus des ménages riches et 05% pour les ménages moyens, et 08% pour les ménages pauvres. L'achat des piles, des bougies et de pétroles sont prédominantes pour ce poste de dépenses. Notons que beaucoup de ménages ont des mini panneaux solaires pour recharger des batteries et des lampes.

En effet, on peut en déduire que la population à Soamanonga a la capacité financière à payer l'électricité.

De plus, la totalité des enquêtées ont la perspective et les moyens d'acquérir des équipements électriques si l'installation des infrastructures électriques sera effective.

II.10 VOLONTE A PAYER

Nous avons basé notre analyse à partir des «dires» des enquêtes. Les questions posées sont : « Pour quel montant êtes-vous prêt à payer pour le branchement ? Pour la consommation mensuelle de l'électricité ? A quelle fréquence ? »

Ces questionnements nous ont relevé la disposition à Payer de chaque catégorie de ménages pour le raccordement, et pour la consommation mensuelle.

Catégorie	Revenu annuel (Ar)	Disposition à Payer le raccordement en moyenne (Ar)	Disposition à Payer la consommation mensuelle (Ar)
Vulnérable	≤ 60000	10000	≤ 5000
Moyen] 60000 – 170000 [25000] 5000 – 12000 [
Riche	≥ 170000	35000	≥ 2000

Tableau 19 : Volonté à payer le kWh Pour les ménages

La fréquence de facturation souhaitée par les futurs usages est la mensualité et avec un comptage classique par compteur en post paye.

Les ménages enquêtés ont la volonté à payer plus que leurs dépenses actuelles en énergie substituables en électricité. On note la volonté des ménages moyen et pauvre de payer l'électricité presque le double de leur dépenses actuelles en énergie substituable en électricité.

Quant à la disposition pour le paiement de raccordement, on estime qu'il y a la volonté à payer par rapport à leurs capacités à payer.

Néanmoins, il est nécessaire de mener des sensibilisations sur l'utilité, l'usage des frais de raccordement, et sur les textes en vigueur.

II.10.1 Pour les commerces et services

Dans la localité cible on a inventorié 07 épiceries, 04 Eglise, 02 épi-bar, 08 projection de vidéo.

II.10.1.1 Capacité à Payer

Comme pour les ménages, la capacité à payer est évaluée à partir de revenu et les dépenses alloués aux énergies substituables par l'électricité nécessaire pour leurs activités.

Les épiceries sont assimilés à leur ménage qu'il correspondants, se sont l'église, l'épi-bar et la salle de projection de vidéo sont considérer.

Catégorie	Dépenses moyenne en Energies Substituables en électricité (Ar/mois)
épi-bar	50000
projection de vidéo	90000
Eglise	60000

Tableau 20 : Capacité à payer le kWh pour les commerces et services

L'épi-bar, l'église et la projection vidéo utilisent les groupes électrogènes pour leurs activités. Ces groupes remplissent ainsi de multiples usages projection film et éclairage des boutiques.

En effet, on peut en déduire que les commerces et services ont la capacité financière à payer l'électricité.

De plus, ils envisagent d'améliorer leurs activités par l'acquisition des matériels électriques si l'installation des infrastructures électriques sera effective.

II.10.1.2 Volonté à payer

Les commerces et services ont bien cerné la perception des valeurs ajoutée pouvant apporter l'électricité à leurs activités. En effet, leur volonté à payer est plus cohérente.

Nous avons basé notre analyse à partir des «dires ? » Des enquêtes. Les questions posées sont : « Pour quel montant êtes-vous prêt à payer pour le branchement ? Pour la consommation mensuelle de l'électricité ? A quelle fréquence ? »

Ces questionnements nous ont relevé la disposition à Payer de chaque catégorie de ménages pour le raccordement, et pour la consommation mensuelle .

Catégorie	Disposition à Payer le raccordement en moyenne (Ar)	Disposition à Payer la consommation mensuelle (Ar)
épi-bar	40000	50000
projection de vidéo	30000	20000 – 40000
Eglise	40000	20000 – 50000

Tableau 21 : Volonté à payer le kWh pour les commerces et services

La fréquence de facturation souhaitée par les activités génératrices de revenus est la mensualité et avec un comptage classique par compteur.

Les activités génératrices de revenus ont montré leur volonté à payer, mais ils ont bien insisté que leur volonté dépendra de la qualité de service car ils auront besoin des services permettant de développer leurs activités.

II.10.2 Administration

Les institutions publiques souhaitent des paiements mensuel en fonction de la consommation et adapte aux différents procédures des dépenses publics.

Malgré de la disponibilité des panneaux solaires pour certains services publics, il souhaite avoir l'électricité pour qu'ils puissent développer leurs activités. Mais il est difficile d'estimer leur capacité et volonté à payer l'électricité.

II.11 TAUX D'ACCES A L'ELECTRICITE A L'ANNEE 1

II.11.1 Ménages

Nombre de population : 1700

Nombre de ménages : 260

II.11.1.1 Répartition

Vulnérable	35%	91
Moyen	60%	156
Riche	5%	13
TOTALE	100%	260

Tableau 22 : Répartition des ménages dans la localité cibles

II.12 TAUX DE RACCORDEMENT ANNEE 1

Vulnérable	10%	9
Moyen	40%	62
Riche	60%	8

Tableau 23 : Taux de raccordement des ménages en année 1

II.13 NOMBRE DE CLIENTS ANNEE 1

CATEGORIES	NOMBRE
Vulnérable	9
Moyen	62
Riche	8
TOTALE	79
TAUX	30,4%

Tableau 24 : Nombre de clients : ménages année 1

II.13.1 Administration :

ADMINISTRATION		
Désignations	Effectif	NOMBRE DE SALLE
Bureau commune	1	4
CSB II	1	5
Bureau de la Gendarmerie	1	4
EPP	1	4
CEG	1	2
TOTAL	5	19

Tableau 25 : Nombre de clients : Administrations année 1

II.13.2 Commerces et services :

COMMERCES ET SERVICES		
Désignations	Effectif	NOMBRE DE SALLE
Epicerie	7	21
Epi bar	2	4
Salle de projection vidéo	8	8
Eglise	4	9
Marche publique	1	1
TOTAL	22	43

Tableau 26 : Nombre de clients : Commerces et services année 1

II.14 EVALUATION DE LA PUISSANCE A INSTALLER

II.14.1 Etude de scénarios sur la prévision d'évolution de la demande

Les changements les plus probables se situent au niveau du nombre des ménages raccordés.

Le taux de raccordement des ménages et leurs répartitions sont les suivants en fonction des scénarios étudiés :

Scenario		Pessimiste	Probable	Optimiste
Taux d'accès des ménages		15%	31%	45%
Répartition des catégories	RICHE	40%	60%	80%
	MOYEN	20%	40%	60%
	VULNERABLE	2%	10%	20%

Tableau 27 : Etude de scénarios sur la prévision d'évolution de la demande

II.15 L'ECLAIRAGE

II.15.1 L'éclairage chez les ménages non-électrifiées

94% de la population utilisent des torches électriques à pile ou chargeable en solaire, en moyenne 3 torches par ménage, 5% en moyenne s'éclaire déjà à l'aide de systèmes photovoltaïques.

Parmi les ménages interrogés, moins de 1 % d'entre eux utilisent encore la bougie.

II.15.1.1 Statistiques descriptives globales sur les lampes :

Eclairage Actuel	Nb de lampe torches électriques par ménages	Durée moyenne de fonctionnement d'une lampe (en h/jour)	Nb de lampes Total / Nb Total de pièces
	RICHE : 4	3	4
	MOYEN : 2	3	3
	VULNERABLE : 1	3	1
	TOTALE : 7	3	0,875
Eclairage Désiré	Nb de lampes moyen désiré/ ménage	Durée moyenne de fonctionnement désiré d'une lampe (en h/jour)	Nb de lampes désirées/ Nb de pièces
	RICHE : 3	5	4
	MOYEN : 2	5	3

	VULNERABLE : 1	5	1
	TOTALE : 6	5	1

Tableau 28 : Statistiques descriptives globales sur les lampes

On peut estimer d'après ces chiffres que le taux de pièces actuellement éclairées est de 87%. Cependant parmi les lampes utilisées, certaines sont des lampes tempêtes mobiles qui éclairent plusieurs pièces.

II.15.2 Les renseignements sur l'éclairage tirés des ménages déjà électrifiés

Afin d'avoir une idée de l'horizon d'évolution de la situation, il est recommandé de confronter nos données actuelles avec celles des ménages déjà électrifiés.

On apprend des villages déjà électrifiés que parmi le bâtiment déjà abonnés, la répartition de l'éclairage se fait comme suit :

	bâtiment (principal)
% de pièces éclairées dans le bâtiment	91%

Tableau 29 : Les renseignements sur l'éclairage tiré des ménages déjà électrifiés

Au regard de ce chiffre, on peut supposer que la quasi-totalité des pièces du bâtiment principal des nouveaux usagers seront éclairées.

II.15.2.1 L'évolution du nombre de points lumineux

Connaissant le nombre de lampe actuel et souhaité des ménages non-électrifiés, nous pouvons confronter ces données à celles des ménages électrifiés :

D'après l'enquête que nous avons faite, les ménages non électrifiés souhaiteraient passer d'une moyenne actuelle de 2 lampes à 4 lampes avec l'arrivée de l'électricité.

Dans les villages actuellement électrifiés, ces nombres est environ 2-5 lampes.

II.15.3 Les équipements

II.15.3.1 Équipement des villages non-électrifiés

On a constaté d'après notre enquête que 17% de la population utilise la batterie. Les principaux appareils branchés sur batteries sont les téléviseurs mais aussi les radios cassette et parfois un ventilateur. Le taux de pénétration de la télévision est d'environ 9%, quant à celui de la radio il atteint presque 50%.

Les taux de pénétration des appareils actuels et des principaux appareils envisagés à l'achat sont résumés dans le tableau suivant:

Appareil	TV	Radio	Lecteur	Ventilateur	Frigo	Congélateur	Sonorisation	Ordi+Imprimante
Taux de pénétration actuel	0,45%	60%	10%	10%	0,2%	0,2%	1%	0%
Taux d'achat envisagé	40%	6%	25%	5%	1%	3%	5%	1%

Tableau 30 : Les taux de pénétration des appareils actuels et des principaux appareils envisagés à l'achat

II.15.3.2 Diffusion des appareils dans les ménages non électrifiés et désirs d'achat exprimés

Si aujourd'hui les radios ont largement pénétré les populations non électrifiées, c'est la télévision couleur qui est envisagée en priorité d'achat et ensuite le lecteur.

Les ménages ont exprimé par ordre de priorité les appareils qu'ils souhaitent acquérir :

Ordre de priorité d'achat	Appareil 1	Appareil 2	Appareil 3
% de la population concerné	50%	20%	5%

Appareils les plus mentionnés	TV Couleur : 40%	Lecteur : 20%	Canalsat : 2%
	Radio 60%	Frigo: 10%	Ordi+Imprimante: 1%

Tableau 31 : Diffusion des appareils dans les ménages non électrifiés et désirs d'achat exprimés

II.15.3.3 Objectifs exprimés par les ménages en matière d'appareillage

20% de la population n'envisage pas de s'équiper. Seuls 35% des ménages vont jusqu'à souhaiter l'acquisition de 3 appareils et seuls 10% envisagent l'achat de 4 appareils électriques.

Nous verrons que parmi ces ménages, certains n'ont pas un statut socio-économique qui justifie de tels achats.

II.16 ÉQUIPEMENT DES VILLAGES ELECTRIFIES

Le tableau si dessous nous montre l'utilisation des appareils dans les ménages déjà électrifiés.

On constate que la radio et la télévision sont les majeurs appareils que les ménages utilisent.

Population d'appareils dans les ménages déjà électrifiés			
Modalité	Nb moyen d'appareils parmi les ménages qui en ont au moins un	% sur la population totale d'appareils branchés	% de pénétration totale dans les ménages (appareils branchés)
RADIO	1,40	38%	80%
TV	1,10	30%	65%
LECTEUR	1	15%	12%
FRIGO	0,76	7%	5%
ORDI+IMPRIMENTE	0,5	2%	3%

VENTILATEUR	1,5	8%	15%
Ménages n'ayant aucun appareil branché : 6,7%			

Tableau 32 : Équipement des villages électrifiés

III. CHAPITRE III : ETUDE TECHNIQUE

III.1 LE SYSTEME HYBRIDE EOLIENNE-DIESEL

Dans plusieurs pays, l'énergie éolienne est considérée comme la source d'énergie renouvelable la plus prometteuse pour générer l'électricité. Des variétés de machines de différentes conceptions sont utilisées pour une large gamme d'applications. Les éoliennes de petite et moyenne tailles sont les plus utilisées dans les sites isolés et pour les parcs éoliens.

Aussi, l'une des options de la stratégie d'électrification rurale est d'installer des aérogénérateurs, convertir l'électricité en courant alternatif (CA) et de la distribuer aux foyers voisins par mini – réseau local. Les aérogénérateurs peuvent produire de l'énergie à moindre prix, particulièrement dans les régions où le potentiel éolien est important, comme celle de la région Atsimo Andrefana de Madagascar.

Mais cette solution nécessite le recours à un système d'appoint, tel qu'un groupe électrogène (GEG) pour assurer la consommation durant les périodes de forte consommation ou pic de charge. Il est aussi nécessaire de faire face aux fluctuations de la vitesse du vent en utilisant un dispositif de stockage (batterie d'accumulateurs).

Avant d'installer un système Aérogénérateur/Groupe électrogène dans un site, une étude du système apparaît extrêmement utile pour déterminer la taille et la puissance optimale de l'aérogénérateur, la stratégie du contrôle du fonctionnement, les performances et la rentabilité économique du système.

L'objectif de cette étude est l'installation d'un système hybride Aérogénérateur/Groupe électrogène, équipé d'un dispositif de stockage, et fournissant un courant alternatif (CA). Le système est constitué d'un aéromoteur de puissance nominale 10KW. Il est nécessaire de placer tout d'abord un convertisseur pour transformer le courant alternatif (CA) en courant continu (CC) de basse tension, entre l'alternateur et l'onduleur, et

même entre le groupe électrogène (GEG) et les batteries. Le courant continu (CC) qui passe par l'onduleur dépend du CA, de l'utilisation à servir à chaque instant, et l'équilibre entre les deux courants est assuré par les batteries connectées en parallèles.

Le système fonctionne de la manière suivante :

Raccordés à un parc de batteries, les onduleurs pour site isolé tels que le Sunny Island forment le réseau CA du système. Ils assurent la régulation de la tension et de la fréquence côté CA. Des consommateurs ainsi que des générateurs sont directement reliés au réseau CA. Quand l'énergie éolienne dépasse la demande, l'onduleur prélève de l'énergie dans le réseau CA afin de charger les batteries. À l'inverse, en cas de pénurie d'énergie (pas ou très peu de vent et consommation élevée), le Sunny Island alimente le réseau à partir des batteries. Par ailleurs, si l'état de charge des batteries devient faible et que la vitesse de vent disponible est insuffisant, le groupe électrogène (GEG) démarre. L'excès d'énergie du GEG et l'énergie éolienne chargent les batteries.

