



Ministère de l'Énergie et du pétrole de Côte d'Ivoire

 ETUDE D'UNE ALIMENTATION OPTIMALE PAR SYSTEME HYBRIDE ET SON IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : CAS DE LA LOCALITE DE KROMAMBIRA (BOUNA, RCI)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
**MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**  
OPTION : ENERGETIQUE

---

Présenté et soutenu publiquement le 29 juin 2016 par

**Ghislain Stephen N'GORAN**

**Travaux dirigés par :**

**M. Bagaman KASSI**

Chef de Service Energies Renouvelables et  
Développement Durable / CI-ENERGIES

Maître de stage

**M. Henri KOTTIN**

Ingénieur, Enseignant-Chercheur 2iE / Laboratoire  
d'Énergie Solaire et d'Économie d'Énergie (LESEE)

Encadreur

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Sayon SIDIBE

Membres et correcteurs : Dr. Daniel YAMEGUEU

Ing. Henri KOTTIN

**Promotion [2014/2015]**

## DEDICACE

*A Celui qui était, qui est et qui vient...*

*Pour tout ce qu'il a fait et continue de faire pour moi*

*A mon défunt père N'GORAN Kouakou Célestin et ma mère NIANGORAN Yolande,*

*Symbole de tendresse profonde et permanente, de sacrifice et d'amour éternel*

*Tu m'as toujours soutenu afin que j'en sois là.*

*Que DIEU tout puissant m'accorde le succès afin que vous soyez honorés.*

*Je vous dédie cette modeste œuvre en guise de reconnaissance*

## REMERCIEMENT

*Je tiens tout d'abord à remercier la Société des Energies de Côte d'Ivoire en abrégé CI-Energies et particulièrement le Service des Energies Renouvelables et Développement Durable du Département des Equipements et du Développement, pour m'avoir accueilli durant ces six mois et de m'avoir donné l'opportunité de découvrir les métiers d'ingénieur en énergies renouvelables et environnementaliste.*

*Remerciements distingués à l'endroit du Directeur Général de CI-ENERGIES Monsieur Amidou TRAORE, du Directeur du Département des Equipements et du Développement Monsieur DIARRASSOUBA Nagaky ainsi que tous les autres membres du personnel pour leur collaboration et leur grande courtoisie.*

*Durant ce stage effectué dans les locaux de ladite structure, nous avons bénéficié de soutient fort appréciable de diverses personnes. Il nous apparaît donc primordial, avant même d'aborder la rédaction de notre rapport, de leur consacrer les premières lignes.*

*Nos remerciements vont avant tout, à l'endroit de notre maître de stage et Chef de Service Energies Renouvelables et Développement Durable Monsieur KASSI Bagaman.*

*Nous voulons ensuite traduire toute notre gratitude à l'endroit des personnalités ayant participé à la réalisation de ce stage. Je remercie tout particulièrement Monsieur ASSI Pika Jean Baptiste, Ingénieur Energies Renouvelables à CI-Energies et Monsieur N'TAKPE Boka Boniface.*

*Merci également à Monsieur KOUHIE Guéi Guillaume Fulbert, Sous-Directeur du Service Energie et Energies renouvelables à la Direction Générale des Energies.*

*À tous mes enseignants qui m'assuraient une bonne base théorique. Une pensée envers Mr. Henri KOTTIN, ingénieur de recherche à 2iE pour son encadrement. Votre compréhension, vos conseils et encouragement au travail, votre promptitude mais surtout votre disponibilité m'ont amené à bout. Très reconnaissant du temps que vous m'avez consacré, vous avez été en plus très enrichissant pour moi en apprentissage.*

*Je remercie aussi mes collègues stagiaires et toutes les personnes avec lesquelles j'ai eu le plaisir de collaborer et qui ont pu par la même occasion participer de près ou de loin à l'élaboration de ce mini projet.*

*J'ai beaucoup apprécié votre compagnie et j'espère que notre amitié dure longtemps.*

## AVANT-PROPOS

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) est un établissement d'enseignement supérieur et de recherche basé à Ouagadougou au Burkina Faso. Sa création en 2006, résulte de la fusion et restructuration des écoles inter-États EIER (École d'Ingénieurs de l'Équipement Rural) et ETSHER (École des Techniciens de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural), créées respectivement en 1968 et 1970 par 14 États d'Afrique de l'Ouest et Centrale pour former des ingénieurs spécialisés dans les domaines de l'équipement et de l'hydraulique. Il s'agit d'un Partenariat Public Privé international entre des États africains, des entreprises, des acteurs techniques et financiers et des organismes académiques et scientifiques.

2iE dispense une formation de pointe dans les domaines de l'Eau, de l'Énergie, du Génie Civil et de l'Environnement conformément au Processus de Bologne : Licence, Master, Doctorat ; en partenariat avec les meilleures universités du monde, offrant ainsi une grande mobilité aux étudiants.

En Afrique, les diplômes de 2iE sont reconnus par le Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur (CAMES). En Europe, ils sont labélisés EUR-ACE à travers l'accréditation par la Commission des Titres d'Ingénieur (Cti).

Dans un souci de former des Ingénieurs de Conception et des Techniciens Supérieurs hautement qualifiés et aptes à relever les challenges, les étudiants bénéficient d'une formation théorique et d'une formation pratique qui consiste en des travaux pratiques et visites sur site. Les formations pour le niveau master sont sanctionnées par des stages de production en entreprise ou dans un laboratoire de recherche en vue de la rédaction d'un mémoire. Ce mémoire intervient dans le domaine de formation de l'étudiant, qui est mis à l'épreuve pendant une période d'au moins vingt semaines sur un problème d'actualité dans la structure d'accueil. C'est pour s'inscrire dans le même ordre d'idée que nous avons été reçus au sein du Service Énergies Renouvelables et Développement Durable de la Société des Énergies de Côte d'Ivoire pour la rédaction du mémoire d'ingénieur. Ce stage s'est déroulé dans la période du 01 Décembre 2015 au 31 Mai 2016 et a eu pour thème: « *Etude d'une alimentation électrique optimale par système hybride et son impact sur l'environnement : cas de la localité de Kromambira (Bouna)* ».

Le présent rapport en est la parfaite illustration et rend compte des travaux effectués.

## LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

AC : courant alternatif

ANDE : Agence Nationale De l'Environnement

BT : basse tension

BTP : Bâtiments et Travaux Publics

CAMES : Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur

CIAPOL : Centre Ivoirien d'Anti-POLLution

CIE : Compagnie Ivoirienne de l'Electricité

CI-ENERGIES : Société des Energies de Côte d'ivoire

CO<sub>2</sub> : dioxyde de carbone

Cti : Commission des Titres d'Ingénieur

DAO : Dossier d'Appel d'Offres

EECI : Energie Electrique de Côte d'Ivoire

EPI : Equipement de Protection et Individuel

EIES : Etude d'Impact environnemental et social

EnR : énergies nouvelles et renouvelables

EP : éclairage public

ER : Energies Renouvelables

FED : Fond Européen de Développement

GE : Groupe Electrogène

HOMER: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables

HTA : Moyenne Tension

INS : Institut National de la Statistique

IRENA : International Renewable ENergy Agency

ISO: Organisation Internationale de Normalisation

LED : light-emitting diode

MPPT: Maximum Power Point Tracking

ONG : Organisation Non Gouvernementale

OPzS: Ortsfest Panzerplatte Spezial, batterie stationnaire ouverte à plaques tubulaires

OSHAS : Occupational Health and Safety Advisory Services

PANER : Programme d'Action National des Energies Renouvelables

PDER CI : Plan Directeur d'Electrification Rurale de Côte d'Ivoire

PRC : Polyéthylène réticulé

PRONER : PROgramme National d'Electrification Rurale

PV: Photovoltaïque

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SOC : State Of Charge

SEH: système d'énergie hybride

SOGEPE : Société de Gestion du Patrimoine du Secteur de l'Electricité

SOPIE : Société d'Opération Ivoirienne d'Electricité

TDR : Termes De Références

TRI : temps de retour sur investissement

USAID : Agence des Etats Unis pour le Développement International

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

## RESUME

Nous avons trouvé que l'hybridation PV/diesel/batteries est le modèle d'alimentation électrique qui soit approprié pour le contexte de KROMAMBIRA.

L'optimisation faite avec le logiciel HOMER a recommandé un champ PV de 28,5 kWc, 20 kW pour le générateur diesel et un parc de batterie de 168 kWh.

Les simulations ont montré que les paramètres directement liés au fonctionnement du système ne présentaient pas une grande influence.

Le réseau de distribution sera composé de 50 poteaux dont 44 équipés de luminaires LED. 2204 m de câbles en aluminium PRC  $3 \times 35 \text{mm}^2 + 56,4 \text{mm}^2 + 16 \text{mm}^2$  serviront à alimenter les foyers domestiques et l'éclairage public.

Le projet est évalué à 187 505,3 euros.

Notons que l'utilisation de cette structure permet d'économiser 22978 l/an du combustible, d'éviter un rejet de 62,14 tCO<sub>2</sub>/an, 88,7% de réduction sur le temps de nuisance sonore, de réaliser une minimisation immédiate des pertes liées au transport de l'énergie sur des longues distances, une fiabilité accrue de la fourniture d'une énergie de haute qualité et d'autre part de diminuer la capacité de stockage et d'atténuer les fluctuations dues à la production causées par la nature aléatoire des ressources renouvelables.

### Mot clés

- Etude
- Alimentation électrique
- Système hybride
- optimisation
- environnement

## ABSTRACT

We found that PV/diesel/batteries hybridization is the model of power supply which is adapted for the context of KROMAMBIRA.

The optimization made with software HOMER recommended a field statement of 28,5 kWc, 20 kw for the diesel generator and a park of battery of 168 kWh.

The analyses of sensitivities carried out showed that no internal parameter presented a great influence on the profitability of the system.

The distribution network will be composed of 50 posts including 44 equipped with luminaries LED. 2204 m of aluminium cables PRC  $3 \times 35 \text{mm}^2 + 56,4 \text{mm}^2 + 16 \text{mm}^2$  will be used to supply the domestic hearths and the street lighting.

The project is estimated at 187 505,3 euros.

Let us note that by using of this structure makes possible the saving of 22978 l/an fuel, to avoid a rejection of 62,14 tCO<sub>2</sub>/an, 88,7% of sound pollution, to carry out an immediate minimization of the losses related to the transport of energy on long distances, an increased reliability of the supply high quality of an energy then to decrease the storage capacity and to attenuate the fluctuations due to the production caused by the aleatory character of the renewable resources.

### Key word

- Study
- Power supply
- Hybrid system
- optimization
- environment

## TABLE DES MATIERES

DEDICACE .....	i
REMERCIEMENT .....	ii
AVANT-PROPOS .....	iii
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES .....	iv
RESUME .....	vi
ABSTRACT.....	vii
TABLE DES MATIERES .....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES FIGURES .....	xiv
INTRODUCTION .....	1
PARTIE A : GENERALITES .....	2
I. PRESENTATION DE LA SOCIETE DES ENERGIES DE CÔTE D'IVOIRE.....	2
<b>1. Cadre institutionnel du secteur de l'électricité</b> .....	2
<b>2. Historique</b> .....	3
<b>3. Situation géographique</b> .....	3
<b>4. Valeurs, vision de CI-ENERGIES</b> .....	3
<b>5. Organisation</b> .....	4
<b>6. Missions et attribution</b> .....	4
<b>7. Présentation de la Direction des Equipements et Développement</b> .....	5
<b>8. Activités du service d'accueil</b> .....	5
II. GENERALITES SUR LE THEME .....	7
<b>1. Contexte et la justification de l'étude</b> .....	7
<b>1.1. Population et localisation géographique du projet</b> .....	7
<b>1.2. Contexte</b> .....	8
<b>2. Analyse critique du rapport technique disponible</b> .....	9
<b>3. Problématique</b> .....	9
<b>4. Travail demandé</b> .....	10
<b>4.1. Objectif général</b> .....	10
<b>4.2. Objectifs spécifiques</b> .....	10
<b>4.3. Taches à Exécuter</b> .....	10
<b>5. Matériels et méthodologie</b> .....	10

5.1.	<b>Démarche générale du projet</b> .....	10
5.2.	<b>Matériels</b> .....	11
I.	<b>CHOIX DU SYSTEME D'ENERGIE HYBRIDE (SEH)</b> .....	12
1.	<b>Etude des systèmes d'énergies hybrides</b> .....	12
1.1.	<b>Ressource hydroélectrique</b> .....	12
1.2.	<b>Eolien</b> .....	13
1.3.	<b>Biomasse</b> .....	13
1.4.	<b>Diesel</b> .....	14
1.5.	<b>Ressource Solaire</b> .....	14
2.	<b>Système d'énergie hybride retenu</b> .....	15
II.	<b>LES DIFFERENTS TYPES DE CONFIGURATION D'HYBRIDATION PV-DIESEL</b> .....	16
1.	<b>Configuration série</b> .....	16
2.	<b>Configuration commuté</b> .....	17
3.	<b>Configuration parallèle</b> .....	17
4.	<b>Comparaison des configurations techniques</b> .....	19
5.	<b>Choix de la configuration technique</b> .....	20
III.	<b>DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'ENERGIE HYBRIDE PV/DIESEL</b> .....	21
1.	<b>Evaluation de la charge</b> .....	21
2.	<b>Profil de charge</b> .....	23
3.	<b>Dimensionnement du Groupe électrogène</b> .....	25
3.1.	<b>Méthode 1 : en partant des charges</b> .....	25
3.2.	<b>Méthode 2 : en partant de la courbe de charge considérée</b> .....	26
4.	<b>Dimensionnement du système PV</b> .....	26
4.1.	<b>En partant de la consommation mensuelle</b> .....	26
4.2.	<b>En partant de la courbe de charge considérée</b> .....	27
4.3.	<b>Choix de la tension nominale du système PV</b> .....	27
4.4.	<b>Capacité de stockage électrochimique</b> .....	27
4.5.	<b>Rayonnement</b> .....	28
4.6.	<b>Champ PV</b> .....	28
4.7.	<b>Choix de l'onduleur multifonctionnel</b> .....	29
IV.	<b>OPTIMISATION TECHNICO-ECONOMIQUE ET ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION</b> .....	30

<b>1. Les résultats de la simulation</b> .....	30
<b>1.1. Préparation de la simulation</b> .....	30
<b>1.2. Architecture optimale</b> .....	32
<b>1.3. Graphes horaires détaillés pour l'architecture</b> .....	33
<b>2. Etude comparative des différentes technologies de production</b> .....	35
<b>2.1. Comparaison avec le système PV autonome</b> .....	35
<b>2.2. Comparaison avec le système Générateur diesel autonome</b> .....	36
<b>2.3. Comparaison avec l'extension du réseau</b> .....	37
<b>3. Analyses de sensibilités</b> .....	38
<b>3.1. Variation du taux d'intérêt</b> .....	38
<b>3.2. Variation du coût du PV</b> .....	39
<b>3.3. Variation du coût du diesel</b> .....	40
<b>3.4. Variation du coût des batteries</b> .....	40
<b>3.5. Variation de l'ensoleillement</b> .....	41
<b>4. Synthèse</b> .....	42
<b>V. RESEAU DE DISTRIBUTION BASSE TENSION ET ECLAIRAGE PUBLIC</b> .....	44
<b>1. Présentation des ouvrages</b> .....	45
<b>1.1. Les supports de ligne</b> .....	45
<b>1.2. L'ensemble d'ancrage et de suspension</b> .....	45
<b>1.3. Les conducteurs</b> .....	46
<b>2. Tracé de ligne du réseau Basse Tension et Eclairage Public</b> .....	47
<b>3. Détermination des calibres In des déclencheurs des disjoncteurs</b> .....	48
<b>4. Détermination des sections de câbles</b> .....	48
<b>4.1. Courant admissible</b> .....	48
<b>4.2. Section des câbles</b> .....	48
<b>5. Détermination de la chute de tension</b> .....	49
<b>5.1. Vérification de la chute de tension dans le réseau de l'EP</b> .....	50
<b>5.2. Vérification de la chute de tension en extrémité de ligne</b> .....	50
<b>6. Synthèse</b> .....	50
<b>VI. ETUDE ECONOMIQUE</b> .....	50
<b>1. Devis quantitatif et estimatif du réseau basse tension</b> .....	50
<b>2. Devis approximatif du Système d'Energie Hybride</b> .....	50

<b>3. Coût de réalisation du projet</b> .....	51
<b>4. Etude comparative des coûts</b> .....	51
<b>PARTIE C : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX</b> .....	52
<b>I. CADRE INSTITUTIONNEL DU DOMAINE DE L'ENVIRONNEMENT EN COTE D'IVOIRE</b> .....	53
<b>II. IDENTIFICATION, ANALYSE ET EVALUATION DE L'IMPORTANCE DES IMPACTS POTENTIELS DU PROJET</b> .....	53
<b>1. Démarche méthodologique</b> .....	53
<b>2. Impacts positifs du projet</b> .....	54
<b>2.1. En phase d'aménagement et de construction</b> .....	54
<b>2.2. En phase d'exploitation</b> .....	56
<b>3. Impacts négatifs du projet et mesures d'atténuation</b> .....	58
<b>CONCLUSION</b> .....	62
<b>PARTIE D : RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	63
<b>1. Recommandations</b> .....	63
<b>2. Perspectives</b> .....	64
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	65
<b>ANNEXE</b> .....	66
<b>ANNEXE 1 : CHOIX DU SYSTEME HYBRIDE</b> .....	68
Annexe 1.1 : Inventaire des sites de petite hydroélectricité en Côte d'Ivoire .....	68
Annexe 1.2 : Carte éolienne ivoirienne, USAID .....	69
Annexe 1.3 : Carte d'ensoleillement de la Côte d'Ivoire .....	70
<b>ANNEXE 2 : DIMENSIONNEMENT DES SOUS SYSTEME DE L'HYBRIDATION</b> .....	71
Annexe 2.1 : classification des habitats .....	71
Annexe 2.2 : listes des équipements utilisés à Kromambira .....	71
Annexe 2.3 Tableau de consommation .....	72
Annexe 2.4 Tableau de charge horaire .....	76
Annexe 2.5 : Dimensionnement de l'installation solaire PV .....	77
Annexe 2.6 : Tableau : résumé de comparaison entre les batteries plomb .....	78
Annexe 2.7 : Panneaux PV .....	79
<b>ANNEXE 3 : OPTIMISATION TECHNICO-ECONOMIQUE</b> .....	81
Annexe 3.1 : Tableau d'estimation du coût du kWh en zones périphériques du réseau .....	81

Annexe 3.2 : Devis d'alimentation HTA de Kromambira S/P de SOMINASSE .....	81
Annexe 3.3 : batteries OPzS 2V 1750 Ah.....	85
Annexe 3.4 : Onduleurs multifonctionnels (VITRON de Easy Solar) .....	86
Annexe 3.5 : Groupe électrogène.....	87
ANNEXE 4 : DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE DISTRIBUTION .....	88
Annexe 4.1 Calibres des disjoncteurs .....	88
Annexe 4.2 Influence de la température ambiante / pose non enterrés .....	88
<b>Annexe 4.3 : Facteurs de correction par groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs (en une couche) .....</b>	<b>89</b>
<b>Annexe 4.4 : Section de câble à utiliser par connaissance de l'intensité véhiculée .....</b>	<b>89</b>
Annexe 4.5 : Schéma des lignes de distribution et de l'éclairage public.....	90
<b>Annexe 4.6 : Chute de tension dans l'Eclairage Public.....</b>	<b>91</b>
<b>Annexe 4.7 : Puissance totale de chute de tension par segment de ligne .....</b>	<b>92</b>
<b>Annexe 4.8 : Calculs de la chute de tension dans le réseau BT.....</b>	<b>93</b>
Annexe 4.9 : devis d'alimentation BT/EP de kromambira s/p de sominasse.....	94
Annexe 4.10 : ampoule LED .....	96
ANNEXE 5 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....	97
<b>Annexe 5.1 : Tableau extrait de la réglementation applicable au projet.....</b>	<b>97</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : données des irradiations globales pour le village de Kromambira

Tableau 2 : Comparaison des différentes configurations techniques

Tableau 3 : charges du village de KROMAMBIRA

Tableau 4 : facteur de simultanéité en fonction du nombre d'abonnés

Tableau 5 : listes des équipements utilisés à Kromambira

Tableau 6 : tension générateur en fonction de la puissance

Tableau 7 : tableau des hypothèses des variables d'entrée

Tableau 8 : variables de simulations pour les équipements

Tableau 9 : localisation et ensoleillement moyen annuel des localités choisies

Tableau 10 : comparaison des valeurs des composants du SEH

Tableau 11 : influence des variables et valeurs seuils de rentabilité

Tableau 12 : Les Formules de calculs de chute de tension utilisées

Tableau 13 : récapitulatif du devis quantitatif est estimatif du réseau Basse Tension

Tableau 14 : Etude comparative du coût du projet suivant le modèle d'alimentation électrique

Tableau 15 : impacts négatifs potentiels du projet et mesures d'atténuation

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme du Secteur de l'Electricité de Côte d'Ivoire

Figure 2 : localisation de la zone concernée par le présent projet.

Figure 3 : modèle conceptuel de HOMER

Figure 4 : schémas général de système énergétique hybride multi-sources, charges et stockage

Figure 5 : données des irradiations globales pour le village de Kromambira

Figure 6 : configuration hybride PV-diesel série

Figure 7 : configuration hybride PV-diesel commutée

Figure 8 : configuration hybride PV-diesel parallèle

Figure 9 : « Multi-master » avec générateurs

Figure 10 : « Multi-master » avec onduleurs

Figure 11 : schémas de principe

Figure 12 : Courbe de charge de Kromambira

Figure 13: interface HOMER, équipements sélectionnés et ressources

Figure 14 : résultats de l'optimisation

Figure 15 : production électrique du 6 février

Figure 16 : production électrique du 13 juillet

Figure 17 : graphe mensuelle de la production électrique

Figure 18 : statistique mensuelle du degré de charge du parc de batteries

Figure 19 : résultats de l'optimisation des différentes configurations

Figure 20 : comparaison des cash-flows annualisés de l'option hybride avec l'option diesel seul

Figure 21 : comparaison de l'extension du réseau avec la solution décentralisée

Figure 22 : exemple de variables de sensibilité

Figure 23 : coût du kWh en fonction du taux d'intérêt

Figure 24 : coût de l'énergie en fonction de la variation du coût du PV

Figure 25 : coût du kWh en fonction du coût du diesel

Figure 26 : variation du coût de la tonne de plomb

Figure 27 : variation du coût du kWh en fonction du facteur multiplicateur du coût des batteries

Figure 28 : coût du kWh en fonction de l'ensoleillement

Figure 29 : Câbles BT suspendus, ancrage et suspension

Figure 30 : Tracé de ligne du réseau basse tension et éclairage public de Kromambira

Figure 31 : Récapitulatif des coûts de réalisation et d'installation et de maintenance du SEH

Figure 32 : schéma typique du développement durable

## INTRODUCTION

L'accès à l'électricité est une composante essentielle pour soutenir le développement économique et social d'une localité, et contribue à réduire la pauvreté. L'électricité permet entre autres l'intégration des populations et l'amélioration de leurs conditions d'existence.

Ainsi, l'Etat ivoirien s'est donné pour objectif à travers son programme national d'électrification rurale (PRONER) d'électrifier toutes les localités à l'horizon 2030, notamment les localités de plus de 500 habitants à l'horizon 2020<sup>1</sup>. Cependant certaines localités éligibles se trouvent très éloignées des réseaux publics d'électrification.

Le générateur diesel est la technique la plus utilisée pour l'électrification décentralisée. Mais l'accès aux localités étant long et difficile, les coûts de maintenance et d'approvisionnement en combustible sont prohibitifs. De même un système de production composé uniquement d'un groupe électrogène ne permet pas d'alimenter pendant plusieurs heures une demande trop faible<sup>2</sup>. CI-ENERGIES a donc été amenée à réfléchir sur d'autres modèles d'électrification en site rural isolé. Il s'agira de privilégier des solutions flexibles et innovantes basées sur l'hybridation à base de sources d'énergies renouvelables, pour mettre à la disposition des populations en zone rurale isolée des modes d'énergie fiables et efficaces.

Il a donc été soumis à notre réflexion de mener l' : « **ETUDE D'UNE ALIMENTATION ELECTRIQUE OPTIMALE PAR SYSTEME HYBRIDE ET SON IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : CAS DE LA LOCALITE DE KROMAMBIRA (BOUNA)** ».

Il s'agira dans cette étude de proposer les alternatives de solutions décentralisées par système hybride appropriée pour le contexte de la localité concernée Kromambira dans le Département de Nassian. Outre le dimensionnement optimal du réseau de cette localité, nous examinerons les conditions dans lesquelles cette alimentation est respectueuse de l'environnement.

Le contenu du présent mémoire de stage, qui s'est déroulé dans la période du 1 Décembre 2015 au 31 Mai 2016, a été dressé autour des quatre (4) grandes parties ci-après.

- Première partie consacrée aux généralités ;
- Deuxième partie pour les travaux (conception du projet) et la présentation des résultats, leur l'interprétation et l'apport personnel;
- Troisième partie pour l'étude environnementale; à laquelle nous ajouterons une conclusion et des recommandations pour la mise en œuvre durable du projet.

---

<sup>1</sup> Plan Directeur d'Electrification Rurale de Côte d'Ivoire, Volume 1, 2014

<sup>2</sup> Thibaud SIMON (Dimensionnement d'installations photovoltaïques hybrides, CYTHELIA, p8, 2014).

