



HAL
open science

Dimensionnement d'une source hybride d'alimentation à base d'énergies renouvelables pour la ville de Fort-dauphin

Angelina Gaston Nirinasoa

► **To cite this version:**

Angelina Gaston Nirinasoa. Dimensionnement d'une source hybride d'alimentation à base d'énergies renouvelables pour la ville de Fort-dauphin. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2015. hal-01111278

HAL Id: hal-01111278

<https://auf.hal.science/hal-01111278v1>

Submitted on 30 Jan 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

« *DIMENSIONNEMENT D'UNE SOURCE HYBRIDE
ECONOMIQUE D'ALIMENTATION DE LA VILLE DE
FORT-DAUPHIN* »

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER 2 EN GENIES ELECTRIQUE,
ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES

(*Option : Energies renouvelables*)

Présenté et soutenu publiquement le 16 décembre 2010

Par : Angélinà Gaston NIRINASOA

Travaux dirigés par : Dr. Yao AZOUMAH, enseignant-chercheur en génie énergétique

Maître de Stage : Jean Olivier RAHERINTSOA, Chef d'Usine de Production
d'électricité à la JIRAMA de Fort-dauphin



JURYS D'EVALUATION :

Président : Dr. Yao AZOUMAH

Membres : - BIEUPOUDE Pascal

- KANE Ethmane

Promotion :

2009/2010

« GLOIRE À TOI, SEIGNEUR. »

« RIEN NE SE PERD, RIEN NE SE CREE, TOUT SE TRANSFORME »,
Antoine LAVOISIER, chimiste, philosophe, et économiste français (1743-1794)

« GLOIRE À TOI, SEIGNEUR. »

DEDICACE ET REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier, plus particulièrement, du fond de mon cœur :

- Les familles GASTON, DAMSON et YONLI de leur soutien et encouragement, durant la formation en M2 GEER, à aller toujours de l'avant.
- Docteur Yao AZOUMAH, mon encadreur, pour ses remarques constructives et son dévouement à la correction de mon mémoire de fin d'étude, et les membres de jury.
- Monsieur RAHERINTSOA Jean Olivier, mon maître de stage, pour le temps qu'il a consacré durant l'étude que j'ai effectué au sein de l'entreprise JIRAMA.
- Messieurs SORE Saidou, TCHELIEBOU Tony Steve NGADJEU, KOUTOU Alidou, DJEFOU Aubin Gabriel, SOULEY Abdoul Rachidou, amis, étudiants en Master 2 GEER au 2IE, pour leurs précieuses aides durant la réalisation de ce mémoire.
- Les familles RABEKOTO et KOTO Norbert (Fort-dauphin), la famille ADAMOUC SALEY (Niamey-Niger), Monsieur DIALLO Mamadou Cellou, pour leur soutien moral.
- L'inspecteur pédagogique de l'académie d'Orléans-Tours, Nicolas MONTLIVET et son amie Isabelle, Madame Sendra CULETTO, pour les démarches qu'ils ont entrepris auprès des sociétés fournisseurs de matériels hydrauliques et photovoltaïques en France.
- Tous les responsables de 2IE (Le directeur de 2IE, Monsieur Tofangui KONE, Monsieur Ousmane SORGHO, tous mes Chers Tuteurs), pour les efforts qu'ils ont fournis durant notre formation, ainsi que tous mes camarades de classe.
- Les sociétés (TELLHOWPOWER- POWER ONE-SILIKEN-LEROY SOMER-SHNEIDER ELECTRIC-.....) qui m'ont aidé à l'obtention de prix des matériels nécessaires à mon dimensionnement.
- L'entreprise JIRAMA, plus particulièrement le service de Production d'Electricité.

« QUE DIEU VOUS AIDE, TOUS, DURANT TOUTE VOTRE VIE »

Je dédie, spécialement, ce mémoire de fin d'étude à Papa et à Maman, mon Soleil et ma Lune qui ont sû me montrer le droit chemin afin d'arriver à ce point précis, aujourd'hui.

RESUME

Ce mémoire de fin d'étude a pour but d'aider l'organisme d'accueil « JIRAMA de Fort-dauphin », à surmonter ses problèmes en production d'électricité en exploitant les sources d'énergies renouvelables.

En analysant les conditions, surtout climatiques, de la ville, et les sources d'énergies renouvelables qu'elle possède en abondance, on a opté comme sources d'énergies renouvelables, pour résoudre les problèmes de la JIRAMA, l'eau et le Soleil.

Autrement dit, alors, le projet vise à seconder la centrale thermique de Fort-dauphin par une centrale électrique à base d'« énergies renouvelables » (hydroélectrique-photovoltaïque), pour réduire le coût de l'électricité, donner du confort aux habitants, éviter la pollution environnementale, réduire le délestage.

Mot clés :

- 1- Délestage
- 2- Environnement
- 3- Coût d'électricité
- 4- Unité hybride
- 5- Energies renouvelables

ABSTRACT :

This report of the end of study aims at helping the JIRAMA's venture of Fort-dauphin to surmount its problems in electricity production by exploiting the renewable sources of energy.

By analyzing the conditions, especially climatic, of the city, and the renewable sources of energy which it possesses in abundance, we opted as renewable sources of energy, to resolve the problems of the JIRAMA, the water and the Sun.

In other words, then, the project aims at assisting the thermal power plant of Fort-dauphin by a power plant with "renewable energies" (hydro-photovoltaic), to reduce the cost of the electricity, give of the comfort to the inhabitants, avoid the environmental pollution, to reduce the unballasting.

Key words:

- 1- Unballasting
- 2- Environment
- 3- Cost of electricity
- 4- Hybrid unity
- 5- Renewable energies

LISTE DES ABREVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ADES : Association pour le Développement de l'Energie Solaire

GE : Groupe Electrogène

G O : Gasoil

HFF : Henri Fraise et Fils (société)

JIRAMA : Jiro sy RAno MAlagasy (Electricité et Eau Malgache)

PACER : Programme Action Energies renouvelables

PE : Production d'Electricité

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'environnement

QMM : Quit Madagascar Minerals (société exploitant de l'ilménite)

RME : Relevé Mensuel d'Energie

Sect. : Secteur

SEM : Société des Energies de Madagascar

SMEE : Société Malagasy des Eaux et Electricité

SOMMAIRE

DEDICACE ET REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT :.....	iii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	v
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DES FIGURES	4
I-INTRODUCTION.....	5
II-HYPOTHESES DE TRAVAIL.....	6
1-ETAT DE LIEU DE L'ENTREPRISE JIRAMA	6
1-i-Historique :	6
1-ii-Type de production d'électricité et structure de la branche PE (Production d'Electricité)	7
1-iii- De la production d'électricité à sa vente :	7
1-iv- Pollution causée par cette entreprise :.....	10
2-PROBLEMES LIES AU DELESTAGE.....	12
2-i-Causes du délestage	12
2-ii-Mesure prises pour éviter ou réduire le délestage.	14
3-BILAN DE BESOINS DE LA POPULATION EN ELECTRICITE :.....	15
3-i-La population de Fort-dauphin :	15
3-ii-Taux d'électrification- Taux de desserte-Taux de couverture géographique	15
3-iii-Impact du taux d'électrification sur la vie sociale et économique de la ville.....	15
III- LES METHODOLOGIES ET MATERIELS NECESSAIRES POUR RESOUDRE LES PROBLEMES.....	16
DIMENSIONNEMENT DE L'UNITE HYDRAULIQUE.....	16
1- Etude de faisabilité.....	16
2-Estimation de la puissance pouvant être produite :.....	19
3-Choix et dimensionnement de l'ensemble des équipements constituant l'unité.....	20
DIMENSIONNEMENT DE L'UNITE PHOTOVOLTAIQUE	23
1-Etude de faisabilité.....	23
2- Estimation de l'énergie couverte par l'unité photovoltaïque	24

3-Choix et dimensionnement de l'ensemble des équipements de l'unité photovoltaïque ...	25
IV- RESULTATS-ESTIMATION FINANCIERE DES SOLUTIONS PROPOSEES.....	34
V-DISCUSSIONS ET ANALYSES.....	37
VI- CONCLUSION.....	40
VII-RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	42
BIBLIOGRAPHIES	43
SITES WEB :.....	43
ANNEXES	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Facteurs d'émission des combustibles (source : ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie))

Tableau 2 : Débits moyens mensuels et annuels de l'EFAHO de 1982 à 1994

Tableau 3 : Fiche technique du transformateur MINERA

Tableau 4 : caractéristiques de l'onduleur Aurora 330.0-FR

Tableau 5 : Caractéristiques électriques du module

Tableau 6 : Devis de l'unité hydraulique, réalisé par la société TELLHOWPOWER

Tableau 7 : Devis de l'unité hydraulique

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de MADAGASCAR, localisation de la ville de Fort-dauphin

Figure 2: Courbe de production d'électricité journalière de la centrale thermique de Fort-dauphin (juin 2010)

Figure 3: EXEMPLE DE FACTURE DE JIRAMA

Figure 4 : Courbe de suivi du mouvement de gasoil-JIRAMA Fort-dauphin (juin 2010)

Figure 5 : Courbe de puissance de pointe de Fort-dauphin (juin 2010)

Figure 6 : Descente sur terrain-Rivière d'EFAHO (Monsieur Olivier et Mme Angélinà)

Figure 7 : Courbe de débits classés d'Efaho (1994)

Figure 8 : Turbine Francis

Figure 9 : Fiche technique du générateur hydraulique Francis

Figure 10 : Alternateur hydraulique

Figure 11 : Fiche technique de l'alternateur hydraulique

Figure 12 : Transformateur MINERA

Figure 13 : Caractéristiques du câble $1 \times 70 \text{mm}^2$

Figure 14 : radiation solaire (annuelle) $\text{en kWh/m}^2/\text{j}$

Figure 15: Onduleur Aurora POWER ONE 330kW

Figure 16 : Configuration et chaîne de rendement de l'unité photovoltaïque

Figure 17: Module photovoltaïque "SUN EARTH" 240Wc

Figure 18: Abaque d'inclinaison du panneau solaire à Madagascar (source : ADES)

Figure 19 : caractéristiques du câble $1 \times 2,5 \text{mm}^2$

Figure 20 : Caractéristiques du câble $2 \times 16 \text{mm}^2$

Figure 21 : Caractéristiques du câble $2 \times 25 \text{mm}^2$

Figure 22 : Schéma simplifié de l'unité hybride hydro-photovoltaïque, prévue pour Fort-dauphin

I-INTRODUCTION

Exploiter les sources d'énergies renouvelables, est parmi le défi de ce millénaire, étant donné que tout le monde est conscient des effets néfastes causés par l'utilisation des sources d'énergies fossiles et l'épuisement de ces sources ainsi que l'augmentation du prix du baril de pétrole.

Cette étude vise à aider l'organisme JIRAMA dans la production d'électricité à base d'énergies renouvelables, pour la ville de Fort-dauphin. Pour cela, on pourrait penser à réduire la quantité de gaz à effets de serre que celle-ci émet dans l'environnement. Et cela tout en exploitant les sources d'énergies renouvelables que la ville possède en quantité. L'étude s'est limitée sur deux sources d'énergies renouvelables de base : le Soleil (électricité photovoltaïque) et l'eau (électricité hydroélectrique).

Durant l'étude de ce projet, on s'est basé surtout sur les problèmes concrets de l'entreprise JIRAMA afin de pouvoir l'aider à les surmonter, pour cela des visites de la centrale thermique de Fort-dauphin se sont imposées ainsi que des sorties sur terrain pour étudier la faisabilité de l'implantation d'une unité hybride hydroélectrique-photovoltaïque, dans cette ville, qui pourrait seconder la centrale thermique existante.

L'objectif de cette étude est alors de dimensionner une source hybride économique d'alimentation, afin d'aider les habitants à avoir accès à l'énergie propre, renouvelable et moins coûteuse.

Ce mémoire de fin d'étude se divise en trois grandes parties selon l'évolution de l'étude et les constats qui nous ont poussés à l'effectuer pour résoudre notre problématique : les hypothèses de travail, les méthodologies et matériels nécessaires pour résoudre les problèmes et enfin les résultats attendus et les perspectives d'avenir de l'étude effectuée.

II-HYPOTHESES DE TRAVAIL

1-ETAT DE LIEU DE L'ENTREPRISE JIRAMA

1-i-Historique :

La ville de Fort dauphin se trouve dans le Sud Est de l'île MADAGASCAR, au bord de l'Océan Indien et compte parmi les plus belles côtes de Madagascar. La ville est dominée par de magnifique chaîne montagneuse, la chaîne d'Anosy et le Pic Saint Louis, au Nord de la ville, qui, lui sert de sources en eau et en pluies.