L'architecture retenue est du type AC.

Le couplage de tous les consommateurs et générateurs côté AC (figure) offre un avantage décisif :

Les systèmes peuvent être mis en œuvre et complétés de façon souple et modulaire, à l'aide de composants standard.

Selon l'application et les sources d'énergie disponibles, des énergies renouvelables mais aussi classiques peuvent être incorporées. Cela peut notamment s'avérer utile lorsque la structure du réseau est fragile. Les sources d'énergie raccordées chargent les batteries et fournissent de l'énergie le cas échéant.

Un raccordement au réseau public est possible si les onduleurs et les groupes électrogènes utilisés le permettent. Le système peut être facilement complété par des générateurs de courant supplémentaires, ce qui lui permet de faire face à une hausse des besoins d'énergie. La puissance des sources AC additionnelles se cumule côté AC.

Les installations à couplage AC peuvent alimenter des consommateurs à courant alternatif classiques. Elles sont donc particulièrement adaptées aux zones rurales des pays en voie de développement.

La structure de ces systèmes d'alimentation ne nécessite pas d'unité de contrôle et de surveillance supplémentaire dans la plage de puissance intermédiaire (1 à 300 KW). L'onduleur chargeur, par exemple un Sunny Island, vérifie automatiquement la disponibilité du réseau et des composants, ce qui simplifie l'exploitation du système et réduit les coûts d'investissement.

D'un point de vue économique, les systèmes en site isolé avec parc de batteries sont nettement plus avantageux dans une plage de puissance limitée que les installations alimentées exclusivement par des générateurs diesel. Même les systèmes hybrides de taille importante, dans lesquels le générateur diesel ne sert qu'à éviter une accumulation prolongée dans les batteries, peuvent être exploités à des coûts inférieurs à ceux des systèmes alimentés exclusivement par des groupes électrogènes diesel. Ceci est dû au travail de maintenance important, à la longévité restreinte et au très mauvais rendement en charge partielle des générateurs diesel.

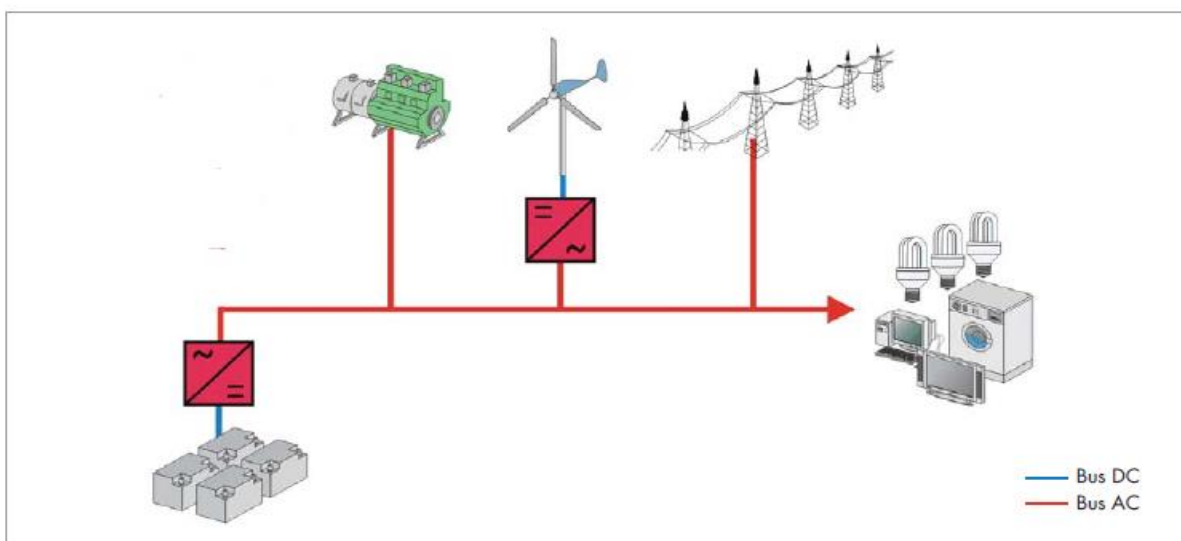


Figure 7 : Système hybride avec composants à couplage AC

Avantages du couplage AC

- Structure 100 % compatible avec le réseau public
- Installation simple permettant l'utilisation des composants domestiques standards
- Cumul de puissance de tous les composants injectant de l'électricité dans le réseau
- Évolutif à souhait, même pour les systèmes plus imposants (de 1 KW jusqu'au mégawatt)
- Facilement extensible
- Combinable avec des générateurs en réseau parallèle et sur le même réseau (groupes électrogènes diesel, petites centrales hydroélectriques, installations photovoltaïques, etc.)
- Fiabilité maximale grâce à la structure redondante du système

III.2 COMPOSANTS

Exploitant une source d'énergie renouvelable, le générateur éolien représente un composant central du système. Le générateur à moteur thermique (générateurs diesel) assure une alimentation complémentaire.

Au sein des installations en site isolé, on distingue généralement les systèmes DC et AC. Dans les systèmes à couplage DC, le générateur éolien est intégré à l'installation par le biais de régulateurs de charge AC/DC spéciaux, tandis qu'en couplage AC, un onduleur classique est utilisé pour l'injection dans le réseau.

III.2.1 Les générateurs éoliens : L'énergie provenant des vents

Les systèmes éoliens transforment l'énergie cinétique du vent en énergie de rotation du rotor. Le rotor qui est connecté à l'arbre principal transporte l'énergie à une génératrice produisant de l'électricité. Ce couplage mécanique peut être soit direct si la vitesse de la turbine et la génératrice sont du même ordre de grandeur ou réalisé par l'intermédiaire d'un multiplicateur dans le cas contraire.

Les composants les plus importants des systèmes éoliens sont les pales, le multiplicateur, le générateur, le transformateur et l'interface de puissance. En raison des variations des vents, l'électricité provenant des éoliennes n'assure pas une puissance constante ce qui oblige à utiliser des systèmes de stockage comme un autre élément important.

III.2.1.1 Les types d'aérogénérateurs

Il existe deux grandes catégories d'éoliennes selon la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice :

- ✓ les turbines éoliennes à axe horizontal.
- ✓ les turbines éoliennes à axe vertical.



1. Eoliennes à axe horizontal



2. Eoliennes à axe vertical

Figure 8 Technologies d'éoliennes

Pour notre cas, on utilise la première technologie.

III.2.1.2 L'Eoliennes à axe horizontal

Ces machines sont les descendantes directes des moulins à vent sur lesquels les ailes ont été remplacées par des éléments ressemblant fortement à des ailes d'avion. La portance de ces ailes génère un couple moteur destiné à entraîner un dispositif mécanique tel qu'une génératrice électrique, une pompe, etc.

Deux types de configuration peuvent être rencontrés : les éoliennes « amont », sur lesquelles les pales sont situées du côté de la tour exposé au vent, et les éoliennes « aval ».

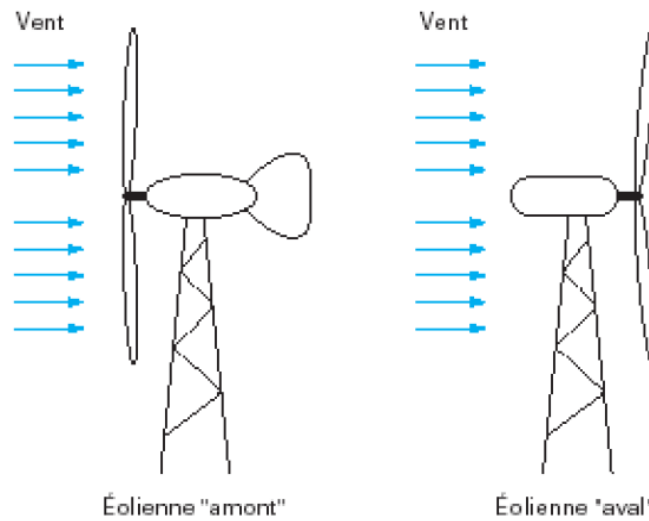


Figure 9 Configurations à axe horizontal : A- éolienne face au vent. B- éolienne sous le vent.

III.2.1.3 Choix de technologie de l'éolienne

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus employées car leur rendement aérodynamique est supérieur à celui des éoliennes à axe vertical, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et ont un coût moins important.

III.2.1.4 Architecture d'une éolienne à axe horizontale

On peut considérer trois composants essentiels dans une éolienne, le rotor, la nacelle et la tour.

III.2.1.5 Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne

Une turbine éolienne est dimensionnée pour développer une puissance nominale P_n à partir d'une vitesse de vent nominale V_n . Pour des vitesses de vents supérieures à V_n , la turbine éolienne doit modifier ses paramètres aérodynamiques afin d'éviter les surcharges mécaniques (turbines, mat et structure), de sorte que la puissance récupérée par la turbine ne dépasse pas la puissance nominale pour laquelle l'éolienne a été conçue. Il y a d'autres grandeurs dimensionnantes : V_d la vitesse du vent à partir de laquelle l'éolienne commence à fournir de l'énergie et V_M la vitesse maximale de vent au-delà de laquelle l'éolienne doit être stoppée pour des raisons de sûreté de fonctionnement.

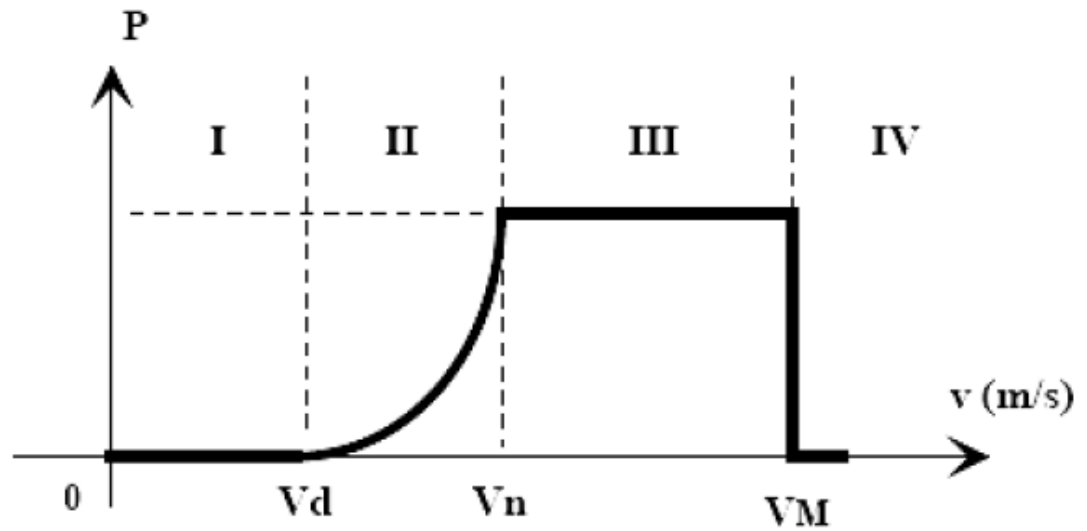


Figure 10 Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.

Ainsi la caractéristique de puissance en fonction de la vitesse du vent comporte quatre zones :

- la zone I, où $P_{\text{turbine}} = 0$ (la turbine ne fournit pas de puissance) ;
- la zone II, dans laquelle la puissance fournie sur l'arbre dépend de la vitesse du vent V ;
- la zone III, où généralement la vitesse de rotation est maintenue constante par un dispositif de régulation et où la puissance P_{turbine} fournie reste sensiblement égale à P_n ;
- la zone IV, dans laquelle le système de sûreté du fonctionnement arrête la rotation et le transfert de l'énergie.

La plupart des grandes turbines éoliennes utilisent deux principes de contrôle aérodynamique pour limiter la puissance extraite à la valeur de la puissance nominale de la génératrice :

- système « pitch » ou « à pas ou calage variable » qui permet d'ajuster la portance des pales à la vitesse du vent, principalement pour maintenir une puissance sensiblement constante dans la zone III de vitesses ;
- système « stall » ou à « décrochage aérodynamique », le plus robuste car c'est la forme des pales qui conduit à une perte de portance au-delà d'une certaine vitesse de vent, mais la courbe de puissance maximale n'est pas plate et chute plus vite. Il s'agit donc d'une solution passive et robuste (pas besoin de système d'orientation des pales). Chez certains fabricants de grandes machines, un système hybride se développe, le « stall actif », dans lequel le décrochage aérodynamique est obtenu progressivement grâce à une orientation minime des pales nécessitant des moyens de réglage plus économiques et plus robustes que dans le système pitch. D'autres systèmes de régulation, dans les petites éoliennes notamment, sont exploités :

- ✓ basculement (relèvement) de l'axe, normalement horizontal ;
- ✓ pas variable par la pression du vent (modèle Airwind : les pales en fibre, se déforment et provoquent un décrochage) ;
- ✓ déviation par rapport à l'axe du vent. La dérive se trouve légèrement décalée par rapport à l'axe de rotation vertical (qui permet normalement à la turbine d'être face au vent) et crée une force de déviation qui régule la puissance aérodynamique (la turbine reçoit un vent de travers).

III.2.1.6 Conversion électrique d'énergie éolienne

III.2.1.7 Machines électriques et systèmes de conversion d'énergie éolienne

Il existe sur le marché plusieurs types de machines électriques qui peuvent jouer le rôle de génératrice dans un système aérogénérateur qui demande des caractéristiques très spécifiques. Le cahier des charges pour une génératrice éolienne varie selon le type et les dimensions géométriques de la voilure.

Les machines électriques asynchrones sont les plus simples à fabriquer et les moins coûteuses. Mais elles présentent le défaut d'imposer la présence d'un multiplicateur de vitesse. Elles sont en effet bien adaptées à des vitesses de rotation relativement importantes et un couple insuffisant pour un couplage mécanique direct sur les voilures éoliennes. Par contre, les machines synchrones sont connues pour offrir des couples très importants aux dimensions géométriques convenables. Elles peuvent donc être utilisées en entraînement direct sur les turbines éoliennes.

III.2.1.8 Machines synchrones à aimants permanents

Le développement des matériaux magnétiques a permis la construction de machines synchrones à aimants permanents à des coûts qui deviennent compétitifs. Les machines de ce type sont à grand nombre de pôles et permettent de développer des couples mécaniques considérables. Il existe plusieurs concepts de machines synchrones à aimants permanents dédiées aux applications éoliennes, des machines de construction standard (aimantation radiale) aux génératrices discoïdes (champs axial), ou encore à rotor extérieur.

Le couplage de ces machines avec l'électronique de puissance devient de plus en plus viable économiquement, ce qui en fait un concurrent sérieux des génératrices asynchrones à double alimentation. Les systèmes de ce type ont un taux de défaillance jugé faible grâce à la suppression de certaines sources de défauts : suppression du multiplicateur de vitesse et du

système de bagues et balais pour les génératrices à aimants. Les frais d'entretien sont alors minimisés ce qui est très intéressant dans les applications éoliennes, en particulier dans les sites difficilement accessibles.

La figure 11 montre une solution originale et de faible coût pour associer un aérogénérateur à un tel système. La génératrice est de type synchrone à aimants permanents (entraînement direct comme il s'agit de puissances modestes) débitant directement, à travers un pont de diodes triphasé, sur le bus continu et l'accumulateur électrochimique.