## PARTIE A : GENERALITES

### I. PRESENTATION DE LA SOCIETE DES ENERGIES DE CÔTE D'IVOIRE

#### 1. Cadre institutionnel du secteur de l'électricité

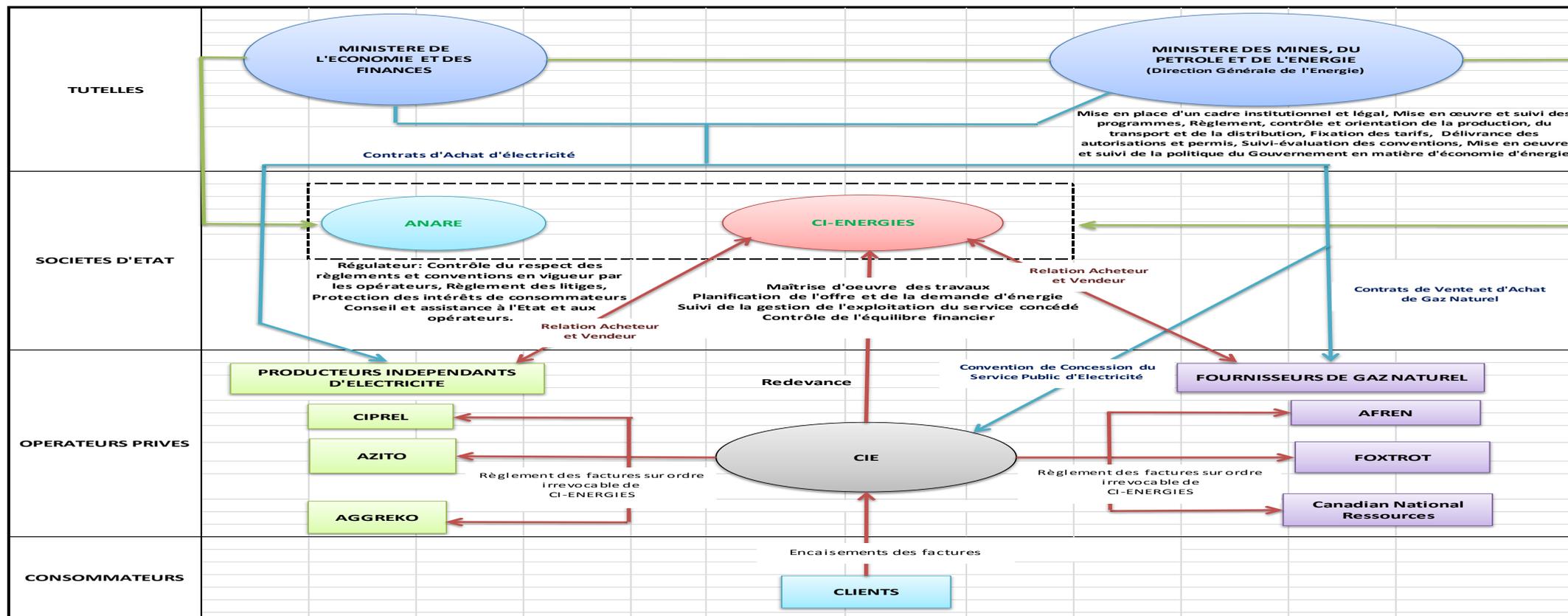


Figure 1 : Organigramme du Secteur de l'Electricité de Côte d'Ivoire

CI-ENERGIES gère trois (3) contrats de fourniture de l'électricité signés par l'Etat avec :

- CIPREL (Compagnie Ivoirienne de PROduction d'ELectricité), Take Or pay de 2154 GWh;
- AZITO ENERGIE pour un Take Or Pay puissance de 2×148 MW ;
- AGGREKO pour un Take Or Pay puissance de 96 MW.

CI-ENERGIES assure la gestion et le suivi des contrats de vente et d'achat de gaz naturel avec :

- AFREN, pour une quantité maximale de 25 Mpc/j.
- Foxtrot International pour un Take Or Pay de 140 Mpc/j.
- CNR International pour une quantité maximale de 35 Mpc/j.

## 2. Historique

La Société des ENERGIES DE COTE D'IVOIRE (**CI-ENERGIES**) a été créée par décret n° 2011-472 du 21 décembre 2011. Elle est née de la fusion anticipée des Sociétés d'Etat dénommées Société de Gestion du Patrimoine du Secteur de l'Electricité (SOGPE) et Société d'Opération Ivoirienne d'Electricité (SOPIE) lors du Conseil des Ministres du mercredi 21 décembre 2011.

CI-ENERGIES est régie par les dispositions de la loi n° 70-633 du 5 novembre 1970 fixant le régime des sociétés d'Etat avec un capital de **vingt milliards (20 000 000 000)** de F CFA.

## 3. Situation géographique

CI-ENERGIES a son siège social fixé à Abidjan, en République de Côte d'Ivoire et plus précisément dans la commune du plateau, place de la république, immeuble EECI

Son adresse est 01 BP 1345 Abidjan 01, téléphone : (225) 20 20 60 00, Fax : 20 33 26 82.

## 4. Valeurs, vision de CI-ENERGIES

Inscrit dans un Système de Management de la Qualité en février 2014, intégrant les volets Hygiène, Sécurité et Environnement selon les références ISO 9001 ; 2008 OSHAS 18001 et ISO 14001, les valeurs de CI-ENERGIES sont : « Responsabilité, Engagement, Sens du Devoir, Ethique et Transparence ».

Ci-ENERGIES a pour vision de **bâtir la Côte d'ivoire "Electrique" de demain<sup>1</sup>**.

---

<sup>1</sup> Plaquette de CI-ENERGIES, 2014

## 5. Organisation

CI-ENERGIES est présidée par un conseil d'administration suivi de la direction générale, l'organe exécutif. Au sein de CI-ENERGIES, nous avons :

Au titre des Directions :

- Direction des Etudes et de la Planification ;
- Direction de l'Équipement et du Développement à laquelle nous avons été affectés ;
- Direction de l'exploitation ;
- Direction Financière et Comptable ;
- Direction des Marchés et de la logistique ;

Au titre des Services rattachés à la Direction Générale :

- Direction du projet SOUBRE ;
- Cellule Audit interne ;
- Cellule Juridique ;
- Cellule Business Unit ;
- Cellule Communication ;
- Cellule ressources humaines ;

## 6. Missions et attribution

La société a pour objet d'assurer le suivi de la gestion des mouvements d'énergies électriques ainsi que la maîtrise d'œuvre des travaux revenant à l'Etat en tant qu'autorité concédante.

A cet effet, la société prend toutes les dispositions nécessaires pour assurer :

- La planification de l'offre et de la demande en énergie électrique, en coordination avec le ministère en charge de l'énergie ;
- La maîtrise d'œuvre des investissements en matière d'extension, de renforcement et de renouvellement du réseau de transport et d'électrification rurale ;
- Le suivi de la gestion des fonctions d'achat, de transport et de mouvement d'énergie électrique ;
- La gestion administrative, comptable et financière de l'ensemble des éléments formant le domaine public et privé, les ouvrages et les équipements constituant les actifs et immobilisations de l'Etat ;

- Le suivi de la gestion de l'exploitation du service concédé ;
- La maîtrise d'ouvrage des travaux relatifs aux infrastructures, ouvrages et équipements du secteur de l'électricité ;
- La gestion au nom et pour le compte de l'Etat de la redevance prévue par la convention de concession de service public de production, transport, distribution, importation et exportation de l'électricité ;
- La tenue des comptes consolidés et le contrôle de l'équilibre financier du secteur de l'électricité ;

## 7. Présentation de la Direction des Equipements et Développement

La **Direction des Equipements et du Développement** a pour missions :

- Assurer la maîtrise d'œuvre des ouvrages de production, transport et distribution (développement, extension, renforcement, renouvellement du réseau et électrification rurale) ;
- Assurer le développement des énergies nouvelles, des énergies renouvelables et des activités d'économies d'énergies ;
- Réaliser les études d'ingénierie des projets ;
- Assurer le suivi et évaluation des projets ;
- Assurer la coordination générale des projets cofinancés par des bailleurs de fonds ;
- Mettre en œuvre les plans directeurs de développement du secteur électrique ;
- Disposer d'un bordereau de prix régulièrement mis à jour ;

## 8. Activités du service d'accueil

Les missions du **Service des Energies Renouvelables et Développement Durable** sont:

### ➤ Volet Energies Renouvelables

- Participer à la formulation de politiques, de plan directeurs, de plan d'actions, de programmes et propositions de projets relatifs au sous-secteur des énergies renouvelables ; en liaison avec la Direction des Energies Nouvelles et Renouvelables (Ministère du Pétrole et de l'Energie);

- Participer au processus de dossier d'appels d'offres (élaborer les spécifications techniques, préparer le montage des DAO, etc.) et de passation de marchés, lancé par le Ministère du Pétrole et de l'Énergie ou CI-ENERGIES, dans le sous-secteur des énergies renouvelables ;
- Analyser les rapports des études d'Avant-Projet Sommaire (APS) et d'Avant-Projet Détaillé (APD), soumis par les promoteurs privés de projets d'énergies renouvelables ; en liaison avec la Direction des Énergies Nouvelles et Renouvelables (Ministère du Pétrole et de l'Énergie);
- Participer aux négociations de conventions relatives aux projets dans le sous-secteur des énergies renouvelables ;
- Suivre, Contrôler et Evaluer l'exécution des projets et programmes d'énergies renouvelables (respects des cahiers de charges, de l'environnement, des normes et des performances, des délais de réalisation, des enveloppes financières, etc.) ;

➤ **Volet Développement Durable**

- Elaborer, en liaison avec l'Agence Nationale de l'Environnement (ANDE), les Termes De Références des Etudes Environnementales des projets de production, transport et distribution d'énergie électrique, initiés par CI-ENERGIES ;
- Participer au processus de dossier d'appels d'offres (élaborer les spécifications techniques, préparer le montage des DAO, etc.) et de passation de marchés des consultants des Etudes Environnementales ;
- Approuver les rapports des Etudes Environnementales avant transmission à l'ANDE ;
- Suivre en liaison avec l'ANDE le processus de validation des rapports des Etudes Environnementales ;
- Appuyer les promoteurs privés de projets de production d'énergie dans la conduite des Etudes Environnementales de leurs projets ;
- Suivre la mise en œuvre des Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) et des Populations Affectées par les Projets (PAP);
- Initier des projets Mécanisme pour un développement Propre (MDP)

## II. GENERALITES SUR LE THEME

### 1. Contexte et la justification de l'étude

#### 1.1. Population et localisation géographique du projet

Kromambira est un village situé dans la région du Zanzan, au Nord-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique; plus précisément à 32 km de Nassian, chef-lieu de département et 195 km de Bouna chef-lieu de région. Les coordonnées géographiques de cette localité sont 8° 30'18'' Nord, 3°45'30'' Ouest et 316 m d'altitude au niveau de la mer<sup>1</sup>. Sa population estimée à 356 habitants en 2012 soit 173 hommes et 183 femmes, environ 51% de femmes compte maintenant 666 personnes<sup>2</sup>. Cette population est essentiellement constituée de cultivateurs, de fonctionnaires et de commerçants.

Kromambira est situé à 25 km du village électrifié le plus proche du nom de Parhadi.



Figure 2 : localisation de la zone concernée par le présent projet

<sup>1</sup> [www.google.com](http://www.google.com) et carte routière Gesig/Gsarl 2<sup>ème</sup> édition juillet 2012

<sup>2</sup> Résultats des études réalisées par la fondation délégation Akwaba, 2012 et 2015

## 1.2.Contexte

Dans le cadre du 10<sup>ème</sup> FED (Fond Européen de Développement), la Côte d'Ivoire a obtenu, à travers la Facilité Energie UE/ACP, un don pour le financement d'un projet d'électrification de sept (07) localités rurales par système hybride solaire photovoltaïque et groupe électrogène dans le Département de Nassian, Région du Bounkani.

Il s'agit des localités de Kakpin, Kapé, Zamou, Gansé, Kromambira, Boudou et Solokaye, dans la Sous-Préfecture de Sominassé (Département de Nassian).

Ce projet, initié par l'ONG « Délégation Fondation Akwaba », a un coût global de **2 560 000 euros**, soit **1 679,25 millions de Francs CFA** et est reparti selon le pourcentage suivant<sup>1</sup> :

- **Union Européenne** : don de 75% ;
- **ONUDI** : don de 15% ;
- **CI-ENERGIES**: 5% (contribution en nature à travers une assistance technique) ;
- **ONG Fondation Akwaba** : don de 1,1% ;
- **Bénéficiaires** : 3,9% (correspond aux frais d'abonnement).

Pour la Côte d'Ivoire, soucieuse de la préservation de l'environnement et voulant porter la proportion des énergies nouvelles et renouvelables (EnR) dans le mix énergétique à 16% en 2030<sup>2</sup>, ces activités représentent par conséquent des projets pilotes.

Cette situation limite l'exploitation des opportunités de développement des différentes localités.

L'éloignement au réseau national, la difficulté d'accès ainsi que la faible demande en puissance restent les principales motivations pour l' «**ETUDE D'UNE ALIMENTATION ELECTRIQUE OPTIMALE PAR SYSTEME HYBRIDE ET SON IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : CAS DE LA LOCALITE DE KROMAMBIRA (BOUNA)** ».

---

<sup>1</sup> FED 2012/283-253 et CI-ENERGIES

<sup>2</sup> Plan Directeur d'Electrification Rurale de la Côte d'Ivoire volume 1, P12 et rapport IEN d'ICI

## 2. Analyse critique du rapport technique disponible

AZIMUT 360 est une entreprise espagnole qui offre des services et prestations dans le domaine de l'énergie solaire. Elle est la structure qui a la charge des études techniques et des réalisations des projets solaires dans le Zanzan.

D'une façon générale, AZIMUT 360 a dimensionné le micro réseau pour la continuité du service suivant une commutation entre les différentes sources. Ceci a conduit au dimensionnement à 100% de tous les équipements. L'alimentation électrique devrait être totalement assurée par le générateur PV et le générateur diesel n'interviendra qu'en secours. Les résumés pour Kromambira sont :

- **29,64 kWc** pour le système PV ;
- **3600 Ah** pour le parc de batterie pour 2,4 jours d'autonomie ;
- **27, 6 KVA / 66 KVA** pour les onduleurs intégrés avec les chargeurs de batteries ;
- **35 KVA** pour le groupe électrogène.

Aussi les lampes sodium à haute pression utilisées pour l'éclairage public ne sont pas efficaces, aucune courbe de charge théorique n'a été présentée et l'utilisation de 1% comme taux de croissance n'est pas justifiée. De plus la formule utilisée pour l'estimation de l'accroissement est  $\eta\tau$  au lieu de  $(1 + \tau)^\eta$   $\left\{ \begin{array}{l} \tau: \text{taux d'accroissement} \\ \eta: \text{nombre d'année} \end{array} \right.$  (voir la démonstration à la page 24). Par ailleurs la technologie utilisée consiste en un groupement de 2 onduleurs réseaux, et 6 onduleurs bidirectionnels et est très coûteuse.

Tout cela a conduit en un coût d'investissement élevé (5110 FCFA/Wc) comparé aux investissements habituels fixé à la maximale de 3000 FCFA/Wc. Cela risque donc d'affecter le coût de production de l'énergie produite par le micro réseau. CI-ENERGIES voulait donc s'assurer que l'étude a été bien menée ou au mieux quelles stratégie de réduction du coût à adopter d'où la question d'optimiser le système.

## 3. Problématique

La problématique qui a suscité notre étude est donc la suivante:

Quelle stratégie de réduction du coût de l'énergie produite par le mini réseau hybride PV/diesel dans la localité de Kromambira ?

## 4. Travail demandé

### 4.1.Objectif général

L'étude vise à proposer une alimentation optimale du réseau de la localité.

### 4.2.Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques sont ainsi :

- identifier les solutions techniques les plus adaptées ;
- rechercher les mesures possibles pour améliorer la faisabilité économique dans le but d'optimiser l'électrification.

### 4.3.Taches à Exécuter

- Faire une revue documentaire sur les moyens de production d'électricité par système hybride et choisir la plus faisable pour la localité ;
- Etude du système hybride PV/diesel ;
- Etude comparative des différentes technologies de production afin d'en déduire à travers une analyse de sensibilité les conditions pour lesquelles la solution choisie reste optimale ;
- Proposer un schéma de distribution du réseau Basse Tension et Eclairage Public ;
- Etude économique
- Etude des Impacts Environnementaux et Sociaux.

## 5. Matériels et méthodologie

### 5.1.Démarche générale du projet

#### ➤ Revue documentaire

La revue documentaire comprenait une brève discussion sur :

- le potentiel énergétique de la localité afin de déterminer les hybridations possibles dans la région du Zanzan : Selon le Plan Directeur de l'Electrification Rurale de Côte d'Ivoire, il est prévu pour les sites isolés le couplage d'un générateur diesel avec des sources d'énergie renouvelables (solaire et biomasse...) ;
- nous trouvons dans Stoyanov, Revues des Energies Renouvelables Vol.10 N°1 (2007) qu'il existe trois configurations techniques des systèmes hybrides, les configurations série, commutée et parallèle, leurs avantages et inconvénients ;
- Thibaud SIMON, Analyse du logiciel HOMER, CYTHELIA, 23/07/2017 nous donnait les prérequis afin de mieux connaître l'outil de simulation ;

- L'étude de faisabilité pour le projet PRODERE nous fut d'un grand outil pour l'approche des impacts du projet.
- **Visite sur site**

Une visite sur site a été réalisée du 6 mars 2016 au 12 mars 2016. Elle a permis de rencontrer les parties prenantes du projet et aussi de mener une enquête pour la mise à jour des données afin de déterminer le profil de charge de la localité. Nous avons par la même occasion, visité des systèmes hybrides PV/diesel en cours de réalisation dans des localités voisines.

- **Production du rapport**

L'analyse des différentes options techniques ainsi que la production du présent rapport a été faite au bureau.

## 5.2. Matériels

- **Les logiciels de Microsoft**

Nous utilisons les produits basiques WORD et EXCEL de Microsoft. EXCEL a été utilisé pour les différents calculs et Word a servi à la rédaction du présent rapport.

- **Présentation du logiciel HOMER**

La première version du logiciel HOMER a été développée en 1992 par le laboratoire national des énergies renouvelables des USA. Il a ensuite subi des améliorations dans plus de 40 nouvelles versions. Pour cette étude, nous avons utilisé la version gratuite 2.68 de l'année 2009<sup>1</sup>. Ce logiciel permet de faire la simulation d'un système selon des données de gisement (solaire, diesel, etc.) en fonction des besoins en énergie. Par la suite, il est possible d'analyser plusieurs configurations techniques pour ce même système afin d'en obtenir un système optimisé au niveau du coût. Le logiciel simule toutes les configurations possibles selon les éléments et donne la meilleure solution parmi toutes celles-ci. Ensuite, il est finalement possible de faire des analyses de sensibilité afin de savoir si la configuration technique trouvée reste toujours la meilleure lors du changement d'un paramètre jugée sensible.

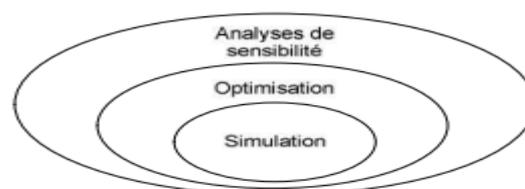


Figure 3 : modèle conceptuel de HOMER

<sup>1</sup> <http://www.homerenergy.com>

## PARTIE B : REALISATION DU PROJET (CONCEPTION)

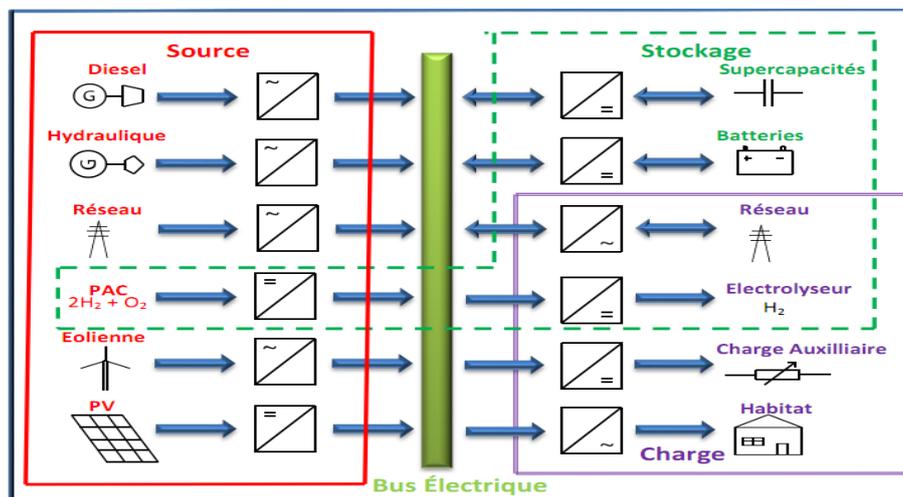
## I. CHOIX DU SYSTEME D'ENERGIE HYBRIDE (SEH)

## 1. Etude des systèmes d'énergies hybrides

Le SEH est le couplage de plusieurs sources d'énergie renouvelables ou pas.

Il existe plusieurs combinaisons de SEH, à savoir éolien-diesel, photovoltaïque-diesel et éolien-photovoltaïque-diesel. Ces mêmes sources d'énergies peuvent être combinées avec d'autres sources telles que l'énergie hydraulique et la biomasse.

Ils peuvent être connectés au réseau ou pas et sont très adaptés à la production décentralisée.



Source : Abbes Dhaker, Université de Poitiers, thèse 2012

Figure 4 : schémas général de système énergétique hybride multi-sources, charges et stockage

Nous essayerons donc d'étudier le potentiel énergétique du pays afin de déterminer la combinaison de SEH qui conviendrait au mieux pour le contexte du pays et en particulier pour Kromambira.

## 1.1.Ressource hydroélectrique

Le parc de production hydroélectrique actuel de la Côte d'Ivoire est de 604 MW avec 6 barrages : Anyamé 1 et 2 (20 et 30 MW), Taabo (210 MW), Kossou (174 MW), Buyo (165 MW) et Grah (5 MW). La filière hydraulique assure un productible moyen annuel de 1500 GWh, soit 19% de la

capacité de production totale annuelle<sup>1</sup>. Toute cette production est injectée sur le réseau national d'électricité, cependant la localité n'est pas encore raccordée d'où l'objet de notre étude.

Les sites de petite hydroélectricité sont ceux dont la puissance est inférieure à 20 MW.

**La zone d'étude ne présente pas de potentiel pour une décentralisation par petite hydroélectricité** (se référer à l'Annexe 1.1).

### 1.2.Eolien

**Pour cette étude déjà disponible, on n'y trouve pas grand potentiel pour notre zone d'étude.**

Les valeurs de vitesse de vents obtenus sont relativement faibles. Elles ne dépassent pas 4m/s et sont peu intéressantes pour la production d'énergie (se référer à l'Annexe 1.2).

<sup>2</sup>De minces potentiels supérieurs à 5m/s sont identifiés dans quelques zones d'étendues limitées :

- Au nord-ouest de Bondoukou au nord-est du pays
- Et dans les villes de Danané, Man et Touba dans l'Ouest du pays

Même s'il existe, ce potentiel n'est pas approprié pour une injection sur des réseaux isolés si ce n'est comme chargeur d'un parc de batteries d'un réseau hybride en complément d'une centrale solaire. Mais le coût de production pourrait être prohibitif.

**D'une façon générale, l'éolien ne semble pas être une énergie appropriée pour la Côte d'Ivoire.**

### 1.3.Biomasse

L'anacardier, originaire des Indes a été introduit en Côte d'Ivoire depuis 1957.

Il se présente comme la principale culture de rente dans le Nord-Est du pays. La production ivoirienne de noix de cajou est passée de 565 000 tonnes en 2014 à 702 000 tonnes en 2015. Ce résultat a permis au pays de se hisser au rang de premier producteur mondial de cajou devant l'Inde (650.000 tonnes, 22% de la production mondiale) et le Vietnam (325.000 tonnes, 11%)<sup>3</sup>.

Les coques d'anacarde représentent 75% de la masse de la coque brute et ont la particularité de contenir une huile : le baume d'anacarde ou Cashew Nut Shell Liquid qui a des propriétés intéressantes pour la production de **combustible**. La filière, outre les noix brutes produit également

<sup>1</sup> Plan Directeur d'Electrification Rurale de la Côte d'Ivoire volume 1

<sup>2</sup> Plan Directeur d'Electrification Rurale de la Côte d'Ivoire volume 1, P13

<sup>3</sup> <http://news.abidjan.net/h/584019.html>, consulté le 17/03/16

chaque année entre 1,5 et 3 millions de tonnes de pommes d'anacarde qui sont peu valorisées. Leur forte teneur en sucre permet d'envisager un débouché pour la **production d'éthanol** qui entre par la suite dans la composition des biocarburants<sup>1</sup>.