Figure 1 : Carte de MADAGASCAR, localisation de la ville de Fort-dauphin

La société JIRAMA, est née à Madagascar, après avoir évolué en nom (de Société Malagasy des Eaux et Electricité (SMEE), puis de Société des Energies de Madagascar (SEM), depuis 1957), et a pris le nom JIRAMA en 1975. Comme plusieurs entreprises malgaches, en 2^{ème} République, lors de l'arrivée du Président Didier RATSIRAKA au pouvoir, en 1975, la SEM fut nationalisée et fut devenue JIRAMA (Jiro sy Rano Malagasy), qui signifie Electricité et

Eau malgaches. Elle produit, transporte et distribue l'électricité à Madagascar, et, en même temps aussi, elle assure l'alimentation en eau potable et industrielle à travers le pays, avec, à peu près, de 340 000 (trois cent quarante mille) abonnés dans 114 (cent quatorze) localités pour l'électricité et près de 110 000 (cent dix mille) abonnés dans 65 (soixante cinq) centres pour l'eau (selon les données de la JIRAMA en 2002).

La JIRAMA de Fort-dauphin se trouve au centre ville, dans le quartier d'Ampasikabo plus exactement. Elle fait partie des sous-groupements qui sont sous la direction de Tuléar.

Le sous-groupement de Fort-dauphin assure aussi le fonctionnement de cinq secteurs qui s'y rattachent (Manambaro, Amboasary, Ambovombe, Tsihombe, et Beloha) et qui se trouvent à ses alentours.

La JIRAMA, selon les conditions du milieu dans lequel elle est installée, peut produire et distribuer seulement de l'électricité ou seulement de l'eau ou bien les deux à la fois. Ceci fait partie de la politique de gestion de l'entreprise (nombre d'abonnés prévus dans un lieu) ou tout simplement dû aux conditions naturelles du milieu (climat comme la sécheresse).

Pour le cas de Fort-dauphin, elle est mixte, c'est-à-dire qu'elle produit et distribue de l'électricité et de l'eau à la fois. Elle assure la production d'électricité, ainsi que sa distribution jusqu'à sa vente et le pompage d'eau dès sa source, sa purification, la distribution jusqu'à sa vente.

1-ii-Type de production d'électricité et structure de la branche PE (Production d'Electricité)

Dans la plupart des cas à Madagascar, la JIRAMA utilise des centrales thermiques pour produire de l'électricité sauf sur la partie des hauts plateaux (dans la capitale), où on a deux grandes centrales hydroélectriques, grâce aux barrages d'Andekaleka de 58MW et de Namorona, de puissance 5,44 MW.

La branche « Production d'Electricité (PE) », où nous avons effectué notre étude, est composée de 12 agents dont un agent d'exploitation (aide en administration), deux agents mécaniciens, un agent électricien, huit agents de quart (qui s'occupent du fonctionnement des groupes électrogènes, à tour de rôle) et qui sont sous la direction du Chef d'Usine ou appelé aussi chef de Production d'Electricité (Chef PE)

1-iii- De la production d'électricité à sa vente :

Selon un rapport venant du service de la production d'électricité, la centrale thermique de Fort-dauphin produit, quotidiennement et en moyenne, 23MWh d'énergie électrique pour le

besoin de la population (**Annexe 1 : Energie produite en kWh, par la centrale thermique (mois de juin 2010)**). Pour produire cette quantité d'énergie, la centrale thermique dépense en moyenne 7000 litres par jour de gasoil et environ 450 litres d'huiles moteurs par mois pour faire fonctionner les moteurs et pour la vidange (**Annexe 2 : mouvement du stock de gasoil de LA JIRAMA Fort-dauphin (juin 2010)**). La JIRAMA produit et distribue de l'électricité, c'est-à-dire elle en vend aux clients ou abonnés. Le prix de kilowattheure d'électricité varie selon le type de production d'électricité : en effet le prix d'électricité produite par une centrale thermique (737 Ariary/kWh, soit 0,27€/kWh) est plus cher que celui de l'électricité produite par une centrale hydroélectrique (620 Ariary/kWh pour la 2^{ème} tranche), ceci est dû à l'élévation du prix de gasoil nécessaire au fonctionnement d'une centrale thermique.

Cours de change : 1€=2700 Ariary malagasy=\$1,36USD

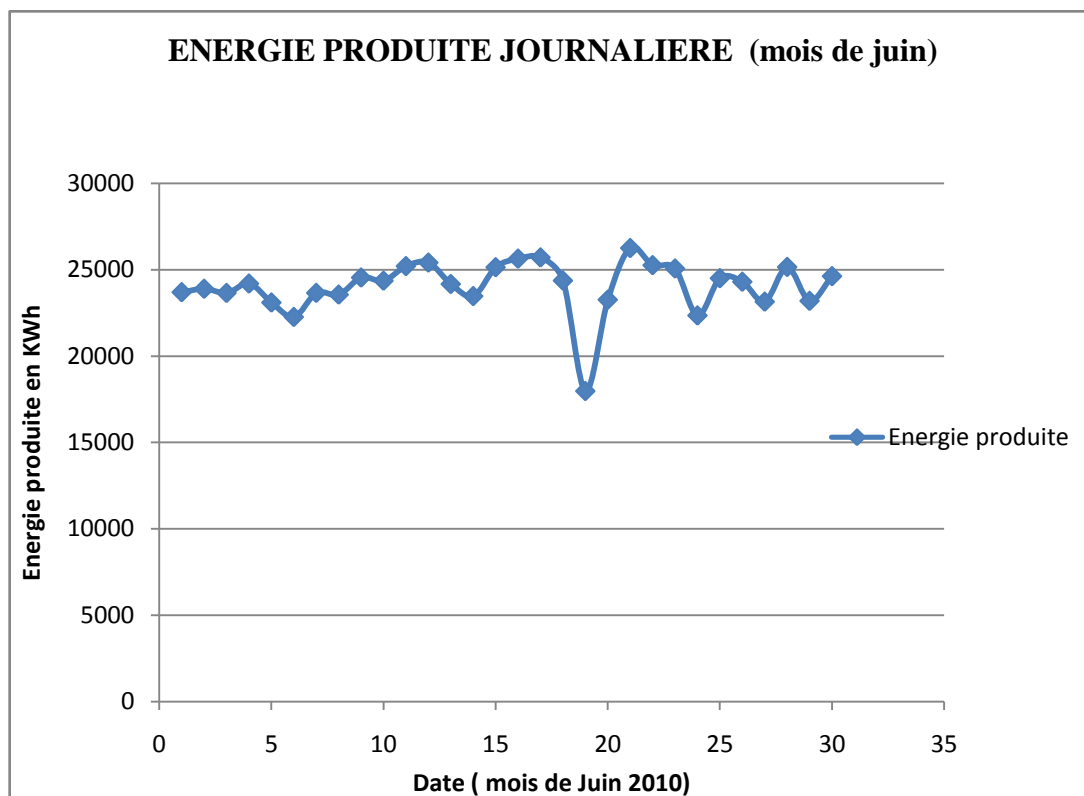


Figure 2: Courbe de production d'électricité journalière de la centrale thermique de Fort-dauphin (juin 2010)

Pour compenser les prix du gasoil et des huiles ainsi que d'autres accessoires nécessaires à la production et à la distribution d'électricité (fils, poteaux,..), le tarif de JIRAMA Fort-dauphin est très cher. En effet, le coût de la 1^{ère} tranche (limitée à 25 kWh) est cinq fois moins cher, par rapport au coût de la 2^{ème} tranche (qui est le reste de la consommation après la 1^{ère} tranche), du coup, des gens sont obligés de limiter leur consommation par peur de payer plus. Quelquefois, certaines familles ne peuvent pas payer leurs factures si ça dépasse celles qu'elles paient d'habitude, alors la JIRAMA est amenée à couper leurs électricités par disjonction du compteur (à peu près un mois de non-paiement) ou même jusqu'à enlever leurs compteurs si le non-paiement persiste pendant une longue durée (cinq mois sans réaction de la part du client). En résumé, le prix de l'électricité est trop élevé pour la majorité des familles vivant dans la pauvreté comme les populations de Madagascar.

JIRO SY RANO MALAGASY Société Anonyme au Capital de Ar 17 533 084 304,20 RCS 2004 B 00 553 ISN 40100 11 1957 0 100 NIF n° 105 003 111 Direction Générale 149 rue Rainandriampanary B.P 200 Tana 101		Mots JUILLET 2 FACTURE N° 770071214553 Doit RASBANANDRASANA AUGUSTE ANTA	
Agence TOLAGNARO Tél	Référence client 7725100240	Compte encaissement	Catégorie PARTICULIER
Zone de surtaxe	Compteur Electricité N° 085815	Compteur Eau N° 760114	
Code TVA	Date relevé 08/07/2010 7393 (Nouvel index)	Date relevé 08/07/2010 966 (Nouvel index)	
	02/06/2010 7211 (Ancien index)	02/06/2010 932 (Ancien index)	
	Consommation 1 Mois 182 kWh	Consommation 1 Mois 34 M3	
	Electricité Tarif 4 / Puissance souscrite 2.2 kW	Eau Tarif 50	Diamètre compteur 15 mm
Détail de la facture			
	Quantité	Prix unitaire	Montant (Ar)
JIRAMA- Consommation 1 ^{ère} Tranche	25	141.00	3525.00
2 ^{ème} Tranche	157	737.00	115709.00
- Redevance			778.00
- Prime fixe	2.2		00.00
COMMUNE- Taxe de consommation	182	10.00	1820.00
- Surtaxes fonds de travaux	182	4.00	728.00
- Assainissement			
AUTRES ORGANISMES			
- Redevance FNE	157	9.21	1445.97
Etat - TVA			
	Total Electricité		15989.19
			130095.14
	Total Eau		4975.40
			33455.10
Arrêté à la somme de *CENT SOIXANTE QUINZE MILLE CING CENTS QUARANTE SEPT Ariary* 10 AOÛT 2010			
RIB Banque 00005 00017 01735500100 93 BNI-CA 00005 00730 21010203848 74 BPI-SC		Total (Elec et/ou Eau) 173447.56 Autres frais 2100.00 Timbre Net à payer (Ariary) 175547.00	
RALISON Martial Romule Directeur Commercial		Date d'édition Date de distribution Date limite de paiement	
Autres frais= Lettre de redevance (A)+ Consomm (B) + Frais banque (C) (A) Ar (B) Ar (C) Ar			

Figure 3: Exemple de facture de JIRAMA

1-iv- Pollution causée par cette entreprise :

Si on évalue la quantité de gaz à effet de serre (CO₂) émise par cette usine de production d'électricité, avec la consommation en gasoil de 7000 litres par jour (pour produire 23MWh d'électricité), soit 2555m³ par an (Annexe 2 : mouvement du stock de gasoil de LA JIRAMA Fort-dauphin (juin 2010)), la JIRAMA rejette, environ, 2275 tonnes de CO₂ par an, dans la nature en dehors des autres gaz à effets de serre non évalués et sans parler des matériaux non biodégradables et non recyclés qu'elle utilise dans la centrale (bidons en plastiques, tuyaux pvc usés,...) et qu'elle rejette dans l'environnement.