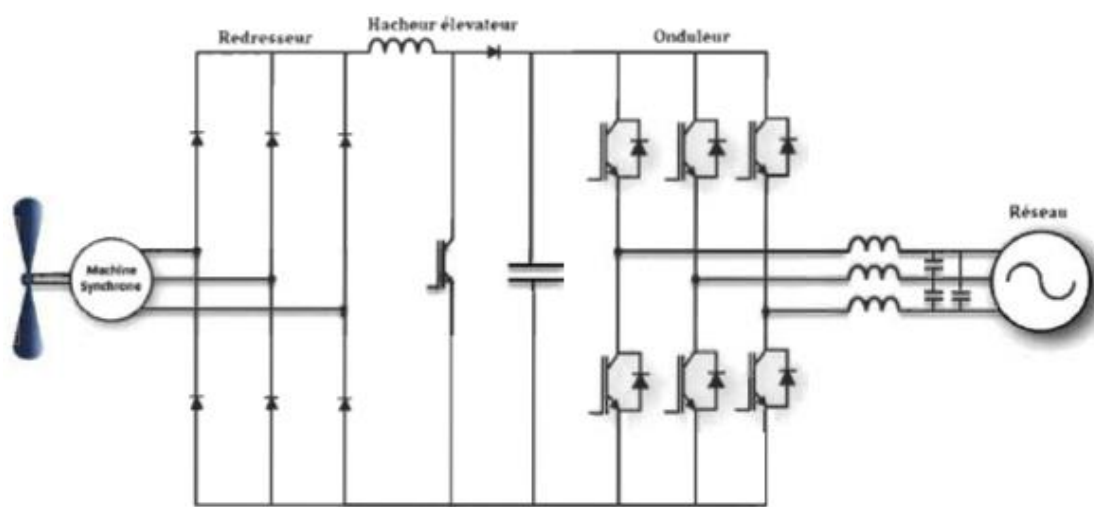


Figure 11 topologies typiques d'interface de puissance pour système éolien avec générateur à aimants permanents synchrone

Le débit direct (à travers un simple redresseur en pont à diodes) de la machine synchrone sur une source de tension continue peut surprendre. En fait, c'est grâce à l'inductance d'induit de la machine synchrone de forte valeur que les courants restent proches des formes sinusoïdales et que les rendements de conversion sont corrects.

III.2.2 Onduleur pour site isolé :

III.2.2.1 Rôle et caractéristiques d'un onduleur pour site isolé

L'onduleur pour site isolé ou l'onduleur chargeur constitue le centre nerveux d'un système à couplage AC. Il garantit en permanence l'équilibre entre puissance produite et consommée. Si la production dépasse la consommation, l'énergie excédentaire est stockée dans les batteries. Inversement, si la quantité d'énergie requise est supérieure à celle produite, l'onduleur puise dans les batteries.

Direction du flux d'énergie	Bidirectionnel
Fonctionnalités	Gestion des batteries, du générateur et

	des charges, tension réseau sinusoïdale
Capacité de surcharge	environ 300 % (protégé contre le court-circuit)
Puissance active/réactive	Charges à facteur de puissance variable
Tension DC caractéristique	12 V, 24 V, 48 V

Tableau 33 : Rôle et caractéristiques d'un onduleur pour site isolé

L'onduleur chargeur Sunny Island (on utilise pour notre système le type 5048, que l'on voit en détaille leur caractéristique dans le paragraphe concernant leur dimensionnement) possède toutes les caractéristiques requises pour une gestion fiable du système. Très souple à mettre en œuvre, il offre également de toutes nouvelles possibilités de conception de systèmes autonomes à couplage AC.

L'onduleur chargeur Sunny Island :

- Idéal pour les systèmes d'approvisionnement en énergie de 1 kW à plus de 100 kW
- Facilement raccordable en parallèle en mode monophasé et/ou triphasé
- Évolutif et modulable
- Excellentes propriétés de surcharge
- Utilisable dans des conditions climatiques extrêmes
- Gestion des batteries optimale avec détermination de leur état de charge pour une longévité maximale
- Intégration économique d'appareils standards à courant alternatif, de systèmes exploitant des sources d'énergie renouvelables et de générateurs
- Mise en service simple

III.3 EQUIPEMENTS ELECTROMECHANIQUES

La mise en œuvre d'unités de production d'énergie électrique, sur site isolé à partir de ressources renouvelables, n'est pas chose aisée. En effet, en raison de la diversité des composantes, et surtout du caractère très imprévisible de la ressource (vent, rayonnement solaire, etc.), l'opération peut s'avérer délicate. La méthodologie de dimensionnement pour un site donné consiste à :

- Déterminer le profil de charge (de la demande) à partir d'une estimation des besoins des populations.
- Évaluer la ressource énergétique disponible sur le site ; déterminer les composants du système (nombre, coût, etc.)
- En déduire la meilleure combinaison pour le système.

III.4 EVALUATION DU POTENTIEL RENOUVELABLE

Le choix de cette architecture est motivé par des contraintes liées au potentiel énergétique du site.

Durant la descente sur terrain, on constate qu'aucun site hydroélectrique n'est identifié dans la zone d'étude. Par ailleurs, l'existence de la ressource éolienne et solaire est intéressante et en qualité exploitables.

On a comparé ces deux ressources, et on a constaté que la ressource du vent est plus avantageux par rapport à celle du solaire ; donc on choisit comme base l'énergie du vent pour source d'énergie pour alimenter en électricité la commune rurale de Soamanonga.

La vitesse moyenne mensuelle dans la zone est représentée comme suit :

Mois	Vitesse du vent m/s
Janvier	3,6
Février	4,0
Mars	3,7
Avril	3,8
Mai	3,7
Juin	4,0
Juillet	4,0
Aout	4,2

Septembre	4,3
Octobre	4,2
Novembre	4,0
décembre	3,6
Moyenne Annuel	3,9

Tableau 34 : Vitesse du vent m/s source NASA

III.5 DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE PRODUCTION

La conception d'un système d'énergie hybride (SEH) exige la sélection et le dimensionnement de la combinaison la plus appropriée des différents composants du système, ainsi que l'implémentation d'une stratégie de fonctionnement efficace.

Les principaux facteurs pour le dimensionnement sont :

- les conditions environnementales du site (vitesse du vent, ensoleillement, température, humidité) ;
- le profil de la courbe de charge (consommation) ;
- les ressources financières ;
- la disponibilité de la technologie et le support technique.

Le dimensionnement de la batterie est basé sur la demande durant l'année 7 du projet. On choisit cette période par raison de la durée de vie des matériels tel que pour les batteries comprises environ entre 5 à 10 ans (Les batteries solaires de qualité ont une durée de vie de plus de 500 cycles, soit de 7 ans jusqu'à 15 ans.) et pour les autres (turbines éoliennes, onduleurs, et groupe électrogène) la dernière année du projet c'est-à-dire de l'année 15 pour éviter le rachat des matériels car la durée de vie de ses matériels sont tous supérieurs à l'horizon du projet (15 ans).

Voici l'Histogramme de charge journalière pour l'année 7 et 15 du projet :

Histogramme des charges journalière année 07

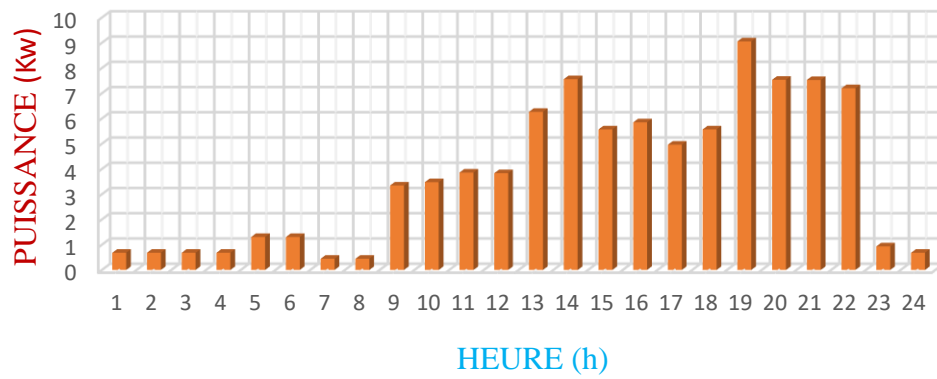


Figure 12 : Histogramme de charge journalière année 07 du projet

Histogramme des charges journalière année 15

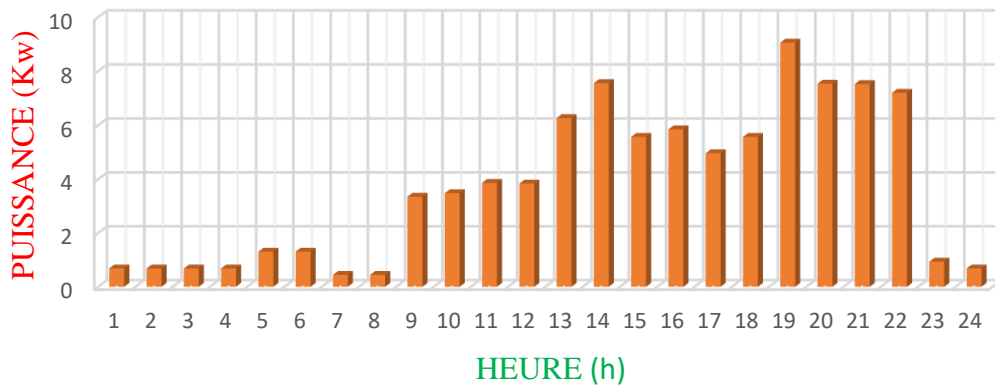


Figure 13 : Histogramme de charge journalière année 15 du projet

III.6 RECAPITULATION DE LA DEMANDE

LOCALITE	Puissance maximale jour		Puissance maximale Nuit		Energie totale annuel		
	en Kw		en Kw		en Kwh		
SOAMANONGA	Année 7						
	7,43		8,89		27006		
	Année 15						
	8,54		10,32		30780		

Tableau 35 : Récapitulation de la demande en termes de puissance et d'énergie

III.6.1 Distribution de Weibull

La connaissance de la distribution de fréquence de vitesse du vent est un facteur très important d'évaluer le potentiel éolien en les zones venteuses. Le modèle le plus utilise pour traduire la variation des vitesses de vent est la loi de distribution de Weibull. Sa densité de probabilité se présente sous la forme :

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (\text{III.1})$$

($k > 0$, $v > 0$, $c > 1$)

En assimilant les fréquences aux probabilités, la densité de probabilité $f(V)$ représente la distribution en fréquences des vitesses mesurées. K et c sont des paramètres appelés communément les paramètres de Weibull. Le paramètre k (facteur de forme) est sans dimension et caractérise la forme de la distribution de fréquence alors que c détermine la qualité du vent (facteur d'échelle). Ce dernier a la dimension d'une vitesse. La détermination de ces paramètres permet la connaissance de la distribution des vents pour un site donne.

Voici la distribution de Weibull de la vitesse de vent pour la région de Soamanonga

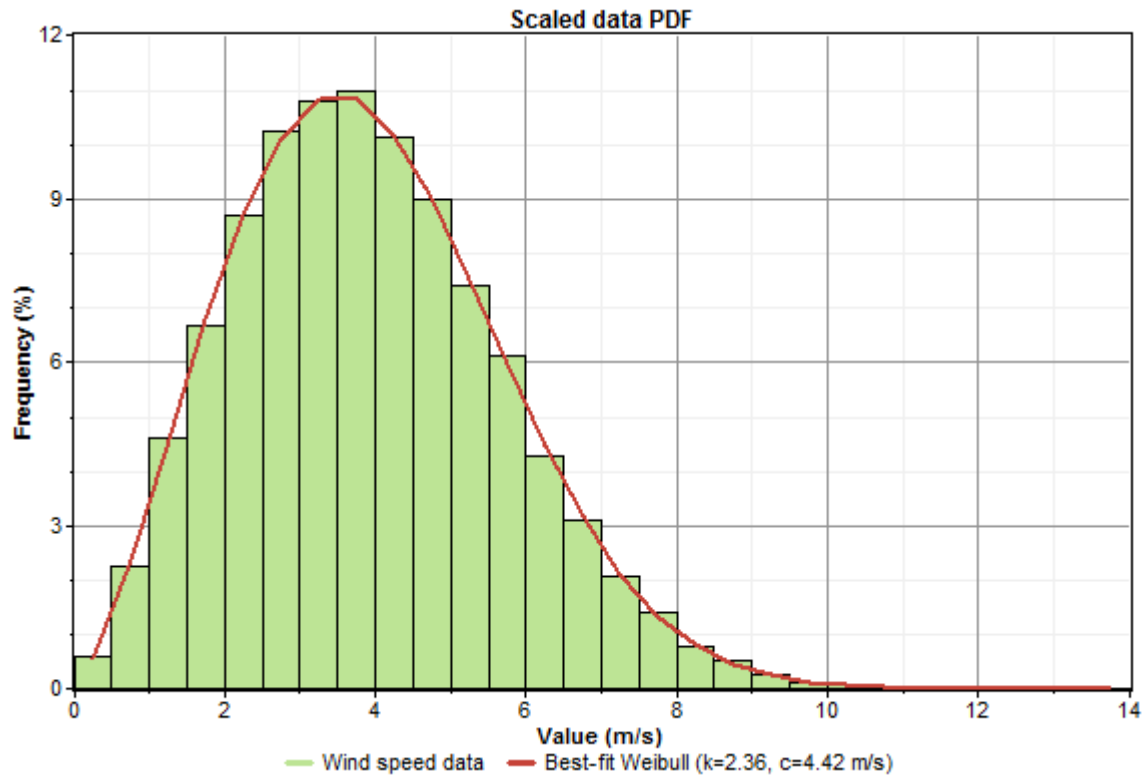


Figure 14 : Distribution de Weibull de la vitesse de vent pour la région de Soamanonga (source simulation par HOMER)

III.6.2 Extrapolation verticale des vitesses du vent :

En effectuant la caractérisation d'un site éolien, il est impératif de connaître la hauteur sur laquelle les mesures sont prises et ensuite adapter les résultats à la hauteur de mat de l'éolienne. En effet, la vitesse du vent augmente selon la hauteur. La méthode la plus utilisée pour l'extrapolation de ces vitesses à une hauteur différente de celle de mesure est celle utilisant la loi de puissance qui est définie par l'expression :

$$V_{(H)} = V_{(H_m)} \left(\frac{H}{H_m} \right)^\alpha \quad (\text{III.2})$$

Avec :

$V_{(H_m)}$ et $V_{(H)}$ sont respectivement la vitesse du vent à la hauteur des mesures et la vitesse du vent à la hauteur H .