Enfin, notons que l'anacarde fournit une source énergétique intéressante pour la production d'électricité à travers les biodiesels. Cependant **ce potentiel n'est que théorique pour l'ensemble du pays. Il n'y a pas de grandes actions menées pour le développement de telles idées.**

#### 1.4.Diesel

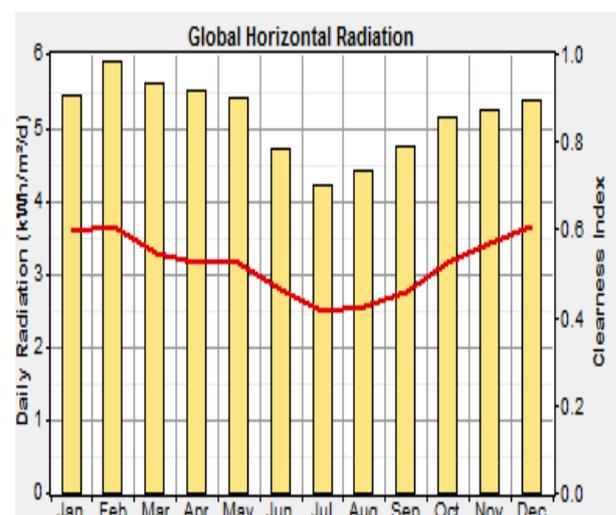
La société ivoirienne de raffinage a été construite en 1965. Son extension en 1983 a porté sa capacité de production à environ 4 millions de tonnes de pétrole brut par an. 40% du pétrole raffiné est consommé en Côte d'ivoire et les 60% exporté vers d'autre pays de la côte ouest africaine.

Les combustibles fossiles représentent pour le pays, une production d'électricité de 4,7 TWh/an.

<sup>2</sup>**La décentralisation avec un générateur diesel est une technologie maîtrisée**, qui offre une durée de service de 6 heures par jour. On note 62 localités électrifiées en 2013 grâce à ce modèle contre 68 en 2011 et 67 en 2012.

#### 1.5.Ressource Solaire

Mois de l'année	Irradiation globale (kWh/m <sup>2</sup> .jr)
janvier	5.430
février	5.886
mars	5.600
avril	5.499
mai	5.406
juin	4.716
juillet	4.211
août	4.411
septembre	4.737
octobre	5.154
novembre	5.247
décembre	5.383
Année	5.135



Source : agence internationale des énergies renouvelables

Tableau 1 et figure 5 : données des irradiations globales pour le village de Kromambira

<sup>1</sup> Plan Directeur d'Électrification Rurale de la Côte d'Ivoire volume 1, P63

<sup>2</sup> Plan Directeur d'Électrification Rurale de la Côte d'Ivoire volume 1, P 50

Kromambira est caractérisé par quatre saisons dont deux saisons de pluie : une saison pluvieuse (hiver) qui s'étend du mois de mars à juin et une saison autre qui s'étend du mois de septembre à octobre. **Il dispose d'un gisement solaire assez conséquent avec un ensoleillement moyen de 5,135 kWh/m<sup>2</sup>/jr et présente une insolation moyenne annuelle supérieure à 2200 heures** (se référer à l'Annexe 1.3). Le climat de la région est du type sahélien semi-aride à variante chaude. Les températures moyennes journalières varient entre un minimum de 23,5 °C en Août et un maximum de 26,5 °C en février<sup>1</sup>. **Le nord représente la zone la plus ensoleillée du pays avec un ensoleillement moyen supérieur à 5 kWh/m<sup>2</sup>/jr favorable au déploiement des systèmes solaires.**

## 2. Système d'énergie hybride retenu

Au vu du potentiel énergétique étudié, nous retenons pour le site d'étude, l'hybridation **PV/diesel**. Toutefois l'**ajout d'un parc de batteries** nous permettra d'atténuer les fluctuations dues à la nature aléatoire de la ressource solaire mais aussi de stabiliser le réseau.

Les principaux intérêts pour l'ajout d'un groupe électrogène à un système de production d'énergie solaire sont :

- ✗ La décentralisation de l'alimentation électrique avec un GE est une technologie mature ;
- ✗ La ressource solaire est renouvelable ;
- ✗ l'extension de la durée du service aux heures de faible demande ;
- ✗ L'amélioration de la qualité du service et de la fiabilité du système ;
- ✗ une diminution de l'utilisation du groupe électrogène ;
- ✗ la réduction de la consommation de carburant ;
- ✗ Plus grande autonomie contre les inflations sur les prix du combustible.

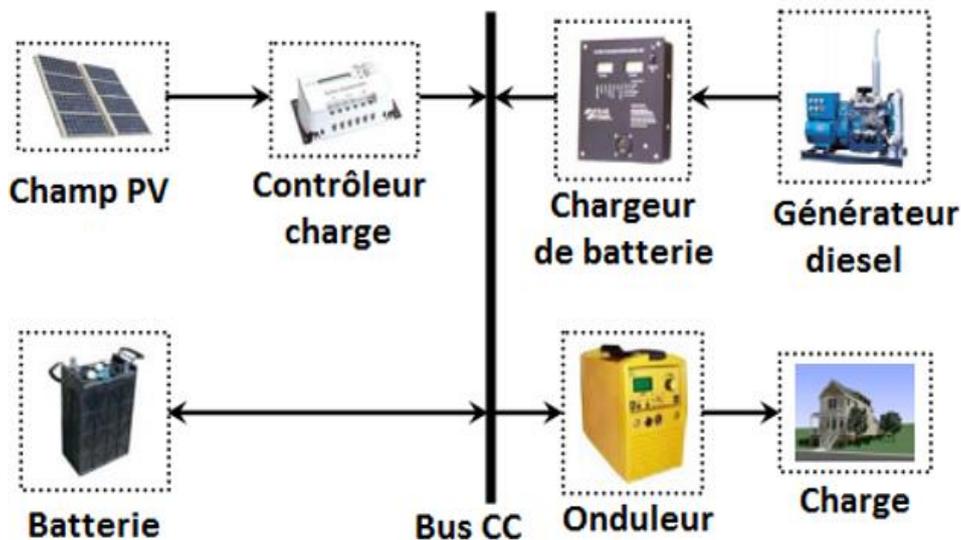
---

<sup>1</sup> IRENA

## II. LES DIFFERENTS TYPES DE CONFIGURATION D'HYBRIDATION PV-DIESEL

<sup>1</sup>Les générateurs PV génèrent du courant continu tandis que la consommation domestique exige du courant alternatif. C'est pourquoi, pour cette application en site isolé, il conviendra d'insérer au système un onduleur qui pourra permettre au générateur PV de travailler en parallèle ou en alternance avec le générateur diesel. A cet effet, on distingue les configurations suivantes:

### 1. Configuration série



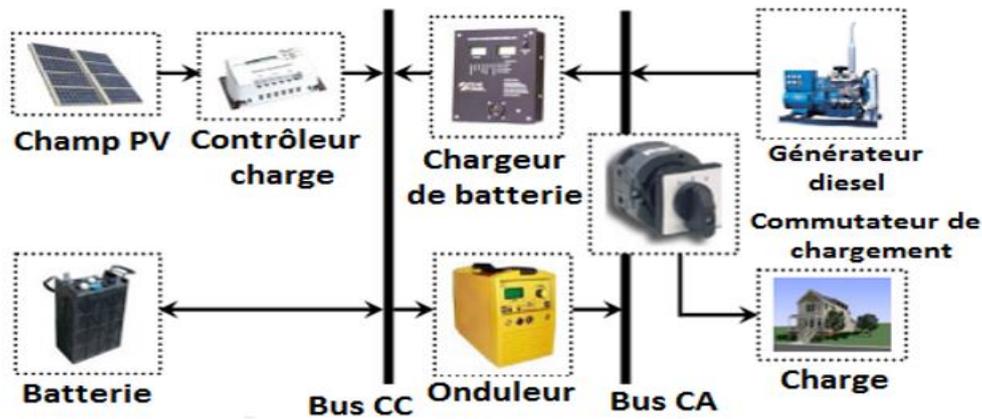
Source : *Revue des énergies renouvelables vol 10 N°10 (2007)*

Figure 6 : configuration hybride PV-diesel série

Dans cette configuration, l'énergie produite par le générateur diesel est d'abord redressée et puis convertie de nouveau en alternatif pour être fournie à la charge, ce qui implique **des pertes de conversion significatives**. Lorsque l'énergie produite par le générateur PV ainsi que l'énergie stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le générateur diesel est arrêté. La puissance en courant continu fournie par l'unité de production PV et la batterie est convertie en courant alternatif par un onduleur. De plus, il faut noter que dans la plupart des systèmes de ce type, le rendement du système est diminué à cause du transit d'une grande partie de l'énergie par la batterie, augmentant ainsi le nombre des cycles charge/décharge.

<sup>1</sup> Recherche et développement-bulletin\_032\_07 - Production d'électricité sans interruption au moyen d'un système hybride Eolien / PV/ Diesel / Batterie, KAABECHE Abdelhamid

## 2. Configuration commuté

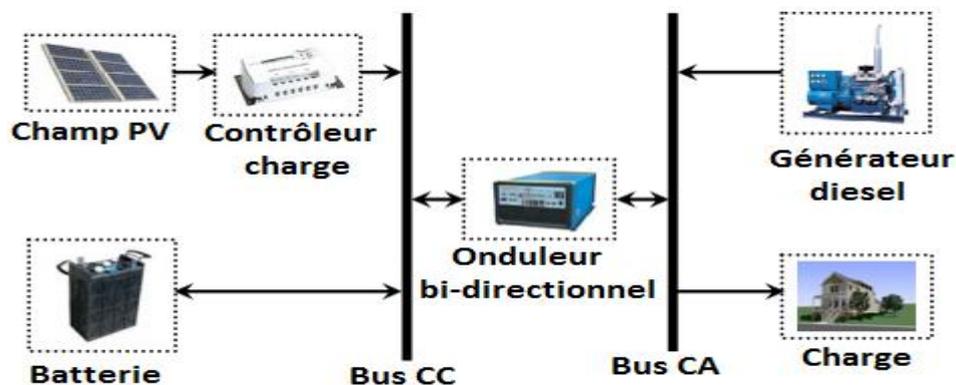


Source : *Revue des énergies renouvelables* vol 10 N°10 (2007)

Figure 7 : configuration hybride PV-diesel commutée

Elle est souvent utilisée malgré quelques désavantages. Le consommateur peut être alimenté soit par la source conventionnelle, soit par le générateur PV et la batterie via l'onduleur. **L'alimentation par les deux simultanément n'est pas possible.** Le générateur diesel peut également charger la batterie par l'intermédiaire d'un redresseur. La gestion du système doit être automatique à cause de la complexité du système hybride. L'avantage majeur de cette configuration par rapport à la configuration série consiste à l'élimination des pertes supplémentaires de conversion au niveau du GE.

## 3. Configuration parallèle



Source : *Revue des énergies renouvelables* vol 10 N°10 (2007)

Figure 8 : configuration hybride PV-diesel parallèle

Dans cette configuration, le générateur diesel est interconnecté sur le bus de courant alternatif. Le générateur PV et la batterie sont connectés sur le bus de courant continu. Les deux bus sont connectés à l'aide d'un convertisseur électronique bidirectionnel. Il peut travailler soit comme redresseur, lorsque le générateur diesel couvre la consommation électrique et participe dans le chargement de la batterie, soit comme onduleur, quand la charge (ou une part d'elle) est satisfaite par les générateurs PV et/ou la batterie. De cette façon, **la charge peut être alimentée par les deux bus simultanément**. Pour cette configuration, **toutes les sources peuvent alimenter la charge séparément à faible et moyenne demande et suppléer les pointes conjointement**.

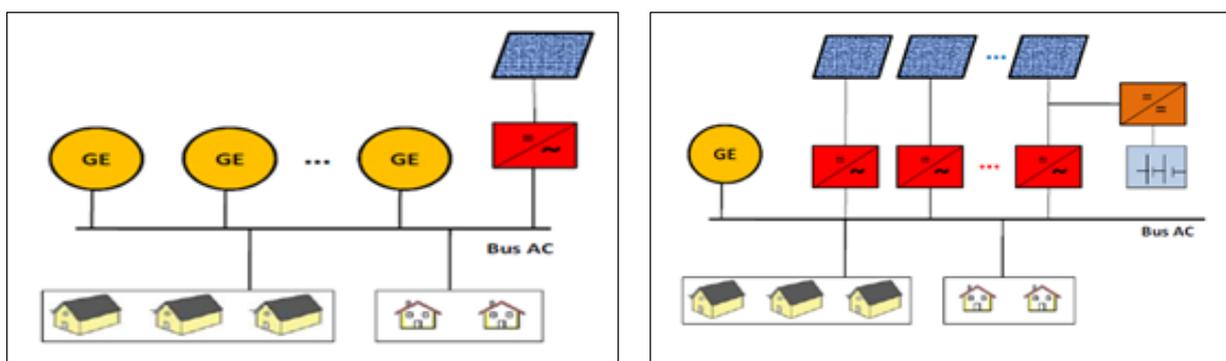
Cette configuration technique d'hybridation PV/Diesel présente généralement deux architectures<sup>1</sup>:

✦ L'architecture « **Multi-master** » avec **générateurs Diesels**

C'est une architecture typique pour les grands systèmes avec plusieurs générateurs Diesel en parallèle couplés au générateur photovoltaïque via un onduleur. Au moins un générateur Diesel produit et contrôle la tension du réseau.

✦ L'architecture « **Multi-master** » avec **onduleurs**

C'est une architecture constituée de plusieurs onduleurs couplés à un générateur Diesel. Ici l'augmentation du champ photovoltaïque est aisée car elle ne nécessite pas un arrêt total du système comme c'est le cas avec l'architecture précédente. Dans les deux architectures, un système de contrôle central peut être installé afin d'optimiser l'opération des générateurs diesel, (niveau de puissance, synchronisation, démarrage, arrêt).



Source : Daniel Yamegueu, 2iE, thèse 2012

Figure 9 : « Multi-master » avec générateurs    figure 10 : « Multi-master » avec onduleurs

<sup>1</sup> 2iE, Rapport-de-thèse-Daniel-YamegueuNguewo2012

#### 4. Comparaison des configurations techniques

Tableau 2 : Comparaison des différentes configurations techniques

Configurations	avantages	inconvénients
série	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La puissance du GE peut être optimale lorsqu'il approvisionne la charge et qu'en plus il charge la batterie jusqu'à un niveau de charge de la batterie de 70 - 80 %.</li> <li>- Un schéma électrique simplifié à cause d'une absence de commutation des sources d'énergie en courant alternatif ;</li> <li>- La mise en marche du générateur diesel n'entraîne pas une interruption de l'alimentation électrique ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le GE. il est donc dimensionné pour couvrir la charge maximale possible ;</li> <li>- Une grande capacité du parc de batteries qui présente une durée de vie réduite à cause du grand nombre de cycle charge-décharge ;</li> <li>- Un rendement relativement faible du GE à courant alternatif, à cause de la double conversion de sa puissance avant la fourniture à la charge;</li> <li>- Une panne éventuelle de l'onduleur provoque une rupture totale de l'alimentation électrique. <b>Le coût du système risque d'être prohibitif.</b></li> </ul>
commutée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- un rendement élevé car le GE peut alimenter directement la charge, d'où une baisse de la consommation de fuel ;</li> <li>- L'onduleur fournit la tension demandée en forme et valeur ;</li> <li>- Une éventuelle panne de l'onduleur n'engendre pas l'arrêt complet de l'alimentation électrique vu que la charge peut être satisfaite par le GE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'apparition d'une coupure instantanée de l'alimentation lors de la commutation des sources ;</li> <li>- Le GE et l'onduleur sont dimensionnés pour la puissance de pointe. Alors ils fonctionnent à faible rendement lors les périodes de faible charge ;</li> <li>- la durée de la transition lors du changement de "master" cause généralement des variations de tension.</li> <li>- Une construction complexe. <b>Le coût du système sera prohibitif.</b></li> </ul>
parallèle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un meilleur rendement, puisque les sources fonctionnent avec une puissance plus proche de leur puissance nominale.</li> <li>- pas de conversion de l'énergie produite par le GE</li> <li>- la synchronisation du GE et de l'onduleur permet d'alimenter une charge supérieure à celle alimentée par chaque source.</li> <li>- Les composants du système ne doivent pas être dimensionnés pour la charge totale, parce que le consommateur peut être alimenté par les trois sources en même temps</li> <li>- Une avarie du convertisseur électronique ne provoque pas de coupure de l'alimentation de la charge</li> <li>- Diminution du nombre des convertisseurs électroniques, ce qui diminue le câblage nécessaire et l'investissement initial pour la construction du système hybride</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le contrôle automatique est obligatoire pour le fonctionnement correct du système ;</li> <li>- Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible ;</li> <li>- Le bus continu est plus difficile à contrôler.</li> <li>- la gestion du système n'est pas aisée pour une personne non qualifiée</li> </ul>

## 5. Choix de la configuration technique

Après analyse bibliographique des différentes configurations, nous retenons ce qui suit :

- l'alimentation de la charge peut être faite d'une manière optimale avec la **configuration parallèle**. En réalité, cette configuration présente plusieurs avantages malgré ses minces inconvénients tels que présentés dans le tableau 2 à la page 19.
- l'architecture « **Multi-master** » avec **onduleurs** convient au présent projet.

On aura un onduleur multifonctionnel par phase. On les branchera tous parallèlement à la sortie AC pour avoir un réseau triphasé. L'un d'eux sera défini comme master et dirigera le fonctionnement des deux autres onduleurs.

Nous retenons donc la **configuration parallèle** avec pour architecture « **Multi-master** » avec **onduleurs**. Pour la suite nous adopterons le schéma de principe suivant :

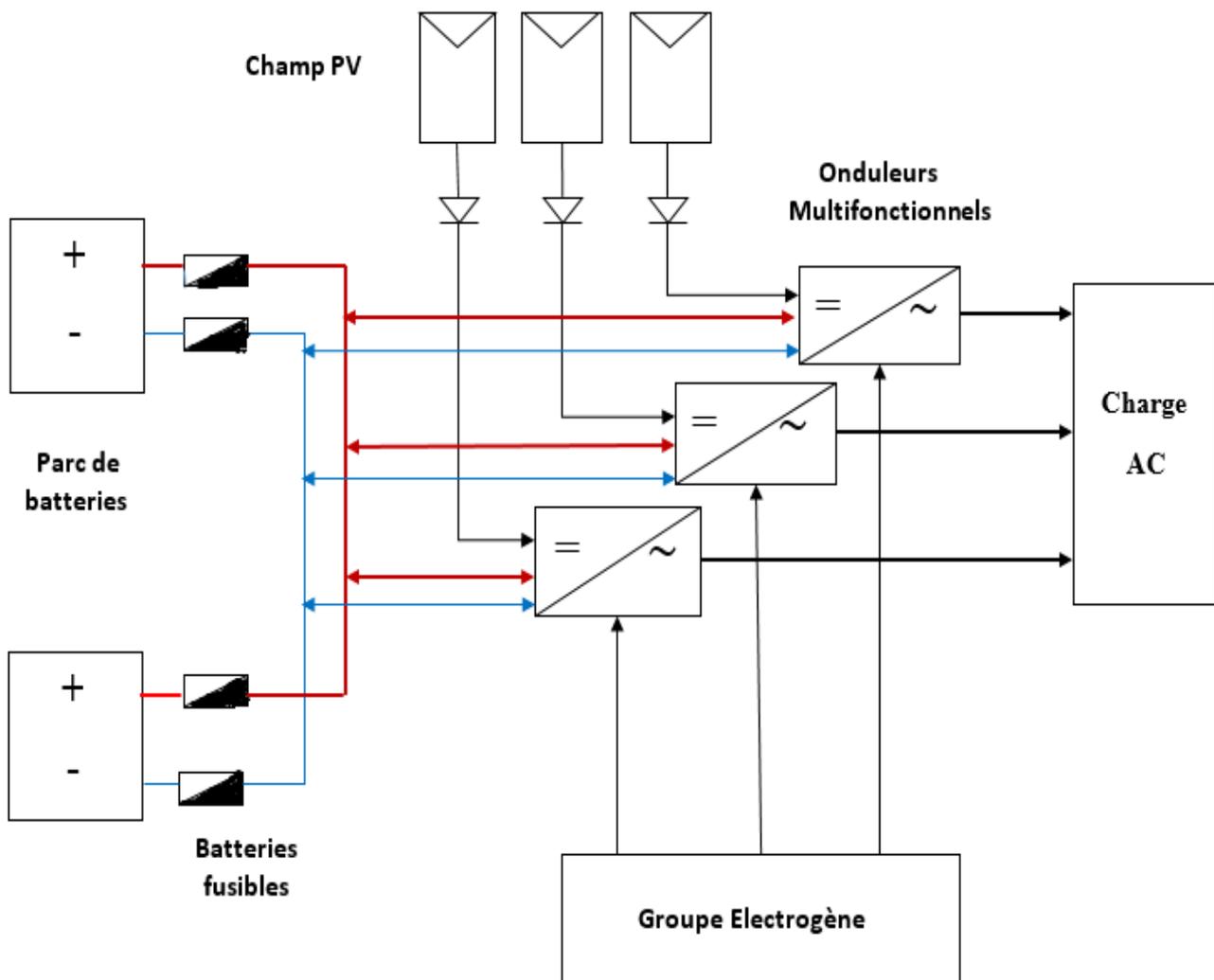


Figure 11 : schémas de principe

### III. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'ENERGIE HYBRIDE PV/DIESEL

Le dimensionnement du système est fait sur la base de la consommation journalière du village. Nous dimensionnons au préalable tous les sous-systèmes du micro réseaux à 100 % de la charge. Le logiciel HOMER nous permettra par la suite d'optimiser les tailles des composants.

#### 1. Evaluation de la charge

Sur la base des études précédemment menées par l'ONG Akwaba et de l'actualisation des données après notre visite sur site, on a recensé les charges suivantes (voir annexe 2.1) :

Tableau 3 : charges du village de KROMAMBIRA

types de logements	Energie (kWh/mois)	puissance (kW)	quantité	Energie totale (kWh/mois)	puissance totale (kW)	Observations
Maison type 1 - tarif économique	8	0,5	20	160	10	Résultats issus de l'étude et de l'actualisation des données
Maison type 2 - tarif moyen	17	0,5	38	646	19	
Maison type 3 - tarif confort	33	0,5	10	330	5	
Maison type 4 - tarif grand confort	59	0,5	8	472	4	
Maison type 5 - tarif boutique	59	0,5	2	118	1	
Centre de santé	67	1	0	0	0	
Ecole	18	0,5	1	18	0,5	
Centre religieux	33	0,5	1	33	0,5	
Foyer de jeunes	67	0,5	0	0	0	
Salle sociale	100	1	1	100	1	
station pompage	184	2	1	184	2	
Eclairage publique	119	0,018	44	119	0,792	
Nombre de branchements			81			
Consommation totale mensuelle				2180	43,792	Calculs
prévision de croissance annuelle sur 15 ans		15	2,6%	3204	64,36	
Facteur d'utilisation et de simultanéité				60%	56 %	
Facteur de perte					93%	
Energie totale et puissance totales nominale				1922,4	38,8	

Pour trouver les puissances nominales totales de conception de l'installation il a fallu aussi tenir compte des facteurs suivants qui pondèrent les valeurs maximales décrites.

#### Facteur de simultanéité de puissance

Le facteur de simultanéité est fonction du type d'installation et du nombre d'abonnés. Il traduit un ensemble de consommateurs utilisant l'énergie au même moment. Il sera utilisé pour le dimensionnement du groupe électrogène.

Selon AZIMUT 360, son expérience obtenue des précédents projets d'ER lui permet d'estimer selon la taille du village, un facteur de simultanéité autour de 56% avec la formule :

$$\text{facteur de simultanéité} = \frac{[15,3+(n-21)\times 0,5]}{n}, \text{ où } n = \text{numéro de branchements}$$

Nous retenons un facteur de simultanéité de puissance autour de 56% à raison de 81 abonnés.

#### Facteur d'utilisation

Ce facteur caractérise le taux d'utilisation de la charge en fonction du temps.

Il sera utilisé pour dimensionner le système PV. En le considérant donc l'onduleur et le champ PV ne sont pas totalement dimensionnés pour la puissance pointe de la journée.

Selon AZIMUT 360, son expérience obtenue dans les projets précédents d'électrification par micro-réseaux photovoltaïques permet d'estimer pour la taille du village cible un facteur d'utilisation de l'énergie autour de 60%.

#### Facteur de perte

Les pertes sur le réseau de distribution sont dues au transport de l'énergie produite de la microcentrale jusqu'aux points de consommation.

On souhaite minimiser ces pertes à 7,5% de la production de telle sorte que :

$$\text{Energie à produire} = (1 + 7,5\%) \times \text{Energie nécessaire}$$

Le facteur de perte est  $f_p = \frac{1}{1+7,5\%} = 0,93$ , car le facteur sera considéré au dénominateur.

#### Prévision de croissance annuelle

Ce facteur est pris en compte comme étant un coefficient de réserve afin de ne pas modifier l'ensemble de l'installation avec les extensions prévisibles.

La consommation d'énergie journalière pour chaque année de fonctionnement est extrapolée à partir du profil de consommation initialement déterminé en prenant en compte l'augmentation de la charge estimée.

**Le taux d'accroissement moyen de la population ivoirienne est de 2,6 %<sup>1</sup>.** Ainsi donc:

A l'année 1 la consommation est  $conso_1 = conso_0 \times (1 + \tau)$

Hypothèse :  $\forall k \in \mathbb{N}, conso_k = conso_0 \times (1 + \tau)^k$

On vérifie donc  $\forall k + 1 \in \mathbb{N}, conso_{k+1} = conso_k \times (1 + \tau) = conso_0 \times (1 + \tau)^k \times (1 + \tau)$

Ce qui nous permet d'écrire que :  $\forall k + 1 \in \mathbb{N}, conso_{k+1} = conso_0 \times (1 + \tau)^{k+1}$

La propriété est vérifiée au rang  $k + 1$  et on affirme qu'à l'année  $n$ , La charge extrapolée est donnée par le calcul :  $conso_n = conso_{n_0} \times (1 + \tau)^{n-n_0}$  où  $\tau$  étant le taux d'accroissement<sup>2</sup>.