Calcul de la quantité de CO₂ rejeté par an:

$$Q_{CO_2} = \left(23000 \text{ kWh} \times 271 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kWh}} \right) \times 365 \text{ jours} = \frac{2275045000 \text{ g CO}_2}{\text{an}}$$

$$Q_{CO_2} = 2275 \text{ t CO}_2 / \text{an}$$

Tableau 1: Facteur d'émissions des combustibles (source : ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie))

Facteur d'émissions de dioxyde de carbone pour les combustibles :

	kgCO ₂ /GJ	PCI (GJ/tonne)	kgCO ₂ /tep (PCI)	gCO ₂ /kWh
Essence	73	44	3066,0	264
Gazole/FOD	75	42	3150,0	271
Fuel lourd	78	40	3276,0	282
Gaz naturel	57	49,6	2394,0	206
Kérosène	74	44	3108,0	267
Charbon	95	26	3990,0	343
GPL	64	46	2688,0	231
Déchets ménagers	41,3	8,8	1734,6	149
Electricité pour l'ECS	11,1	-	465	40
Electricité pour le chauffage	50	-	2092	180

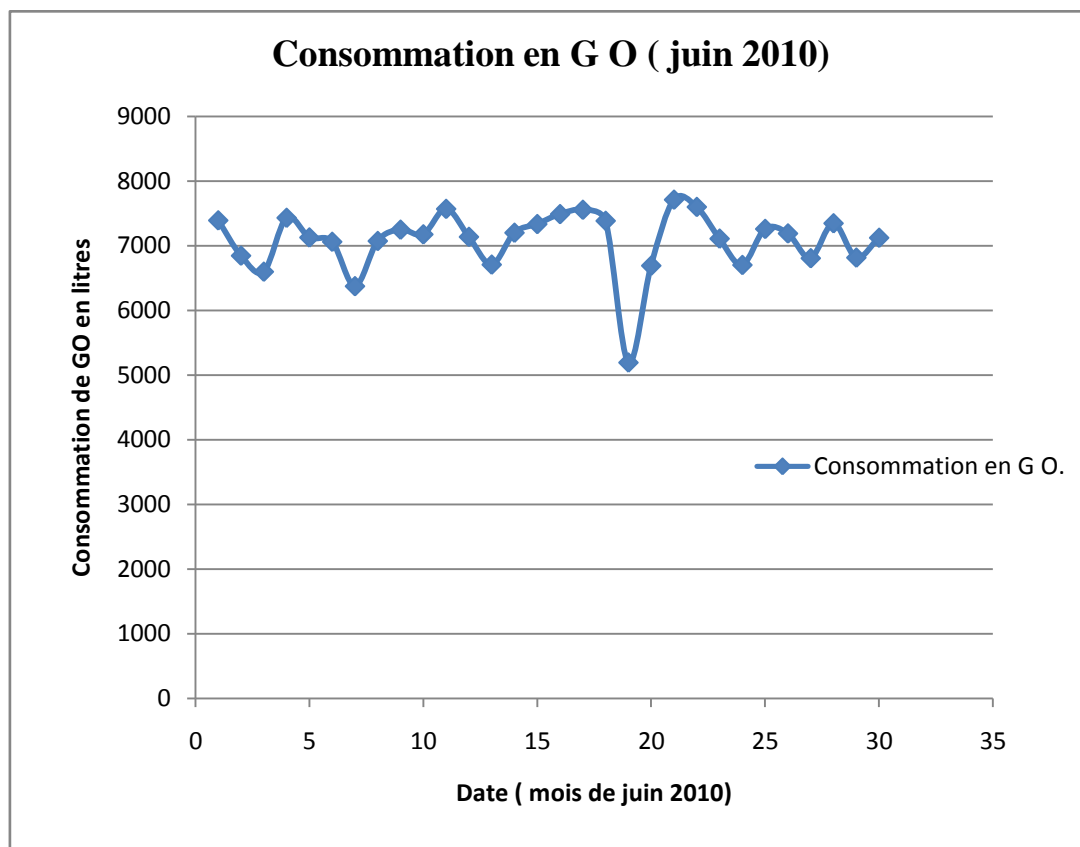


Figure 4 : Courbe de suivi du mouvement de gasoil-JIRAMA Fort-dauphin (juin 2010)

2-PROBLEMES LIES AU DELESTAGE

Comme tant d'autres pays en développement, Madagascar connaît aussi le délestage ; et ce depuis 2007. La JIRAMA et l'Etat malgache ont essayé de surmonter ce problème avec le moyen qu'ils disposent, mais les solutions qu'ils ont trouvés ne sont ni durables, ni économiques et ni propres.

2-i-Causes du délestage

Si on analyse, l'origine de ce délestage, on remarque que la JIRAMA de Fort-Dauphin, a connu une réduction de nombre et une dégradation de l'état de groupes électrogènes dans sa centrale thermique, depuis 2009 ; en effet, deux groupes (un de Puissance nominale : 500 kW et un autre de 544 kW) sont en panne, dû au retard de révision des machines et aussi au vieillissement de ces dernières. Parallèlement à ces pannes de groupes, le besoin en énergie de la ville ne cesse d'augmenter. Au début (2007-2009), le délestage fut économique, car on devait réduire la consommation en gasoil, apparemment, la JIRAMA était trop endettée. Après, en 2009, le délestage est devenu obligatoire dû aux pannes donc insuffisance des groupes électrogènes. Et vu les dettes qui pèsent sur elle et la crise qui touche le pays, en ce moment, que ce soit économique que politique, la JIRAMA ne pouvait plus se payer des

groupes électrogènes puissants, donc elle devait fonctionner avec le peu qu'elle a et bien entendu avec l'état où ils sont.

A notre connaissance, la JIRAMA possède 4 groupes électrogènes qui alimentent trois (3) départs principaux (Amparihy, Est et Ouest) :

Références : - Groupe 2305 de puissance nominale 500 kW et de puissance disponible 350 kW

- Groupe 0495 de puissance nominale 364 kW et de puissance disponible 200 kW

- 2306 de puissance nominale 500 kW et de puissance disponible 0 kW (car il est indisponible pour panne)

- 4119 de puissance 544 kW et de puissance disponible 0 kW (car il est indisponible aussi, en panne)

Alors, seuls deux groupes de la JIRAMA fonctionnent et doivent satisfaire le besoin de la ville. Or, le besoin en charge de la ville journalier varie entre 700kW à 2MW (ce besoin peut atteindre 2,2 MW durant les saisons chaudes). (**Annexe 3 : Puissance et heure de pointe journalière de Fort-dauphin (juin 2010)**) et (**Annexe 4: Relevé horaire des puissances, 22 juin 2010**)

Donc, ces deux groupes ne peuvent pas satisfaire le besoin de la ville. Il a fallu penser à programmer la coupure de départs à tour de rôle suivant un planning régulier.

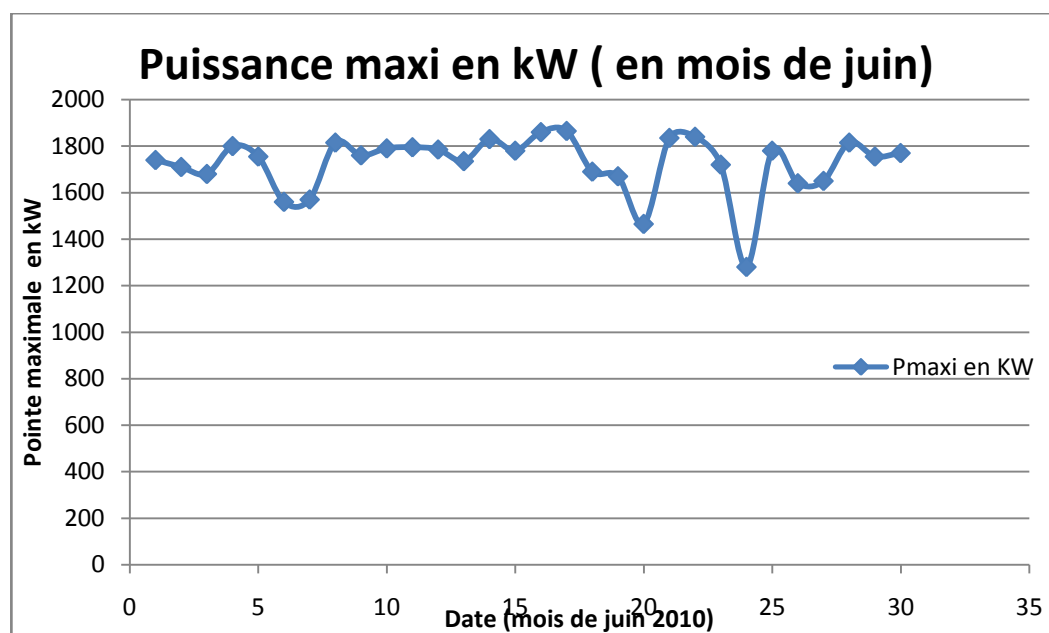


Figure 5 : Courbe de puissance de pointe de Fort-dauphin (juin 2010)

2-ii-Mesure prises pour éviter ou réduire le délestage.

Afin de réduire le délestage, la JIRAMA s'est lancée, en « année 2009» dans la location des groupes électrogènes à la société « Henri Fraise et Fils ».

Au début de l'année 2009 », deux groupes ont été loués à cette société :

- HFF2 de puissance nominale 400 kW et de puissance disponible 350 kW
- HFF4 de puissance nominale 800 kW et de puissance disponible 600 kW.

Mais cela n'a pas encore pu résoudre le problème de délestage, car la charge de la ville continue toujours à augmenter surtout durant les heures de pointe du soir (de 17h30 à 19h). Alors, une autre location de groupe s'impose avec la même société. Ce fut l'arrivée, alors, d'un autre groupe en fin Mai 2010, juste avant le début de la coupe du monde de Football) : le groupe HF5 de puissance nominale 1400 kW et de puissance disponible 1000 kW.

Du point de vue technique, le délestage fut évité mais la pollution de l'environnement se poursuit toujours, ainsi que l'utilisation des ressources en énergie fossile (gasoil). De même, du point de vue économique, en dehors du prix de gasoil qu'elle doit payer pour le fonctionnement des groupes, elle doit payer aussi les frais de location de groupe à la société Henri Fraise et Fils. En effet, il faut tous les trois mois, renouvelables, payer :

- 33 360 000 Ariary soit 11915Euro pour la location du HFF5
- 22 200 000 Ariary soit 7930 Euro pour la location du HFF4

- 17 700 000 Ariary soit 6320 Euro pour la location du HFF2, ainsi que des frais liés à leurs entretiens, lors des petites révisions et des révisions générales (**Annexe 5: Ordre de prix de révision de groupes électrogènes de JIRAMA Fort-dauphin**).

3-BILAN DE BESOINS DE LA POPULATION EN ELECTRICITE :

3-i-La population de Fort-dauphin :

Selon, la source venant de la commune urbaine de Fort-dauphin, en début de l'année 2010, la population compte, environ, 50500 habitants répartis sur onze quartiers. En majorité, ces habitants sont composés d'Antanosy et d'Antandroy, qui sont des habitants locaux, mais aussi d'autres immigrés de différentes ethnies venant des provinces environnantes, ainsi que des étrangers africains et européens travaillant au QMM pour l'exploitation de l'ilménite.

La population est très dispersée sur toute la ville et on remarque que la consommation d'énergie est très importante sur le côté Amparihy, donc la répartition de l'électricité est inégale sur toute la ville.

3-ii-Taux d'électrification- Taux de desserte-Taux de couverture géographique

A Fort-dauphin, un ménage compte, en moyenne, 5 personnes, ce qui fait que la ville compte, environ, 10100 (dix mille cent) ménages. Or parmi ces dix milles cent ménages, seuls 3400 (trois mille quatre cents), d'entre eux, sont électrifiés, y compris ceux de QMM, (Source : service commercial de JIRAMA) ce qui donne un taux d'électrification de 33,6%.

Le taux de couverture géographique de la ville est de 38,6% car, à peu près, 3900 (trois mille neuf cents) ménages vivent dans la zone couverte d'électricité. Ce qui nous donne le taux de desserte de 87% pour la ville de Fort-dauphin.

3-iii-Impact du taux d'électrification sur la vie sociale et économique de la ville

Le taux d'électrification de Fort-dauphin est encore très faible car la moitié de la ville n'est même pas électrifiée (3400 (trois mille quatre cents) parmi 10100 (dix mille cent) ménages sont électrifiées, (source : service commercial de la JIRAMA)). Par conséquent, les habitants ne vivent pas en sûreté car l'obscurité favorise les vols (des bétails,..) et les actes de vandalisme. De plus, l'accès au travail est très limité car personne ne pourra continuer à travailler le soir, comme le font les pays développés, pour raison de sécurité, donc ceci influe l'économie de la ville. Normalement, cette ville doit connaître le développement rapide, par rapport aux autres villes sœurs qui se trouvent à Madagascar, vu la richesse qu'elle possède en réserve minière (ilménite, or) qu'en sources d'énergies renouvelables mais elles sont inexploitées. La JIRAMA a aussi une part de responsabilité sur la déficience en taux

d'électrification, car sa centrale thermique ne peut pas subvenir à tous les besoins électriques de toute la ville ; en effet, on a recensé 61 (soixante-un) abonnements en attente, au service commercial, pour des raisons d'épuisement de matériels.

Pour remédier à tous ces problèmes, nous sommes emmenés, dans la suite de notre étude, à dimensionner une centrale hybride économique à base d'électricité photovoltaïque et hydraulique pour la ville de Fort-dauphin.

III- LES METHODOLOGIES ET MATERIELS NECESSAIRES POUR RESOUDRE LES PROBLEMES

DIMENSIONNEMENT DE L'UNITE HYDRAULIQUE

1- Etude de faisabilité :

Le bassin de l'EFAHO est situé sur la façade orientale des chaînes Anosyennes, au Nord-Ouest de Fort-dauphin. Après avoir analysé les caractéristiques de la rivière d'EFAHO (débit, dénivellation,...), la ville pourrait bénéficier de l'énergie hydraulique, et c'est avec ladite rivière que nous avons mené notre étude sur l'implantation de cette unité hybride d'alimentation de la ville. Cette rivière, de passage à 15km de la ville, prend sa source dans la commune de Fanjahira, toujours dans la région Anosy et se jette dans la mer sur la partie Est de Fort-dauphin, à Ambinanibe.