H est la hauteur à laquelle le vent est estimé (hauteur du moyeu de l'éolienne)

H_m est la hauteur des appareils de mesure (généralement 10 m)

α : représente la rugosité du sol

III.7 POUR L'AÉROGÉNÉRATEUR

III.7.1 Energie produite par un aérogénérateur

Un aérogénérateur est caractérisé par sa courbe de puissance qui représente la variation de la puissance électrique produite en fonction des différentes classes de vitesse du vent. Ainsi, dans un site donné, on peut déterminer l'énergie effective, E (kWh), produite par l'aérogénérateur en multipliant les fréquences des différentes classes de la vitesse du vent par les puissances correspondantes et en faisant la somme sur la période considérée. Soit :

$$E = \frac{T}{1000} \sum_{i=1}^N P(V_i) f(V_i) \quad [\text{KWh}] \quad (\text{III.3})$$

Avec

T : période de temps en heures,

$P(V_i)$: puissance de l'aérogénérateur correspondante à la classe de vitesse V_i ,

$f(V_i)$: fréquence de la vitesse V_i du vent.

Cette méthode de calcul sera utilisée pour déterminer la productibilité éolienne annuelle de l'aérogénérateur de type ReDriven 10 kW fonctionnant sous différents régime du vent. Leurs caractéristiques sont données dans l'annexe.

Pour une valeur moyenne annuelle du vent égale à 9,4 m/s à une altitude de 18 m de hauteur.

Le calcul est fait par un logiciel élaborer en Excel (voire aperçus en annexe). Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau suivant :

Nombre d'éoliennes ReDriven 10kW	Energie Produite en une année (kWh/an)	Besoin énergétiques pour l'année15 (kWh/an)
1	56800,2	32938

Tableau 36 : Nombre d'éoliennes ReDriven 10kW en fonction du Besoin énergétiques pour l'année15 (kWh/an)

Le courbe suivant montre le courbe de puissance et d'énergie produire par l'éolienne ReDreven 10kW en fonction de la vitesse du vent dans le village de Soamanonga.

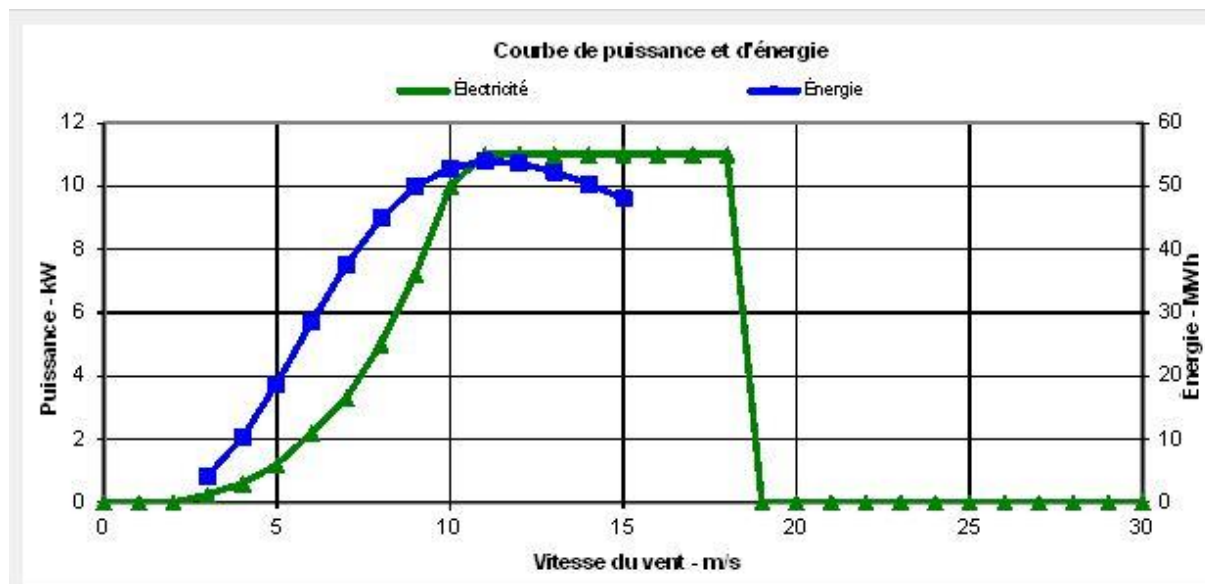


Figure 15 : La courbe de puissance et d'énergie produire par l'éolienne ReDreven 10kW en fonction de la vitesse du vent dans le village de Soamanonga (source : simulation par RETScreen)

III.8 CHOIX DE LA TENSION NOMINALE DU SYSTEME

Après avoir recensé les différents appareils de l'installation, les caractéristiques électriques (puissance, tension, type de courant CC ou AC) et le temps susceptible d'utilisation journalière préconisé par le client, après avoir dressé le bilan de puissance estimatif en prenant compte des rendements (convertisseur, onduleur) nous choisissons la tension du système en fonction de la puissance .

Puissance de l'installation (kWc)	0-0.5	0.5-2	2-10	>10
Tension recommandée (DC) (V)	12	24	48	> 48

Tableau 37 : Tension nominale du système en fonction de la puissance

III.9 LE SYSTEME DE STOCKAGE : BATTERIES

Il est possible d'assurer la fourniture de toute l'énergie nécessaire au site directement par le générateur, cependant, dans le but de minimiser le fonctionnement du générateur diesel et par suite les émissions des gaz, il est judicieux de rajouter un système de stockage d'énergie. Cela nous permet d'exploiter au maximum les ressources renouvelables disponibles en rechargeant les batteries par ce dernier (éolienne). Enfin, dans le cas d'une brusque demande d'électricité, le stockage remplit la fonction de source « tampon », en attendant que le groupe démarre et prenne le relais de la fourniture. Le cas échéant, les batteries sont rechargées par le générateur diesel.

La batterie utilisée est de type HOPPECKE 26 OPZS Solar. Power - 2V 4700 Ah à C100 et 4000 à C10. Leurs caractéristiques est donnée en annexe.

Les étapes de calcul se déroulent comme suit :

- On calcule les besoins journalier en [Ah/j]

Bj (Ah/j)	Eelec	Vnom
2070	99359	48

Avec :

Eelec : demande énergétique en [Wh/j]

Vnom : tension nominale du système en [V]

Bj : les besoins journalier en [Ah/j]

- Calcul de la capacité des batteries :

Cah(Ah)	Nja	Bj
4140	2	2070

Avec :

Cah : capacité en [Ah]

Nja : nombre de jours d'autonomie nécessaires en [jours]

Bj : besoin journalier en [Ah]

- Capacité nominale :

Cnom (Ah)	Pd	Rt	Bj	Nja
5750	0,9	0,8	2070	2

Avec :

Cnom : capacité nominale en [Ah]

Pd : profondeur de décharge maximale autorisée

Rt : coefficient réducteur tant compte de la température

- Nombre de batteries global :

Nombre de batteries en série (Vnom) :

Nbs	Vn	Vbat
24	48	2

Avec :

Nbs : le nombre de batterie en serie

Vn : tension nominale du réseau en [V]

Vbat : tension de la batterie en [V]

Nombre de batteries en parallèle (Cnom) :

Nbp	CT	Cn
1	5750	4700

Avec :

Nbp : Nombre de batteries en parallèle

CT : capacité total du parc de batterie en [Ah]

Cn : capacité nominale d'une seule batterie en [Ah]

Nombre de batteries totales :

Nbatt	Nbs	Nbp
29	24	1

III.10 LE GENERATEUR DIESEL :

En vue du caractère non régulier des ressources renouvelables, un générateur Diesel est nécessaire comme un système d'appoint. Le générateur choisi est de type XP-T16K-ALIZE du constructeur SDMO, il développe une puissance maximale de 12,8 kW- 16,00 kVA, Le capotage du groupe est de type insonorisé.

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

La puissance nominale du GD doit être supérieure à la puissance moyenne de consommation du site, afin de ne pas risquer une surcharge à l'appareil et son endommagement irréversible. D'un autre côté, prendre trop gros induit une grande consommation de carburant par rapport aux besoins.

La puissance nominale du GD doit être supérieure aussi à la puissance du pic et à la puissance de démarrage de certains appareils (réfrigérateur,...).

III.10.1 Méthode de calcul :

- Puissance maximale [kW] :

$$PGE_max = (Pp * fP) / ft$$

Avec :

Pp Puissance de pointe [kW]

f_P facteur sur la puissance de pointe = 1,2

f_t facteur de pertes (transport) = 0,93

P _{max} (kW)	P _p	f _p	f _t
14	11	1,2	0,93

Puissance appelée [KVA]

$$P_{app} = P_{GE_max} / 0,9$$

P _{app} [KVA]	P _{GE_max}	η
16	14	0,9

Voir en annexe la caractéristique du groupe électrogène utilisée.

III.11 LES CONVERTISSEURS :

Afin d'adapter la forme de l'énergie électrique délivrée par un composant de l'installation en fonction de l'application visée, un convertisseur statique lui sera nécessairement connecté.

Les onduleurs jouent un rôle clé au regard de l'efficacité énergétique et de la fiabilité. Dans le cas d'un générateur éolien, leur rôle est de transformer le courant continu donné par le générateur en courant alternatif de tension et de fréquence souhaitée (dans notre cas 230 V et 50 Hz). De plus, les onduleurs doivent assurer une surveillance fiable du réseau pour le protéger contre les défaillances et interrompre l'alimentation en cas d'erreurs du réseau.

Pour notre cas, le générateur diesel est connecté sur le bus CA. L'onduleur est bidirectionnel permettant la charge des batteries depuis le bus CA, sa puissance doit être proche de celle du GD.

III.11.1 Convertisseur bidirectionnel pour les batteries : Sunny Island 5048

Un convertisseur bidirectionnel (AC/DC redresseur, DC/AC onduleur) est nécessaire pour assurer la conversion du courant DC, délivré par la batterie, au courant AC pour alimenter les bus (fonction onduleur), et inversement pour la charger des batteries à partir des bus AC (fonction redresseur). Ce convertisseur est de type **SMA Sunny Island 5048** dont les caractéristiques sont résumées sur le tableau. En plus de la conversion, il assure les tâches suivantes :

- Contrôle de la fréquence et du potentiel,
- Contrôle de l'état de charge et/ou décharge des batteries (augmente ainsi la durée de vie),
- Connexion et déconnexion des charges en cas de surcharge,
- Assure la connexion avec plusieurs sources,
- Contrôle du fonctionnement d'autres Sunny Island,
- Stockage des informations (carte MMC),
- Assure les fonctions de protection et de sécurité (court-circuit, sur courant, température excessive,...).

III.11.1.1 Caractéristiques techniques

Sortie AC (consommateur)	
Tension nominale AC (réglable)	230 V (202 V – 253 V)
Fréquence nominale AC (réglable)	50 Hz / 60 Hz (45 Hz – 65 Hz)
Puissance continue AC à 25 °C / 45 °C	5000 W / 4000 W
Puissance AC à 25 °C pendant 30 min / 1 min / 3 s	6500 W / 8400 W / 12000 W
Courant nominal AC / Courant AC max.	21,7 A / 120 A pendant 60 ms
Coefficient de distorsion harmonique tension de sortie / Facteur de puissance (cos φ)	< 3 % / -1 à +1



Entrée AC (générateur ou réseau)	
Tension d'entrée (plage)	230 V (172,5 V – 264,5 V)
Fréquence d'entrée (plage)	50 Hz / 60 Hz (40 Hz – 70 Hz)
Courant d'entrée max. (réglable) / Puissance d'entrée max.	56 A (0 A – 56 A) / 12,8 kW
Entrée DC batterie	
Tension de la batterie (plage)	48 V (41 V – 63 V)
Courant de charge de la batterie max. / Courant de charge continu à 25 °C	120 A / 100 A
Type de batterie / Capacité de la batterie (plage)	Plomb, NiCd / 100 Ah – 10000 Ah
Régulation de charge	Processus IUoU
Rendement / Autoconsommation	
Rendement max.	95 %
Autoconsommation sans charge / veille	25 W / 4 W
Dispositifs de protection	
Protection inversion de polarité DC / Fusible DC	Oui / Oui
Court-circuit AC / Surcharge AC	Oui / Oui
Surchauffe / Décharge excessive de la batterie	Oui / Oui
Caractéristiques générales	

Dimensions (L / H / P) en mm	467 / 612 / 235
Poids	63 kg
Plage de températures de fonctionnement	-25 °C ... +50 °C
Indice de protection (selon CEI 60529)	Montage intérieur (IP30)
Équipements et fonctions	
Commande et affichage / Relais multifonction	Interne / 2
Systèmes triphasés / Montage en parallèle	Oui / Oui
Bypass intégré / Fonctionnement multibloc	—/ Oui
Calcul de l'état de charge / Pleine charge / Charge d'égalisation	Oui / Oui / Oui
Démarrage progressif intégré / Support du générateur	Oui / Oui
Capteur de température de la batterie / Câbles de communication	Oui / Oui
Garantie : 5 ans / 10 ans / 15 ans / 20 ans / 25 ans	Oui / En option / En option / En option / En option
Certificats et homologations	www.SMA-Solar.com
Accessoires	
Câbles de batterie / Fusibles de batterie	En option / En option
Interfaces (RS485 PB / Blocs multiples PB)	En option / En option
"Démarrage étendu du générateur ""GenMan"" "	En option
Disjoncteur de délestage / Mesure du courant de batterie externe	En option / En option

Tableau 38 : Caractéristiques techniques du Convertisseur bidirectionnel Sunny Island 5048

Voici le schéma de l'onduleur Sunny Island 5048 :

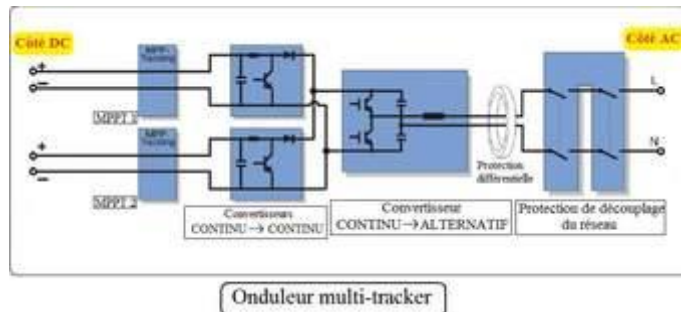


Figure 16 : l'onduleur Sunny Island 5048

III.11.2 Onduleurs pour la turbine WB 6000 (SMA Windy Boy)

Le rôle de cet onduleur est de convertir le courant DC variable à la sortie du redresseur intégré avec la turbine en courant AC à 220 Vac et 50 Hz pour alimenter les bus. La puissance de chaque onduleur est de 6 kW (total 18 kW). Trois WB 6000 seront installés, chacun développe une phase.