#### Eclairage public (EP)

Les diodes électroluminescentes (LED) ont un bon rendement et un prix très attrayant comparé aux lanternes Sodium Haute Pression (SHP) 150W habituellement utilisées. Mais l'utilisation des LED dans l'EP n'est qu'en phase d'expérimentation et elles sont pratiquement inaccessibles.

L'Etat ivoirien a pris cependant des mesures à travers son Plan d'Action National sur les Energies Renouvelables (PANER) afin d'améliorer l'accessibilité des lampes économiques. Cela motive notre choix, porté sur les luminaires Corn E 27 de 18 W (se référer à l'Annexe 4.10).

La priorité étant l'alimentation des ménages et non l'EP, on décide donc de faire fonctionner les foyers lumineux, juste pendant 5h en soirée de 19h à 00h.

## 2. Profil de charge

Le système hybride alimentera une charge à usage domestique et dans une infime partie des infrastructures sociales et économiques. Les équipements utilisés sont résumés en annexe 2.2

Les détails des consommations sont donnés en annexe 2.3, cependant nous essayerons d'ébaucher une répartition temporelle qui nous servira par la suite de faire des simulations (voir annexe 2.4).

<sup>1</sup> www.ins.ci, Institut National de la statistique ; recensement Général de population et de l'habitat RGPH 2014

<sup>2</sup> Dimensionnement d'installations photovoltaïques hybrides (diesel, stockage), Thibaud SIMON 16/09/2014

Le pré-dimensionnement d'un tel système de production à EnR dépend essentiellement du profil de la consommation à satisfaire, qui est déterminé par rapport à la charge à alimenter.

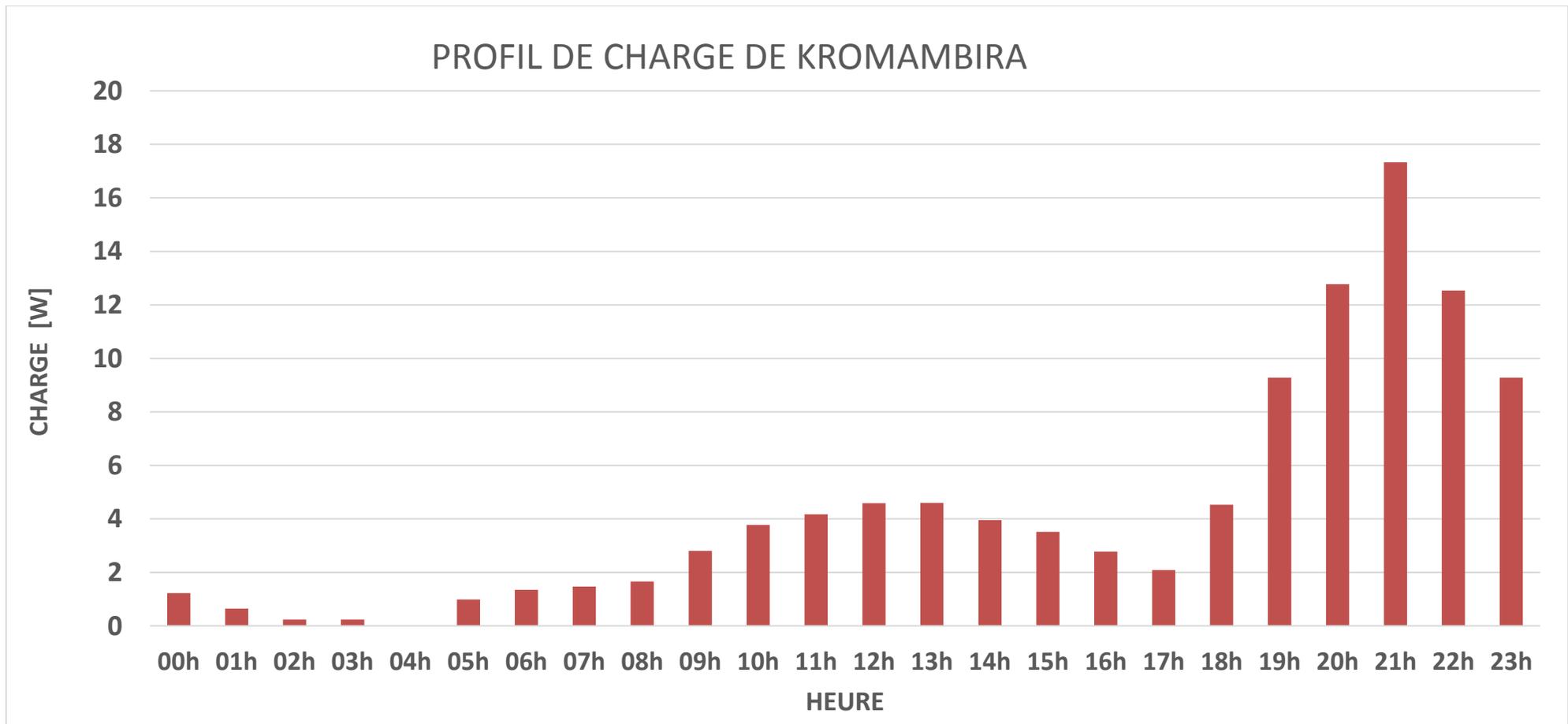


Figure 12 : Courbe de charge de Kromambira

Les caractéristiques principales de cette courbe de consommation sont:

- ✗ l'éclairage public est allumé le soir de 19h à 00h ;
- ✗ la consommation des ménages très tôt qui se préparent pour aller à la mosquée ;
- ✗ l'école, les boutiques et les commerces fonctionnent de 8 heures à 17h ;
- ✗ les machines de production marchent surtout pendant l'après-midi ;
- ✗ le soir (21h) lorsque les personnes sont rentrées chez elles, la puissance maximale du jour est demandée.

Le profil de charge horaire présente une pointe significative en soirée à 21h, qui correspond principalement aux usages d'éclairages (éclairages domestiques et éclairage public). La demande énergétique nocturne est quasi inexistante en milieu rural. Le besoin est peu important les premières heures du jour et serait resté minimal durant la journée du fait que la population est en majorité composée de cultivateurs, de fonctionnaires et de commerçants. Cependant l'avènement de l'électricité dans la localité sera un facteur de développement de certaines activités telles que l'artisanat et bien d'autre.

### 3. Dimensionnement du Groupe électrogène

Le GE est dimensionné au préalable pour répondre à tous les besoins à tout moment.

#### 3.1.Méthode 1 : en partant des charges

 Puissance nominale minimale du groupe

La pointe maximale de la charge est déterminée par la formule suivante<sup>1</sup> :

$$\text{charge} = \text{conso}_{15} \times \frac{\text{facteur de simultanéité}}{\text{facteur de pertes}} \quad (1)$$

$$\text{A.N : Charge} = \frac{43,792 \times (1+2,6\%)^{15} \times 0,57}{0,93} = 38,8 \text{ kW}$$

Ce calcul a été résumé dans le tableau 3 à la page 22.

Nous retenons 38,8 kW comme étant la puissance nominale minimale du GE.

<sup>1</sup> Dimensionnement d'installations photovoltaïques hybrides (diesel, stockage), P9, Thibaud SIMON 16/09/2014.

### 3.2.Méthode 2 : en partant de la courbe de charge considérée

La pointe selon la courbe de charge est obtenue à 21h et vaut 17,3 kW. La pointe maximale sera obtenue lorsque les activités pilotables au fil du soleil pour une meilleure performance du système n'ont pas pu être complètement effectuées. Il s'agit essentiellement du pompage hydraulique et des activités génératrices de revenus (AGR) du moulin, du réfrigérateur-congélateur etc.

$$Pointe_{Max} = 17,327 + 2 + 0,3 + \dots \geq 19,626 \text{ kW}$$

 Puissance nominale du GE

$$\text{On a: } P_{GE} \geq \frac{P_{Max} \times (1+\tau)^{15}}{f_p} \quad \begin{cases} P_{Max} = \text{Pointe maximale} \\ \tau = \text{taux d'accroissement} \\ f_p = \text{facteur de perte} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{A.N: } P_{GE} \geq \frac{19,626 \times (1+0,03)^{15}}{0,93}. \text{ On trouve } P_{GE} \geq 31 \text{ kW}$$

Ce résultat justifie la puissance de 40 kW précédemment calculé pour le GE en partant du calcul des charges du tableau 3.

## 4. Dimensionnement du système PV

Le sous système solaire est dimensionné au préalable pour toute la charge (voir Annexe 2.5).

### 4.1.En partant de la consommation mensuelle

Les calculs des charges du village de Kromambira nous permettent de trouver une consommation totale d'énergie mensuelle estimée à 2180 kWh/jr. La prévision annuelle de croissance sera plutôt appliquée comme coefficient de sécurité pour les 15 prochaines années à venir et un facteur d'utilisation de 60%, on trouve l'énergie totale mensuelle à considérer **au fil du soleil** comme suit :

$$E_m = \text{Energie totale mensuelle} \times \text{facteur d'utilisation} \quad (3)$$

$$\text{A.N: } E_m = 2180 \times 0,6 = 1308 \text{ kWh/mois .}$$

$$\text{Le besoin journalier moyen à considérer est : } B_j = \frac{E_m \times \text{facteur de croissance}}{30 \text{ jours} \times \eta_{\text{ond}}} \quad (4)$$

$$B_j = \frac{1308 \cdot 10^3 \times (1+2,6\%)^{15}}{30 \text{ jours} \times 0,9} = 71196 \text{ Wh/jour .}$$

## 4.2. En partant de la courbe de charge considérée

Nous supposons que les batteries et le générateur PV fourniront à la charge l'énergie nécessaire depuis 00h jusqu'à 17h. Le surplus de la production solaire servira à alimenter les accumulateurs.

$$B_j = \frac{\sum_{i=00h}^{17h} E_i \times \text{facteur de croissance}}{\eta_{\text{ond}}}, \text{ où les } E_i \text{ sont les énergies horaires nécessaires} \quad (5)$$

$$\text{AN: } B_j = \frac{40113 \times (1+2,6\%)^{15}}{0,9}, \text{ on trouve } B_j = 65502 \text{ Wh .}$$

Ce besoin journalier calculé est à 92% égal au précédent déterminé à partir de la courbe de charge. Cela confirme nos hypothèses pour la répartition temporelle de la consommation journalière.

Pour la suite nous considérons la valeur moyenne de **71196 Wh/jour**.

## 4.3. Choix de la tension nominale du système PV

Tableau 6 : tension générateur en fonction de la puissance

Puissance du champ photovoltaïque (kW)	0-0,5	0,5-2	2-10	> 10
tension recommandée (VDC)	12	24	48	> 48

Source : Technologies solaires, 2iE, DR. A.BAGRE & Dr. YAO Azoumah

$$\text{La puissance du champ à installer est } P_{PV} = \frac{B_j}{\text{nombre d'heures de fonctionnement}} \quad (6)$$

$$P_{PV} = \frac{71,196}{8} = 8,9 \text{ kW} < 10 \text{ kW} , \text{ la tension de notre champ sera } 48 \text{ Vcc.}$$

## 4.4. Capacité de stockage électrochimique

L'énergie stockée dans les batteries est utilisée pendant la nuit ou pendant les jours où la radiation solaire est faible ou nulle. Le stockage sert aussi à pallier au caractère intermittent des énergies.

La Côte d'Ivoire est un pays situé au large de la côte Atlantique, la plupart des précipitations se présentent dans la partie sud dans les mois de Mai et Juin. Dans le nord les précipitations sont moins nombreuses et l'air est plus chaud.

Nous décidons donc que le parc de batteries devra pouvoir stocker une quantité d'énergie équivalente à 3 jours<sup>1</sup> de production de la composante solaire.

<sup>1</sup> Moyenne de jours sans soleil=2,4 jours, modèle d'électrification rurale pour localité de moins de 500 habitants au Sénégal ; donnée calculée sur la moyenne de d'année-Source : NASA

$$C_{\text{bat min.}} = \frac{\text{charge journalière } (B_j)}{V_{\text{bat}} \times \eta_{\text{bat}} \times DM \times f_t} \times J_{r_{\text{aut}}} \left\{ \begin{array}{l} V_{\text{bat}} : \text{la tension du parc batterie en (V)} \\ DM: \text{la profondeur de décharge de la batterie} = 80\% \\ f_t: \text{facteur de réduction de température}^1 \\ J_{r_{\text{aut}}} = 3 \text{ jour de stockage} \end{array} \right. \quad (7)$$

### Composition des batteries d'accumulateurs

Dans le cadre d'une utilisation en solaire, chaque type de batterie plomb présente des avantages et des inconvénients qui sont résumés en annexe 2.6. Notez qu'à l'intérieur de chaque type de batterie, il y'a beaucoup de disparités selon les modèles et les fabricants.

Le stockage électrochimique avec des batteries OPzS<sup>2</sup> de 2V concerne des applications propres au réseau d'électrification rurale. Notre technologie de stockage consistera en un parc de batteries acide-plomb à plaques tubulaires. Ce sont des batteries à électrolyte liquide requérant un ajout régulier d'eau distillée.

On trouve  $C_{\text{min}} = \frac{71196 \times 3}{0,8 \times 48 \times 0,8} = 6953 \text{ Ah}$ .

On se propose d'avoir 2 parcs de batteries de 48 VDC soit 2\*24 éléments de 2 V en série. Chaque parc devra fournir 3500 Ah. Nous choisissons le modèle OPzS 2V 3500 Ah.

### **4.5. Rayonnement**

Le mois le plus chaud est février. Pour garantir une production solaire continue toute l'année nous retenons pour l'étude le mois de Juillet ou l'ensoleillement est le plus défavorable et égal à 4,211 kW/m<sup>2</sup>.jr (voir tableau 1).

### **4.6. Champ PV**

La puissance crête d'installation est la puissance maximale de sortie des modules PV afin de satisfaire la charge durant la vie du projet (voir annexe 2.5).

<sup>1</sup> Thèse Dhaker Abbas, Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résiduel autonome.

<sup>2</sup> Ortsfest Panzerplatte Special, batterie stationnaire ouverte à plaques tubulaires

$$P_{\text{crete min}} = \frac{\text{charge journalière } (B_j)}{f_p \times \eta_{pc} \times H_a \times \eta_{bat} \times \eta_{g\acute{e}n} \times f_t} \left\{ \begin{array}{l} B_j \text{ (Wh/j): besoin journalier} \\ f_p: \text{ facteur de pertes dues au transport de l'énergie} \\ H_a \text{ (kWh/m}^2\text{/j) : rayonnement moyen journalier du mois} \\ \eta_{pc}: \text{ facteur de dégradation typique à 0,9} \\ f_t: \text{ Facteur de réduction d'efficacité, haute température}^1 = 0,9 \\ \eta_{g\acute{e}n}: \text{ coefficient de perte du générateur pris à 80\%} \\ \eta_{bat}: \text{ rendement des batteries pris à 80\%} \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\text{A.N: } P_{\text{crete min}} = \frac{71196}{0,93 \times 0,9 \times 4,211 \times 0,8 \times 0,8 \times 0,9} = 35000 \text{ Wc}$$

### Composition du champ PV

Nous portons notre choix sur le modèle 250PE 250W 24V du fabricant REC 32402-N (Annexe 1.7).

$$\text{Le nombre de panneaux nécessaire est } N_p = \frac{P_{\text{crete min}}}{P_{\text{Nominale d'un module}}} = 140 \text{ modules} \quad (9)$$

### Orientation et emplacement des modules PV

Le rendement est maximal lorsque les rayons arrivent perpendiculairement au panneau. Pour garder une production d'énergie du panneau la plus régulière possible tout au long de l'année, les modules seront orientés en plein sud à 10°.

## 4.7.Choix de l'onduleur multifonctionnel

La tension du réseau est de 230 Vca et la fréquence 50 Hz.

<sup>2</sup>L'onduleur multifonctionnel réalise plusieurs fonctions en une seule unité. Il :

- ✘ Contrôle le point de fonctionnement du champ PV tout en optimisant la production. En effet les MPPT intégrés, il force les panneaux à travailler sur leur point de puissance maximale de sorte à ce que l'énergie extraite du champ photovoltaïque soit maximisée.
- ✘ Convertit le courant continu provenant de la batterie ou du champ PV en courant alternatif, et redresse le courant alternatif du GE pour charger la batterie ;
- ✘ Contrôle le processus de charge du parc de batterie afin de prolonger sa durée de vie

$$\text{La puissance d'un onduleur est d'au moins : } P_{\text{ond}} = \frac{P_{\text{pointe}} \times \text{facteur d'utilisation}}{f_p \times \eta_{\text{onduleur}}} \quad (10).$$

$$P_{\text{ond}} = \frac{40 \times 60\%}{0,93 \times 0,91} = 28,4 \text{ kW}$$

On se propose d'avoir un onduleur par phase. Chaque onduleur aura une puissance de 10 kW.

<sup>1</sup> Modèle d'électrification des localités de 500 habitants

<sup>2</sup> AIE PVPS Tâche 9 – Club ER Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l'électrification rurale – Jan 2013

## IV. OPTIMISATION TECHNICO-ECONOMIQUE ET ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION

Nous usons d'un logiciel d'analyse technico-économique afin d'obtenir les tailles optimales des sous-systèmes.

Le critère d'évaluation utilisé par le logiciel est la minimisation du coût de production du kilowattheure électrique<sup>1</sup>. Cette méthode d'analyse est basée sur l'évaluation du coût du kWh par rapport à l'investissement consenti.

L'option optimale devra être performante sur les plans technique, économique et financier.

### 1. Les résultats de la simulation

#### 1.1.Préparation de la simulation

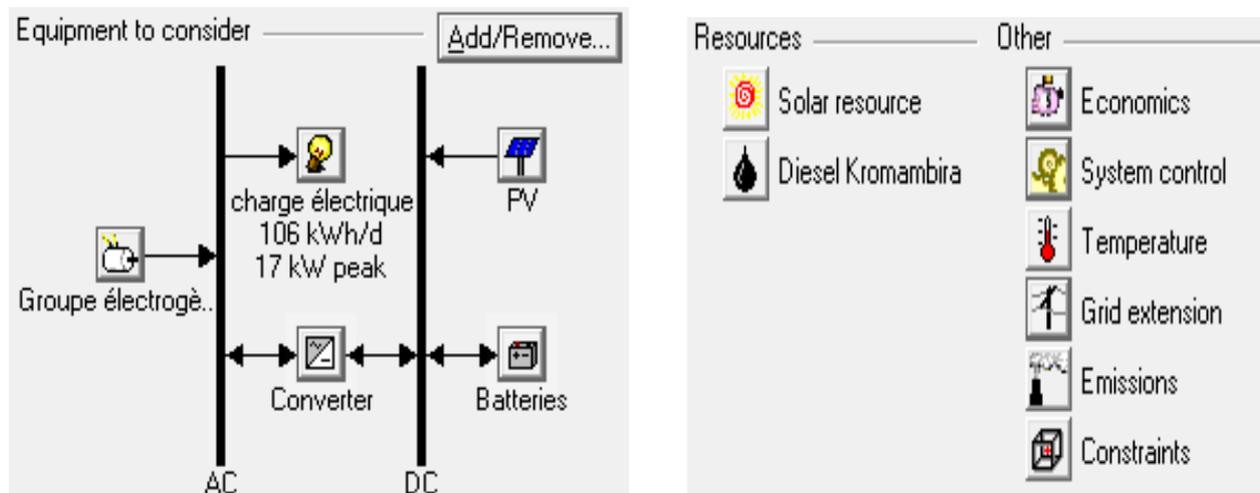


Figure 13: interface HOMER, équipements sélectionnés et ressources

Le logiciel analyse des différentes combinaisons possibles des sous-systèmes utilisés.

Une fois sélectionnés les divers équipements apparaissent dans la zone de définition ainsi que les ressources nécessaires. Pour notre cas Homer va simuler un système comprenant un champ de panneaux PV, des batteries, un groupe électrogène et un onduleur multifonctionnel AC-DC. Les

<sup>1</sup> CYTHELIA-Thibaud SIMON-23/07/14

détails de la charge et des différents composants sont renseignés, ils serviront d'entrées pour les simulations à exécuter par le logiciel.

Tableau 7 : tableau des hypothèses des variables d'entrée ; [références]

Composants ou ressources	hypothèses	
Groupe Electrogène	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Puissance : 40 kW</li> <li>– Coût : 24000\$ [1]</li> <li>– Remplacement : 24000\$ [2]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Opération et maintenance : 0,6 \$/hr [3]</li> <li>– Durée de vie : 15000 heures</li> <li>– Ratio minimum de charge : 40%</li> </ul>
Générateur PV	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Opération et maintenance : 700 \$/hr</li> <li>– Température nominale des cellules : 85°C</li> <li>– Influence de la température : - 0,4%/°C</li> <li>– Facteur de sous sollicitation : 80%</li> <li>– Inclinaison : 8,5°C</li> <li>– Réflectivité au sol : 20%</li> <li>– Rendement module : 15,1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Coût : 70000\$ [4]</li> <li>– Azimuth : 0</li> <li>– Puissance : 35 kW</li> <li>– Remplacement : 70000\$</li> <li>– Durée de vie : 25 ans</li> <li>– Pistage (tracking) : non</li> </ul>
Batteries	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hoppecke OPzS 3500</li> <li>– Quantité : 48</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Coût : 74150 \$ [5]</li> <li>– Remplacement : 74150 \$</li> </ul>
Onduleur multifonctionnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Puissance : 30 kW</li> <li>– Coût : 24405 \$ [6]</li> <li>– Remplacement : 24405 \$</li> <li>– Opération et maintenance : 24 \$/yr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durée de vie : 20 ans</li> <li>– Rendement : 93%</li> <li>– Capacité à redresser : 100%</li> <li>– Rendement mode redresseur : 93%</li> </ul>
Charge AC	Consommation : 106 kWh/jr et Pique de consommation : 17,3 kW en weekend le mois de janvier	
économique	Taux d'intérêt annuel : 6% [7] Durée du projet : 15 ans	
Extension du réseau	Coût : 19 221 \$/km [8] Opération et maintenance : 160 \$/yr/km [9] Coût de production : 0,162 \$/kWh	
Contrôle du système	Durée de la simulation : 60 minutes	Suivre la charge
contrainte	Charge horaire : 10%	Rendement minimum du solaire : 25%

[1] : Coût au prorata effectué suivant la feuille de calcul de décentralisation de CI-ENERGIES

[2] : Coût de remplacement total du GE

[3] : le coût de la maintenance du GE est  $0,17+0,0072 P_{GE}$  (thèse 2iE, Daniel Yamegeu).

[4] : Coût déterminé auprès de l'entreprise SUNLIGHT ENERGY, situé au Plateau, RCI

[5] : Coût déterminé sur [www.wattuneeed.com](http://www.wattuneeed.com) et considérant un facteur de 35% pour les frais de douane et transport

[6] : Coût déterminé sur [www.wattuneeed.com](http://www.wattuneeed.com) et considérant un facteur de 35% pour les frais de douane et transport

[7] : Taux d'intérêt sur les investissements défini après négociation avec les acteurs du projet

[8] : Coût moyen calculé à partir de l'extension sur 25 km, (voir Annexe 3.2)

[9] : Ratio au Prorata à partir du tutoriel de HOMER (Analyse du logiciel HOMER, Cytélia, 2014)

Nous décidons de simuler les sources pour les différentes charges suivantes

Tableau 8 : variables de simulations pour les équipements

Pourcentages de charge	0%	30%	50%	70%	80%	100%
Générateur diesel (kW)	0	12	20	28	32	40
Générateur PV (kWc)	0	10,5	17,5	24,5	28	35
Nombre de bâtis de batteries	0	1	1	2	2	2
Onduleur multifonctionnel (kW)	0	9	15	21	24	30

Une fois toutes les sections sont remplies convenablement, on lance la simulation.

## 1.2.Architecture optimale

Une fois le calcul terminé et sans message d'avertissement, nous obtenons plusieurs résultats. Les résultats du choix de la configuration se présentent de deux manières. Nous visualisons tous les résultats avec l'option « overall ».

Les résultats sont classés en fonction du coût à valeur actuelle «Net present cost» sur la durée de vie et **le premier résultat affiché est le plus économique** de tous les types de systèmes simulés.

Sensitivity Results		Optimization Results											
Double click on a system below for simulation results.													
<input type="radio"/> Categorized <input checked="" type="radio"/> Overall													
Icons	PV (kW)	GE (kW)	Batteries	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	sel Kromambi (L)	GE (hrs)		
	28.0	20	24	15	\$ 117,278	4,201	\$ 158,082	0.421	0.80	2,923	788		
	35.0	20	24	21	\$ 136,159	2,489	\$ 160,329	0.427	0.91	1,443	339		
	35.0	20	24	15	\$ 131,278	3,008	\$ 160,494	0.427	0.89	1,949	574		
	36.3	20	24	21	\$ 138,759	2,301	\$ 161,106	0.429	0.92	1,299	305		
	28.0	20	24	21	\$ 122,159	4,066	\$ 161,648	0.430	0.81	2,748	650		

Figure 14 : résultats de l'optimisation

**La meilleure configuration technique est l'hybridation PV/diesel/batteries.** HOMER nous préconise cette configuration car elle présente les meilleurs coûts pour le kilowattheure ; 0,427\$/kWh avec la configuration optimale.

Le logiciel propose donc 28 kWc pour le générateur PV, 20 kW pour le générateur diesel, 3500 Ah pour la capacité de stockage et 15kW pour l'ensemble des onduleurs.

Par observation du tableau 8, Homer propose 50% du GE, 80% du PV, 50% du stockage et 50% pour les onduleurs suivant les valeurs théoriques calculées pour les différents composants.