Figure 6: Descente sur terrain-Rivière d'EFAHO (Monsieur Olivier et Mme Angélinà)

Grâce à la station de FANJAHIRA (24°54'36"S - 46°53'46"E) qui contrôle un bassin versant de 196 km², que le Génie Rural de Fort-dauphin a pu contrôler en vue d'études hydro-électriques, les débits de l'EFAHO entre 1982 à 1994, selon le tableau ci-après :

Tableau 2 : Débits moyens mensuels et annuels de l'EFAHO de 1982 à 1994

Tableau 7.016. Station : 12562019303 Fanjahira Latitude : 24.54.36
 Rivière : Efaho Longitude : 46.53.46
 Débits moyens Pays : Madagascar
 Mensuels et annuels Bassin : PBC Sud Aire : 196 km²
 Débits en m³/s

Année	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Annuel
1982/83	5.30	5.90	47.0	24.2	9.84	6.63	5.66	6.07	6.00	71.4	76.6	6.80	22.6
1983/84	8.12	7.96	8.74	27.4	42.2	10.2	6.58	9.80	7.68	28.3	5.80	6.49	14.1
1984/85	6.03	18.7	31.8	48.5	28.5	17.5	8.06	5.34	20.6	5.79	9.81	5.25	17.1
1985/86	5.05	7.59	6.77	5.30	7.02	8.47	8.83	18.9	5.97	6.82	5.41	5.12	7.60
1986/87	5.66	17.6	27.0	7.10	52.7	45.9	14.1	6.33	27.0	19.0	14.0	6.47	20.2
1987/88	13.8	6.14	5.90	6.85	6.60	6.54	5.55	5.77	5.02	8.12	8.49	8.54	7.27
1988/89	8.39	6.99	8.20	30.0	9.50	11.9	15.1	4.70	9.80	9.28	5.74	6.38	10.5
1989/90	6.70	22.3	92.5	88.1	36.4	9.94	6.94	5.60	6.96	91.2	60.2	6.13	36.1
1990/91	62.6	5.81	10.0	11.1	10.2	8.44	6.16	5.85	5.39	86.2	78.8	99.3	32.4
1991/92	6.07	5.84	5.16	5.06	56.2	8.79	12.2	5.60	6.78	8.20	5.74	5.11	10.8
1992/93	31.2	8.25	9.23	20.1	10.8	13.4	6.02	6.07	21.4	27.6	8.12	7.77	14.1
1993/94	8.69	15.8	12.7	6.86	6.87	9.37	16.6	7.75	11.5	5.71	6.44	7.28	9.63
1994/95	7.45	5.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

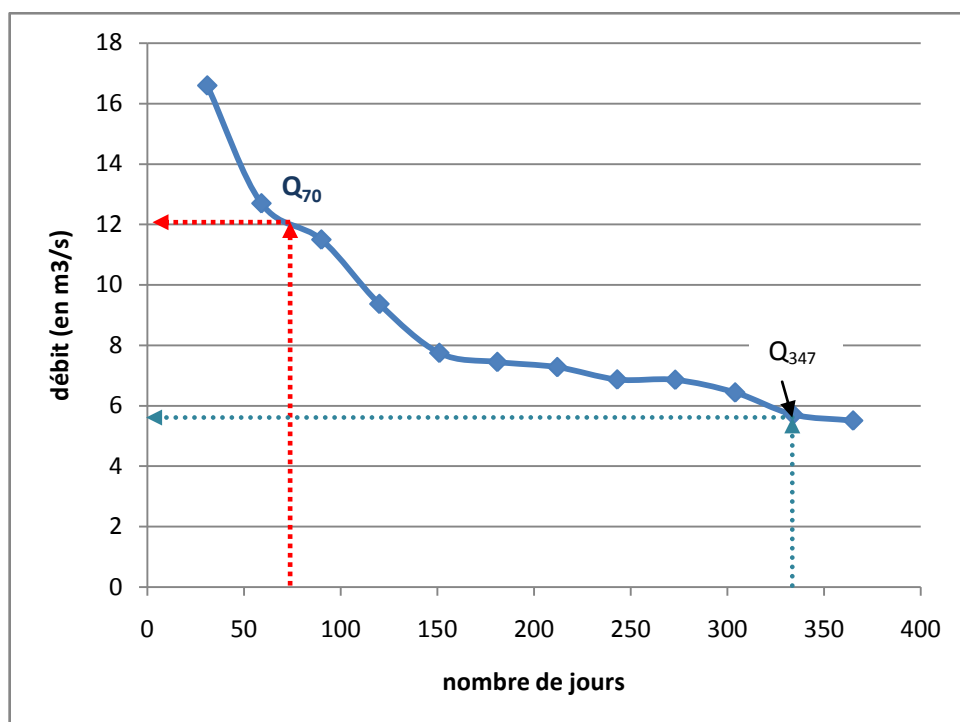


Figure 7: Courbe de débits classés d'Efaho (1994)

En exploitant ces débits, pas très récents, recueillis auprès du génie rural de Fort-dauphin, on a pu estimer la puissance de l'unité hydraulique, qu'on peut installer.

Calculons le débit turbinable Q_t car on devrait penser à laisser de l'eau s'écouler dans la rivière pour permettre la survie des animaux aquatiques.

Pour un débit Q_{347} de 2500 l/s, il faut laisser s'écouler 900 l/s, plus, par tranche de 100l/s, 21,3 l/s, ce débit se nomme débit résiduel Q_{res} . (Source : PACER)

$$Q_t = Q_{riv} - Q_{res} \quad (1)$$

Calculons Q_{res} :

D'après la courbe des débits classés, $Q_{347}=5,5m^3/s$, alors il faut $Q_{res} =1,539m^3/s$

Ici, le débit moyen annuel de la rivière(1994) est, environ, de $Q_{riv}= 9,63m^3/s$

Donc le débit turbinable est, environ, de : $9,63m^3/s-1,539m^3/s=8m^3/s$

Calculons de $Q_{nominal}$ c'est-à-dire le débit maximum sous lequel peut fonctionner une turbine :

$Q_{nom}= Q_{50}$ à Q_{90} pour une centrale qui fonctionne en parallèle (pas seul).

D'après la courbe des débits classés de l'année 1994 (données les plus récentes), on opte $12\text{m}^3/\text{s}$ comme débit Q_{70} , c'est-à-dire débit classé en 70 jours ; en effet, pour une centrale hydraulique fonctionnant en parallèle, on utilise un débit compris entre Q_{50} et Q_{90} (source PACER).

Donc $Q_{\text{nominal}} = Q_{70} = 12\text{m}^3/\text{s}$

2-Estimation de la puissance pouvant être produite :

En passant à Ifarantsa (quartier situé à 5km d'Andakana), le niveau de la rivière est de 7m. Cette rivière présente une dénivellation de 17m en arrivant à Andakana (à 15km de Fort-dauphin) car son niveau actuel est de 24m ; en effet, on a pu avoir ces valeurs grâce à des poteaux gradués, installés par la société QMM (Quit Madagascar Minerals) exploitant de l'ilménite dans la ville en vue d'étudier la montée de l'eau de cette rivière en cas de crue.

Lors de notre étude, on envisage alors d'installer un barrage hydraulique muni d'un trop-plein (pour prévoir la montée d'eau lors de la période des crues), juste au passage de cette rivière à Andakana. Pour cela, une déviation d'eau pour permettre la migration des animaux aquatiques (poissons, ...) est aussi à envisager.

Nous estimons la hauteur du barrage à environ 30m à partir du lit de la rivière, et comme chute brute à exploiter de 25m.

Calcul de la puissance électrique pouvant être produite :

En pratique :

$$P_{el} = 9,81 \times \eta_t \times \eta_g \times Q_t \times H_n \quad (2)$$

Avec P_{el} = Puissance électrique pouvant être produite (kW)

η_t = rendement de la turbine = 0,9 maximal

η_g = rendement du générateur = 0,9 maximal

Q_t = débit en $\text{m}^3/\text{s} = 8\text{m}^3/\text{s}$

H_n = Hauteur nette du chute

Estimation de la chute nette :

L'ordre de grandeur des pertes à débit nominal est, en général:

$\Sigma HL = 10$ à 15% de H_b , d'où $H_n = 0,85$ à $0,9 H_b$

On a alors $H_n = 0,85 H_b = 21,25m$,

La Puissance électrique pouvant être produite est, alors, environ :

$$Pel = 9,81 \times 0,9 \times 0,9 \times 8 \times 21,25 = 1350 \text{ kW}$$

Numériquement, $P_{el} = 1350 \text{ kW}$

3-Choix et dimensionnement de l'ensemble des équipements constituant l'unité

I-CHOIX DE LA TURBINE

En utilisant l'abaque de choix de turbine, en fonction du débit et la hauteur de la chute nette établie par PACER en 1995 (**Annexe 6 : Abaque de choix de turbine, PACER 1995**), on pourra opter un choix sur deux turbines Francis fonctionnant chacun à $Q_{nom} = 6m^3/s$.



Figure 8 : Turbine Francis

Fiche technique du générateur hydraulique Francis :

Générateur électrique à turbine Francis	
Diamètre de turbine	0.35 m ~ 2 m
Différence du niveau d'eau	H= 16 m ~ 200 m
Débit d'eau convenable	Q= 0.3 m ³ /s ~ 25 m ³ /s
Capacité du générateur	55 kw ~ 30000 kw

Figure 9 : Fiche technique du générateur hydraulique Francis

On opte pour deux turbines Francis de la société chinoise TELLHOWPOWER, fonctionnant à un débit nominal de $6m^3/s$, de diamètre 1m chacune, pour être en accord avec les conduites hydrauliques de diamètre 1m.

II- CHOIX DE L'ALTERNATEUR

Le choix se porte sur deux alternateurs, SFW700-12/1430 de la société chinoise TELLHOWPOWER, de puissance 1040 kVA, 50Hz, chacun.



Figure 10 : Alternateur hydraulique

Fiche technique de l'alternateur

400v

50Hz ou 60Hz

Triphasé

Figure 11: Fiche technique de l'alternateur hydraulique

III-CHOIX DU TRANSFORMATEUR

Le choix se porte sur un transformateur MINERA MT/BT (400/15000V) de puissance 2000kVA de la société SCHNEIDER.



Figure 12 : Transformateur MINERA

Tableau 3 : Fiche technique du transformateur MINERA caractéristiques électriques

puissance assignée (kVA)	50	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	
tension assignée primaire	15 et/ou 20 kV														
secondaire à vide	410 V entre phases, 237 entre phases et neutre														
niveau d'isolement assigné (1)	primaire 17,5 kV pour 15 kV 24 kV pour 20 kV														
réglage (hors tension)	± 2,5 % e/ou ± 5 %														
couplage	Yzn 11 (version 50 kVA uniquement) Dyn 11														
pertes (W)	à vide	110	180	260	360	440	520	610	730	800	940	1150	1450	1800	2150
	dûes à la charge à 75°C	875	1475	2000	2750	3250	3850	4600	5400	7000	9000	11000	14000	18000	22000
	combinaison de pertes selon NF EN 50464	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k	B ₀ B _k
tension de court-circuit (%)		4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	
courant à vide (%)		1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
courant d'enclenchement	Ie/In valeur crête	10	9	9	8	8	8	8	8	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	
	constante de temps	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,4	0,45	0,45	0,45	0,45	
chute de tension à pleine charge (%)	cos φ = 1	1,81	1,54	1,32	1,17	1,11	1,04	1,00	0,93	1,05	1,08	1,06	1,05	1,08	
	cos φ = 0,8	3,57	3,43	3,31	3,22	3,17	3,13	3,10	3,06	4,35	4,37	4,35	4,35	4,37	
rendement (%)	charge 100 %	98,07	98,37	98,61	98,77	98,84	98,92	98,97	99,04	99,03	99,02	99,04	99,04	99,02	
	cos φ = 1	97,60	97,97	98,27	98,47	98,56	98,65	98,71	98,80	98,80	98,77	98,80	98,81	98,78	
	cos φ = 0,8	98,42	98,67	98,86	98,99	99,05	99,11	99,15	99,21	99,22	99,21	99,22	99,23	99,21	
	charge 75%	98,03	98,35	98,58	98,74	98,81	98,89	98,95	99,01	99,02	99,01	99,03	99,04	99,02	
bruit dB(A) (2)	puissance acoust. L _{WA}	42	44	47	50	52	53	54	55	56	58	59	61	63	
	pression acoust. L _{PA} à 1 m	33	35	37	40	42	42	43	44	45	47	47	49	51	

IV-DIMENSIONNEMENT ET CHOIX DES CABLES

Calcul de la section des câbles de raccordement entre alternateurs et le transformateur

On va estimer la chute de tension maximale à 2%, c'est-à-dire :

$$\Delta U = \frac{2 \times U}{100} \quad (3)$$

$$\Delta U = \frac{2 \times 410}{100} = 8,2 \text{ V}$$

Or,

$$\Delta U = (\sqrt{3} \times I \times R) \div S \quad (4)$$

Avec I= intensité maximale traversant le transformateur

R= résistivité (=0,0225 Ω/mm²)

L= longueur du conducteur (= 10m)

S= section de conducteur

Calcul de I

$$I_{max} = \frac{\text{Puissance}}{\sqrt{3} \times U} \quad (5)$$

$$I_{max} = \frac{1040000}{(\sqrt{3} \times 410)} = 1465 \text{ A}$$

Calcul de S:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times I \times R \times L}{\Delta U} \quad (6)$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 1465 \times 0,0225 \times 10}{8,2}$$

$$S = 70 \text{mm}^2$$

Figure 13 : Caractéristiques du câble 1x70mm²



Câble rigide U-1000 R2V 1x70mm² noir à la coupe

Câble industriel rigide type U-1000 R2V 1x70 gaine noire (à la coupe, sur commande)

Il faut quatre câbles de section $S=70\text{mm}^2$ chacun, de longueur $L= 10\text{m}$ pour brancher chaque alternateur avec le transformateur.