III.11.2.1 Modèle SMA WB 6000A

Tension d'entrée (MPP range)	119 - 250 V
Tension max. en circuit ouvert	250 V
Courant d'entrée max.	7 A
Puissance de générateur recommandée pour 2500 heures de pleine charge	4500 W
Puissance de générateur recommandée pour 5000 heures de pleine charge	5000 W
Tension de sortie	230 V
Fréquence réseau	50 Hz \pm 4.5 Hz

Ondulation de tension CC	< 10 %
Rendement	96.1 %
Auto-consommation de nuit (en mode veille)	0.10 W
Température ambiante	-25 à +60 °C
Humidité	0 à 98 %, sans condensation
Evacuation de la chaleur	Ventilateur OptiCool
Type de protection	IP65
Conception du circuit	Transformateur basse fréquence, monophasé
Surveillance réseau	ENS selon VDE 0126
Disjoncteur à courant de défaut	Disjoncteur à courant de défaut selon VDE 0126
Affichage	Ecran LCD à deux lignes
Boîtier	Aluminium
Dimensions (l / H / P)	322 mm / 290 mm / 180 mm
Poids	16 kg
Garantie	5 ans
Normes	Marquage CE, VDE 0126

Tableau 39 : Caractéristiques technique de l'onduleur WB 6000A

Voici le schéma de l'onduleur Windy Boy 6000A

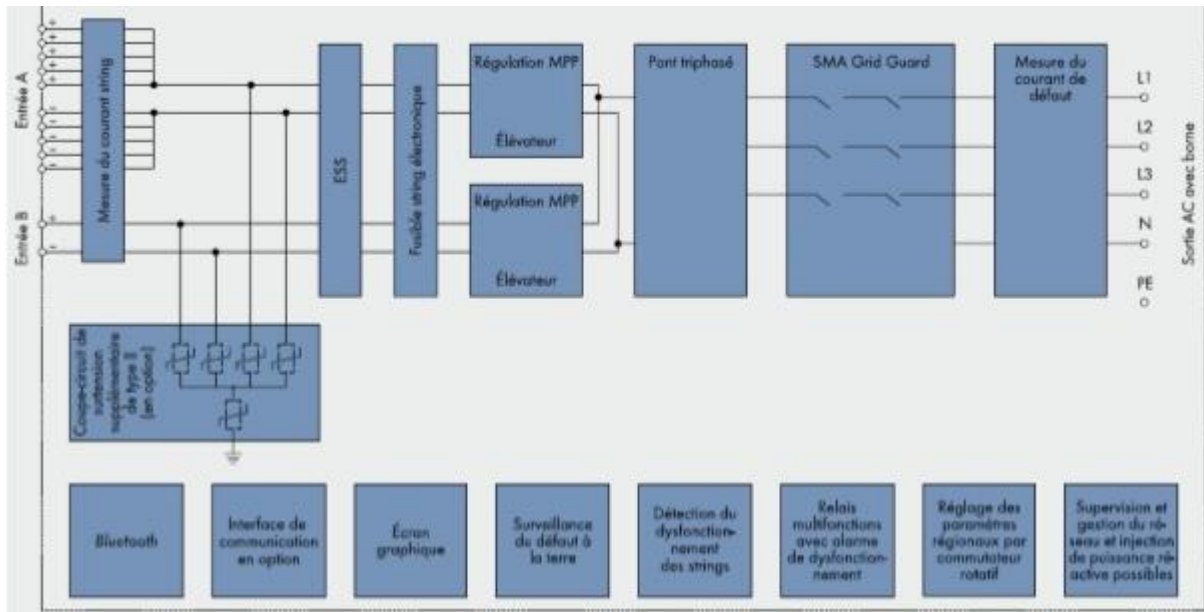


Figure 17 : l'onduleur WB 6000A

III.12 SYNTHÈSE DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION

Nombre d'éoliennes ReDriven 10kW	Nombre de batterie		Nombre Total de batterie	Convertisseur (kW)		GROUPE ELECTROGENE	
	en série	en parallèle		Pour les Batteries: SI 5048	Pour la turbine: WB 6000	Nombre	Papp [KVA]/Pmax [Kw]
1	24		31	3	3	1	12 / 14

Tableau 40 : Synthèse des équipements de production

III.13 PRODUCTION ÉNERGETIQUE DU SEH

Production	%
Eolienne	83
Générateur Diesel	17
Total	100

Tableau 41 : Production énergétique du SEH (source : simulation par HOMER)

Les systèmes de production participent suivant les fractions décrites dans le tableau 40 et qui montrent une participation importante du système éolien, par rapport au système Générateur Diesel, qui atteint 83%.

La puissance moyenne mensuelle produite par le système est illustrée dans la figure

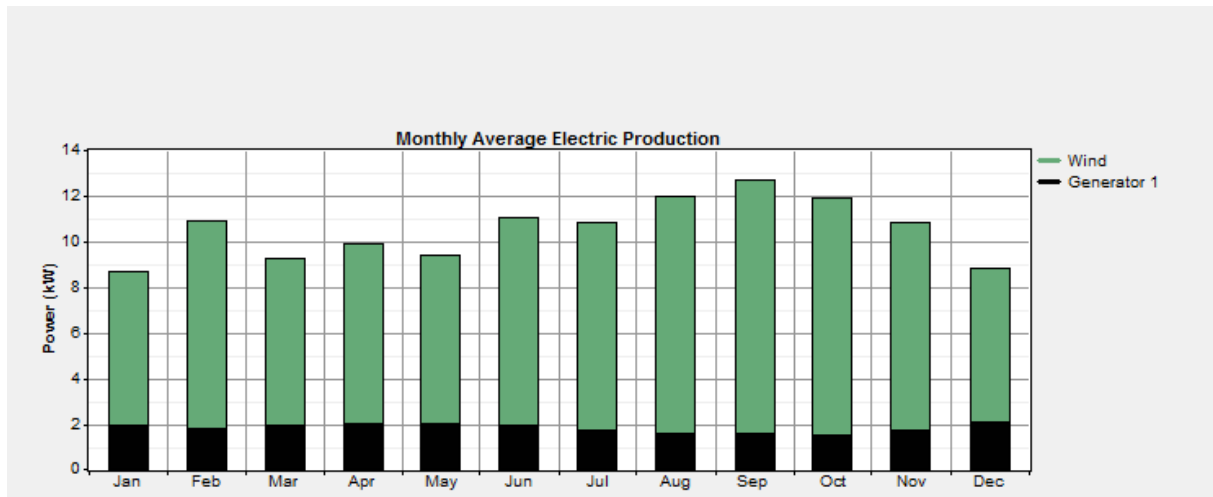


Figure 18 : La puissance moyenne mensuelle produite par chaque source (source : simulation par HOMER)

III.14 ETUDES DU RESEAU DE DISTRIBUTION : BASSE TENSION (BT)

Nous verrons dans la suite que les coûts d'infrastructures constituent une part significative de la facture du client final. Des économies réalisées sur ce poste conduisent donc à des coûts évités pour les gestionnaires de réseaux. L'obtention de tels gains peut-être liée à la mise en place et à la valorisation d'une offre d'effacement préalablement construite. Encore faut-il démontrer que nous « effaçons » des coûts en réduisant le dimensionnement des ouvrages. Le dimensionnement des ouvrages est donc un point essentiel.

III.15 PUISSANCE INSTALLEE – TENSION DE DISTRIBUTION

La puissance installée est de 11 kWc. Les tensions de distribution sont : 380V entre phases pour les utilisateurs des triphasés et 220V entre phase et neutre pour ceux des monophasés.

III.15.1 Tracé du réseau BT

Les lignes principales suivent généralement les pistes praticables.

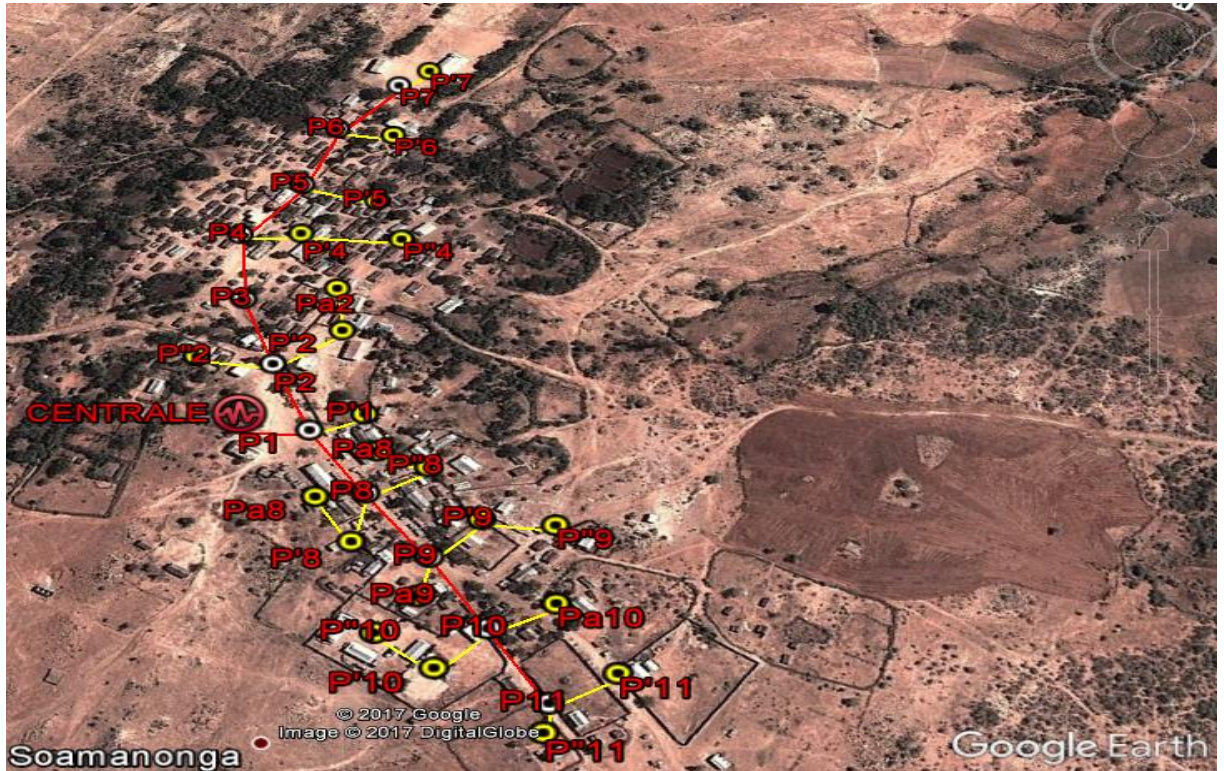


Figure 19 : Tracé du réseau BT

III.15.2 Supports

Les supports sont des poteaux en bois 9m qui satisfont aux conditions techniques et normes en vigueur. Des poteaux en contreflèche sont servis pour les angles.

La partie enterrée des supports est :

$$P = H / 10 + 0,5 \quad (\text{III .4})$$

Ou :

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.15.3 Calcul mécanique :

III.15.3.1 Longueur du conducteur :

Pour la distribution, on utilise le câble de type torsadé en aluminium de résistivité $\rho = 0,028\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$; toutes les lignes sont triphasées avant la distribution directe au consommateur.

Les sections de câble à calculer sont celle de la ligne principale, celle des ramifications est donnée et fait référence à la norme.

III.15.3.2 Calcul de la portée :

La portée doit être inférieure à la portée critique. Cette dernière est donnée par la relation suivante :

$$a_{\text{critique}} = \sigma_{\text{max}} \left[\frac{24\alpha\Delta\theta}{\gamma_2^2 - \gamma_1^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{III.5})$$

Détermination de $\gamma_2^2 - \gamma_1^2$

Dans le cas général, on prend $\gamma_1 = \gamma_0$ $\gamma_2 = \gamma_0 + \Delta\gamma$

$$- \Delta\gamma = \frac{\Delta P}{S} \text{ avec } \Delta P = 0,18\sqrt{d}, \text{ et } d = \sqrt{\frac{S^4}{\pi}}$$

- Pour un conducteur en aluminium, $\gamma_0 = 2,75 \times 10^{-3} \text{ [kg/m. mm}^2\text{]}$
- $d = \sqrt{\frac{25 \times 4}{\pi}} = 5,64$
- $\Delta P = 0,18\sqrt{5,64} = 0,43$
- $\Delta\gamma = \frac{0,43}{25} = 0,0172$
- $\gamma_2 = 2,75 \times 10^{-3} + 0,0172 = 0,01995$
- $\gamma_2^2 - \gamma_1^2 = (0,01995)^2 - (2,75 \times 10^{-3})^2 = 3,9 \times 10^{-4}$

Application numérique pour le calcul de la portée critique :

En supposant que $\Delta\theta = 30$, a_{critique} est obtenue par :

$$a_{\text{critique}} = 12 \times \left[\frac{24 \times 23 \times 10^{-6} \times 30}{3,9 \times 10^{-4}} \right]^{\frac{1}{2}} = 78,195 \text{ [m]}$$

Donc on prendra comme porté $60 \text{ [m]} \leq 78,195 \text{ [m]}$

III.15.3.3 Calcul flèche :

Elle est définie par la relation suivante:

$$f_{\min} \geq \frac{a^2 \gamma}{8 \sigma_{\max}} \quad (\text{III.6})$$

$$f_{\min} \geq \frac{75^2 \times 2,75 \times 10^{-3}}{8 \times 12}$$

$$\text{D'où } f_{\min} \geq 0,046 \text{ m}$$

On prend $f_{\min} = 0,1 \text{ m}$

Calcul de la longueur du conducteur :

La longueur entre deux poteaux :

Elle est donnée par la relation :

$$L_1 = a \left(1 + \frac{8f^2}{3a^2} \right) \quad (\text{III.6})$$

$$L_1 = 60 \left(1 + \frac{8 \times 0,1^2}{3 \times 40^2} \right) \approx 60 \text{ [m]}$$

III.15.3.4 Longueur total

$$L = L_1 \times 11$$

$$L = 60 \times 11 = 660 \text{ [m]}$$

La longueur totale est donc 660 m

III.15.3.5 Section du conducteur de la ligne principal :

Détermination de la section des conducteurs (pour les 3 phases) en fonction de la chute de tension admissible :

La chute de tension admissible dans les câbles des réseaux de distribution à basse tension requiert souvent une section des conducteurs supérieure à celle nécessaire thermiquement pour le transport du courant, définie par les tables de charge.

Un contrôle de la valeur de la chute de tension doit être fait après avoir déterminé la section des conducteurs en fonction du courant. La chute de tension généralement admise dans les réseaux de distribution doit être comprise entre 3 et 5 % au maximum.

On prend ici pour référence au calcul 4%.

Une bonne approximation de la chute de tension dans les câbles isolés multipolaires est donnée par la formule simplifiée suivante :

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} * I * \cos(\varphi) * 100 * L}{Kp * U * A} \quad (\text{III.7})$$

$$\Delta U = \frac{P * L}{Kp * U^2 * A} [\%]$$

ou:

U = tension entre phases [V]

I = courant de phase [A]

$\cos\phi$ = facteur de puissance

L = longueur de la ligne [m]

P = puissance transmise [W]

A = section d'un conducteur de phase en [mm²]

Kp = facteur d'impédance liée au câble de type aluminium de résistivité 2,6 Ωm selon le tableau suivante :

Section [mm ²]	10	16	25	50	95	150	185	240	300
Kp	47	44	41	37	33	30	29	29	28

l (m)	P(W)	Kp	U ²	A	ΔU
660	10320	41	144400	25	4%

D'après calcul on obtient un câble de section **25 mm²**. (Section normalisée)

III.15.3.6 Détermination de la section d'un conducteur neutre chargé (selon la méthode NF C 15-100 § 523.7) :

Les courants harmoniques de rang 3 et multiples de 3 circulant dans les conducteurs de phases d'un circuit triphasé s'additionnent dans le conducteur neutre et le surchargent. Pour les circuits concernés par la présence de ces harmoniques, pour les sections de phase $> 16 \text{ mm}^2$ en cuivre ou 25 mm^2 en aluminium, il faut déterminer la section des conducteurs de la manière suivante, en fonction du taux d'harmoniques en courant de rang 3 et multiples de 3 (i_{h3}) dans les conducteurs de phases :

Lorsque le taux (i_{h3}) n'est pas défini par l'utilisateur, on se placera dans les conditions de calcul correspondant à un taux compris entre 15% et 33%.