### 1.3. Graphes horaires détaillés pour l'architecture

➤ **En un jour ensoleillé (12 Février)**

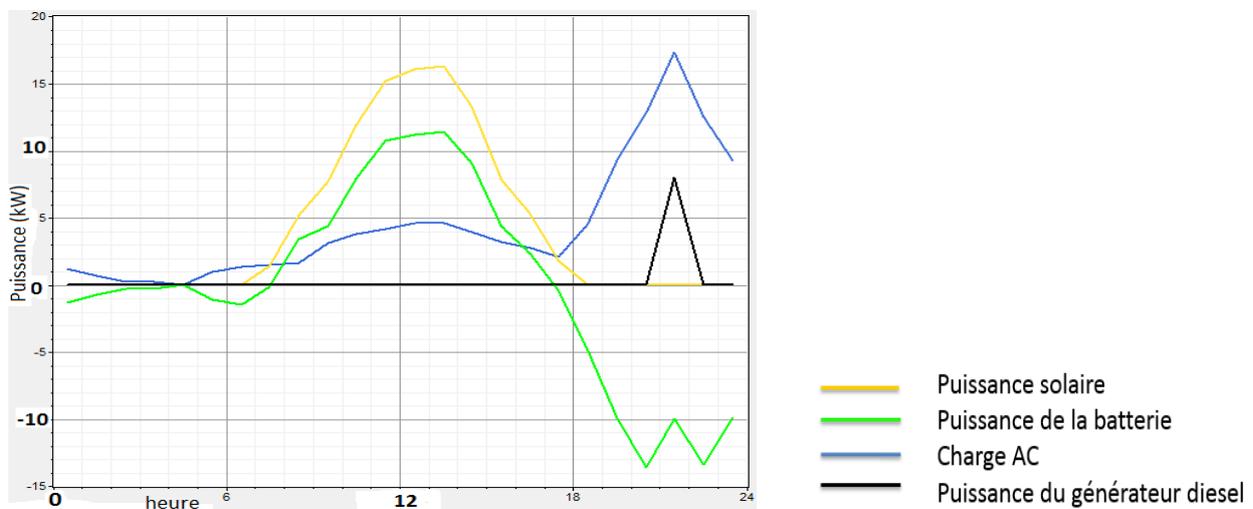


Figure 15 : production électrique du 12 février

Le 12 février est un jour ensoleillé. De 7h à 18h lorsque la ressource solaire est suffisante, les charges sont essentiellement alimentées par le générateur PV et le surplus de la production solaire est utilisé pour charger les batteries.

Dès 18h lorsque la ressource solaire est faible, les batteries se déchargent et le GE ne fonctionne pas en sous charge. Aussi la demande devient très importante en soirée à 20h, alors le GE vient en appoint des batteries qui continuent à se décharger afin de combler le déficit de la production.

La nuit, seules les batteries assurent l'alimentation électrique de la faible charge jusqu'à 7h.

➤ **En un jour non ensoleillé (13 juillet)**

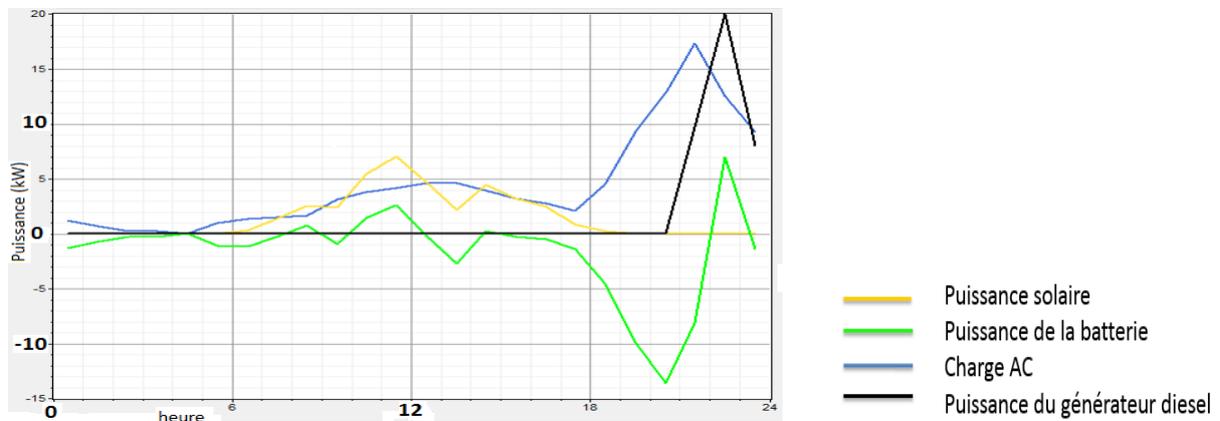


Figure 16 : production électrique du 13 juillet

En un jour non ensoleillé, l'intermittence de la ressource solaire est compensée par les charges et décharges du parc de batterie. Lorsque la demande devient très importante dès 20h30 et les batteries déchargées, le GE assure la pointe et le surplus de sa production est utilisé pour la charge des batteries. Tard dans la nuit, la faible demande est assurée par la décharge de la batterie.

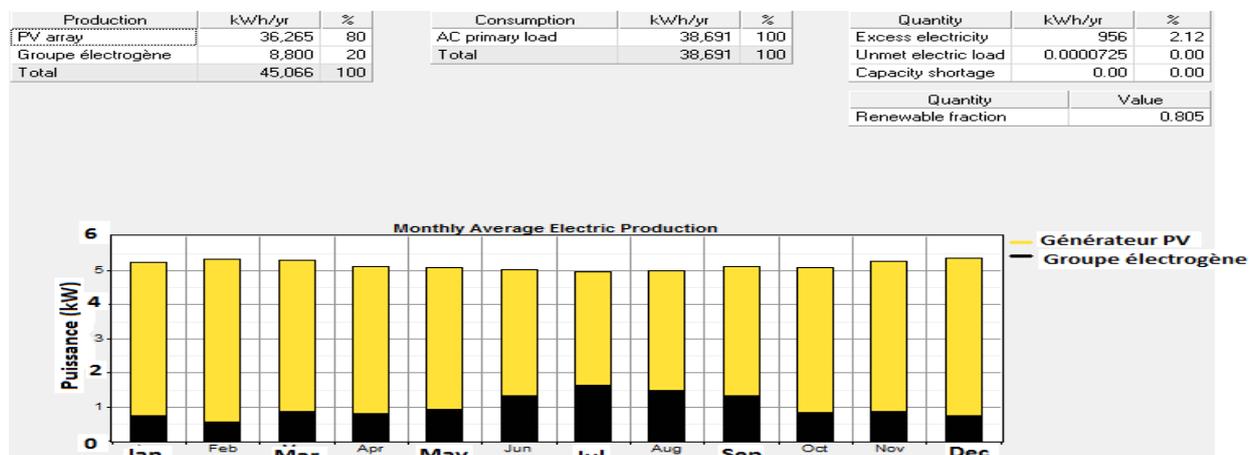


Figure 17 : graphe mensuelle de la production électrique

Annuellement, le système produira 45,066 kWh.

Ce graphe nous permet d'apprécier la faible utilisation du GE. Le générateur PV produit l'essentiel de l'énergie. Le GE n'intervient qu'à 20% pour compenser le déficit de la production solaire. Il est beaucoup sollicité le mois de juillet lorsque la ressource solaire est insuffisante et est faiblement utilisé le mois de février lorsqu'elle est abondamment disponible. En somme il fonctionnera durant 788 heures l'année. Le diesel est utilisé quant à lui pour couvrir la pointe du soir et assurer la recharge complète des batteries si nécessaire.

Le taux de pénétration annuel de la composante PV atteint 80%.

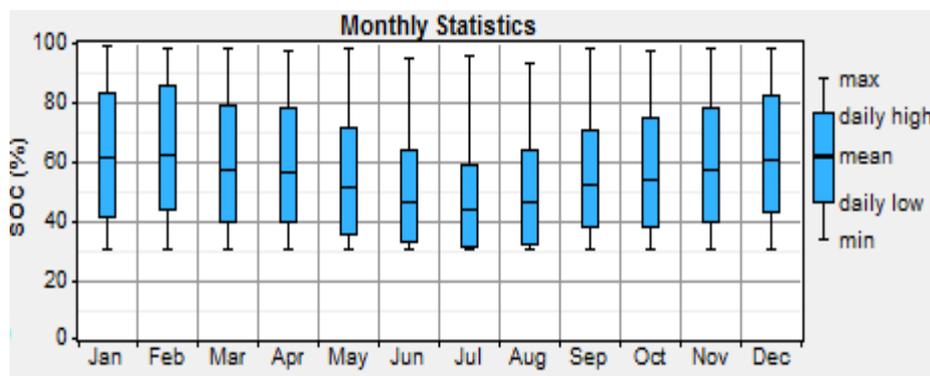


Figure 18 : statistique mensuelle du degré de charge du parc de batteries

Ce caractère continu de la disponibilité de l'énergie produite tout au long de l'année, ne peut être que satisfaisant pour l'atténuation de la part allouée au stockage. On notera avec force, l'importance de la réduction de la période d'intervention de la batterie qui est devenue restreinte seulement aux mois de juillet où le potentiel solaire est faible.

**Le parc de batterie serait très important si le système était composé que d'une seule source.**

## 2. Etude comparative des différentes technologies de production

Cette étude nous permettra de savoir si la solution hybride PV/diesel/batteries choisie est compétitivement économique face aux moyens de production conventionnels.

### 2.1.Comparaison avec le système PV autonome

La fenêtre « categorized » permet de visualiser et de classer les meilleurs résultats selon les configurations possibles.

Sensitivity Results		Optimization Results												
Double click on a system below for simulation results.													<input checked="" type="radio"/> Categorized: <input type="radio"/> Overall	
Icons	PV (kW)	GE (kW)	Batteries	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	sel Kromam (L)	GE (hrs)			
	28.0	20	24	15	\$ 117,278	4,201	\$ 158,082	0.421	0.80	2,923	788		solution hybride optimale	
	49.0		72	21	\$ 226,309	-1,954	\$ 207,326	0.552	1.00				système PV autonome	
		20	24	9	\$ 56,397	18,474	\$ 235,824	0.628	0.00	13,350	2,394			
	24.5	20		9	\$ 68,322	24,391	\$ 305,217	0.812	0.40	16,524	5,064			
		20			\$ 12,000	39,889	\$ 399,416	1.063	0.00	25,996	8,395		groupe électrogène seul	

Figure 19 : résultats de l'optimisation des différentes configurations

On remarque que le système hybride proposé est dans le classement au-dessus du système PV en fonctionnement seul. On déduit que **l'hybridation PV/diesel/batteries est mieux rentable que le système PV autonome** avec une réduction de 23,7% sur le coût actualisé du kWh pour un investissement initial deux fois inférieur.

### 2.2. Comparaison avec le système Générateur diesel autonome

De même sur la figure 23, la décentralisation avec un GE seul est en fin de classement. Cette configuration ne demande pas un grand investissement initial (12 000\$) mais sera au fil des années la plus onéreuse (399 416\$) avec un forfait du kWh très élevé de l'ordre de 1,063 \$.

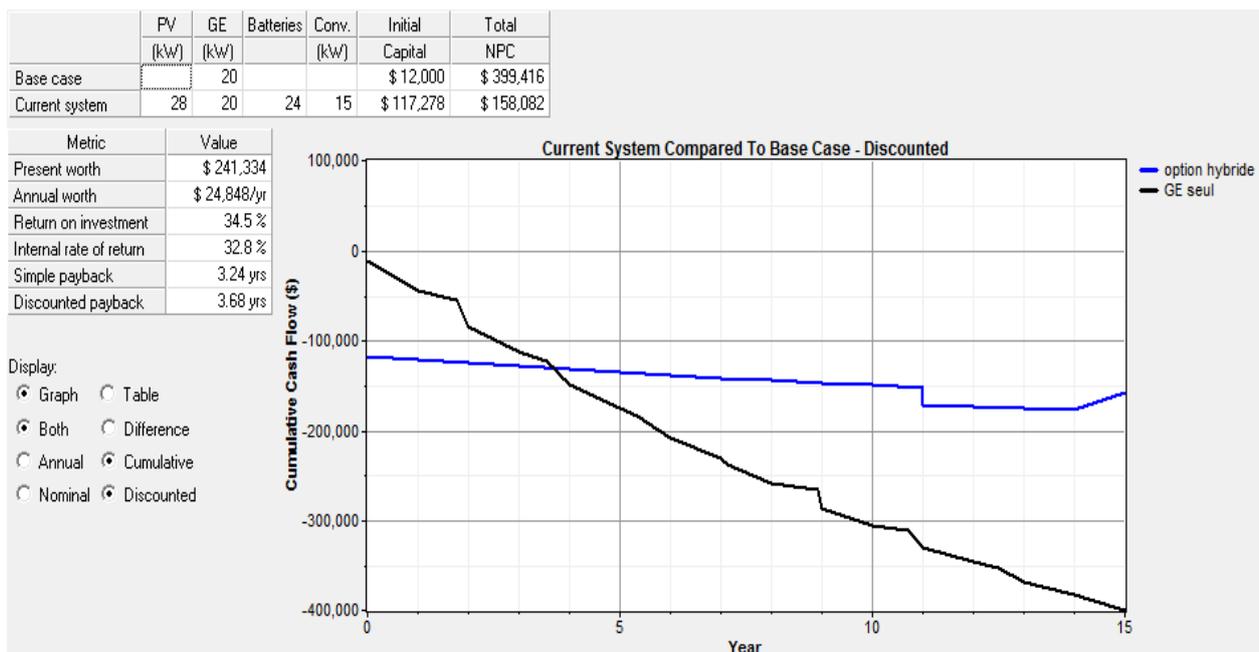


Figure 20 : comparaison des cash-flows annualisés de l'option hybride avec l'option diesel seul

L'hybridation nous permet d'avoir une réduction de 60,4 % sur le coût actualisé du kWh par rapport à l'alternative d'utiliser le générateur diesel seul, un TRI de 32,8%, pour un temps de retour de 3,68 ans avec un investissement initial 9,77 fois plus important, si les financements sont disponibles.

**Le système hybride proposé est nettement plus rentable que la décentralisation au GE seul.**

### 2.3.Comparaison avec l'extension du réseau

Le système décentralisé n'est pas toujours la solution la plus intéressante économiquement. Si le village se trouve plus proche du réseau MT, dans ce cas l'électrification avec le raccordement au réseau est plus judicieuse car les coûts seront moindres en comparaison avec les systèmes GE seul ou solution hybride<sup>1</sup>. Nous nous posons donc la question de savoir à partir de quelle distance critique la solution décentralisée est plus viable que le raccordement au réseau?

Le coût moyen du kWh sur la MT en périphérie du réseau est de 81 FCFA soit 0,162 \$ (se référer à l'annexe 3.1).

Par ailleurs le devis quantitatif et estimatif pour l'alimentation HTA s'élèverait à **deux cent quarante millions deux cent soixante-trois mille trente-sept (240 263 037) FCFA** pour un raccordement sur 25 km (voir annexe 3.2). Ce qui nous donne un coût moyen de **neuf millions six cent dix mille cinq cent vingt et un (9 610 521) FCFA/km** soit **19 221 \$/km**.

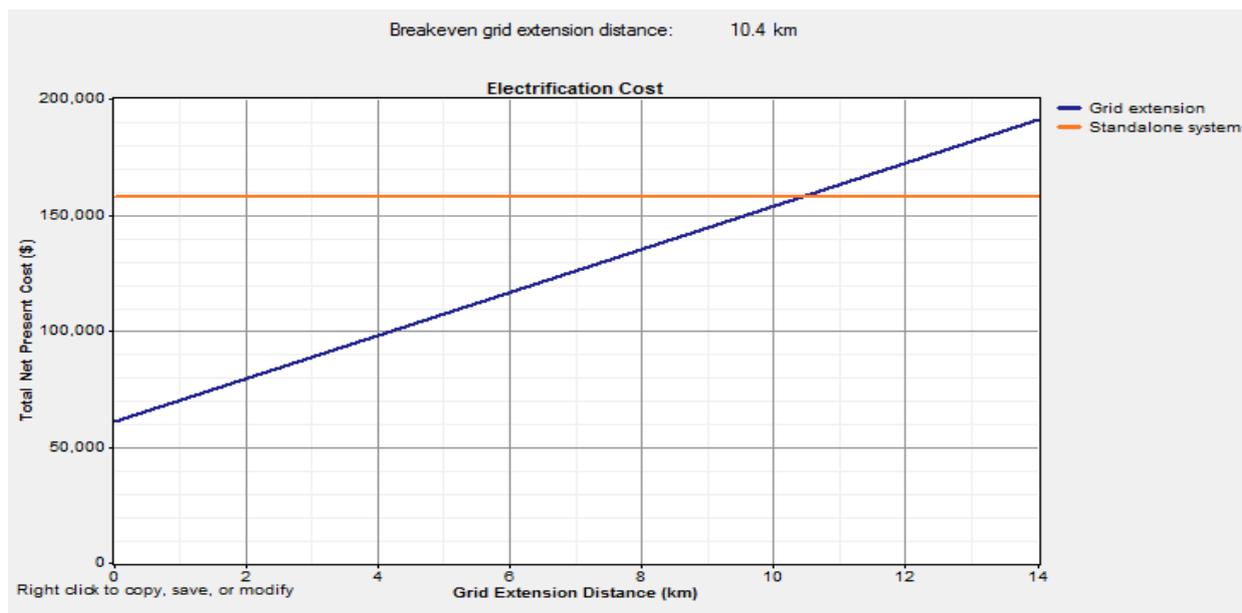


Figure 21 : comparaison de l'extension du réseau avec la solution décentralisée

<sup>1</sup> Modèle d'électrification rurale de moins de 500 habitants au Sénégal\_Zaida Contreras\_juillet 2005

En comparaison avec le plus bas des réseaux décentralisés, nous trouvons **la distance limite pour l'extension du réseau à 10,4 km** or Kromambira est situé à 25 km de la ligne Moyenne Tension la plus proche. **Le projet de SEH a donc lieu d'être réalisé.**

### 3. Analyses de sensibilités

Le logiciel donne la possibilité de faire ce que nous appelons les analyses de sensibilités.

Cette option nous propose de faire varier les paramètres supposés sensibles et/ou fixés par des hypothèses, afin de déterminer leur influence sur la rentabilité du système.

La solution optimale trouvée s'affiche au préalable dans « sensitivity results ».

Il s'agira de donner plusieurs valeurs aux entrées afin de déterminer les valeurs seuils pour lesquelles le système n'est plus optimal.

Les données qui peuvent subir des analyses de sensibilité sont toutes celles qui ont des accolades.

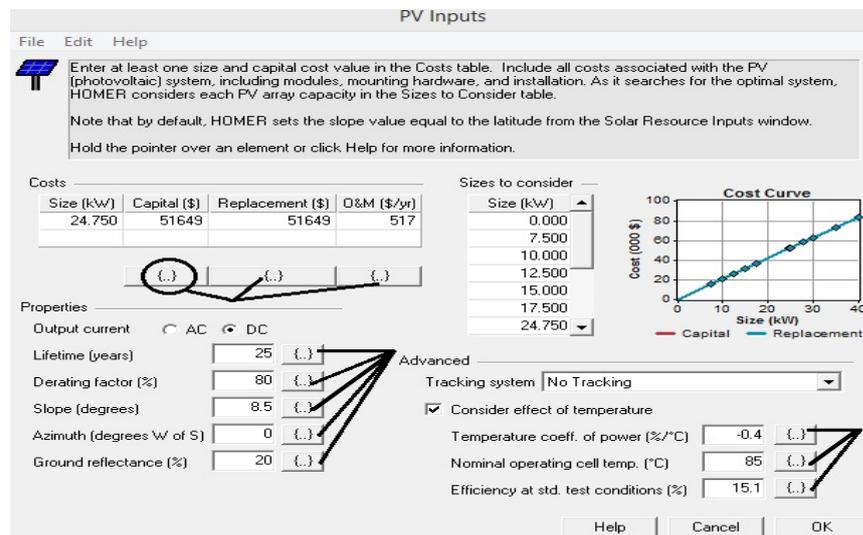


Figure 22: exemple de variables de sensibilité

Les données qui subiront les analyses de sensibilité sont le coût des panneaux PV, le coût des batteries, le taux d'intérêt, la courbe de charge, l'ensoleillement, le coût du diesel.

#### 3.1.Variation du taux d'intérêt

Le taux d'intérêt de l'emprunt fixe la rémunération du capital prêté, exprimé en pourcentage, versé par le prêteur. Ce pourcentage tient compte de la durée du prêt, de la nature des risques encourus et des garanties offertes par le prêteur.

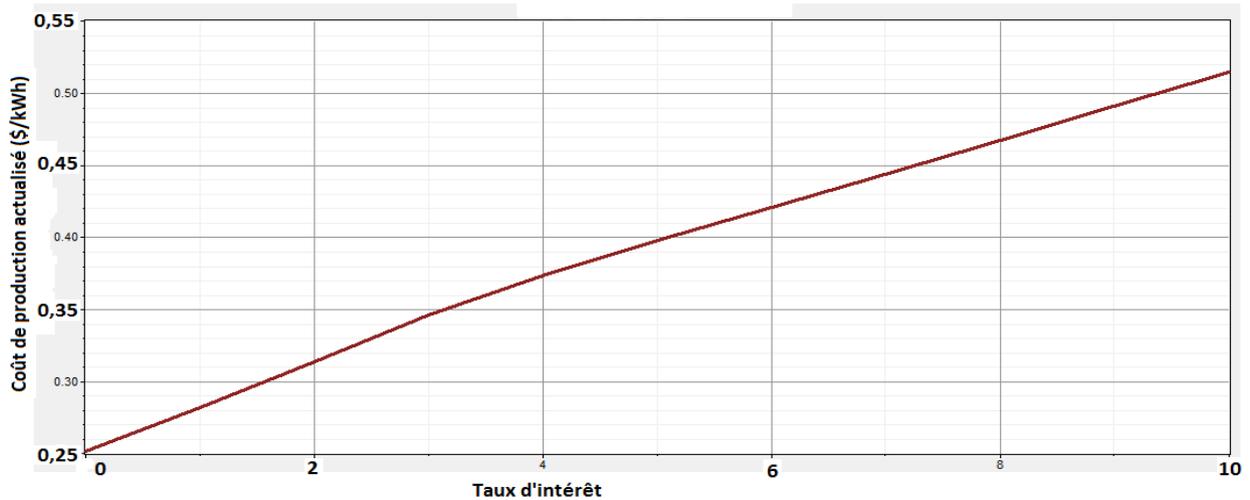


Figure 23 : coût du kWh en fonction du taux d'intérêt

Une variation de 1% du taux d'intérêt entraîne une variation de 5% du coût de kWh dans le même sens. Plus le taux de remboursement est grand et plus l'énergie produite coûte cher. Pour notre cas, le projet est déjà subventionné à plus de 90%, ce qui pourrait permettre de baisser de façon très significative le coût actualisé de production de l'énergie<sup>1</sup>.

### 3.2.Variation du coût du PV

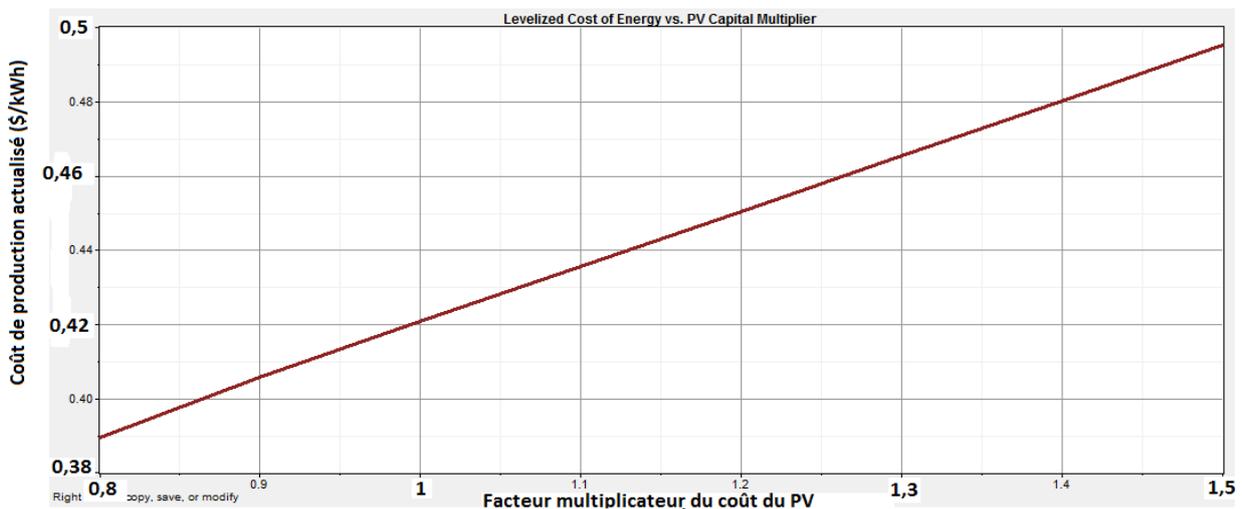


Figure 24 : coût de l'énergie en fonction de la variation du coût du PV

Une variation de 1% du coût des modules PV entraîne une variation de 0,3% du forfait électrique dans le même sens. La réduction sur le coût des panneaux PV pourrait rendre encore plus compétitivement économique la décentralisation par hybridation.

<sup>1</sup> Voir le contexte à la page 8

### 3.3. Variation du coût du diesel

Les variations sont dépendantes du prix du baril de pétrole sur le marché international, qui depuis juin 2014 connaît une baisse régulière, mais encore plus de la volonté des autorités politiques ivoiriennes.