DIMENSIONNEMENT DE L'UNITE PHOTOVOLTAIQUE

1-Etude de faisabilité

Madagascar fait partie des pays africains qui bénéficient presque tout au long de l'année, de l'énergie solaire car elle se trouve dans la ceinture solaire (l'ensoleillement normal direct excède $2000 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$). Comparés aux régions des haut-plateaux qui vivent, pour la plupart des temps, dans la pluie, les côtes malgaches connaissent un atout exceptionnel en énergie solaire : la côte Ouest qui est la plus ensoleillée et la côte Est moyennement ensoleillée. Cet avantage est en partie dû au passage du tropique du capricorne sur l'île, en effet, près des tropiques (Cancer ou Capricorne), l'année est souvent marquée par une saison sèche et la température est élevée tout au long de l'année.

D'après le rapport du PNUE en 2005, Madagascar a comme ensoleillement compris entre 4,5 kWh/m²/jour et 6kWh/m²/jour. Avec cela, on a choisi un ensoleillement $E= 4,5\text{kWh/m}^2/\text{j}$ pour la ville de Fort-dauphin, à utiliser pour le dimensionnement.

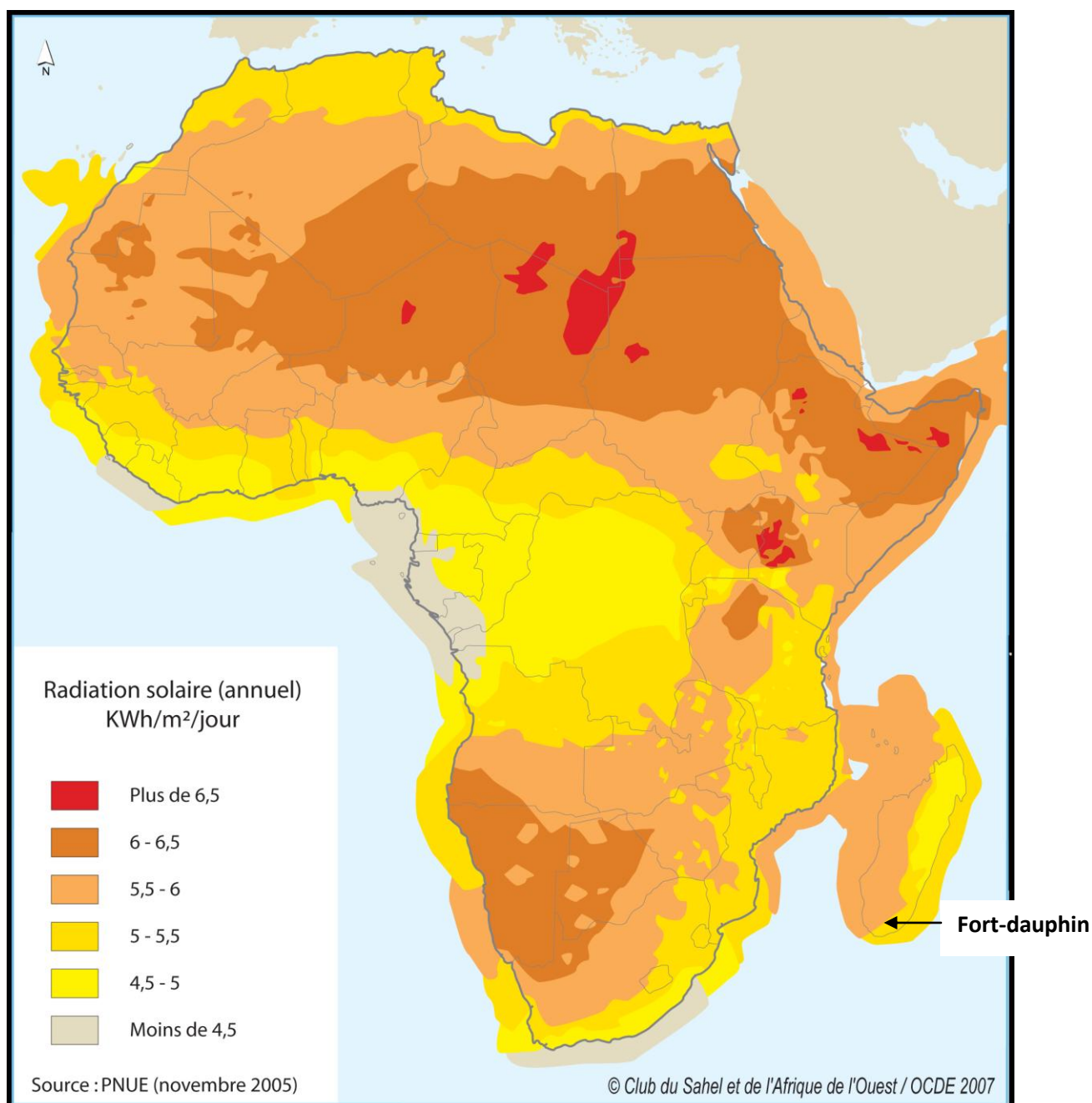


Figure 14: radiation solaire (annuelle) en kWh/m²/j

2- Estimation de l'énergie couverte par l'unité photovoltaïque :

En analysant le besoin, en énergie, de la population de Fort-dauphin $E=23$ MWh par jour et étant donné que les prix des matériels photovoltaïques sont un peu plus chers, on estime qu'il

est nécessaire de dimensionner une unité photovoltaïque couvrant 5% du besoin de la ville, pour seconder l'unité hydroélectrique prévue de puissance 1350kW.

3-Choix et dimensionnement de l'ensemble des équipements de l'unité photovoltaïque :

1ERE ETAPE : CALCUL DE L'ENERGIE COUVERTE PAR L'UNITE PHOTOVOLTAÏQUE

$$E_j = \frac{5 \times 23 \text{ MWh}}{100} = 1,1 \text{ MWh}$$

2EME ETAPE : CONFIGURATION - CHAINE DE RENDEMENT - CALCUL DE LA PUISSANCE CRETE

En considérant les différentes pertes dans les câbles (estimée à 0,8) et dans le (s) onduleur (s) (estimée à 0,96), estimons, d'abord, la puissance crête à installer :

$$P_c = \frac{E_j}{\eta_{ond} \times P_{câble} \times E} \quad (7)$$

D'où

$$P_c = \frac{1100000}{0,96 \times 0,8 \times 4,5} = 318287 \text{ Wc}$$

La puissance crête à installer est de : 318,3kW.

Pour pouvoir établir la chaîne de rendement, il faut choisir, à l'avance, l'onduleur qu'on souhaite utiliser.

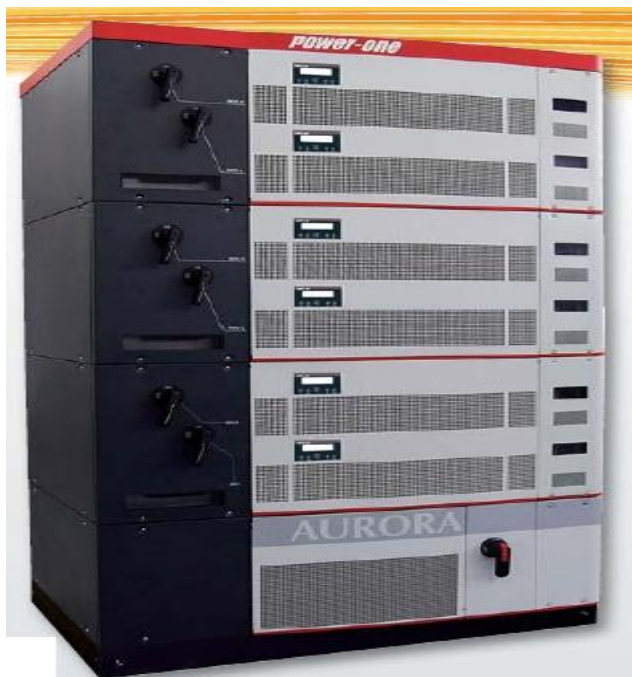


Figure 15: Onduleur Aurora POWER ONE 330kW

Tableau 4 : caractéristiques de l'onduleur Aurora 330.0-FR

PARAMETRES D'ENTRÉE	
Puissance nominale d'entrée	338,4
Tension maximum d'entrée admise [Vdc]	1000
Plage de tension d'entrée MPPT(1) [Vdc]	485 - 850
Courant d'entré maximum [Adc]	738
Bruit de tension d'entrée	<3%
Nombre d'entrée DC disponible	6
PARAMETRES DE SORTIE	
Puissance nominale de sortie AC, PACnom [jusque]	330
Courant nominal de sortie AC	486
Gamme de tension de sortie AC	3 x 400 +/-15%
Fréquence nominale AC [Hz]	50 / 60
Facteur de puissance nominal / Plage de réglage [cos ϕ]	1 / -0,95...+0,95
Rendement Peak %	96,70%
Masse [kg]	1700
Dimensions (LxHxl) [mm]	1250 x 2116 x 893.5

Suivant les catalogues que nous avons trouvés en ligne sur le marché, nous avons choisi un onduleur AURORA de puissance 330kW (pour pouvoir mieux contrôler la puissance crête de l'installation), de tension d'entrée comprise entre 330Vcc à 660Vcc, de rendement 0,96.

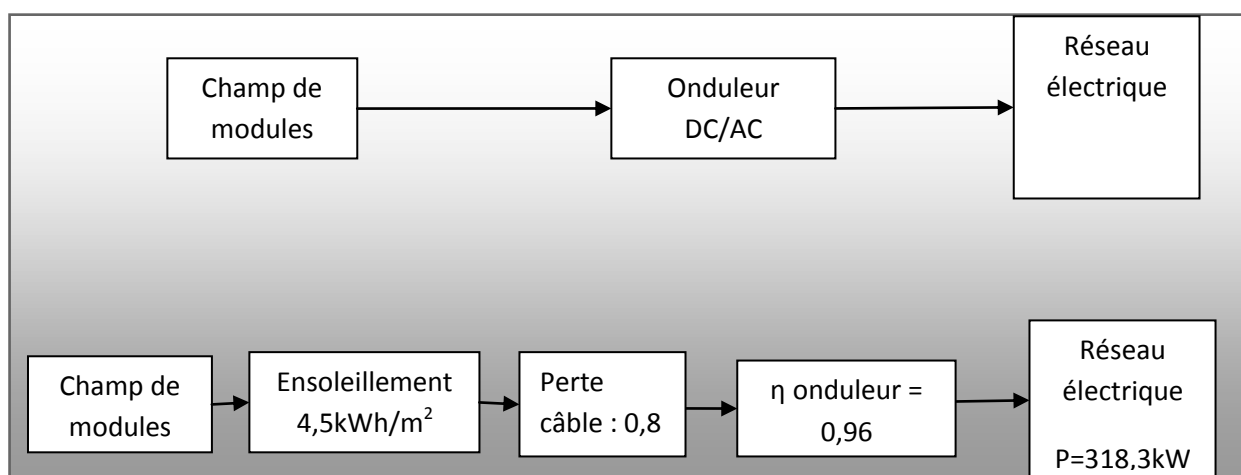


Figure 16 : Configuration et chaîne de rendement de l'unité photovoltaïque

3EME ETAPE : DIMENSIONNEMENT DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Pour une installation assez grandiose comme celle-ci, il est préférable de choisir des modules de puissance crête assez importante (de 500Wc à 1000Wc), pour faciliter les câblages au niveau des modules, mais pour notre cas nous n'avons trouvé que les modules de 240Wc au maximum sur le marché en ligne.