Pour le taux (i_{h3}) compris entre 15% et 33% :

Le conducteur neutre est considéré comme chargé, sans devoir être surdimensionné par rapport aux phases.

Prévoir une section du conducteur neutre (S_n) égale à celle nécessaire pour les conducteurs de phases (S_{ph}). Mais un facteur de réduction de courant admissible de 0,84 doit être pris en compte pour l'ensemble des conducteurs :

$S_n = S_{ph} \times 1,45/0,84$ (facteur de dimensionnement pour l'ensemble des conducteurs, par rapport à la section S_{ph} calculée).

Avec :

$$S_n = 25 \times 1,45/0,84$$

$$S_n = 43,15 \text{ mm}^2$$

Donc on prendra $54,6 \text{ mm}^2$ comme section normalisée pour le neutre-porteur. .

Pour l'éclairage public, on utilise un câble de section 16 mm^2 .

III.16 Récapitulation pour le câblage :

Le réseau est de type aérien dont sa longueur totale est approximativement 660 m.

Les câbles sur les lignes principales sont de type torsadé et préassemblés : $3 \times 25 \text{ mm}^2$ pour les 3 phases, + $1 \times 54,6 \text{ mm}^2$ pour le neutre-porteur et + $1 \times 16 \text{ mm}^2$ pour l'éclairage public.

Pour les ramifications, on utilise 2x 16 mm².

DESIGNATION	UTILISATION
3 x 25 mm ² + 1 x 54,6 mm ²	Pour les phases et le neutre-porteur
2x 16 mm ²	Pour les ramifications
1 x 16 mm ²	Pour l'éclairage public

Tableau 42 : Récapitulation pour les câbles utilisés

Dans cette étude le nombre d'EP est estimé à 7. La commande de l'allumage et l'extinction se fait à l'aide des minuteurs.

IV. CHAPITRE IV ETUDE FINANCIERE

IV.1 INVESTISSEMENT PREVISIONNEL

IV.1.1 Coût estimatif du projet

Le tableau suivant montre le coût d'investissement :

5.1- COUTS D'INVESTISSEMENT

DESIGNATION	UNITE	QTE	PU		TOTAL HT	ADER	EXPLOITANT
			Fourniture	Pose			
A1- TRAVAUX PREPARATOIRES					14 900 000	0,00	14 900 000,00
Installation et repli de chantier	fft	1,00		5 900 000,00	5 900 000		5 900 000,00
Approvisionnement en matériaux et matériels	fft	1,00		9 000 000,00	9 000 000		9 000 000,00
s/total Travaux Préparatoires					14 900 000	0,00	14 900 000,00
A2- INGENIERIE					2 500 000	0,00	2 500 000,00
Elaboration plan d'exécution du réseau BT	fft	1,00		2 000 000,00	2 000 000		2 000 000,00
Mise à jour du business plan	fft	1,00		500 000,00	500 000		500 000,00
s/total Ingénierie					2 500 000	0,00	2 500 000,00
B1- GENIE CIVIL					15 525 000	0,00	15 525 000,00
Construction du local du groupe électrogène	fft	1,00	7 500 000,00	1 000 000,00	8 500 000		8 500 000,00
Socle en béton armé pour support du container	m3	0,50	750 000,00	100 000,00	425 000		425 000,00

Clôture	fft	1,00	5 700 000,00	900 000,00	6 600 000		6 600 000,00
s/total Génie Civil					15 525 000	0,00	15 525 000,00
B2- EQUIPEMENTS EOLIENNE					237 285 292	232 695 792,00	4 589 500,00
1. -GROUPE ELECTROGENE							
Groupe électrogène diesel triphasé de 16kVA	U	1,00	30 684 400	2 900 000	33 584 400	30 684 400,00	2 900 000,00
s/total Groupe Electrogène					33 584 400	30 684 400,00	2 900 000,00
2. -EOLIENNE ET EQUIPEMENTS							
EOLIENNE ReDriven 10 kW	U	1,00	15 000 000,00	10 000,00	15 010 000	15 000 000,00	10 000,00
Socle en Béton armée dosé a 350 kg/m³	m³	1,80	1 200 000,00	100 000,00	2 340 000	2 160 000,00	180 000,00
Structure de fixation des modules en alu avec vis de fixation	U	1,00	8 524 800,00	100 000,00	8 624 800	8 524 800,00	100 000,00
Convertisseur SMA Windy Boy: WB 6000A	U	3,00	4 138 240,00	50 000,00	12 564 720	12 414 720,00	150 000,00
Convertisseur Batteries SMA Sunny Island 5048	U	3,00	8 723 840,00	50 000,00	26 321 520	26 171 520,00	150 000,00
Multicluster Box SMA MCB6.3	U	1,00	9 590 400,00	50 000,00	9 640 400	9 590 400,00	50 000,00
Interface pour Sunny Island	U	1,00	319 680,00	50 000,00	369 680	319 680,00	50 000,00
Moniteur système PV SMA Sunny Webbox	U	1,00	2 124 160,00	50 000,00	2 174 160	2 124 160,00	50 000,00
Boîte fusible batterie 250A	U	3,00	674 880,00	30 000,00	2 114 640	2 024 640,00	90 000,00
Câble éolienne UV-proof 6mm²	m	300,00	2 240,00	500,00	822 000	672 000,00	150 000,00
Câble de terre 1x10mm²	m	200,00	5 760,00	600,00	1 272 000	1 152 000,00	120 000,00
Connecteur de câble 6mm² (paire)	U	6,00	7 360,00	500,00	47 160	44 160,00	3 000,00
Câble batteries H07 VK 90mm²	m	75,00	20 160,00	700,00	1 564 500	1 512 000,00	52 500,00
Lampe LED OSRAM 6W	U	4,00	28 480,00	500,00	115 920	113 920,00	2 000,00
Container 20' avec équipements	U	1,00	36 052 800,00	150 000,00	36 202 800	36 052 800,00	150 000,00
Compteur d'énergie triphasé	U	1,00	398 080,00	2 000,00	400 080	398 080,00	2 000,00
Lots de matériels divers	U	1,00	2 391 232,00	100 000,00	2 491 232	2 391 232,00	100 000,00
Caissons pour batteries et transport matériels	U	1,00	14 208 000,00		14 208 000	14 208 000,00	
s/total éolienne et équipements					136 283 612	134 874 112,00	1 409 500,00

3. -BATTERIES SOLAIRES							
Batteries solaires Hoppeck 26 Opzs solar power 4700	U	28,00	2 397 760,00	10 000,00	67 417 280	67 137 280,00	280 000,00
s/total Batteries solaires					67 417 280	67 137 280,00	280 000,00
 C1- RESEAU BASSE TENSION SOAMANONGA					56 479 000	54 471 400,00	2 007 600,00
<u>Supports</u>							
Poteaux bois traité de 9 m C simple (S)	u	21,00	20 000,00	10 000,00	630 000	630 000,00	
Poteaux bois traité de 9 m C jumelés (J)	u	0,00	340 000,00	10 000,00	0	0,00	0,00
Poteaux bois traité de 9 m C contreHichés (X)	u	18,00	340 000,00	10 000,00	6 300 000	6 300 000,00	
<u>Armements et accessoires de raccordement</u>							
Ensemble isolé pour câble préassemblé type ES	u	22,00	31 200,00	3 000,00	752 400	686 400,00	66 000,00
Ensemble isolé pour câble préassemblé type EAS	u	3,00	42 000,00	4 000,00	138 000	126 000,00	12 000,00
Ensemble isolé pour câble préassemblé type EADS	u	5,00	84 000,00	5 000,00	445 000	420 000,00	25 000,00
Pince d'ancrage DN3 PA 25	u	82,00	25 300,00	1 500,00	2 197 600	2 074 600,00	123 000,00
Connecteur de dérivation 35 ² -95 ² /25 ² -35 ²	u	30,00	28 000,00	2 000,00	900 000	840 000,00	60 000,00
Connecteur de dérivation 16 ² -25 ² /16 ² -25 ²	u	30,00	28 000,00	2 000,00	900 000	840 000,00	60 000,00
BQC 14 x 250 avec 2 rondelles	u	0,00	13 500,00	0,00	0	0,00	0,00
Boulon galva 14x400 avec rondelle	u	0,00	15 600,00	0,00	0	0,00	0,00
Boulon galva 14x250 avec rondelle	u	0,00	14 400,00	0,00	0	0,00	0,00
<u>Câbles</u>							
Câble préassemblés alu à neutre porteur 3x25mm ² +1x54, 6mm ² +1x16mm ²	m	750,00	24 000,00	800,00	18 600 000	18 000 000,00	600 000,00
Câble torsadé retylène 2x16 mm ²	m	1000,00	8 400,00	500,00	8 900 000	8 400 000,00	500 000,00
<u>Mise à la terre neutre</u>							
Barrette de mesure	u	16,00	24 000,00	1 200,00	403 200	384 000,00	19 200,00
Câble cuivre nu de 29mm ²	m	530,00	15 400,00	600,00	8 480 000	8 162 000,00	318 000,00

Câble mise à la terre neutre H027 VR 1x35 ²	m	150,00	17 600,00	600,00	2 730 000	2 640 000,00	90 000,00
Piquets de terre galvanisé I: 1,5m avec connecteur	u	96,00	38 400,00	1 300,00	3 811 200	3 686 400,00	124 800,00
Tuyau PVC de 25, barre de 2m	u	16,00	2 000,00	600,00	41 600	32 000,00	9 600,00
Eclairage Public							
Ensemble d'éclairage public comprenant: Luminaire, douille, console, platine, lampe 25W	u	5,00	250 000,00	0,00	1 250 000	1 250 000,00	0,00
Disjoncteur différentiel 5-15A	u	0,00	60 000,00	0,00	0	0,00	0,00
Compteur d'énergie 5-15A	u	0,00	60 000,00	0,00	0	0,00	0,00
Câble U1000R02V de 2 x 2,5 mm ²	m	0,00	4 500,00	0,00	0	0,00	0,00
s/total Réseau Basse Tension Soamanonga					56 479 000	54 471 400,00	2 007 600,00
COMPTEUR PREPAYE CLIENTS DOMESTIQUES							
Compteur 10A pour 3 clients monophasés	u	0,00	144 800,00	2 000,00	0	0,00	0,00
Console portable pour programmation et recharge des cartes à puce	u	0,00	1 760 000,00		0	0,00	0,00
Disjoncteur 6A	u	0,00	44 800,00	2 000,00	0	0,00	0,00
Carte à puce	u	0,00	2 720,00		0	0,00	0,00
Kit de plomb	u	0,00	320,00	0,00	0	0,00	0,00
Pince de plomb	u	0,00	10 000,00		0	0,00	0,00
s/total Accessoires de raccordement					0	0,00	0,00

TOTAL HORS TVA	
TVA	20%
TOTAL TTC	

326 689 292	287 167 192,00	39 522 100,00
65 337 858	57 433 438,40	7 904 420,00
392 027 150	344 600 630,40	47 426 520,00

Tableau 43 : coût total d'investissement

IV.2 PLAN D'INVESTISSEMENT ET DE FINANCEMENT

La subvention requise est de 88,2%, 7,4% sera financé par fonds propre et 4,4% par emprunte bancaire, et dans tout ce qui suit, nous ne considérons que les montants hors subvention dans les calculs.

Tous les travaux et acquisitions de matériels de production se feront dans la phase de construction, et les acquisitions de matériels et équipement d'exploitation se feront avant son début effectif que l'on peut supposer à l'année 1.

5.3- PLAN DE FINANCEMENT

PLAN D'INVESTISSEMENT			2018															
			392,03	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
TAUX DE LA SUBVENTION DEMANDEE ANNEE DE LA DEMANDE DUREE DES TRAVAUX FIN DE LA CONVENTION DE FINANCEMENT MONTANT DE LA SUBVENTION	100%		mois															
	87,9%																	
	2018																	
	3																	
	2021																	
			344,60	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	
ANNEE DE LA DISPONIBILITE TAUX MONTANT DU FONDS PROPRE	2018 7,7%																	
			30,00	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	
			2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
TAUX DU MONTANT EMPRUNTE MONTANT EMPRUNTE	4,4%	MAr	1,00	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	
			17,43	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	
DURÉE(ANS): dont DELAI DE GRACE(ANS):	4 1																	

EMPRUNT CUMULE REMBOURSEMENT DU PRINCIPAL		MAr	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43
		MAr	0,00	5,81	5,81	5,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REMBOURSEMENT CUMULE SOLDE RESTANT DU		MAr	0,00	5,81	11,62	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43
INTERETS	17%	MAr	17,43	11,62	5,81	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
INTERETS DURANT LA CONSTRUCTION		MAr	0,00	2,96	1,98	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		MAr	2,96	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
ANNEE DE LA DISPONIBILITE TAUX	2018																	
MONTANT	0,0%		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	0,00

Tableau 44 : Plan d'investissement et de financement du projet

IV.3 COUT MOYEN DU KWH

Le coût moyen du kWh est de 1331 Ar. Le tableau suivant résume le calcul du cout du kWh

5.4- ETUDES ECONOMIQUES

5.41- COUT MOYEN DU KWH

A. DONNEES DE PRODUCTION		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
NOMBRE DE CLIENTS		0	101	103	105	107	109	111	113	115	117	119	122	124	127	129	132
LUD	U	0	101	103	105	107	109	111	113	115	117	119	122	124	127	129	132
TOTAL VENTE ENERGIE	kWh	-	15	20	20	21	21	22	22	22	23	23	24	24	25	25	26
PRODUCTION TOTALE CENTRALE:	kWh	-	215	634	991	358	734	121	519	927	346	777	219	673	140	620	112
	kWh	-	16	21	21	21	21	23	23	23	25	25	25	25	25	19	19
	kWh	-	067	816	816	816	816	339	339	339	256	256	256	256	256	507	507
PRODUCTION EOLIENNE	kWh	-	10	10	10	10	10	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
PRODUCTION DIESEL	kWh	-	319	319	319	319	319	758	758	758	758	758	758	758	758	758	758
	kWh	-	5	11	11	11	11	9	9	9	11	11	11	11	11	5	5
	kWh	-	749	498	498	498	498	581	581	581	498	498	498	498	498	749	749
B-COUTS		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
TAUX D'ACTUALISATION	10,0%																
INVESTISSEMENTS (hors subvention)	MAr																
FONDS PROPRES		30,00	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	0,00
EMPRUNT		17,43	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
INTERETS	MAr	0,00	2,96	1,98	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INVESTISSEMENTS (hors subv)		47,43	2,96	1,98	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COUT COMBUSTIBLES DIESEL	MAr	0,00	5,33	10,67	10,67	10,67	10,67	8,89	8,89	8,89	10,67	10,67	10,67	10,67	10,67	5,33	5,33
COUT HUILE MOTEUR	MAr	0,00	0,29	0,57	0,57	0,57	0,57	0,48	0,48	0,48	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,29	0,29
COMBUSTIBLES	MAr	0,00	5,62	11,24	11,24	11,24	11,24	9,37	9,37	9,37	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	5,62	5,62