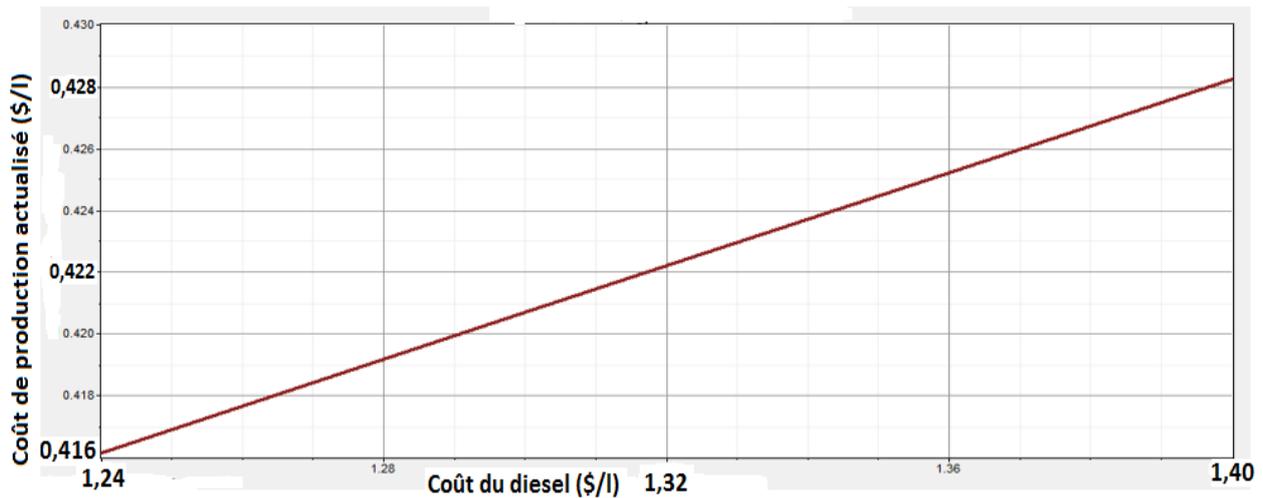
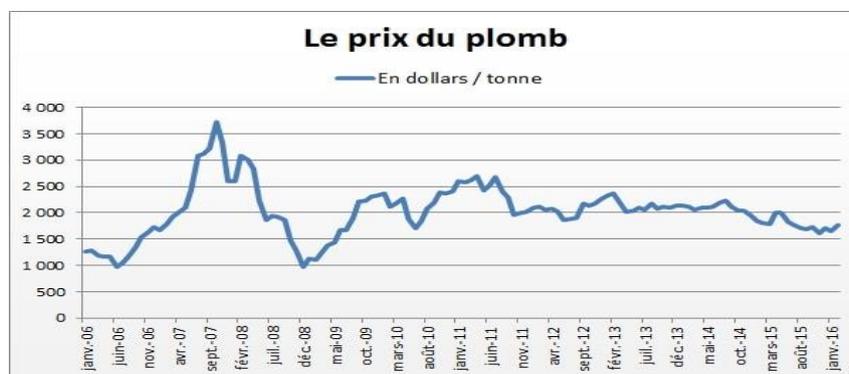


Figure 25 : coût du kWh en fonction du coût du diesel

Une variation de 1% du prix du combustible entraîne une variation de 0.3% du coût du kWh dans le même sens. Une augmentation du prix du combustible ne présente pas grand impact sur le coût de l'électricité ; vu que le groupe est peu utilisé.

### 3.4. Variation du coût des batteries

Le coût du parc de batteries solaires devient encore plus important que par le passé, car il a plutôt tendance à croître, suivant en cela les cours du plomb.



Source : <http://www.journaldunet.com/economie/industrie/1146972-prix-des-metaux/>

Figure 26 : variation du coût de la tonne de plomb

En effet, même si la tonne de plomb est redescendue à 1000 \$ en décembre 2008 après avoir frôlé les 4000 \$ en septembre 2007, les cours du plomb restent élevés par rapport aux cours observés il y'a une décennie en 2006. Après le second semestre 2010, le cours du plomb est d'environ 2500 \$ la tonne. Nous observons pour le premier semestre 2016 une baisse jusqu'à 1500 \$ la tonne. Ainsi le coût relatif des batteries est vraiment très instable. Il peut baisser comme a aussi tendance à augmenter et dépasser souvent les 60% du coût total du système si on considère le renouvellement pour un système PV d'une durée de vie d'au moins 20 ans<sup>1</sup>.

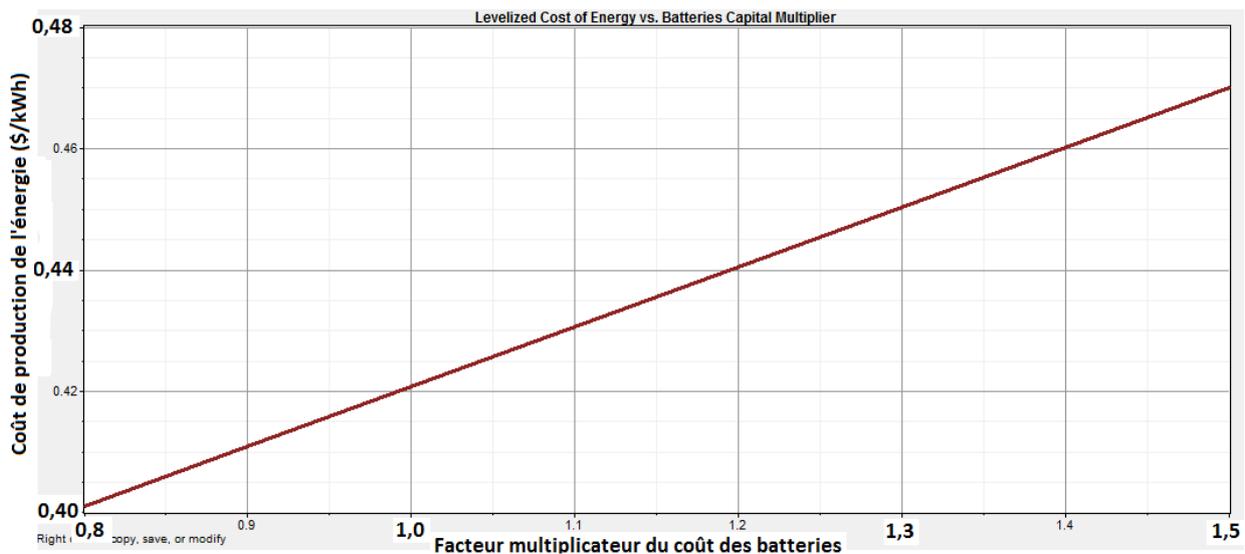


Figure 27 : variation du coût du kWh en fonction du facteur multiplicateur du coût des batteries

Une variation de 1% du coût des batteries entraîne une variation de 0,2% sur le coût de l'électricité produite dans le même sens.

### 3.5.Variation de l'ensoleillement

Nous utilisons les ensoleillements moyens d'autres localités afin de déterminer si la solution à déployer y est possible. Nous choisissons Boudou qui est une localité déjà concernée par les projets hybrides PV/diesel. Aussi Kouadiotékro, qui est un village isolé situé entre une réserve forestière et un fleuve, à un peu plus de 10 km de Tiémélékro dans la région du Moronou.

Toutes ces localités sont isolées, difficiles d'accès et éloignées du réseau normal.

<sup>1</sup> <http://www.batterie-solaire.com>, consulté le 24/03/2016

Tableau 9 : localisation et ensoleillement moyen annuel des localités choisies

Localités	Boudou	Kouadiotémélékro
Localisation	8°26'54'' N	6°34'07'' N
	3°51'11'' O	4°47'14'' O
Ensoleillement moyen (kWh/m <sup>2</sup> /jr)	5,06	4,57

Source : HOMER, IRENA

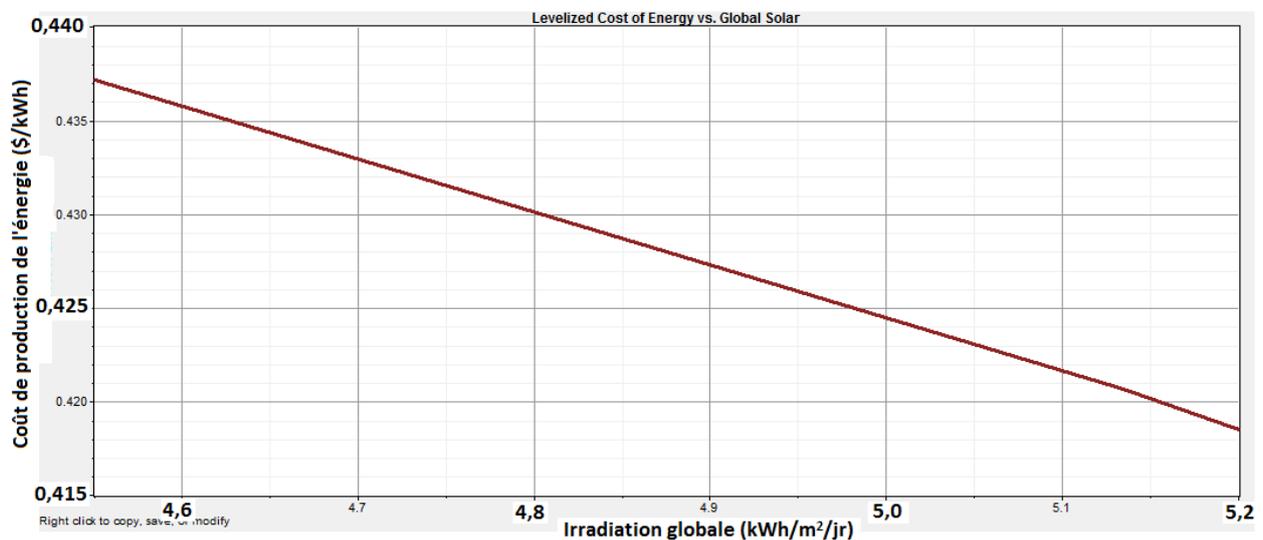


Figure 28 : coût du kWh en fonction de l'ensoleillement

Les irradiances utilisées sont plus faibles. Nous trouverons pour le village de Boudou un prix de l'énergie attractif qui avoisine les 0,422\$/l. Tiémélékro présentera un coût du kWh évalué à 0,44\$/l. ce projet sera d'un très grand atout pour ces villages.

Notons qu'une variation de 1% de l'ensoleillement entraîne une variation de 0,3% du coût du kilowattheure dans le sens contraire.

#### 4. Synthèse

Selon la modélisation d'Homer, **l'architecture PV/diesel/batterie est la plus économique.**

La configuration parallèle adoptée optimise les tailles des composants. Ceux-ci ne sont plus dimensionnés pour la charge totale.

Tableau 10 : comparaison des valeurs des composants du SEH

Composants	GE (kW)	Générateur PV (kWc)	Onduleur (kW)	Batteries (Ah)
Valeurs proposées	28	29,64	27,6	3600
Valeurs théoriques	40 kW	35 kWc	30 kW	7000 Ah
<b>Valeurs optimisées</b>	<b>20 kW</b>	<b>28 kWc</b>	<b>15 kW</b>	<b>3500 Ah</b>

Aussi les résultats proposés par le logiciel HOMER nous permettent de conclure que les charges pour le village de Kromambira ont été surdimensionnées.

L'hybridation permet de fournir un service électrique de plus longue durée, qu'une centrale employant un GE seul. La durée journalière d'usage du GE et ses périodes d'utilisation à faible charge sont diminuées. Cela améliore ses performances et sa durée de vie.

Le parc de batterie offre la possibilité de répondre à une demande plus basse pendant plusieurs heures durant la nuit. Les nombres de cycle des batteries sont diminuées, ce qui améliore leur performance et étend leur durée de vie.

Tableau 11 : influence des variables et valeurs seuils de rentabilité du système

variables	diesel	ensoleillement	Taux d'intérêt	PV	Batterie
variation	1%	1%	1%	1%	1%
Influence sur le coût du kWh	0,3%	- 0,3%	5%	0,3%	0,2%

L'analyse de sensibilité a montré que le système était plus influencé par les paramètres indirectement liés à son fonctionnement.

**NB :** Il convient ici d'indiquer que le logiciel HOMER est un logiciel d'optimisation économique, d'aide à la décision pour le dimensionnement d'un mini-réseau et non un logiciel de dimensionnement et qu'il nous appartient de nous y conformer afin de proposer une solution techniquement réalisable et conforme à notre schéma de principe.

### ➤ Parc de batteries

En lieu et place d'un parc de 24 batteries d'une capacité totale de 3500 Ah, nous décidons d'avoir deux parcs de 24 batteries en série. Les parcs seront constitués de batterie de 2V 1750 Ah. Chaque parc fournira 1750 Ah (voir Annexe 3.3). La capacité d'accumulation sera de 168 kWh.

La surface minimale du parc sera de 12,68 m<sup>2</sup>.

### ➤ Configuration du champ PV

Nous utiliserons trois onduleurs multifonctionnels de 5 kVA (Annexe 3.4). La plage de tension d'entrée de chaque onduleur est 38 - 66 Vcc.

Tous les panneaux seront de marque REC, modèle 250PE de 24 V et 250 W (voir Annexe 2.7).

Chaque onduleur aura un sous champ PV. Les sous champs seront connectés de sorte qu'il y'ait 19 parallèles de 2 modules en série. Le champ à installer aura une capacité de 28,5 kWc.

Le champ PV aura une superficie de 197,5 m<sup>2</sup> avec 5% de marge pour les espacements entre les modules. Les modules seront disposés sur des rails de sorte qu'on ait 19 modules placés en largeur pour une longueur de 18,83 m et 6 modules placés en longueur pour 10 m.

### ➤ Groupe électrogène

Les détails sur le générateur diesel choisi se trouvent en Annexe 3.5

## V. RESEAU DE DISTRIBUTION BASSE TENSION ET ECLAIRAGE PUBLIC

Le système de distribution triphasée est conforme à la norme Electricité De France (EDF) qui a été retenue dès le début de l'électrification de la Côte d'Ivoire.

Le réseau BT sera construit en Triphasé quatre conducteurs (trois phases + un neutre) 380 V / 220 V 50 Hz qui convient aux usagers domestiques, petites et moyennes entreprises et artisanat (S<50 KVA). En régime triphasé équilibré (à charge égale sur les trois phases), le courant dans le neutre est nul. Le mode de protection est le régime TT avec un neutre distribué en réseau, neutre et masses métalliques étant mis à la terre par des prises distinctes. Le réseau BT du village sera de structure radiale simple. Cette structure qui s'étend le long des rues ne ménage qu'un seul point de

raccordement avec la sortie BT de la microcentrale de l'énergie. Par ailleurs, le réseau BT n'est pas bouclé sur lui-même quel soit le plan de lotissement de la localité concernée. Les lignes de distribution du réseau BT et de l'éclairage public sont aériennes construites en faisceaux de conducteurs isolés et montées sur des supports béton (aux alignements, aux arrêts et aux angles).

## 1. Présentation des ouvrages

Les ouvrages utilisés sont les supports de ligne, l'ensemble de suspension et d'ancrage et les conducteurs.

### 1.1. Les supports de ligne

Ce sont des poteaux qui ont pour rôle de supporter les câbles électriques. Les poteaux utilisés seront en béton et ne nécessitent pas d'entretien après la pose. Ils sont dimensionnés pour résister à l'effort du vent sur les conducteurs des deux demi-portées adjacentes, et sur le support lui-même et son armement. Il existe plusieurs types de support béton dont deux nombres inscrits sur chaque support les caractérisent :

- ✗ Le premier nombre désigne la hauteur du support (mètre);
- ✗ Le deuxième nombre désigne l'effort du support (daN).

Ainsi pour le réseau Basse Tension (BT) les supports utilisés sont

- 9 /200 support d'alignement (EP) ;
- 9/400 support d'étoilement et légers angle (EP) ;
- 9/650 support d'arrêt, alignement en dérivation (EP) ;
- 9/800 support d'angle (droit) ou grand portée (EP) ;

### 1.2. L'ensemble d'ancrage et de suspension

L'ancrage du câble torsadé est réalisé à l'aide d'une pince du type à coincement conique. La fixation aux supports d'angle, d'arrêt et d'étoilement est réalisée à l'aide d'une console. Cet ensemble peut être transformé en ensemble double par l'adjonction d'une seconde pince identique à la précédente. Notons que les torsades sont ancrées à 0,25 m du sommet tout en supposant qu'aucun effort mécanique n'est appliqué aux conducteurs de phase.

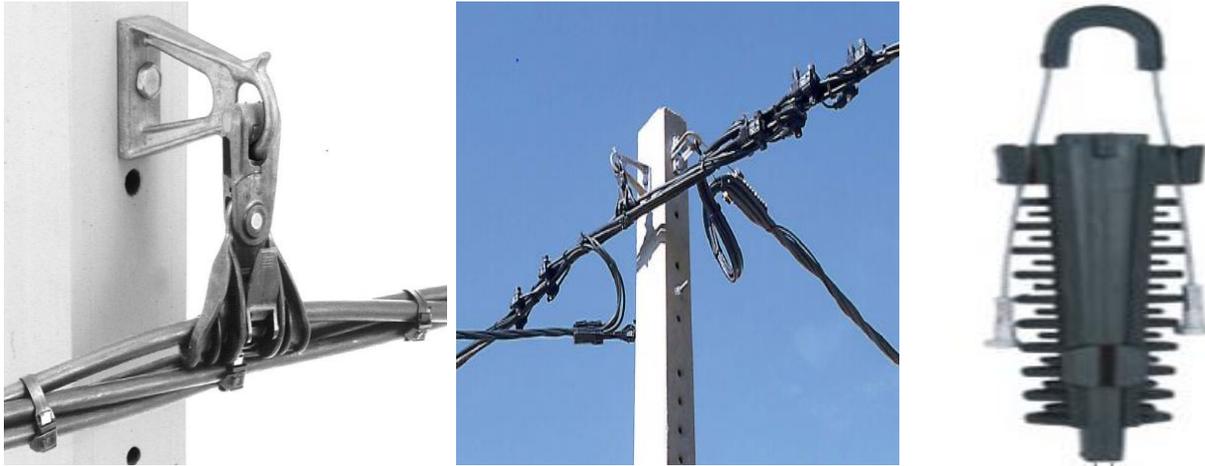


Figure 29 : Câbles BT suspendus, ancrage et suspension

### 1.3. Les conducteurs

Le faisceau doit comprendre un neutre porteur en alliage d'aluminium recouvert d'une gaine isolante autour duquel sont torsadés les trois conducteurs de phase et un conducteur d'éclairage public. La composition et les caractéristiques physiques des faisceaux de conducteurs isolés (norme NF C 33-209) sont:

- Trois câbles de phases isolés de section  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  ;  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  ou  $3 \times 70 \text{ mm}^2$ .
- Un câble isolé de section  $16 \text{ mm}^2$  servant de phase pour l'éclairage public
- Un câble de section  $54 \text{ mm}^2$  représentant le neutre. Il est porteur et supporte tous les quatre autres câbles de phase et doit être par conséquent tendu à l'installation.

## 2. Tracé de ligne du réseau Basse Tension et Eclairage Public

Le tracé qui s'étend le long des rues est destiné pour faire arriver l'électricité à tous les lotissements occupés par les bénéficiaires du projet.



Figure 30 : Tracé de ligne du réseau basse tension et éclairage public de Kromambira

Afin d'optimiser notre tracé, seuls les lots occupés ont été priorités.

Aussi l'éclairage ne concerne juste que les lots habités et engagés au projet. La centrale est pratiquement au centre du village afin d'équilibrer les chutes de tension sur les trois phases.

### 3. Détermination des calibres In des déclencheurs des disjoncteurs

L'estimation de la charge totale du village nous donne une puissance apparente de 50 kVA. Nous avons considéré un taux de progression de la demande de 3% pour les 15 prochaines années à venir. Le courant d'emploi qui traverse les conducteurs du réseau BT triphasé est déterminé par la formule suivante :

$$I = \frac{S}{U \times \sqrt{3}} \quad (11)$$

; En triphasé  $U = 400V$ , on trouve  $I = \frac{50 \times 1000}{400 \times \sqrt{3}} = 72,17 A$

En utilisant l'annexe 4.1 On trouve **In = 80 A**.

### 4. Détermination des sections de câbles

On souhaite utiliser l'aluminium avec une isolation en polyéthylène réticulé (PRC)

#### 4.1. Courant admissible

Lorsque les conditions normales d'installation ne sont plus respectées, l'intensité maximale admissible peut varier considérablement. Elle doit être minorée par les facteurs de correction qui suivent :

- ✖ Facteur de correction dû à la température ambiante différent de 40°C, pour les installations de câble à l'air libre on prend  $T_{amb} = 35^\circ C$ . isolation en PRC

On trouve  $f_{c1} = 0,93$  (Annexe 4.2)

- ✖ Facteur de correction par groupement de câbles

On trouve  $f_{c2} = 0,8$  (Annexe 4.3)

Le courant admissible dans le câble est déterminé par  $I_{Z \text{ câble}} \geq \frac{I_n \times k}{\prod_{i=1}^n f_{ci}}$  (12)

Où les  $f_{ci}$  sont les facteurs de correction.

$I_{Z \text{ câble}} \geq \frac{72,17 \times 1}{0,93 \times 0,8} = 93,97 A$  ;  $k=1$  car la protection est assurée par un disjoncteur.

#### 4.2. Section des câbles

En consultant l'annexe 4.4, Pour PR3 et  $I_{z \min} = 97 \text{ A}$  on trouve  $S = 35 \text{ mm}^2$ .

$$\text{On a donc } 3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2. \begin{cases} 35 \text{ mm}^2 \text{ pour chaque phase} \\ 54 \text{ mm}^2 \text{ pour le neutre} \\ 16 \text{ mm}^2 \text{ pour l'éclairage public} \end{cases}$$

## 5. Détermination de la chute de tension

La chute de tension dans un conducteur résulte des pertes par effet joule. Une partie de l'énergie qui y est véhiculée est absorbée et dissipée sous forme de chaleur. On dit que les conducteurs se comportent comme des résistances placées en série. Cette chute de tension, et par conséquent les pertes et les échauffements occasionnés, dépendent des principaux facteurs que sont :

- ✗ La résistivité des matériaux conducteurs ( $\rho$ ) exprimée en  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ . le matériau utilisé est l'aluminium,  $R = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- ✗ La section des conducteurs ( $S$ ) exprimée en  $\text{mm}^2$ . Plus la section est importante et mieux les électrons circulent librement don l'échauffement est moindre.  $S = 35 \text{ mm}^2$ .
- ✗ L'intensité du courant qui les traverse ( $I$ ), exprimée en ampères (A).
- ✗ La longueur des conducteurs ( $L$ ) exprimée en mm
- ✗ Le facteur de puissance ( $\cos \varphi$ ) idéalement pris égal à 1 vu que nous alimentons des installations domestiques bien que ce soit de moins en moins vrai avec l'arrivée des ordinateurs, des lampes à économie d'énergie, etc. ...
- ✗ La réactance linéique ( $X_u$ ) exprimée en  $\Omega/\text{m}$  ou  $\text{m}\Omega/\text{m}$ , est liée aux perturbations résultant des champs électromagnétiques générés par le passage du courant. La réactance linéique dépend essentiellement du type de câble utilisé (unipolaire, tri ou multiconducteur) et de leur disposition (en nappes, espacés ou en trèfle).

Tableau 12 : Les Formules de calculs de chute de tension utilisées

Circuit	Chute de tension	
	En volt	En %
Monophasé : phase et neutre	$\Delta U = 2 \cdot I_B \left( R \frac{L}{S} \cos \varphi + XL \sin \varphi \right)$	$\frac{100 \cdot \Delta U}{U_n}$
Triphasé équilibré : trois phase (avec ou sans neutre)	$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_B \left( R \frac{L}{S} \cos \varphi + XL \sin \varphi \right)$	$\frac{100 \cdot \Delta U}{U_n}$

Le schéma de ligne en Annexe 4.5 servira pour les calculs des différentes chutes de tension

### 5.1.Vérification de la chute de tension dans le réseau de l'EP

Nous vérifions que la chute de tension dans le réseau de l'EP est limitée à 5% de manière à faire fonctionner les lampes dans une plage de tension comprise entre 0,95 et 1,05 fois la tension minimale (se référer à l'annexe 4.6).

### 5.2.Vérification de la chute de tension en extrémité de ligne

Nous déterminons les puissances totales de calculs de chute de tension par segment de ligne de distribution. Il s'agira de considérer par segment les puissances des différents types de maisons susceptibles de fonctionner simultanément tout en majorant par le taux d'accroissement sur 15 ans (se référer à l'annexe 4.7).

Nous vérifierons par la suite que la chute de tension en extrémité de ligne est limitée à 7,5% (se référer à l'annexe 4.8).

## 6. Synthèse

Le réseau de distribution est dimensionné pour alimenter les foyers. L'éclairage public sera alimentés par des lampes efficaces et ne fonctionnera que 5 h/jr afin d'optimiser la charge à alimenter par le micro-réseau. Nous avons aussi vérifié que les chutes de tension admissibles étaient respectées ; 5% pour l'EP et 7,5% pour les extrémités de lignes.

## VI. ETUDE ECONOMIQUE

### 1. Devis quantitatif et estimatif du réseau basse tension

Le coût total pour la réalisation du réseau BT toutes taxes comprises s'élève à **quarante-trois millions sept cent soixante-quatorze mille neuf cent quatre-vingt-treize (43 774 993) FCFA** soit **87 550 \$** (voir Annexe 4.9).