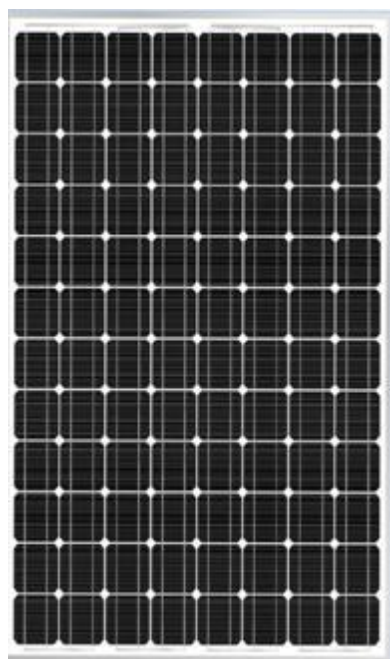


Figure 17: Module photovoltaïque

"SUN EARTH" 240Wc

Tableau 5 : Caractéristiques électriques du module

Maximum Power (Pmax)	315W
Power Tolerance (%)	±5
Nominal Voltage (V)	48.6
Nominal Current (I)	4.95
Open circuit Voltage (Voc)	59.5
Short circuit Current (Isc)	5.28
Maximum System Voltage (VDC)	750

En connaissant les caractéristiques du module photovoltaïque choisis ci-dessus, déterminons le nombre de modules nécessaires pour cette unité de production d'électricité.

Calculons le nombre de modules à mettre en série :

$$N_s = \frac{\text{tension d'utilisation}}{\text{tension de modules}} \tag{8}$$

$N_s = \frac{750}{60} = 13$ **modules**, car la tension du module pourrait dépasser la tension nominale (entre 55V à 65 V) en fonctionnement au fil du soleil. Il faudrait aussi choisir une tension d'utilisation assez importante pour réduire les pertes dans les câbles.

Calculons le nombre de module à mettre en parallèle :

$$N// = \frac{P_c}{N_s \times P_c \text{ du module}} \quad (9)$$

$$N// = \frac{318000}{13 \times 315} = 78 \text{ modules}$$

N_t (nombre total de modules)

$$N_t = N// \times N_s \quad (10)$$

$$N_t = 13 \times 78 = 1014 \text{ modules}$$

On a besoin alors **1014 modules** « **SUN EARTH 240Wc** » au total pour cette unité photovoltaïque.

4EME ETAPE : MODE D'INSTALLATION

Puisque cette unité est destinée à seconder l'unité hydraulique durant les heures le plus ensoleillées, donc elle sera raccordée au réseau. Il est nécessaire, alors, de connaître l'inclinaison des modules photovoltaïques pour avoir un rendement maximal en électricité.

A Madagascar, de latitude 20°S, l'inclinaison optimale des panneaux est de 43° l'hiver et de -3° l'été (selon l'abaque ci-dessous). Cela veut dire que, si l'angle des panneaux était réglable en cours d'année, il faudrait orienter les panneaux vers le Nord, avec un angle de 43°, en hiver, et vers le Sud, avec un angle de 3°, en été.

Pour ne pas avoir à modifier l'inclinaison des panneaux en cours d'année alors, il faut retenir une inclinaison moyenne, de 20°, vers le Nord.

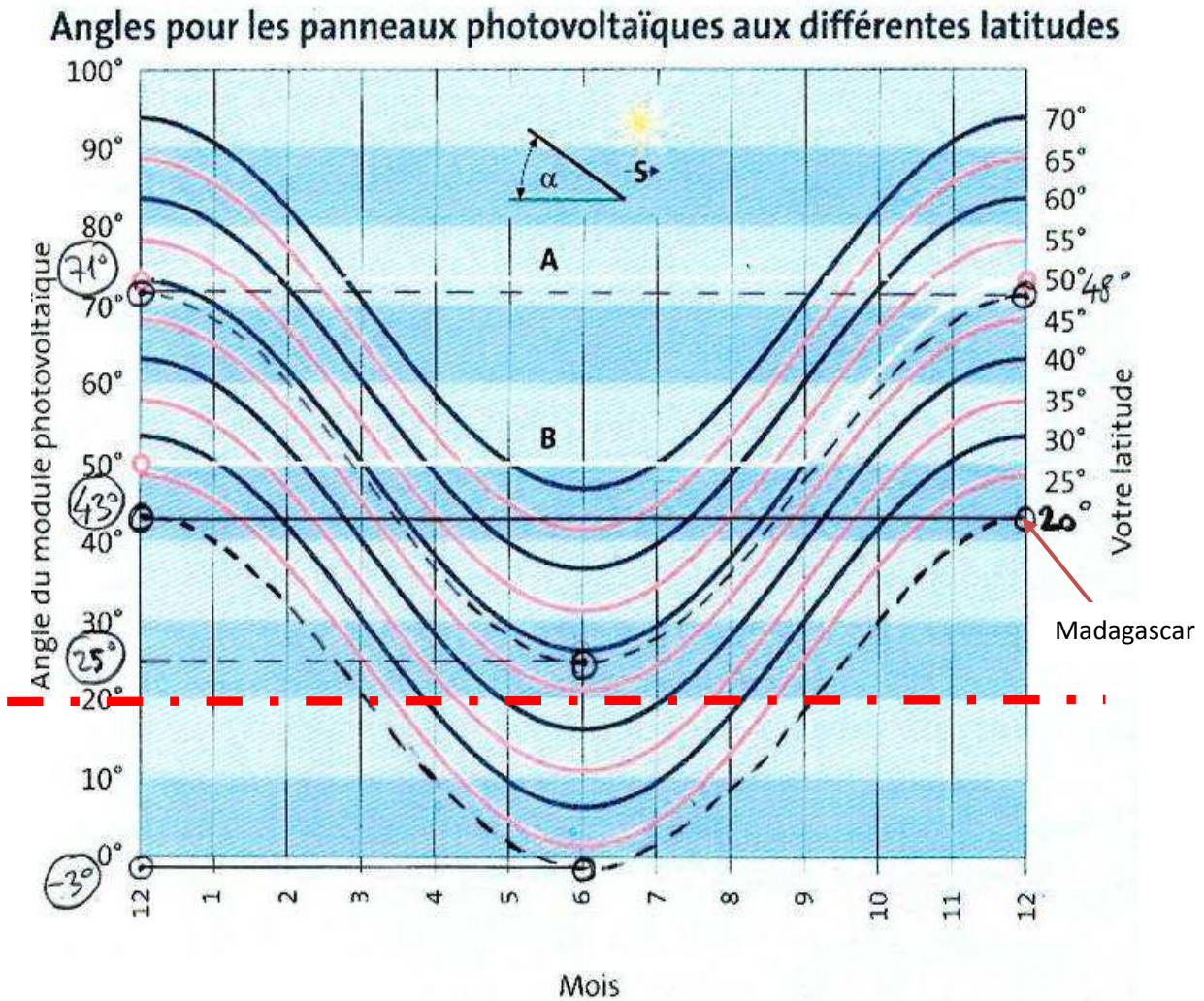


Figure 18 : Abaque d'inclinaison du panneau solaire à Madagascar (source : ADES)

Puisqu'on connaît, maintenant, l'angle d'inclinaison des modules, il faut savoir aussi la surface nécessaire pour installer ces modules photovoltaïques. La dimension d'un module est de **1596x1065x46 mm**.

La surface occupée par 13 modules en parallèle est de :

$$\text{Surface occupée par les modules en //} = 1,596 \times 13 \times 1,065 = \mathbf{22\text{m}^2}$$

La surface occupée par tous les modules est de

$$\text{Surface totale occupée est de } 22 \times 78 = \mathbf{1716\text{ m}^2}.$$

Calculons les dimensions du terrain nécessaire :

Longueur : $1,065m \times 78 = 83,07m$

Largeur : $1,596m \times 13 = 21m$

Afin d'éviter la projection des ombres de certains modules sur d'autres, il faut un terrain d'environ $150m \times 30m = 4500m^2$ pour installer ces modules.

5EME ETAPE : DIMENSIONNEMENT ET CHOIX DES CABLES :

a- Raccordement entre les panneaux solaires et le boîtier de raccordement

On va estimer la chute de tension maximale à 2%, c'est-à-dire :

$$\Delta U = \frac{2 \times U}{100} \quad (11)$$

$$\Delta U = \frac{2 \times 48,6}{100} = 0,972V$$

Or,

$$\Delta U = \frac{(2 \times I \times R \times L)}{S} \quad (12)$$

Avec I= intensité maximale traversant le transformateur

R= résistivité (=0,0225 Ω/mm^2)

L= longueur du conducteur (= 10m)

S= section de conducteur

Calcul de I

$$I_{max} = \frac{Puissance}{U} \quad (13)$$

$$I_{max} = \frac{240}{48,6} = 4,9 A$$

Calcul de S:

$$S = \frac{2 \times I \times R \times L}{\Delta U} \quad (14)$$

$$S = \frac{2 \times 4,9 \times 0,0225 \times 10}{0,972}$$

$$S = 2,3 \text{ mm}^2 = 2,5 \text{ mm}^2$$



**Câble panneaux solaires 1x2.5mm²
BLEU certifié TÜV en 100m**

Câble 1x2,5mm² spécialement conçu pour les systèmes photovoltaïques (panneaux solaires) certifié TÜV, âme en cuivre étamé, tension de service 1kV, isolant XL-HFFR sans halogène, gaine extérieure bleue, résistant aux UV et à l'ozone, résistant à la flamme norme IEC 60332-1, utilisation de -40°C à +120°C (prix € H.T. au mètre, vente par couronnes de 100 mètres)

Figure 19 : caractéristiques du câble 1x2,5mm²

Il faut 78 câbles de section $S = 2,5 \text{ mm}^2$, de longueur $L = 10 \text{ m}$ chacun pour relier les panneaux solaires au boîtier de raccordement. Et aussi, en estimant la nécessité d'un câble de 0,5m pour relier deux panneaux solaires, il faut aussi, environ, 507m soit $0,5 \times 13 \times 78 \text{ m}$ de câble pour relier les panneaux solaires en série et puis en parallèles.

b- Raccordement entre le boîtier de raccordement et l'onduleur

On va estimer la chute de tension maximale à 2%, c'est-à-dire :

$$\Delta U = \frac{2 \times U}{100} \tag{15}$$

$$\Delta U = \frac{2 \times 750}{100} = 15 \text{ V}$$

Or,

$$\Delta U = \frac{(2 \times I \times R \times L)}{S}$$

(16)

Avec I = intensité maximale traversant le transformateur

R = résistivité (=0,0225 Ω/mm^2)

L = longueur du conducteur (= 10m)

S = section de conducteur

Calcul de I

$$I_{max} = \frac{\text{Puissance}}{U} \tag{17}$$

$$I_{max} = \frac{318000}{750} = 424 \text{ A}$$

Calcul de S:

$$S = \frac{2 \times I \times R \times L}{\Delta U} \quad (18)$$

$$S = \frac{2 \times 424 \times 0,0225 \times 10}{15}$$

$$S = 12,7 \text{ mm}^2 = 16 \text{ mm}^2$$



Câble rigide U-1000 R2V 2x16mm² noir à la coupe

Câble industriel rigide type U-1000 R2V 2x16 gaine noire (à la coupe, sur commande)

Figure 20 : Caractéristiques du câble 2x16mm²

Il faut un câble 2x16mm², de longueur L= 10m pour le raccordement entre boîtier et l'onduleur.

c- Raccordement entre l'onduleur et le transformateur

On va estimer, toujours, la chute de tension maximale à 2%, c'est-à-dire :

$$\Delta U = \frac{2 \times U}{100} \quad (19)$$

$$\Delta U = \frac{2 \times 410}{100} = 8,2 \text{ V}$$

Or,

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \times R \times I \times L}{S} \quad (20)$$

Avec I= intensité maximale traversant le transformateur

R= résistivité (=0,0225 Ω/mm²)

L= longueur du conducteur (= 10m)

S= section de conducteur

Calcul de I

$$I_{max} = \frac{\text{Puissance}}{\sqrt{3} \times U} \quad (21)$$

$$I_{max} = \frac{330000}{(\sqrt{3} \times 410)} = 464 \text{ A}$$

Calcul de S:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times I \times R \times L}{\Delta U} \quad (22)$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 464 \times 0,0225 \times 10}{8,2}$$

$$S = 22 \text{ mm}^2 = 25 \text{ mm}^2$$



**Câble rigide U-1000 R2V 2x25mm²
noir à la coupe**

Câble industriel rigide type U-1000 R2V 2x25 gaine
noire (à la coupe, sur commande)

Figure 21 : caractéristique du câble 2x25mm²

Il faut deux câbles 2x25mm² de longueur L=10m pour relier l'onduleur et le transformateur.