REDEVANCE/ACHATS	MAr																
ACHATS ENERGIE	MAr																
COUT ENERGIE ACHETEE	MAr	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	0,00
PERSONNEL	MAr/mois																
CHEF D'EXPLOITATION	0,27	0,00	2,43	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
TECHNICIEN PRODUCITON	0,22	0,00	1,98	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77
TECHNICIEN RESEAU	0,18	0,00	1,62	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
COMPTABLE	0,20	0,00	1,80	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
GARDIEN	0,12	0,00	1,08	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
PERSONNEL	MAr	0,00	8,91	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17
ACHATS MATIERES PREMIERES TRAVAUX-FOURNITURES-SERVICES EXT.	MAr	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
TRANSPORTS ET DEPLACEMENTS	MAr	0,00	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
FRAIS DE GESTION DIVERS	MAr	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
TAXES NON RECUPERABLES	MAr	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	0,00
ENTRETIEN ET MAINTENANCE	MAr	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
AUTRES FRAIS	MAr	0,00	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
COUTS TOTAUX ANNUELS	MAr	47,43	23,74	31,64	30,66	29,67	29,67	27,79	27,79	27,79	29,67	29,67	29,67	29,67	29,67	24,05	24,05
COUTS TOTAUX ACTUALISES		47,43	21,59	26,15	23,03	20,26	18,42	15,69	14,26	12,97	12,58	11,44	10,40	9,45	8,59	6,33	6,33
SOMME DES COUTS TOTAUX ACTUALISES		265															
ENERGIE ACTUALISEE		-	13 832	17 053	15 771	14 588	13 495	12 487	11 556	10 695	9 901	9 167	8 489	7 862	7 282	6 746	6 876
SOMME DES ENERGIES ACTUALISEES		165 799															
COUTS MOYEN DU KWH	Ar/kWh	1598	(coûts économiques)														

COUTS VARIABLES		0,00	11,87	17,49	17,49	17,49	17,49	17,49	15,62	15,62	15,62	17,49	17,49	17,49	17,49	17,49	11,87	11,87
		0,00	10,79	14,46	13,14	11,95	10,86	8,82	8,02	7,29	7,42	6,74	6,13	5,57	5,07	3,13	3,13	
COUT DU KWH	MAr	123																
	Ar /kWh	739																
COUTS FIXES		47,43	11,87	14,15	13,16	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17
		47,43	10,79	11,69	9,89	8,32	7,56	6,87	6,25	5,68	5,16	4,69	4,27	3,88	3,53	3,21	3,21	
REDEVANCE MENSUELLE	MAr	142																
	Ar/mois	6 127																

Tableau 45 : Cout moyen du kW

IV.4 CALCUL DU FLUX NETTE DE TRESORERIE OU CASH-FLOW ; VAN ; TRI DU PROJET

5.6 CASH FLOW

AVANTAGES		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
PRODUCTION MOYENNE ANNUELLE											
Total	kWh	-	16 067	21 816	21 816	21 816	21 816	23 339	23 339	23 339	25 256
dont											
PRODUCTION EOLIENNE	kWh	-	10 319	10 319	10 319	10 319	10 319	13 758	13 758	13 758	13 758
PRODUCTION DIESEL	kWh	-	5 749	11 498	11 498	11 498	11 498	9 581	9 581	9 581	11 498
NOMBRE DE CLIENTS LUD	U	0	101	103	105	107	109	111	113	115	117
RECETTES											
OPERATIONS DE FINANCEMENT	MAr	344,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUBVENTION	MAr	344,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FONDS PROPRES	MAr	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMPRUNT	MAr	17,43	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	34,67	46,61	47,42	48,26	49,11	49,99	50,89	51,81	52,76
TOTAL RECETTES ENERGIE	MAr	0,00	33,47	45,39	46,18	46,99	47,82	48,67	49,54	50,44	51,36
TOTAL RECETTES REDEVANCES	MAr	0,00	0,98	1,00	1,02	1,04	1,06	1,09	1,11	1,13	1,15
TOTAL RECETTES LOCATION COMPTEUR	MAr	0,00	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25
TRAVAUX BRANCHEMENTS CLIENTS	MAr	0,00	8,06	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
MONOPHASE	MAr	0,00	8,06	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
TOTAL RECETTES		344,60	42,73	46,76	47,58	48,41	49,27	50,15	51,06	51,99	52,94

DEPENSES											
INVESTISSEMENT	MAr	392,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REMBOURSEMENT PRÊT BANCAIRE	MAr	0,00	5,81	5,81	5,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INTERETS	MAr	0,00	2,96	1,98	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DEPENSES D'EXPLOITATION	MAr	0,00	32,83	41,72	41,72	34,76	34,76	32,88	32,88	32,88	34,76
IMPOTS SUR BENEFICE	MAr	0,00	1,39	0,61	0,97	2,73	2,90	3,45	3,63	3,82	3,64
REDEVANCE ORE	MAr	0,00	0,51	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64
REDEVANCE FNE	MAr	0,00	0,42	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64
TAXE COMMUNAL	MAr	0,00	0,52	0,70	0,71	0,72	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79
TOTAL DES COUTS		392,03	44,44	51,94	51,35	39,38	39,59	38,30	38,51	38,74	40,46
CASH FLOW		-47,43	-1,71	-5,18	-3,77	9,03	9,68	11,85	12,54	13,25	12,48
2 033											
CUMULE		-47,43	-1,71	-5,18	-3,77	9,03	9,68	11,85	12,54	13,25	12,48
		-47,43	-49,14	-54,32	-58,09	-49,06	-39,37	-27,52	-14,98	-1,73	10,75
TAUX D'ACTUALISATION	10,0%										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CASH FLOW ACTUALISE NET		-47,43	-1,55	-4,28	-2,83	6,17	6,01	6,69	6,44	6,18	5,29

VAN= **52,8** MAr au taux d'actualisation de **10,0%**
 TRI= **62,8%** sur la période de la durée de l'Autorisation

TEMPS DE REROUR DE L'INVESTISSEMENT 8,06

Tableau 46 Flux nette de trésorerie du projet

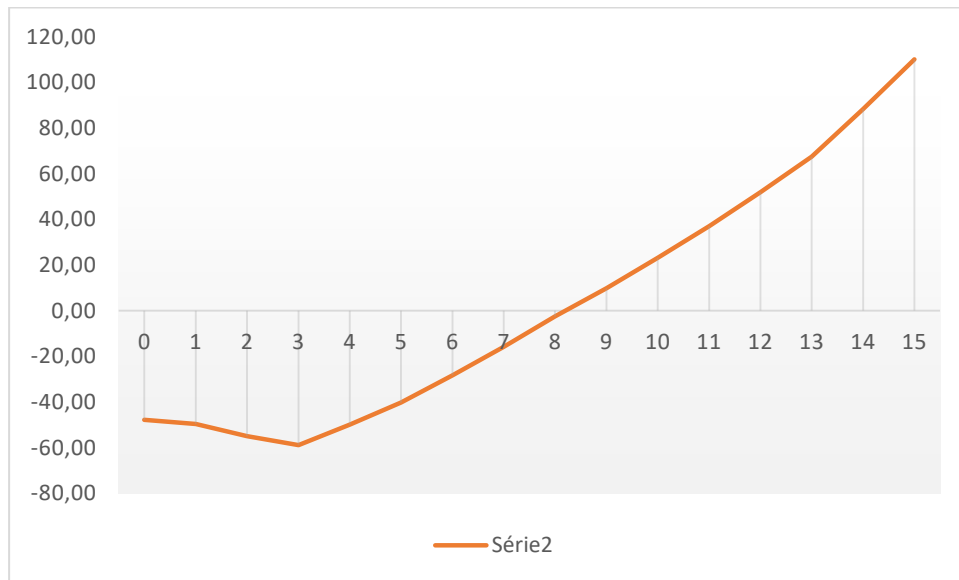


Figure 20 : Graphe du cash-flow

Le projet à une VAN de 52,4 Mar, qui est positif et une TRI de 60,8% largement supérieur au taux d'actualisation 10% donc le projet est intéressant.

La valeur négative de l'année 0 à 7 représente une dépense comme installation de la centrale, maintenance, remboursement des capitaux emprunté à la banque.

La valeur positive commençant à l'année 8 est expliquée par l'acquisition des recettes.

Le temps de retour d'investissement est l'année 8 du projet. Ce temps de retour d'investissement un peu logue est expliqués par la hausse du taux d'intérêt demandé par la banque (17%) et la dévaluation de l'Ariary par rapport à l'Euro et le Dollar.

Comme solution proposée, pour avoir une VAN supérieur au VAN obtenue et pour diminuer le temps de récupération du projet, on à envisager une augmentation du taux de subvention octroyées.

V. CHAPITRE V ÉTUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

V.1 INTRODUCTION

Le faible niveau d'électrification dans le pays en voie de développement s'explique par plusieurs raisons : la faible densité de la population, le cout parfois prohibitif pour les populations, la multiplicité des normes, le manque de maintenance, des conditions géographiques Inadaptées, mais aussi l'insuffisance percée des solutions énergétiques décentralisées. En raison de l'accès difficile des populations rurales, les systèmes décentralisés permettent la satisfaction de besoins énergétiques, sans supporter les couts élevés de connexion au réseau national.

Dans cet axe, l'ADER lance une étude d'avant-projet sommaire dans 25 fonkotany et/ou chef-lieu commune dans la région Atsimo Andrefana y compris la commune rurale de Soamanonga afin de promouvoir l'électrification rurale productive par le biais d'un système d'énergie renouvelable.

Cette partie traitera donc l'analyse environnementale et sociale de ce projet de sorte que la production de l'électricité engendrera plus de points positifs que négatifs dans le développement durable du village bénéficiaires.

Le cadrage de l'étude sera présenté en première lieu, les impacts potentiels seront exposés pour ensuite proposer les mesures envisageables pour réduire ou améliorer les conséquences négatives du projet.

V.2 LE FICHE DE RENSEIGNEMENT ET DE TRI

Avant la mise en place du projet centrale électrique, son promoteur doit soumettre « une fiche de tri-préliminaire ». Toutes les informations générales sur les promoteurs et le projet doivent être mentionnées dans le fiche de renseignement et de tri, un dossier que l'on doit soumettre à l'ONE afin que ce dernier puisse évaluer si le projet doit subir une EIE ou pas. Si le projet nécessite une EIE, une évaluation environnementale doit être effectuée selon la charte de l'environnement.

V.3 L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL OU EIE

L'étude d'impact est un instrument de planification qui aide le promoteur à concevoir un projet plus respectueux du milieu récepteur, sans remettre en jeu sa faisabilité technique et économique. Il s'agira d'examiner à court et à moyen terme l'impact éventuel du projet sur le système écologique. L'étude d'impact cherchera particulièrement à apprécier les incidences négatives et positives que pourraient causer la réalisation de la centrale électrique sur l'environnement d'une manière la plus exacte avant que toute action ne soit entreprise. Elle doit aussi viser une bonne intégration du projet dans le milieu récepteur et elle doit être élaborée en tenant compte des préoccupations de la population.

Par considération des articles 3, 5 et l'annexe II de la directive de MECIE, la centrale hybride éolienne produisant une puissance électrique environ de 11 KW, une Etude d'Impact Environnemental (EIE) n'est pas forcément obligatoire mais les prérogatives suivantes sont à considérer :

- la production par l'investisseur d'un programme d'engagement environnemental (PREE) dont le contenu, les conditions de recevabilité et les modalités d'application sont définis par les dispositions de la directive ;
- une évaluation et approbation du PREE par la cellule environnementale du ministère sectoriel directement concerné, qui établira et enverra les rapports y afférents au ministère chargé de l'environnement et à l'ONE (Office national pour l'environnement).

Toutefois, il appartient à l'ONE, autorité compétente en matière de permis environnemental, de trancher sur les engagements à prendre (EIE, PREE, MEC ou règlement sectoriel) après la lecture du fiche de renseignement et de tri que les investisseurs auront à leur soumettre.

V.4 LES IMPACTS PROBABLES DE PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Le projet d'électrification par la centrale hybride éolienne diesel peut générer différents sortes d'impacts, autant positif que négatifs, directes et indirects. Il faut bien considérer les impacts pendant les phases de construction, d'exploitation et du poste exploitation. L'évaluation et la détermination des impacts du projet a pour but de mettre en relation les composantes du milieu récepteur. Il faudra donc considérer les impacts sur la population, sur l'environnement, sur le social et l'économie.

Le projet comprend essentiellement l'aménagement de la centrale, la construction de lignes électriques basse tensions, les branchements et l'installation de foyers d'éclairage public.

Les études d'impact environnemental et social ont été ainsi réalisées dans le cadre de la préparation du projet. Le Plan de gestion environnementale et sociale décrit les mesures d'atténuation, de suivi, de bonification et de consultation requises pour prévenir, minimiser, atténuer ou compenser les impacts environnementaux et sociaux négatifs.

Le projet n'entraîne pas de déplacement de populations et perturbe très peu le milieu naturel. Les risques de destruction des arbres et autres éléments de l'écosystème sont limités avec le choix des tracés car la majorité des cas, les lignes électriques s'inscrivent dans un linéaire routier déjà existant. Les principaux impacts négatifs sont les dommages aux cultures et aux sols, qui seront engendrés par le passage des véhicules et les engins pendant les travaux et les pertes de terres liées à l'implantation des poteaux électriques dans les champs, contamination des sols par des produits de fabrication du béton, nuisances sonores engendrées par le déchargement de matériaux de construction par les véhicules, perturbation du mode de vie de la faune et flore et du passage des animaux terrestres.

Les mesures proposées pour atténuer ces impacts négatifs consistent en une indemnisation conséquente des personnes affectées et la réalisation de plantations de compensation.

Par contre, la mise en œuvre du projet induit surtout de très nombreux impacts positifs : **pendant les travaux** : la création d'emplois temporaires, l'augmentation des revenus des populations notamment les femmes vendeuses de repas sur les chantiers ; **pendant l'exploitation des ouvrages** : l'amélioration des conditions de vie des populations avec l'accès à une électricité pérenne, peu polluante et à un coût abordable, augmentation des revenus par une plus faible part de l'énergie dans les dépenses et par l'augmentation des activités en

générale , développement d'activités socio-économiques et agricoles bénéfiques pour l'emploi, les revenus et le développement des zones rurales , un effet global de ralentissement de l'exode rural et augmentation du taux de retour des émigrés ; développement de l'éclairage public et amélioration des conditions sécuritaires, l'amélioration des conditions d'études grâce à l'éclairages domestique, un meilleur fonctionnement des services sociaux (santé, écoles), la réduction des nuisances sonores produits par les groupes électrogènes individuels très répandus dans la zone du projet, le développement du commerce et des petits métiers.