### 2. Devis approximatif du Système d'Energie Hybride

Le logiciel HOMER évalue la réalisation de la microcentrale hybride à **cent cinquante-huit mille quatre-vingt-deux (158 082) USD**. Les détails sont donnés dans la figure ci-dessous.

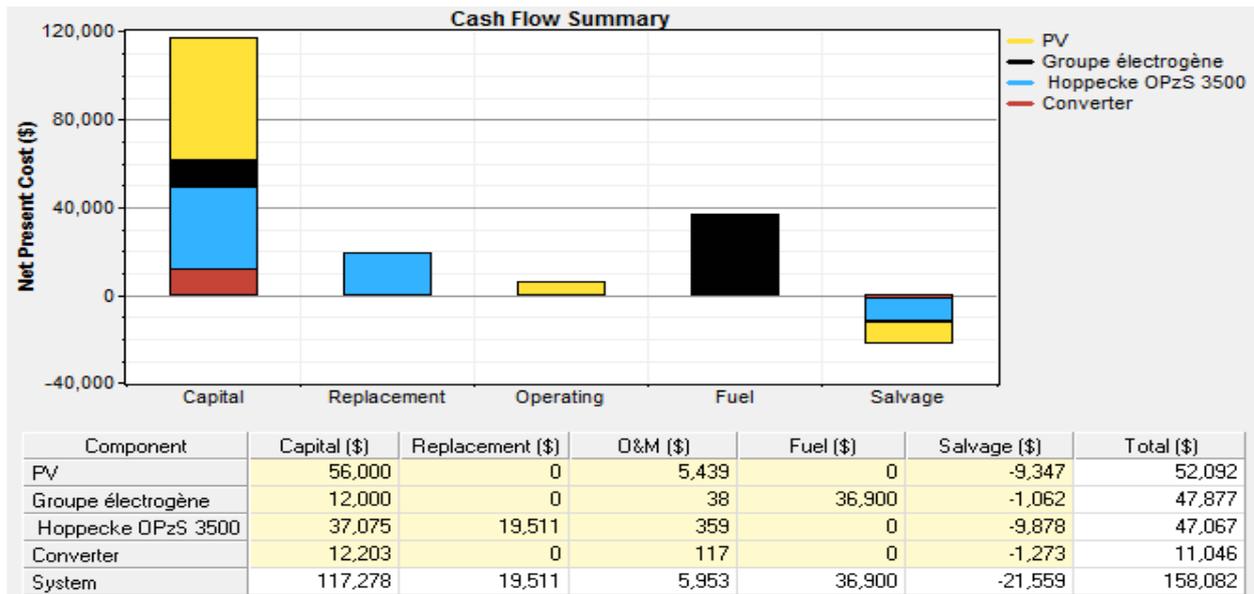


Figure 31 : Récapitulatif des coûts de réalisation et d'installation et de maintenance du SEH

### 3. Coût de réalisation du projet

L'ensemble des travaux est donc évalué à **245 632 USD** soit **187 505,3 euros**.

### 4. Etude comparative des coûts

Tableau 14: Etude comparative du coût du projet suivant le modèle d'alimentation électrique

Modèle d'alimentation	Extension du réseau	SEH proposé	SEH optimisé
Coût de la source d'alimentation(€)	366 814	148 738,1	120 673,3
Coût du réseau de distribution (€)	66 832	75 618,92	66 832
Coût total du projet (€)	433 646	224 357,02	187 505,3
Réduction sur le coût global du projet		<b>48,3%</b>	<b>56,8%</b>

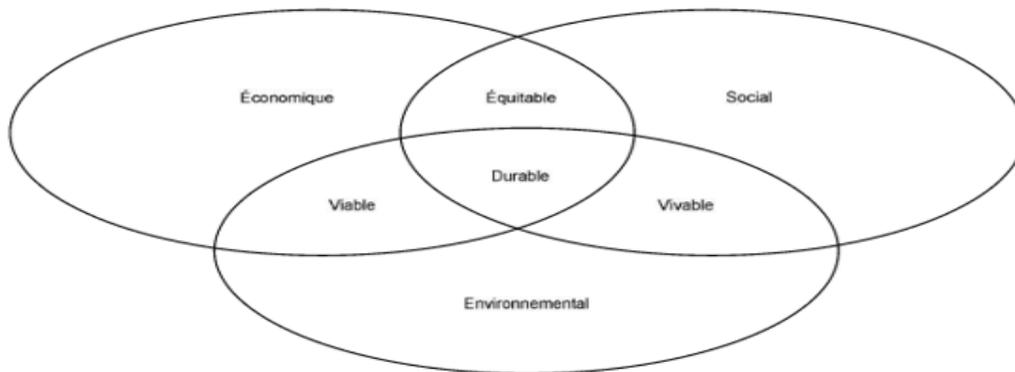
L'optimisation du SEH nous permet de réduire beaucoup plus le coût global du projet par rapport à l'extension du réseau et d'économiser **36 851,72 €** soit **24 137 876,6 FCFA** par rapport à l'option d'installer le SEH non optimisé proposé par AZIMUT 360.

On observe une réduction de 16,43 % sur le budget initialement attribué pour la réalisation du projet de Kromambira.

Une telle économie réalisée sur le financement total des sept (7) villages concernés par le projet pourrait nous permettre de financer un même projet pour une autre localité.

## PARTIE C : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX

La prise de conscience de notre développement incontrôlé nous poussa à être plus sensibles à notre environnement. Dorénavant, pour être durable le développement se doit d'être responsable, c'est à dire viable vivable et équitable. C'est une vision généralisée qui se développe et s'intègre aux décisions des gouvernements, des industriels et des consommateurs. La faisabilité technico-économique ne suffirait plus à justifier la réalisation des projets, il faudrait en plus avoir un grand regard sur les impacts environnementaux et sociaux. Le développement durable trouve alors son sens dans l'harmonie de Tous ces aspects d'égale importance qui rendent la solution idéale difficilement atteignable<sup>1</sup>.



*Source : mémoire de Maîtrise, 2011, UPM, Joséanne Bélanger-Gravel*

Figure 32 : schéma typique du développement durable

Le social est décrit comme l'objectif à atteindre, l'environnement comme une contrainte due aux ressources limitées sur notre planète et l'économie comme le moyen d'atteindre l'objectif.

La viabilité regroupe les aspects environnementaux et économiques alors que la qualité d'être vivable intègre les concepts d'environnement et de société et finalement, le fait d'être équitable respecte l'économie et la société.

La solution optimale proposée de l'hybridation présente-t-elle réellement un intérêt écologique ?

<sup>1</sup> Mémoire de Maîtrise, 2011, UPM, Joséanne Bélanger-Gravel

## I. CADRE INSTITUTIONNEL DU DOMAINE DE L'ENVIRONNEMENT EN COTE D'IVOIRE

L'environnement étant transversal, ils existent plusieurs textes réglementaires en vigueur. Les textes utilisés pour notre étude comprennent les textes tirés de la législation et la réglementation ivoirienne (lois, décrets, arrêtés et conventions internationales) et les standards des institutions financières intervenants à CI-ENERGIES dans le financement de ce type de projet. Vous les trouverez joints en Annexe 5.1.

## II. IDENTIFICATION, ANALYSE ET EVALUATION DE L'IMPORTANCE DES IMPACTS POTENTIELS DU PROJET

### 1. Démarche méthodologique

Ce chapitre a pour objectif d'identifier, d'analyser et d'évaluer l'ampleur des impacts environnementaux du projet sur l'écosystème en présence. Pour ce faire, les sources d'impact inhérentes au projet sont identifiées ainsi que les différentes composantes environnementales d'intérêt économiques et éco systémiques potentiels de la zone d'étude. Puis à partir de la méthodologie d'évaluation des impacts, classer les impacts potentiels positifs ou négatifs qui ont un effet direct ou indirect sur les composantes de l'environnement présents dans le cadrage de la zone du projet.

- Les impacts directs se définissent par une interaction directe avec une activité, un usage, un habitat naturel ; une espèce végétale ou animale,
- Les impacts indirects se définissent comme les conséquences secondaires liées aux impacts directs du projet

Les impacts directs ou indirects peuvent intervenir positivement ou négativement, successivement ou en parallèle, et se révéler soit immédiatement, soit à court, moyen ou long terme. L'identification et l'analyse des impacts environnementaux porteront sur les paramètres ci-dessous :

- les trois (3) phases du projet (la construction, l'exploitation et la fermeture) ;
- les composantes du milieu récepteur (physiques, biologique et socio-économique) ;

- les sources d'impact qui comprennent toutes les activités susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect sur une ou plusieurs composantes du milieu récepteur

Ensuite analyser ces impacts et proposer des mesures correctives ou d'atténuation des impacts négatifs conformément aux prescriptions du cadre institutionnel en vigueur et de l'Agence National De l'Environnement (ANDE). L'approche générale proposée pour identifier, analyser et évaluer l'importance des impacts sur le milieu naturel repose sur la connaissance détaillée du présent projet et du milieu naturel ainsi que les enseignements tirés des revues de rapport EIES sur la réalisation de projets similaires. Pour chaque composante environnementale ciblée, la démarche d'évaluation prévoit les étapes suivantes :

- l'élaboration de mesures d'atténuation courante et particulière, visant à réduire l'importance des impacts négatifs identifiés, voire à les éliminer le cas échéant ;
- l'évaluation de l'importance de l'impact négatif résiduel, c'est-à-dire après l'application des mesures d'atténuation
- l'élaboration, le cas échéant, de mesures additionnelles applicables à certains impacts négatifs résiduels ou encore des mesures de compensation advenant, que ces impacts négatifs ne puissent être atténués d'avantage.

La référence de l'outil d'évaluation des impacts est la méthode Hydro-Québec (agence canadienne de l'Environnement). Notons que l'intégration des mesures d'atténuation et les effets résiduels desdites mesures témoignent de notre souci à l'égard du respect de l'environnement.

## **2. Impacts positifs du projet**

### **2.1. En phase d'aménagement et de construction**

Les impacts positifs du projet en cette phase portent sur le milieu humain.

#### **➤ Opportunités d'emplois**

En phase chantier, le projet va créer de nouvelles opportunités génératrices de revenu à deux niveaux: la création de postes de travail (directs et indirects) pendant la réalisation des travaux.

Les emplois indirects sont notamment liés à l'augmentation de l'activité des entreprises locales pour la fourniture des matériaux et équipements nécessaires à l'activité, la sous-traitance pour l'assemblage du champ solaire et l'installation du réseau BT. Ces emplois permettront de réduire

le taux de chômage au niveau des populations riveraines et ainsi de contribuer à la lutte contre la pauvreté.

➤ **Augmentation de revenus de certains opérateurs économiques**

Le séjour des différents consultants dans la localité concernée par le projet constitue une opportunité d'affaire pour les propriétaires de maisons et les commerçants. Aussi le démarrage du projet demeure une opportunité d'affaires pour les entreprises du BTP, de contrôle technique et d'import-export.

➤ **Dynamisation du développement local**

La desserte de l'électricité favorisera la création de nouvelles opportunités génératrices de revenus. Les fonctionnaires ne voudront plus demander les réaffectations. Par conséquent il devrait constituer un facteur de dynamisation du développement local en participant de façon significative à l'essor économique et commercial. Toute chose qui favorisera en dernier essor, l'amélioration de la qualité de la vie des populations des localités visées.

➤ **Désenclavement de la localité et des villages environnants**

En phase de construction et d'exploitation, l'aménagement des pistes d'accès est un facteur de désenclavement de nombreux villages riverains dont l'accès est parfois difficile du fait de l'impraticabilité des pistes en saisons pluvieuses surtout.

➤ **Versement de taxes d'importation et d'installation**

D'une part, les droits de douanes et taxes d'importation issus de l'importation des installations et matériaux de construction ainsi que les équipements industriels seront des sources d'entrées de devises pour la régie financière ivoirienne.

➤ **Possibilité d'exploitation des bâtis**

En phase de cessation d'activités, la communauté locale pourra mettre en valeur les infrastructures de génies civils construits.

## 2.2. En phase d'exploitation

### ➤ Evaluation environnementale

<sup>1</sup>L'hybridation nous permet de réduire la quantité des batteries à utiliser. Afin d'élargir leur durée de vie, nous nous arrangeons pour que la décharge (State Of Charge) ne dépasse pas les 80%. Aussi l'énergie solaire photovoltaïque ne produit aucun rejet de gaz polluant dans l'atmosphère, ce qui répond aux objectifs de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> que se sont fixés le Programme d'Action National des Energies Renouvelables (PANER).

En fonctionnement seul le GE aurait consommé 25996 l/an et aurait rejeté 70301,4 kg CO<sub>2</sub>/an ; avec le système hybride, seulement 3018 l de combustibles sont utilisés par an pour un rejet de 8161,25 kg CO<sub>2</sub>. Le système hybride réalisera donc une économie de 22978 l/an du combustible diesel soit 88,4% et permettra d'éviter un rejet de 62,14 tCO<sub>2</sub>/an.

### ➤ sur la santé humaine

Ce projet devrait pouvoir permettre un meilleur accès à l'électricité aux habitants de Kromambira. Ceci permettra de substituer pour l'éclairage l'utilisation du pétrole lampant et des lampes torches au profit de lampes électriques, ce qui devrait entraîner indirectement une diminution des maladies visuelles et respiratoires dû à l'utilisation de pétrole comme source d'éclairage. Aussi la réduction sur le temps de nuisance sonore de 88,7% par rapport à l'alternative d'utiliser un GE seul réduit pour les exploitants les risques de contracter des maladies auditives. Par ailleurs, l'exploitation d'une centrale photovoltaïque hybride émet moins de rejet atmosphérique que les sources de production conventionnelle (uniquement par le fonctionnement des groupes diesel), hormis les poussières et gaz d'échappements des quelques véhicules nécessaires à la maintenance.

### ➤ Impact socioéconomique

D'une part, bien que faible, en phase d'exploitation, des emplois seront créés. Dans un ordre d'idées, l'entretien d'une mini-centrale PV de cette taille nécessite 2 à 5 techniciens. Ces employés permanents seront logés et auront sans doute un impact socio-économique positif quoique faible, sur la région. Du fait d'une plus grande disponibilité de l'énergie, on observera des opportunités de réduire le chômage avec la création des PME, l'auto emploi des jeunes et des femmes en particulier qui participent à tous les types d'activités économiques et sociales. La sécurisation de l'approvisionnement en énergie permettra aux femmes de développer de petits commerces comme la vente de jus. Il permettra dans une certaine mesure de réduire l'isolement

---

<sup>1</sup> Toutes les valeurs énoncées sont issus de calculs déduits des résultats de la simulation avec le logiciel HOMER

de la localité et de sa population rurale en renforçant la sécurité à travers l'amélioration de l'éclairage public. L'arrivée de l'électricité dans cette localité permettra d'améliorer sensiblement le cadre de vie des populations, de lutter contre la pauvreté de 661 personnes vivant en sous-développement énergétique. Il induira à terme la création d'activités génératrices de revenus et le relèvement du taux de réussite des enfants à l'école.

L'accès à l'information nationale et internationale qui améliorera le savoir, la connaissance et les compétences des bénéficiaires, toute chose qui aboutit à un développement harmonieux de l'homme et en fait un citoyen du monde.

Freiner l'exode rural en offrant aux populations de meilleures commodités et de nouvelles opportunités d'activités génératrices d'emploi par l'avènement de l'électricité dans la localité.

Les retombées socio-économiques induites par le fonctionnement de la centrale concernent enfin la réduction des coûts de raccordement, la réduction des coûts de fonctionnement pour la production électrique, l'incitation aux mesures d'efficacité énergétique, la réduction des taxes sur les factures pour le consommateur, la diminution des pertes liées à la distribution sur les grandes distances vu que l'énergie électrique est consommée là où elle est produite, le lissage de la courbe de charge avec un système de gestion intelligente de la charge et/ou avec les systèmes de stockage ce qui induit l'augmentation de la durée de vie du GE, la modularité du système qui permet l'ajout aisé de composants en cas d'augmentation de la demande, la formation et le transfert de technologie dans le domaine de l'énergie solaire, indispensable au vu des objectifs ambitieux que s'est fixé le gouvernement ivoirien dans le domaine des énergies renouvelables et du développement durable.

### 3. Impacts négatifs du projet et mesures d'atténuation

Tableau 15 : impacts négatifs potentiels du projet et mesures d'atténuation en phase d'ouverture

Phase du projet	Activités source d'impact	Composante	Nature de l'impact	Mesures d'atténuation
Aménagement et construction	Acquisition du site	Humain	<ul style="list-style-type: none"> <li>Remous sociaux dû au risque d'expropriation de terres pour la construction de la mini centrale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dédommager les propriétaires terriens sur la base exigée par la réglementation ivoirienne</li> <li>Au mieux, en collaboration avec les villageois, choisir un espace public au centre du village si possible pour la construction de la microcentrale</li> </ul>
	Travaux de chantier	Humain	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dommmages corporels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dispenser les règles de base en matière de sécurité aux travailleurs du chantier</li> <li>Equiper les travailleurs de tenues de sécurité</li> <li>Afficher les règles de sécurité sur un panneau à l'entrée du chantier faire des séances régulières de rappels de règles de sécurité</li> </ul>
		Air	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emissions de poussières dues au transport des matériaux et matériel de construction (faible importance et limitée dans le temps et restreinte à la zone des travaux)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les véhicules légers et poids lourds utilisés pour le chantier doivent être conformes aux normes en vigueur</li> <li>Arrosage léger des pistes pour limiter les soulèvements de poussières.</li> <li>Couvrir les matériaux transportant des éléments fins afin de réduire les émissions de poussière</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Nuisance sonore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliser lors des travaux, des équipements conformes à la réglementation en vigueur et correctement entretenus.</li> <li>Limiter le nombre de véhicules lourds et légers au strict minimum, et limiter leur vitesse de circulation</li> <li>Organiser des séances d'information de la population locale préalablement aux travaux.</li> <li>Interdire les travaux bruyants la nuit ;</li> </ul>

Travaux d'excavation	Sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imperméabilisation due aux travaux de génie civil</li> <li>- Creuses de tranchées d'environ 1 à 3 m afin d'enfouir les câbles électriques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reboucher les tranchées par des matériaux locaux venant du site</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pollution chimique (déversement de produits dangereux stockés sur site)</li> <li>- Fuite de liquide hydraulique ou d'hydrocarbure depuis les engins de chantier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assurer un bon entretien des véhicules afin de limiter tout accident</li> <li>- Les opérations de maintenance et de nettoyage sont interdites sur site</li> <li>- Limiter les stockages de produits potentiellement polluants</li> <li>- (stocker de préférence dans des fûts à double enveloppe)</li> <li>- Baliser le chantier</li> <li>- Les substances non naturelles ne seront pas rejetées sans autorisation du CIAPOL</li> <li>- Le cahier de charge relatif aux normes de chantier devra être respecté.</li> <li>- La production de déchets sera limitée autant que possible à la source notamment par l'utilisation d'éléments recyclables.</li> </ul>
	Eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dégradation de la qualité des eaux souterraines (les eaux de ruissellement issues des travaux sont chargées de polluants)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eloignement du site par rapport aux cours d'eau de surface (les impacts sur les eaux de surface et les souterrains sont faibles)</li> <li>- Eloigner la position de la mini centrale</li> </ul>
Installations des panneaux	Humain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Santé et sécurité des ouvriers (faible à modérer)</li> </ul> <p>Risque de blessures, maladies professionnelles consécutives dues à des effets physiques des écrasements des chocs, des gestes répétitifs des mauvaises postures,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispenser des règles de base en matière de sécurité aux travailleurs du chantier</li> <li>- Equiper les travailleurs d'EPI</li> <li>- Afficher des règles de sécurité sur un panneau à l'entrée du chantier</li> <li>- Faire des séances régulières de rappel de sécurité</li> </ul>

			chutes de personnes ou d'objets (travail en hauteur)	
		Paysage	– Modification du paysage local (champ visuel impacté par la présence des panneaux)	– Intégration paysagère Construire un bâtiment moderne et modèle de ceux de la localité. Ce bâtiment pourra comprendre une salle technique pour les équipements du système solaire, du groupe électrogène. Les panneaux seront posés en toiture afin de réduire l'impact visuel.
		Santé humaine	– Risque de propagation du VIH/SIDA	– Organiser des campagnes de sensibilisation pour les ouvriers et la population locale – Si nécessaire, solliciter l'appui d'un organisme ou ONG œuvrant dans la lutte contre les IMST et le VIH/SIDA.

Tableau 15 : impacts négatifs potentiels du projet et mesures d'atténuation en phase d'exploitation

Phase du projet	Activités source d'impact	Composante	Nature de l'impact	Mesures d'atténuation
Exploitation	Fonctionnement de la centrale	Rejets atmosphériques	– Génération de rejets issus uniquement du fonctionnement des groupes diesel	– Les rejets devront respecter les normes de rejets fixés par le CIAPOL
		Bruits et vibrations	– Les sources sonores proviennent du fonctionnement du GE	– Le groupe devra être de type silencieux (insonorisé)
		Humain	– Risques d'incendie (faible car les matériaux ne sont pas dans l'ensemble inflammables) – Risques technologiques	– Les matériaux constitutifs de la centrale seront en majorité non combustibles (acier, aluminium, verre) – Des technologies spécifiques devront être mises en place selon la technologie employée et les risques associés.

				<ul style="list-style-type: none"> <li>– Des équipements de lutte contre l'incendie (extincteurs, citernes d'eau), des plans de prévention et d'intervention en cas d'incendie devront être mis en place.</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Risques d'incendie d'électrification voire électrocution liée à une éventuelle intrusion volontaire ou accidentelle d'une personne non habilitée à la maintenance électrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Munir les installations de dispositifs de sécurité</li> <li>– Les aménagements et entretiens réguliers autour et dans la mini-centrale permettront de limiter les risques d'incendie.</li> </ul>

Tableau 15 : impacts négatifs potentiels du projet et mesures d'atténuation en phase de cessation des activités

Phase du projet	Activités source d'impact	Composante	Nature de l'impact	Mesures d'atténuation
Fermeture	Démantèlement des installations	Sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Déchets solides, source de pollution du milieu récepteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Intégrer un plan de gestion des déchets dangereux dans le plan de démantèlement du micro-réseau</li> <li>– Explorer l'option du rachat des panneaux en fin de vie pour le recyclage</li> <li>– Prévoir dans le plan de gestion des déchets dangereux, l'élimination des panneaux dans une décharge autorisée des déchets dangereux en fin de leur vie</li> <li>– Batteries : prévoir le convoi des batteries en leur fin de vie dans un centre de recyclage spécialisé</li> </ul>
		Humain	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Perte d'emploi, augmentation de la pauvreté</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Indemniser le personnel selon le Code du Travail</li> <li>– Prendre des mesures sociales afin de réintégrer les licenciés dans le tissu social</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pertes de recettes fiscales</li> <li>– Pertes d'opportunités d'affaire</li> <li>– Vulnérabilité des femmes commerçantes et des enfants à l'école</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maintenir la continuité en fourniture d'électricité des localités en optant pour une solution alternative en remplacement de la centrale hybride (connexion des localités au réseau interconnecté par exemple)</li> </ul>

## CONCLUSION

L'étude a présenté à travers ce mémoire le dimensionnement d'un système d'énergie hybride pour la production d'électricité dans les sites isolés, en étudiant un cas pratique. C'est un outil qui doit appuyer le choix technique pour les solutions d'approvisionnement électrique en milieu rural isolé.

Nous retenons que le modèle de décentralisation hybride PV/diesel/batteries est raisonnable pour le village de Kromambira situé à plus de 10,4 km du réseau électrique le plus proche, là où l'extension de la ligne moyenne tension serait un échec financier.

Ce modèle offre une alternative écologique aux génératrices à combustible fossile habituellement utilisées pour répondre aux différents besoins des régions éloignées, car il ne produit pratiquement pas de polluants.

Notons que Cette option technique permet d'assurer l'autonomie énergétique complète tout en présentant sur le long terme, les meilleurs bénéfices au niveau social, économique et environnemental; cependant nécessite toutefois des subventions afin d'être rentable.

Espérant que cette étude de réalisation proposée saura permettre un plan d'action afin de dynamiser la mise en œuvre des projets d'électrification rurale pour les localités isolées, aussi d'aider à la mise en lumière du potentiel énergétique renouvelable de l'Afrique.

## PARTIE D : RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

### 1. Recommandations

#### ➤ Hausses imprévues de la demande

Ces hausses pourront être causées par un usage inefficace de l'énergie ou de nouvelles demandes imprévues<sup>1</sup>. A cet effet nous recommandons :

- La sensibilisation des clients sur les économies d'énergie et contre le vol de l'énergie ;
- L'ouverture d'une boutique d'approvisionnement sur site où les usagers pourront acquérir des ampoules économiques et des appareils électriques à faible consommation ;
- L'installation des compteurs à carte afin de maîtriser et limiter les consommations.

#### ➤ Gestion de la microcentrale

Le modèle de gestion communautaire est à encourager afin d'impliquer d'avantage tous les intervenants locaux dans le projet. C'est dire que la participation financière et/ou en nature ainsi que des pénalités devront être arrêtées afin de garantir un minimum d'engagement et d'assurer la durabilité du projet.

#### ➤ Formation

Les utilisateurs locaux devront être formés sur le fonctionnement et la maintenance du système. Ils pourront participer aux prestations de réalisation.

#### ➤ Activités génératrices de revenus

Afin de garantir la rentabilité du système, d'autres opportunités d'applications productives sont à encourager.