IV- RESULTATS-ESTIMATION FINANCIERE DES SOLUTIONS PROPOSEES

Cours de change des devises 1€ est équivalent à \$1,37 = 2700 Ariary malgache. (Source :

www.moov.mg)

Unité hydraulique :

Estimation des coûts moyens des matériels nécessaires au dimensionnement de cette unité hydraulique :

Tableau 6 : Devis de l'unité hydraulique, réalisé par la société TELLHOWPOWER

Quotation for hydraulic generator			
unit rated power:1040kVA, rated voltage:400V, Q=6m ³ /s, H= 21m, diameter 1m, 50m of length			
Equipment list	Quantity	Price	Total unit price
Turbine hydraulic, HLA616-WJ-80	1	\$78 330,00	\$265 000,00
Alternator Hydraulic, SFW700-12/1430	1	\$79 518,00	
Main valve hydraulic, D941X-6, DN1200	1	\$20 481,00	
Governor, YWT-600	1	\$28 115,00	
Control panel, THP-2Z	1	\$14 883,00	
Excitation system, LWK-SQ	1	\$19 972,00	
hydraulic pipe line, tools and accessories	1	\$23 701,00	
Tel: 0086-791-5985273 Fax:0086-791-5985332 Mobile:0086-13677084774			
Web: www.tellhowpower.com (English) www.tellhow.com (Chinese)			
Email: hailaihua@hotmail.com			
Total = Total unit price *2= \$265 000,00 *2= \$530000,00			

Tableau 7 : Devis de l'unité hydraulique

Matériels	Nombre	Prix unitaire	Prix total (hors taxe) en €	Prix TTC en € (prix hors taxe*1,2)	Sources de prix
Générateur hydraulique	2	\$265000,00	386900	464280	Tellhowpower
Transformateur MINERA	1	650000€	650000	780000	Schneider- electric
Câble 1x 70mm ²	10m *8 =80m	10,56€/m	844,8	1013,76	www.cables- alimentation- electriques.com
Total				1245293,76	

Dépenses liés à l'installation hydraulique :

Les dépenses liées à la partie Génie civil sont estimées en moyenne à 50% des dépenses et celles liées aux parties électromécaniques (matériels) sont estimées à 50% des dépenses.

Calculons les dépenses liées à la partie génie civil :

Le total des dépenses liées à la partie électromécanique est de 1245293,76€, ce qui représente 50% des dépenses.

Le total des dépenses liées à la partie génie civil est alors : 1245293,76€

Le total de dépenses liées à l'unité hydraulique vaut, en moyenne, 2490587,52 €.

Unité photovoltaïque :Dépenses liés à l'installation photovoltaïque :

Le prix du Wc d'une installation photovoltaïque est, en moyenne, compris entre 3,5 € à 5€, En prenant le prix du Wc égal à 4 €, l'unité photovoltaïque ainsi dimensionnée, coûte, environ,
 $4€ \times 318287Wc = 1273148€$ (23)

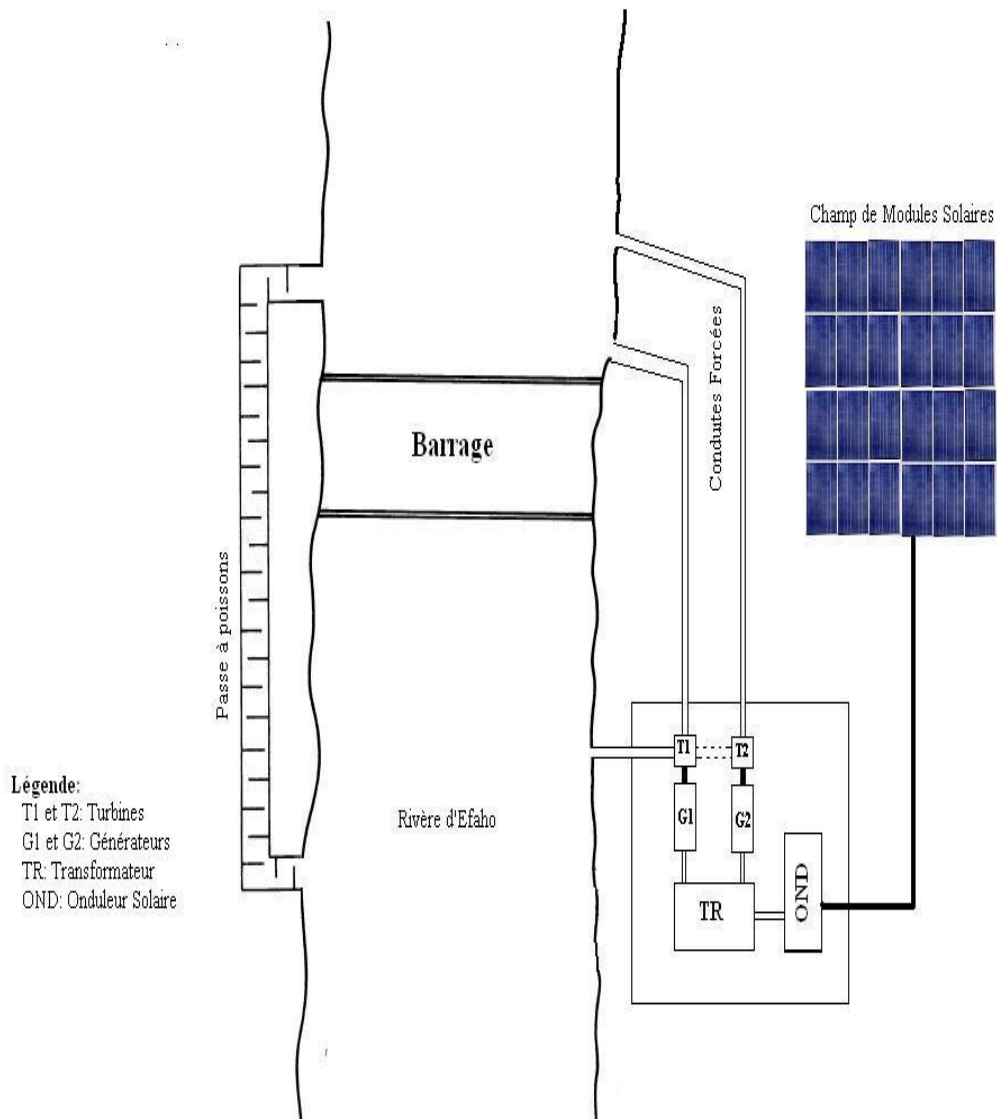


Figure 22 : Schéma simplifié de l'unité hybride hydro-photovoltaïque, prévue pour Fort-dauphin

V-DISCUSSIONS ET ANALYSES

Bienfaits de l'unité hybride :

a- Sur le plan environnemental :

Unité hydraulique :

En exploitant cette unité hydraulique, on réduit la consommation de gasoil nécessaire au fonctionnement des groupes électrogènes, donc on réduit l'émission du CO₂ dans l'atmosphère, ainsi que les autres saletés liées à l'utilisation du gasoil (odeur nauséabond, ..)

Si l'unité hydraulique fonctionne 24h sur 24h, on estime l'énergie journalière produite à

$$E_j = 1350kW \times 24h = 32400kWh$$

Calculons la quantité de CO₂ qu'on pourrait émettre si on utilisait du gasoil pour produire cette quantité d'énergie :

Dans la centrale thermique de Fort-dauphin, on a besoin 7 m³ de gasoil pour produire 23MWh d'électricité. Alors, pour produire 32,4MWh, il faut 9,861 m³ de gasoil par jour.

Cette unité hydroélectrique permet de réduire la consommation de 9,861 m³ par jour, soit 3599,2m³ par an, correspondant à une émission, environ, de 3205 tonnes de CO₂ dans la nature par an.

Unité photovoltaïque :

En choisissant des modules faits à base de cellules monocristallines au silicium, on peut être sûr qu'on ne peut pas laisser des résidus dangereux pour l'environnement car le silicium est un élément chimique non polluant.

En exploitant cette source d'énergie, on réduit la consommation de gasoil nécessaire au fonctionnement des groupes électrogènes, donc on réduit l'émission du CO₂ dans l'atmosphère, ainsi que les autres saletés liées à l'utilisation du gasoil (odeur nauséabond, ..)

Calculons la quantité de CO₂ qu'on pourrait émettre si on utilisait du gasoil pour produire 11000kWh par jour :

Dans la centrale thermique de Fort-dauphin, on a besoin de 7m³ de gasoil pour produire 23000kWh d'électricité. Alors, pour produire 1100kWh, il faut 304,4 litres de gasoil par jour.

Dans ce cas, alors, cette unité photovoltaïque permet de réduire la consommation de gasoil de 304,4 litres par jour, soit 111,2 m³ par an, correspondant à une émission, environ, de 109 tonnes par an de CO₂ dans la nature.

b- Sur le plan économique :

La production annuelle d'électricité prévue par l'unité hydraulique :

$32400kWh \times 365jours = 11826000kWh$, et celle de l'unité photovoltaïque est de :

$1100kWh \times 365jours = 401500kWh$

Dans les centrales hydrauliques dirigées par la JIRAMA : le prix du kWh de l'électricité est de 620Ar = 0,23€, en moyenne. (Source : JIRAMA Madagascar)

Calculons le prix du kilowattheure de l'électricité pouvant être produite par cette unité hybride hydro-photovoltaïque :

Le prix du kWh d'électricité est alors

$$\text{Prix du kWh} = \frac{\text{total des dépenses (en €)}}{\text{production annuelle (en kWh)}} \quad (23)$$

$$\text{Prix du kWh} = \frac{(2490587,52€+1273148€)}{(11826000 + 401500 kWh)} = \frac{0,31€}{1kWh} = 837Ar \text{ par kWh}$$

En vendant l'électricité à 620Ar (prix de l'électricité hydraulique dans toute l'île), soit 0,23€ le kilowattheure, ou un peu moins cher que ça, l'investissement sur cette unité hybride pourrait être récupéré, environ, en deux ans, donc on pourra dire que ce projet est rentable à long terme.

Inconvénients et limites de l'unité hybride dimensionnée :

a- Sur le plan économique

Malgré que les sources soient illimitées et que la production soit potentiellement infinie, ces énergies ont plutôt des limites en terme d'exploitation (puissance, densité d'énergie, surfaces de collection, coûts des matériels), ce qui affecte leur rentabilité économique et par conséquent leur distribution. En effet, pour le cas de Fort-dauphin, le projet est rentable mais on ne peut pas dépasser la puissance dimensionnée 1350kW, même si les besoins de la ville augmente, pour l'unité hydraulique car la disponibilité de l'eau est limitée pour cette rivière. De même pour l'unité photovoltaïque, les coûts des matériels relatifs sont chers comparés à

ceux de l'unité hydraulique, car, en faisant un calcul très simple, il faut 84557€ d'investissement (en unité hydraulique) pour produire 401500kWh par an (énergie annuelle totale produite par l'unité photovoltaïque), environ 15 fois moins cher que le coût de l'installation photovoltaïque prévue, donc on ne peut pas ignorer ce cas. En d'autres termes, l'unité photovoltaïque, elle seule, n'est pas rentable.

b- Sur le plan écologique

L'installation d'une unité hydraulique comme celle-ci peut produire d'impact négatif sur la faune et l'écosystème local, comme la possibilité des inondations en cas de période de crue et le gêne que pourra causer le barrage hydraulique sur la migration des animaux aquatiques, malgré l'existence d'une passe à poisson.

L'installation d'une unité photovoltaïque change aussi le paysage (l'allure de la ville) et nécessite une grande surface de terrain pour l'implanter.

c- Les problèmes de disponibilité et de stockage

Comme l'exploitation d'énergies renouvelables repose sur l'exploitation de phénomènes naturels, elle requiert certaines conditions, surtout climatiques, comme par exemple l'abondance de pluie pour améliorer la production de l'unité hydraulique. Or ce cas ne sera pas favorable pour l'unité photovoltaïque qui dépend très fortement de la présence du soleil, donc, du beau temps. Donc, à un certain moment ces deux unités dimensionnées ne seront toujours pas complémentaires.