Changement climatique : Le projet contribue à l'atténuation des effets du changement climatique. En effet, sa réalisation permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre produites par les multiples petits groupes électrogènes individuels fortement polluants utilisés par les populations dans les différentes localités du projet. L'électricité qui sera fournie par le projet aux populations bénéficiaires sera d'un mix énergétique moins polluant (éolienne diesel). La substitution de l'éclairage électrique au détriment de l'éclairage à base de bougies et du pétrole lampant aura un impact écologique positif.

V.5 CONCLUSION

L'installation du projet d'électrification pour la commune rural de Soamanonga offre de nombreux avantages, tels que ses bénéfices liées aux opérations et ses possibilités d'électrifications des zones isolées, deux aspects d'importance pour Madagascar et ses zones rurales.

Il ne faut cependant pas ignorer qu'un tel aménagement entraîne des impacts potentiels sur les milieux physique, biologique et humain, dont certains pourront être réduits par l'application de mesures d'atténuation ou de compensation.

Aussi, il est important d'effectuer un suivi régulier des mesures proposées afin de surveiller l'émergence de nouveaux impacts.

CONCLUSION GENERALE

L'électrification est un équipement collectif qui modernise le milieu rural. Elle assure le développement immobilier des villages tant en qualité qu'en quantité. Aussi, engendre-t-elle équipements socio-économiques de base. L'électrification a entraîné dans la commune rurale de Soamanonga la construction des équipements économiques. Elle participe aussi à l'animation et au développement économique du village.

L'accès à l'énergie est une préoccupation centrale dans la problématique du développement. A l'heure actuelle, un très grand nombre de personnes n'a toujours pas accès aux formes « modernes » d'énergie telles que l'électricité, les énergies renouvelables. La demande est majoritairement couverte par des combustibles traditionnels, qui, en plus d'être très peu efficaces, posent de graves problèmes de santé et de pollution atmosphérique.

Le lien entre quantité d'énergie et indicateurs sociaux est significatif pour la majorité des pays du globe. Il semble avéré qu'un accès accru à l'énergie puisse améliorer les conditions d'éducation, de santé ou d'environnement dans les pays en développement, et plus particulièrement dans les régions rurales.

L'accès à l'énergie passe notamment par l'accès à l'électricité en zone rurale. Les différentes expériences dans ce domaine montrent que cet accès permet une élévation du niveau de vie, et a un impact positif sur plusieurs aspects de la vie sociale: le niveau de santé est amélioré; l'étude et l'éducation sont améliorées grâce à l'éclairage; les femmes passent moins de temps aux tâches ménagères et à la collecte du bois. Une électrification bien menée peut aussi avoir des effets bénéfiques sur l'environnement, en diminuant les émissions de CO₂ dues aux combustibles fossile, ou en diminuant l'impact des populations rurales sur la couverture végétale (déforestation).

Dans cette étude nous avons contribué à montrer l'utilité d'un système d'énergie hybride éolienne-diesel pour subvenir aux besoins en électricité d'une zone rurale en se basant sur un mini-réseau d'alimentation électrique. Cette étude a apporté les éléments nécessaires pour la réalisation de centrale éolienne couplée à un groupe diesel et un système de stockage nécessaire dans ce cas, assurant une autonomie d'au moins deux jours rendant le système plus performant et fiable pour assurer un service de qualité dans le but d'améliorer les conditions de vie et ouvrir ces zones isolées sur le monde extérieur moyennant un cout optimal.

L'intégration de ce système pour la production d'énergie permet de répondre efficacement à la demande, d'utiliser les ressources naturelles et de réduire le taux de CO2 produit.

L'inconvénient d'un système éolien hybride est qu'il n'est rentable qu'à long terme mais elle donne satisfaction aux villageois. Elle rend l'électricité accessible aux usagers domestiques et à tout le monde.

Nous proposons donc comme solution que le gouvernement augmente en maximum le taux de subvention en terme financière et ou matériel pour l'électrification rurale.

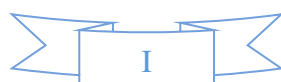
BIBLIOGRAPHIE

- [1] BAGDAHI Fazia : « Modélisation et simulation des performance d'une installation hybride de conversion d'énergie renouvelable » mémoire de magister. Aout 2011.
- [2] 3ERAE, Etude d'Avant-Projet Sommaire : « Projet d'aménagement du site hydroélectrique de Sahandiso, rivière : Sahandiso commune rurale Ambalarondra région Antsinanana. Décembre 2014.
- [3] Zaida Contreras : « Modèle d'électrification rurale pour localités de moins de 500 habitants au Sénégal » Juillet 2005 - Janvier 2006.
- [4] GIZ – ADER : « recueil des textes régissant le secteur de l'électrification rurale à Madagascar ». Antananarivo – Juin 2012.
- [5] Cours électrification rural : Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery, Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA).
- [6] Cours réseaux d'énergie électrique : Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon Dieudonné, Professeur Titulaire à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA)
- [7] Cours Gestion de projet M2
- [8] Madagascar – Environnement : REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA, ministère de l'environnement; décret relatif à la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement.
- [9] Harizo RASOLOMANANA : Audit environnementale, Guide General ; Unités Normes et Pollutions. Office National pour l'environnement ONE.

WEBGRAPHIE

[http://www. Onduleurs SMA Sunny Island .html](http://www.Onduleurs SMA Sunny Island .html)

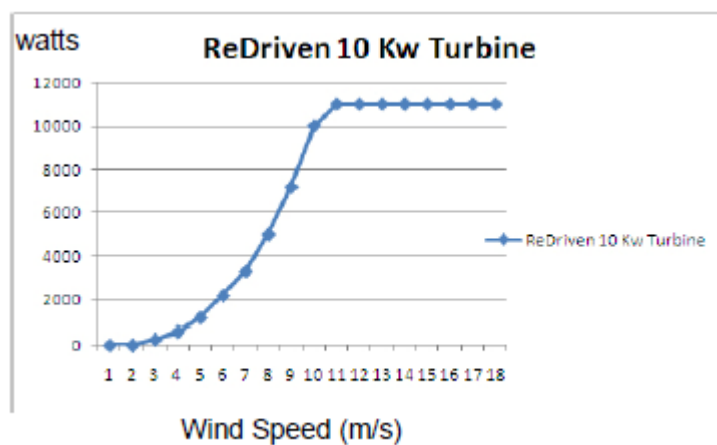
http://www. Batterie OPzS _ VRLA _ de bloc _ CE - 215 580 815mm - EverExceed Industrial Co. Ltd h.html



ANNEXE I

Caractéristique de l'éolienne ReDriven 10KW

- Rated Power: 10000W
- Rated Output Voltage: 240v 60hz. 1 phase
- Start up wind speed: 2 m/s (4.4mph)
- Cut out speed: 18 m/s (40.3 mph)
- Survival speed: 40 m/s (90 mph)
- Rated Wind speed: 10m/s (22mph)
- Blade material: Fiber Glass
- Tower Options to 120 ‘
- 4meter (13 feet) blades
- Nacelle Wt: 450kg (990 lbs)
- Blades Wt: 141 kg (310 lbs)
- Blade sweep is 26’ 5”
- Direct Drive System
- Electric Active Yaw
- Rotor RPM (max): 200
- Sound at 12m (22.4 feet): 59.4 dBl



ANNEXE II

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 stand-by.

Alliage de la plaque positive : Pb + <2% Sb

Alliage de la plaque négative : Pb + <2% Sb

Type de la plaque positive : Tubulaire

Durée de vie: 20 ans en maintien de charge (floating) à 20°C 1500 cycles à 80 % de décharge à 20°C.

Fréquence de remise à niveau du liquide / ans : > 3 ans

Le recombinateur optionnel AQUAGEN permet de minimiser les pertes d'eau.

Il s'agit du dispositif vert et blanc placé en haut des batteries sur la photo ci-jointe : il n'est pas livré avec les batteries.

Caractéristiques électriques

Batterie 2 Volt

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

Capacité nominale (C100) : 4700 Ah

Capacité nominale (C10) : 3488 Ah

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

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

HOPPECKE est une société allemande créée en 1927 spécialisée dans les batteries.

ANNEXE III

Groupe électrogène triphasé diesel 14 kW - 16 kVA - SDMO XP-T16K-ALIZE

Le groupe électrogène XP-T16K-ALIZE appartient à la gamme SDMO® INDUSTRIAL.

Code prises P1V : 1 prise 230V 10/16A - Disjoncteur + 1 prise 230V 16A - Disjoncteur + 1 prise 400V 32A - Disjoncteur + protection différentielle + MICS NEXYS (Affichage des paramètres : fréquence, tension batterie, temporisation, compteur horaire et vitesse de groupe).

Marque : SDMO

Puissance maxi. 3ph 400V	12,8 kW - 16,00 kVA
Puissance maxi. 1ph 230V	3,7 kW
Marque / Type	Mitsubishi® / S4L2-SD
Carburant	Diesel
Sécurité d'huile	Oui
Démarrage électrique	Oui
Autonomie	14,7h
Réservoir	50 L
Disjoncteur 230 V	Oui
Disjoncteur 400 V	Oui
Niveau sonore Lwa	87dB(A)
Niveau sonore à 7 m	58 dB(A)
Poids - Dimensions	554 kg - 175 x 77,5 x 123 cm

ANNEXE IV

Aperçus du logiciel de calcul de la productibilité de l'éolienne

Puissance nominale	10	kW
Vitesse moyenne annuelle	9,4	m/s
Diamètre de l'éolienne	8	m
Facteur de forme de Weibull K	2	
Facteur d'échelle de Weibull A	10,62	
Productible	56 800,2	kWh/an
Facteur de charge	64,8	%

Courbe n°

2

Modèle

10

KW

Courbe de puissance					
Vitesse de vent (m/s)	Probabilité	Nombre d'heures par an	P (kW)	coeff	Production (kWh)
0,0	0,0652%	5,7		1,00	0,00
1,0	0,8234%	72,1	0,000	1,00	0,00
2,0	2,1411%	187,6	0,000	1,00	0,00
3,0	3,6658%	321,1	0,300	1,00	96,34
4,0	5,2278%	458,0	0,600	1,00	274,77
5,0	6,6756%	584,8	1,200	1,00	701,74
6,0	7,8756%	689,9	2,200	1,00	1517,79
7,0	8,7231%	764,1	3,300	1,00	2521,68
8,0	9,1535%	801,8	5,000	1,00	4009,23
9,0	9,1493%	801,5	7,200	1,00	5770,66
10,0	8,7406%	765,7	10,000	1,00	7656,80
11,0	7,9978%	700,6	11,000	1,00	7706,69

rho 1,25
S 50,26548
1/2rho.S 31,41593

Cp	limite Betz	limite raisonnable
0	0,59	0,4
0	0,59	0,4
0	0,59	0,4
1	0,59	0,4
1	0,59	0,4
2	0,59	0,4
3	0,59	0,4
5	0,59	0,4
7	0,59	0,4
10	0,59	0,4
11	0,59	0,4
11	0,59	0,4



12,0	7,0186%	614,8	11,000	1,00	6763,08	11	0,20	0,59	0,4
13,0	5,9117%	517,9	11,000	1,00	5696,56	11	0,16	0,59	0,4
14,0	4,7815%	418,9	11,000	1,00	4607,44	11	0,13	0,59	0,4
15,0	3,7142%	325,4	11,000	1,00	3579,00	11	0,10	0,59	0,4
16,0	2,7709%	242,7	11,000	1,00	2670,04	11	0,09	0,59	0,4
17,0	1,9850%	173,9	11,000	1,00	1912,79	11	0,07	0,59	0,4
18,0	1,3652%	119,6	11,000	1,00	1315,55	0	0,06	0,59	0,4
19,0	0,9012%	78,9	0,000	1,00	0,00	0	0,00	0,59	0,4
20,0	0,5707%	50,0	0,000	1,00	0,00	0	0,00	0,59	0,4
21,0	0,3466%	30,4	0,000	1,00	0,00	0	0,00	0,59	0,4
22,0	0,2018%	17,7	0,000	1,00	0,00	0	0,00	0,59	0,4
23,0	0,1126%	9,9	0,000	1,00	0,00	0			
24,0	0,0601%	5,3	0,000	1,00	0,00	0			
25,0	0,0308%	2,7	0,000	1,00	0,00	0			
26,0	0,0151%	1,3	0,000	1,00	0,00	0			
27,0	0,0070%	0,6	0,000	1,00	0,00	0			
28,0	0,0032%	0,3	0,000	1,00	0,00	0			
29,0	0,0013%	0,1	0,000	1,00	0,00	0			
30,0	0,0005%	0,0	0,000	1,00	0,00				
		8763,2			56800,15				

Tableau 47 Aperçus du logiciel de calcul de la productibilité de l'éolienne

Auteur : RAKOTOARIVELO Robert Tantelinirina

Titre : « Etude d'un projet d'électrification rurale par une centrale hybride Eolien-Diesel pour la commune rurale de SOAMANONGA. »

Directeur de mémoire : RAMAROZATOVO Vonjy, Maître de conférences et responsable de la mention Génie Electrique au sein de l'ESPA.

Nombre de pages : 111

RESUME

La crise énergétique marquée par une flambée des prix du pétrole et les impératifs d'un développement durable font des énergies renouvelables une alternative qui suscitent aujourd'hui l'intérêt de plusieurs équipes de recherches. Madagascar, pays non producteur de pétrole n'est pas épargné par cette crise. Celle-ci se traduit par, une faible couverture du pays (en particulier les zones rurales) par le réseau électrique national. Pour faire face à cela, la nouvelle orientation en matière de politique énergétique met l'accent sur l'utilisation des énergies renouvelables notamment, l'éolienne, solaire et l'hydroélectricité.

L'objectif principal de cette mémoire est d'électrifier la commune rurale de Soamanonga par une centrale électrique hybride à base d'énergie renouvelable (éolienne) et avec un stockage d'énergie (batteries avec accumulateurs au plomb-acide (Pb-acide)) et un groupe électrogène de secours. Le besoin énergétique annuelle du village en première année est estimé de 24583 KWh, la puissance maximale demandée est de l'ordre de 7,98 KW, et la dernière année on a estimé une demande annuelle en énergie de 30780 KWh avec une puissance maximale demandé de 10,32 KW.

On a installé une éolienne de puissance nominale de 10 KW qui produira une énergie environ de 56800,2 KWh/an pour couvrir et assurer la demande en énergie du village de Soamanonga. Le groupe électrogène de puissance appelée de 16 KVA et de puissance maximale de 14 KW assure la demande en puissance et d'énergie durant la période de pointe si le générateur éolien ne peut pas couvrir la demande.

Le coût total du projet est de 404689550 Ar, le temps de retour de l'investissement est estimé à l'année 9 du projet et le prix du KWh vendue (coûts économiques) est de 1331 Ar.

Mots clés : dimensionnement système hybride, éolienne, analyse économique, VAN, TRI, Cash-Flow.

Adresse de l'auteur : LOT 34 D Belanitra Ilafy (Tana 103) ; TEL : 0340370862

E-mail : tantelinirinarr@gmail.com