Puisque l'unité photovoltaïque fonctionne au fil du soleil, elle ne pourra fonctionner que pendant le jour, donc la disponibilité est très limitée et sa production sera irrégulière car on n'a pas prévu un système de stockage.

VI- CONCLUSION

Après cinquante ans d'existence à Madagascar, la JIRAMA rencontre toujours beaucoup de problème. Les sources d'énergie qu'elle utilise, pour la plupart, ne sont pas renouvelables et participent à l'émission de gaz à effet de serre,

Pour le cas de Fort-dauphin, en utilisant ces sources d'énergie fossiles, la JIRAMA n'arrive pas encore à satisfaire les besoins de ses clients en matière d'électricité, car en effet, les populations vivent encore dans le délestage, et d'autres n'obtiennent pas encore d'électricité suite à leur demande, tout ça malgré les mesures prises par cette entreprise (location de groupe électrogène). Ces mesures prises ne sont ni propres pour l'environnement, ni économiques, et ni durables.

Ces difficultés rencontrées par la JIRAMA nous ont poussés à mener cette étude qui visait à seconder la centrale thermique de Fort-dauphin par une centrale hybride à base d'énergies renouvelables hydro-photovoltaïque pour diminuer la quantité de gasoil utilisé pour produire l'électricité et en conséquence, réduire la quantité de gaz à effet de serre émise, et aussi pour réduire le délestage et le coût d'électricité vendue aux abonnés.

En exploitant la rivière d'Efaho, avec ses caractéristiques hydrographiques, on a pu dimensionner une unité hydraulique de puissance 1350kW, qui pourrait fonctionner 24h/24h pour produire de l'électricité. Pour cela, on a prévu d'installer deux générateurs hydrauliques de puissance 1040kVA chacun, fonctionnant avec un débit nominale $6\text{m}^3/\text{s}$ et une chute brute de 25m.

Profitant aussi de l'avantage de Fort-dauphin d'être parmi les villes se trouvant dans la ceinture solaire, on a pu dimensionner une unité photovoltaïque couvrant le 5% des besoins de la population en énergie électrique correspondant à une unité photovoltaïque de puissance environ 318,3kW.

Les démarches auprès de fournisseurs de matériels hydrauliques et photovoltaïques nous ont aidé à estimer le coût des installations, ainsi que la rentabilité de ce projet, en effet le coût de l'installation hydraulique s'élève à 2490587,52€, et celui de l'installation est de 1273148€, ce qui nous a permis d'estimer le prix du kilowattheure de 0,31€ d'électricité produite, estimée à 12227,5MWh par an, permettant un retour d'investissement sur 2ans, à peu près.

Sur le plan environnemental, ce projet d'installation d'unité hybride à base d'énergies renouvelables permet de réduire la quantité de gasoil nécessaire à la production d'électricité de 3710,4m³ par an, et par conséquent, permet de réduire 3314 tonnes de CO₂ par an.

Nous espérons que l'étude que nous avons effectuée pourrait aider la JIRAMA, à résoudre ses problèmes. Toutefois, il faudrait consolider cette étude avec des données beaucoup plus fiables et plus récentes avant de passer à la concrétisation du projet.

VII-RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Les moyens pour surpasser les résultats :

Il faut quand même reconnaître qu'avec l'implantation de cette unité hybride, la JIRAMA aura toujours comme unité de pointe, l'unité thermique, durant les périodes de fortes demandes en courant électrique (nuit, et saison chaude).

N'est-il pas possible, alors, de remplacer cette unité thermique de pointe par une autre unité à base d'énergie renouvelable autre que l'eau et le Soleil ?

Mon avis par rapport à l'énergie :

Chaque pays possède des sources d'énergie sous différentes formes selon son emplacement géographique et sa richesse naturelle, mais l'exploitation et la gestion de ces sources ainsi que l'initiative de chaque pays à mettre en place le concept de développement durable qui les différencient les uns des autres. En effet, l'énergie contribue beaucoup au développement d'un pays, et il faut savoir l'exploiter et bien gérer, la source d'énergie, pour qu'elle permette le développement et non pas la faillite d'un pays.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] **Anne Labouret, M.P. Villoz**, Ed.Dunod, l'énergie solaire photovoltaïque, juin 2005
- [2] **J. E. MANSION**, Dictionnaire HARRAPS Shorter (English –French), , 1977
- [3] **Francis Meunier**, Les énergies renouvelables, 1^{ère} édition.
- [4] **Ian Graham**, Les énergies fossiles, Les énergies en questions, avril 2004
- [5] **Isabelle Chambost, Thierry Cuyaubère**, Coll. Dunod (2008), Gestion financière,
- [6] **La brochure « Turbine hydraulique »**, PACER 1995
- [7] **La brochure « Générateurs et installations électriques »**, PACER 1995
- [8] **La brochure « Régulations et sécurité d'exploitation »**, PACER 1995
- [9] **La brochure « Le choix, le dimensionnement et les essais d'une mini-turbine »**, PACER 1995
- [10] **Le petit LAROUSSE illustré**, 1983
- [11] **Journal « RIANDRANO »** de la JIRAMA, n°216, avril 2010
- [12] **Paul piro**, Ed. Terre vivante, Guide des énergies vertes pour la maison, 2006
- [13] **Pierre Chaperon, Joël Danloux, Luc Ferry**, (1993), Les fleuves et rivières de Madagascar.
- [14] **René Ducroux**, octobre 2004, CNRS Eds, L'effet de serre
- [15] **Robert Kandel**, Edition PUF, juillet 2004, Réchauffement climatique
- [16] **Théodore Wildi et Gilbert Sybille**, 4^{ème} Edition-Edition De Boeck, (juin 2005), Electrotechnique

SITES WEB :

www.unep.org/french/, www.riaed.net, www.power-one.com

www.ademe.fr, www.maguysama.fr, www.tellhowpower.fr

www.leroy-somer.com, www.schneider-electric.fr

ANNEXES

Annexe 1 : Energie produite en kWh, par la centrale thermique (mois de juin 2010)

Semaine		GROUPES ELECTROGENES							JIRAMA	HFF	TOTAL
		HFF5	HFF2	4119	2305	2306	HFF4	495			
Mardi	1	13300	2847		5096		1020	1440	6536	17167	23703
Mercredi	2	14700	3796		1745		2220	1440	3185	20716	23901
Jeudi	3	13200	4368		1741		2430	1920	3661	19998	23659
Vendredi	4	11400	3826		2387		4830	1760	4147	20056	24203
Samedi	5	14300	1920		3703		1740	1440	5143	17960	23103
Dimanche	6	15400	3378		2209		0	1280	3489	18778	22267
Lundi	7	15000	3694		2888		0	2080	4968	18694	23662
Mardi	8	14800	5242		1041		1200	1280	2321	21242	23563
Mercredi	9	15700	4008		783		2460	1600	2383	22168	24551
Jeudi	10	13700	4482		825		3600	1760	2585	21782	24367
Vendredi	11	15500	4037		1567		1230	2880	4447	20767	25214
Samedi	12	16200	4165		0		3930	1120	1120	24295	25415
Dimanche	13	17300	3905		0		2490	480	480	23695	24175
Lundi	14	8100	2690		3846		8040	800	4646	18830	23476
Mardi	15	14000	3563		1556		5070	960	2516	22633	25149
Mercredi	16	17300	3194		1373		3780	0	1373	24274	25647
Jeudi	17	16000	3185		1851		4680	0	1851	23865	25716
Vendredi	18	17100	3820		1056		2400	0	1056	23320	24376
Samedi	19	10500	1393		531		5550	0	531	17443	17974
Dimanche	20	15200	2556		1352		2400	1760	3112	20156	23268
Lundi	21	17100	0		1890		6630	640	2530	23730	26260
Mardi	22	17100	0		1887		5640	640	2527	22740	25267
Mercredi	23	16400	0		2033		6000	640	2673	22400	25073
Jeudi	24	1000	3144		5769		7800	4640	10409	11944	22353
Vendredi	25	13900	3212		4169		990	2240	6409	18102	24511
Samedi	26	18500	3712		1775		0	320	2095	22212	24307
Dimanche	27	19400	910		2044		0	800	2844	20310	23154
Lundi	28	19400	2626		468		2670	0	468	24696	25164
Mardi	29	17600	2124		834		2640	0	834	22364	23198
Mercredi	30	17400	2848		1112		3270	0	1112	23518	24630

Annexe 2 : mouvement du stock de gasoil de LA JIRAMA Fort-dauphin (juin 2010)

jour	Date	Stock à 06h00	ENTREE	Cession sect.	CONS.
M	1	17830	12000	400	7396
M	2	22034			6850
J	3	15184	12000		6602
V	4	20582	24000		7436
S	5	37146			7132
D	6	30014			7065
L	7	22949	12000		6378
M	8	28571			7077
M	9	21494	12000		7252
J	10	26242	12000		7180
V	11	31062	12000		7574
S	12	35488			7141
D	13	28347			6712
L	14	21635	12000		7205
M	15	26430			7339
M	16	19091	12000		7493
J	17	23598			7560
V	18	16038	24000		7389
S	19	32649			5197
D	20	27452			6696
L	21	20756	12000	400	7716
M	22	24640	12000		7604
M	23	29036			7114
J	24	21922	24000		6706
V	25	39216			7264
S	26	31952			7194
D	27	24758	12000		6811
L	28	29947	3000		7351
M	29	25596			6820
M	30	18776	24000		7127
J	1er	35649			

Annexe 3 : Puissance et heure de pointe journalière de Fort-dauphin (juin 2010)

Semaine		Pmaxi en kW	Heure de pointe
Mardi	1	1740	18:00
Mercredi	2	1710	18:30
Jeudi	3	1680	18:45
Vendredi	4	1800	18:45
Samedi	5	1755	19:00
Dimanche	6	1560	18:30
Lundi	7	1570	18:45
Mardi	8	1815	19:15
Mercredi	9	1760	18:15
Jeudi	10	1790	19:30
Vendredi	11	1795	18:45
Samedi	12	1785	19:00
Dimanche	13	1735	18:30
Lundi	14	1830	18:00
Mardi	15	1780	19:00
Mercredi	16	1860	18:30
Jeudi	17	1865	18:45
Vendredi	18	1690	18:30
Samedi	19	1670	19:00
Dimanche	20	1465	20:00
Lundi	21	1835	18:45
Mardi	22	1840	18:30
Mercredi	23	1720	18:45
Jeudi	24	1280	19:30
Vendredi	25	1780	18:30
Samedi	26	1640	18:00
Dimanche	27	1650	18:15
Lundi	28	1815	18:30
Mardi	29	1755	18:30
Mercredi	30	1770	18:25

Pmax en kW mois de Juin	Heure de pointe mois de Juin
1865	18:45

Annexe 4 : Relevé horaire des puissances, 22 juin 2010

Date: 22 Juin 2010	
Heures	Puissance en kW
1h 00	690
2h 00	650
3h 00	640
4h 00	690
5h 00	685
6h 00	720
7h 00	810
8h 00	830
9h 00	890
10h 00	870
11h 00	1030
12h 00	990
13h 00	975
14h 00	890
15h 00	960
16h 00	890
17h 00	960
17h 15	990
17h 30	990
17h 45	1210
18h 00	1250
18h 15	1710
18h 30	1840
18h 45	1605
19h 00	1710
19h15	1790
19h 30	1800
19h 45	1740
20h 00	1740
21h 00	1560
22h 00	1130
23h 00	790
24h 00	710

Annexe 5: Ordre de prix de révision de groupes électrogènes de JIRAMA Fort-dauphin

ORDRE DE PRIX (PAR KW) DE REVISION GROUPE ELECTROGENE			
NATURE DES TRAVAUX	PIECES DE RECHANGE PAR KW		MAIN D'OEUVRE
	EN DOLLARD USA	EN ARIARY	
- Groupe de 20 à 50 kW			
PVP			
GVP	25	52 500	
RG	55	115 500	
- Groupe de 60 à 200 kW			
PVP			20%
GVP	75	157 500	
RG	105	220 500	
- Groupe de 200 à 500 kW			
PVP	45	94 500	
GVP	75	157 500	
RG	125	262 500	
PVP:	- culasse (soupapes et sièges, culbuteries, joints) - injecteurs		4 000 heures
GVP:	- pvp - segments - bielles (cossinets, bagues de pied)		8 000 heures
RG:	- gvp - ligne d'arbre (coussinets, demi-lune, parhuile, roulements, etc) - pistons - révision pompe d'injection - révision pompe à huile - révision pompe à eau - révision turbo-compresseur		16 000 heures
Prix groupe de 200 à 500 kW	275	577500	

Annexe 6 : Abaque de choix de turbine, PACER 1995