#### ➤ Stockage de combustible

Prévoir une réserve de combustible afin que le système soit encore plus autonome.

#### ➤ Acquisition de logiciel d'optimisation et de simulation

CI-ENERGIES devrait acquérir une version complète de ce genre de logiciel de simulation (HOMER, PVsystème, Hybrid 2, Matlab ...) et former ses agents sur leur utilisation.

---

<sup>1</sup> Rapport IEA-PVPS T9-T13 : 2013

## 2. Perspectives

### ➤ **recyclage des batteries**

Selon les PDER, au total 91 localités seront électrifiées à partir de micro réseaux solaires. Nous proposons que toutes les batteries soient fournies par un même fabricant et ce, à la suite d'une convention de rachat de toutes les batteries en fin de vie pour le recyclage.

### ➤ **Connexion au réseau national**

Etant donné que l'Etat a décidé d'étendre le réseau dans toutes les localités d'ici l'an 2030, la question de la chronologie de leur raccordement est essentielle. Aussi Le réseau national interconnecté peut arriver à Kromambira avant la date planifiée pour son déploiement et donc avant la période de récupération des investissements du mini-réseau.

Il serait prudent de garantir à travers une convention signée entre l'opérateur et l'Etat sur une durée d'exploitation contractuelle, le rachat de l'électricité produite par le micro-réseau.

### ➤ **Rejet évités de CO<sub>2</sub>**

Les rejets de CO<sub>2</sub> évités semblent insignifiants pour notre microcentrale. L'ensemble des 91 futurs mini-réseaux<sup>1</sup> permettra d'éviter un chiffre important de rejet de polluants.

### ➤ **biomasse**

Encourager le développement d'autre source d'énergie renouvelable non intermittente et disponible localement (biodiesel à base d'anacarde).

Dans ce contexte la décentralisation par hybridation PV/Biomasse risque d'être plus compétitive.

### ➤ **localités de moins de 500 habitants**

CI-ENERGIES pourra observer les retours d'expériences des micro-réseaux dans le zanzan et voir dans quelles mesures il serait possible d'appliquer ce modèle d'électrification pour les localités de moins de 500 habitants pour le moment hors d'atteinte des programmes d'électrification rurale.

---

<sup>1</sup> Atelier PANER, mai 2016. L'Etat ivoirien a décidé de déployer 91 micro-réseaux solaires sur l'ensemble du pays.

## BIBLIOGRAPHIE

### Ouvrages et articles

- Plaquette de CI-ENERGIES, 2014
- carte routière Gesig/Gsarl 2<sup>ème</sup> édition juillet 2012
- Rapport FED 2012/283-253
- CI-ENERGIES, 2014, Plan Directeur d'Electrification Rurale de la Côte d'Ivoire volume 1
- Abbes Dhaker, Université de Poitiers, thèse 2012
- Revues des énergies renouvelables vol 10 N°10 (2007)
- KAABECHE Abdelhamid, Recherche et développement-bulletin\_032\_07 - Production d'électricité sans interruption au moyen d'un système hybride Eolien / PV/ Diesel / Batterie
- Daniel Yameugueu (2012, Expérimentation et optimisation d'un prototype de centrale hybride solaire PV/diesel sans batteries de stockage : validation du concept flexy energy, 2iE)
- Rapport du recensement Général de population et de l'habitat RGPH 2014
- Thibaud SIMON (16/09/2014, Dimensionnement d'installations photovoltaïques hybrides (diesel, stockage), CYTHELIA)
- Dhaker Abbes, 2012, thèse:Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résiduel autonome, UP
- AIE PVPS Tâche 9 – Club ER Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l'électrification rurale – Jan 2013 ; Rapport IEA-PVPS T9-T13 : 2013
- Julien Tapekan KOUADIO (Mémoire 2016, Etude comparative des technologies de production d'électricité (mini réseau solaire) en Côte d'Ivoire avec étude de cas, 2iE)
- Zaida Contreras (2005, Modèle d'électrification rurale de moins de 500 habitants au Sénégal, Direction de l'Energie du Sénégal et gtz)
- Joséanne Bélanger-Gravel (2011, mémoire de Maîtrise, Analyse technico-économique d'un système éolien-photovoltaïque en comparaison avec les systèmes photovoltaïque et éolien seuls, UPM)

### Sites internet

- <http://www.ins.ci>, consulté le 15/01/2016
- <http://www.journaldunet.com/economie/industrie/1146972-prix-des-metaux>, 15/05/2016
- <http://www.batterie-solaire.com>, consulté le 24/03/2016
- <http://www.homerenergy.com>, consulté le 14/02/2016
- <http://www.wattneed.com>, consulté le 20/04/2016
- <http://news.abidjan.net/h/584019.html>, consulté le 17/03/16

## ANNEXE

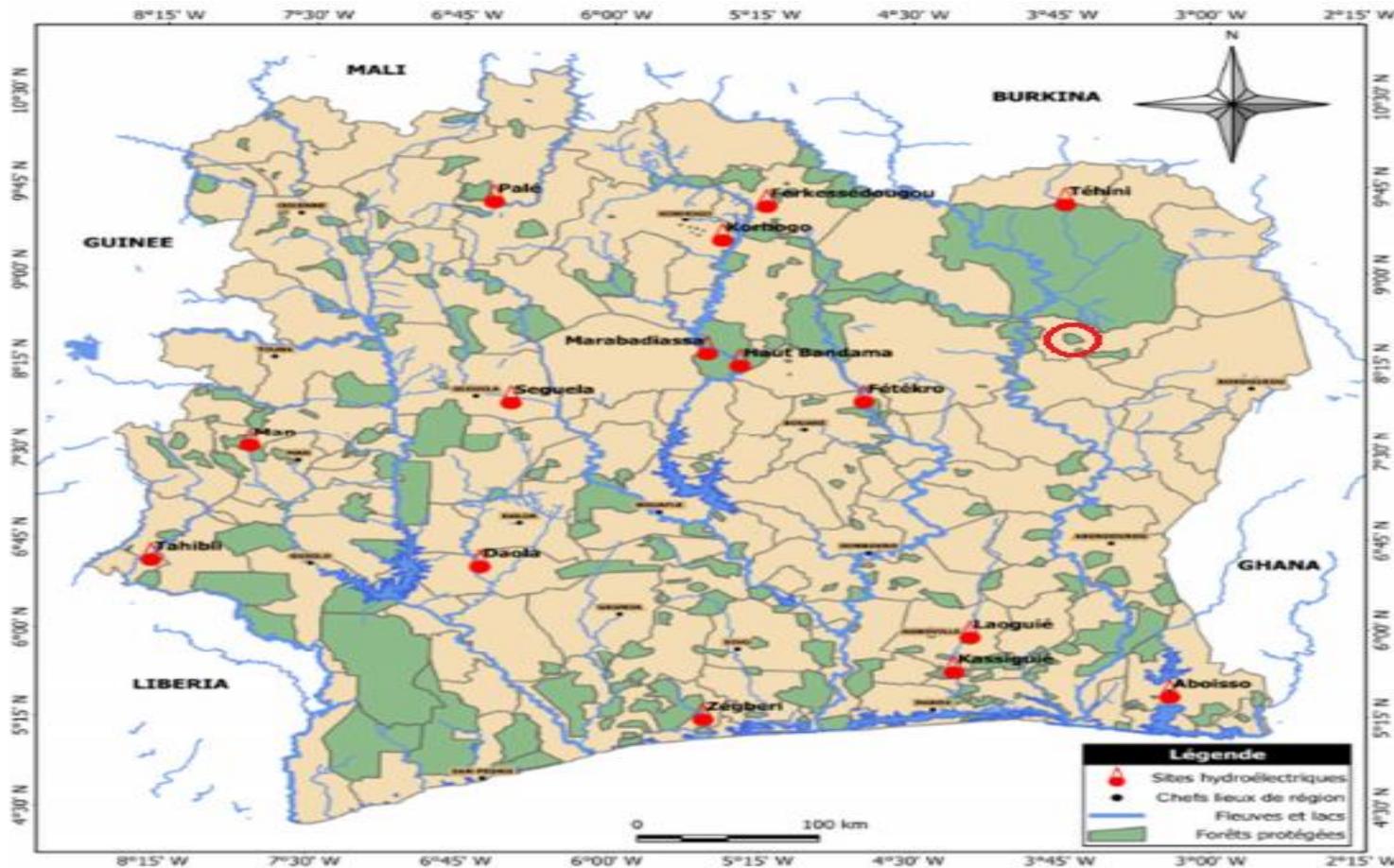
### Liste des annexes

ANNEXE 1 : CHOIX DU SYSTEME HYBRIDE .....	68
Annexe 1.1 : Inventaire des sites de petite hydroélectricité en Côte d'Ivoire .....	68
Annexe 1.2 : Carte éolienne ivoirienne, USAID .....	69
Annexe 1.3 : Carte d'ensoleillement de la Côte d'Ivoire.....	70
ANNEXE 2 : DIMENSIONNEMENT DES SOUS SYSTEME DE L'HYBRIDATION.....	71
Annexe 2.1 : classification des habitats .....	71
Annexe 2.2 : listes des équipements utilisés à Kromambira.....	71
Annexe 2.3 Tableau de consommation .....	72
Annexe 2.4 Tableau de charge horaire .....	76
Annexe 2.5 : Dimensionnement de l'installation solaire PV .....	77
Annexe 2.6 : Tableau : résumé de comparaison entre les batteries plomb .....	78
Annexe 2.7 : Panneaux PV .....	79
ANNEXE 3 : OPTIMISATION TECHNICO-ECONOMIQUE.....	81
Annexe 3.1 : Tableau d'estimation du coût du kWh en zones périphériques du réseau.....	81
Annexe 3.2 : Devis d'alimentation HTA de Kromambira S/P de SOMINASSE.....	81
Annexe 3.3 : batteries OPzS 2V 1750 Ah.....	85
Annexe 3.4 : Onduleurs multifonctionnels (VITRON de Easy Solar) .....	86
Annexe 3.5 : Groupe électrogène.....	87
ANNEXE 4 : DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE DISTRIBUTION .....	88
Annexe 4.1 Calibres des disjoncteurs .....	88
Annexe 4.2 Influence de la température ambiante / pose non enterrés .....	88
Annexe 4.3 : Facteurs de correction par groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs (en une couche) .....	89
Annexe 4.4 : Section de câble à utiliser par connaissance de l'intensité véhiculée.....	89
Annexe 4.5 : Schéma des lignes de distribution et de l'éclairage public.....	90
Annexe 4.6 : Chute de tension dans l'Eclairage Publique .....	91

Annexe 4.7 : Puissance totale de chute de tension par segment de ligne .....	92
Annexe 4.8 : Calculs de la chute de tension dans le réseau BT .....	93
Annexe 4.9 : devis d'alimentation BT/EP de kromambira s/p de sominasse .....	94
Annexe 4.10 : ampoule LED .....	96
ANNEXE 5 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL .....	97
Annexe 5.1 : Tableau extrait de la réglementation applicable au projet.....	97

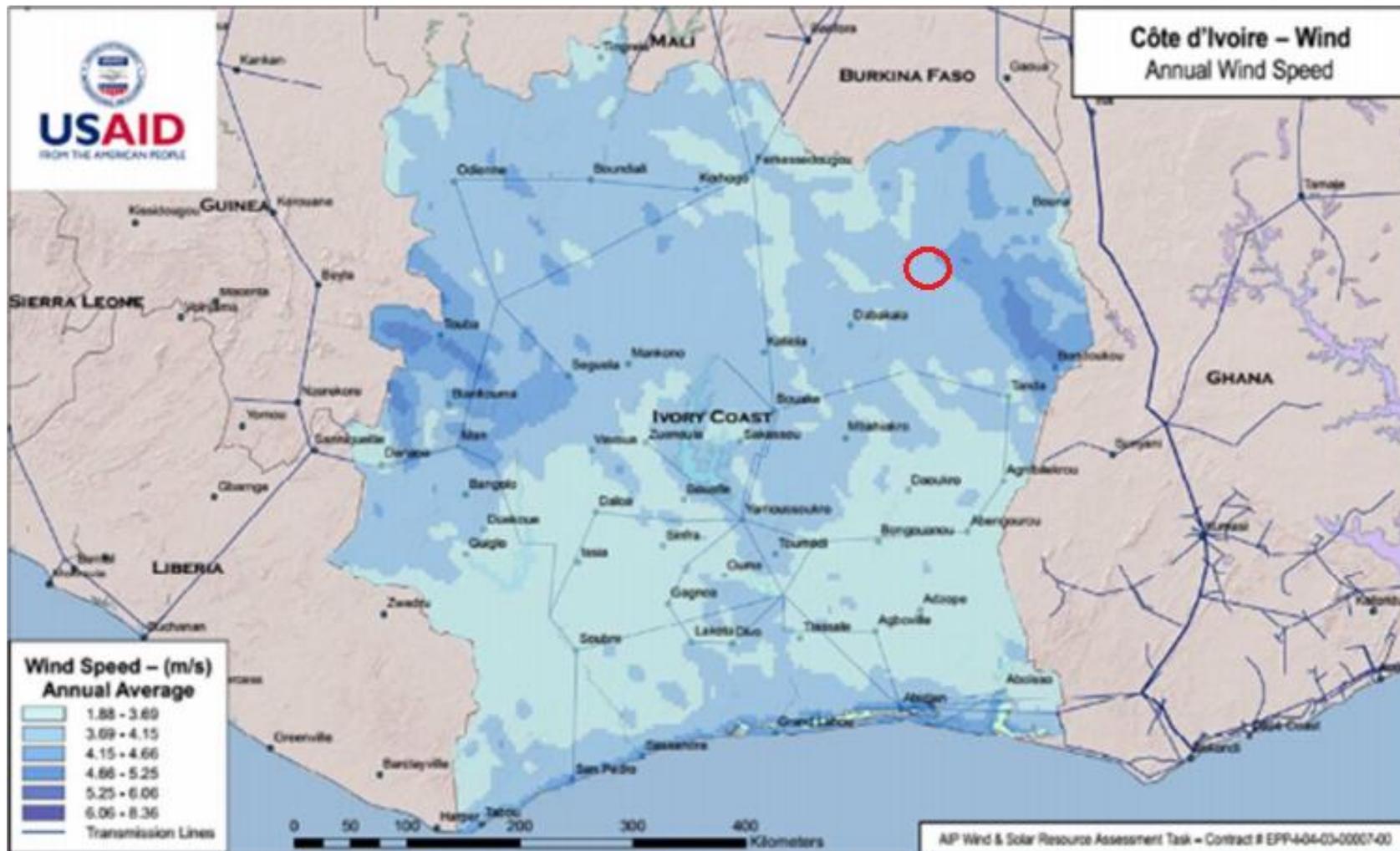
## ANNEXE 1 : CHOIX DU SYSTEME HYBRIDE

### Annexe 1.1 : Inventaire des sites de petite hydroélectricité en Côte d'Ivoire



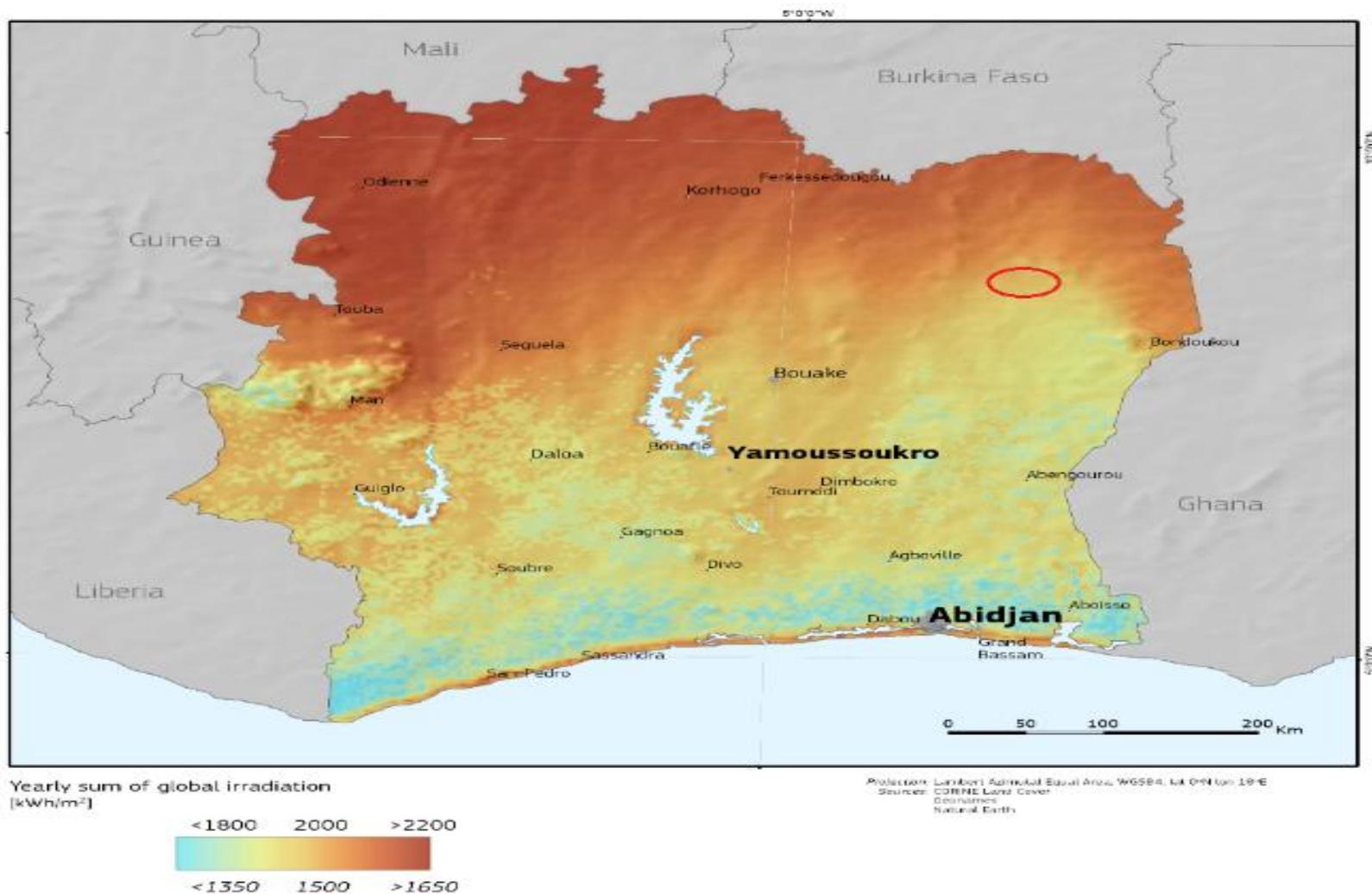
Source : PDER CI, 2014, Vol 1, P 71

## Annexe 1.2 : Carte éolienne ivoirienne, USAID



Source : PDER CI, 2014, Vol 1, P 61

## Annexe 1.3 : Carte d'ensoleillement de la Côte d'Ivoire



Source : PDER CI, 2014, Vol 1, P 83

## ANNEXE 2 : DIMENSIONNEMENT DES SOUS SYSTEME DE L'HYBRIDATION

### Annexe 2.1 : classification des habitats

Types d'habitats	configurations	Equipements éventuels
Tarif économique	2 chambres, 1 salon, 1 cuisine	3 ampoules basse consommation, 1 tube fluorescent, 2 téléphones portables, 1 radio
Tarif moyen	3 chambres, 1 salon, 1 cuisine	4 ampoules basse consommation, 2 tubes fluorescents, 3 téléphones portables, 1 TV basse consommation, 1 DVD, 1 radio
Tarif confort	4 chambres, 1 salon, 1 cuisine, 1 toilette interne	6 ampoules basse consommation, 2 tubes fluorescents, 4 téléphones portables, 1 radio, 1 ventilateur, 1 TV basse consommation, 1 décodeur, 1 réfrigérateur basse consommation
Tarif grand confort	4 chambres, 1 salon, 1 pièce indépendante, 1 cuisine, 1 toilette interne	8 ampoules basse consommation, 3 tubes fluorescents, 5 téléphones portables, 1 TV basse consommation, 1 décodeur, 1 réfrigérateur, 2 ventilateurs, 1 fer à repasser
boutique	1 pièce	1 tube fluorescent, 1 ampoule basse consommation, 1 réfrigérateur
école	6 salles de classes, 2 bureaux pour la direction	32 tubes fluorescents, 2 portables, 1 ventilateur
Centre religieux	1 pièce	6 ampoules basse consommation, 2 tubes fluorescents, 1 chargeur portable, 2 ventilateurs, 1 sono
Salle sociale	1 pièce	2 tubes fluorescents, 2 ampoules basses consommations, 1 moulin, 4 chargeurs de batteries, 1 tondeuse à coiffer, 1 casque de coiffure, 1 sono, 1 TV écran plasma

### Annexe 2.2 : listes des équipements utilisés à Kromambira

Domaine d'application	équipements	quantité	Puissance en Watts (W)
Eclairage	Ampoules basse consommation	348	10
	Lampes fluorescentes	178	18
	Eclairage public	42	6600
Communication et	Chargeur de téléphone mobile	239	10

Télécommunication	Télévision tube cathodique	56	60
	Téléviseur écran plasma	1	120
	Poste radio	58	20
	DVD / décodeur	57	25
	Appareil de musique / sono	2	300
Equipement de froid	Réfrigérateur basse consommation	18	60
	réfrigérateur	2	150
autre	ventilateur	33	40
	Fer à repasser	8	1000
	Pompage hydraulique	1	400
Artisanat et petits métiers	Moulin basse consommation	1	300
	Tondeuse à coiffer / coiffure homme	1	20
	Casque à coiffer / coiffure dame	1	600
	Machine à coudre	2	100
	Fer à souder	1	1200
	Chargeur de batteries	1	120

### Annexe 2.3 Tableau de consommation

maison type 1 - tarif économique nombre: 20

APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE (wh)	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>éclairages</u>						
ampoule basse consommation	10	3	3,6	108	100%	108
fluorescent	18	1	3,5	63	100%	63
<u>communication</u>						
charge de téléphone mobile	10	2	2	40	70%	28
radio	20	1	2	40	80%	32
<b>conso totale</b>						<b>4620</b>
				<b>5020</b>	<b>0,920318725</b>	

maison type 2 - tarif moyen		nombre: 38				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>eclairage</u>						
ampoule basse consommation	10	4	3,6	144	100%	144
fluorescent	18	2	4	144	100%	144
<u>communication</u>						
charge de téléphone mobile	10	3	2	60	70%	42
radio	20	1	2	40	60%	24
TV basse consommation	60	1	3	180	80%	144
DVD / décodeur Satellite	25	1	3	75	80%	60
conso totale				24434	0,867807154	21204
maison type 3 - tarif confort		nombre: 10				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>eclairage</u>						
ampoule basse consommation	10	6	3,6	216	100%	216
fluorescent	18	4	4	288	100%	288
<u>communication</u>						
charge de téléphone mobile	10	4	2	80	70%	56
TV basse consommation	60	1	5	300	80%	240
DVD / décodeur Satellite	25	1	5	125	80%	100
<u>équipement de froid</u>						
réfrigérateur basse consommation	60	1	6	360	70%	252
<u>autre</u>						
ventilateur	40	1	4	160	60%	96
conso totale				15290	0,816219751	12480
maison type 4 - tarif grand confort		nombre: 8				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>eclairage</u>						
ampoule basse consommation	10	8	3,6	288	100%	288
fluorescent	18	6	4	432	100%	432
<u>communication</u>						
charge de téléphone mobile	10	5	2	100	70%	70
TV basse consommation	60	1	10	600	80%	480
DVD / décodeur Satellite	25	1	10	250	80%	200
<u>équipement de froid</u>						
réfrigérateur basse consommation	60	1	6	360	70%	252
<u>autre</u>						
ventilateur	40	2	5	400	60%	240
fer à repasser	1000	1	1	1000	80%	800
conso totale				27440	0,805247813	22096

maison type 5 - boutique		nombre: 2				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>eclairage</u>						
ampoule basse consommation	10	1	6	60	100%	60
fluorescent	18	1	4	72	100%	72
<u>communication</u>						
charge de téléphone mobile	10	1	2	20	50%	10
<u>équipement de froid</u>						
réfrigérateur - congélateur	150	1	10	1500	70%	1050
<u>autre</u>						
ventilateur	40	1	6	240	60%	144
conso totale				3784	0,706131078	2672

Ecole		nombre: 1				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>eclairage</u>						
ampoule basse consommation	10	2	4	80	70%	56
fluorescent	18	32	4	2304	100%	2304
<u>communication</u>						
charge de téléphone mobile	10	2	2	40	70%	28
<u>autre</u>						
ventilateur	40	1	2	80	60%	48
conso totale				2504	0,97284345	2436

centre religieux		nombre: 1				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>eclairage</u>						
ampoule basse consommation	10	6	5	300	70%	210
fluorescent	18	2	8	288	100%	288
<u>communication</u>						
appareil de musique	300	1	3	900	60%	540
charge de téléphone mobile	10	1	2	20	70%	14
<u>autre</u>						
ventilateur	40	2	3	240	70%	168
conso totale				1748	0,697940503	1220

salle sociale		nombre: 1				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>eclairage</u>						
ampoule basse consommation	10	2	4	80	70%	56
fluorescent	18	2	4	144	100%	144
<u>communication</u>						
appareil de musique	300	1	4	1200	60%	720
DVD/ décodeur satellite	25	1	4	100	80%	80

TV Ecran plasma	120	1	4	480	80%	384
<u>autre</u>						
ventilateur	40	2	5	400	60%	240
charge de batteries	120	4	3,5	1680	60%	1008
moulin basse consommation	300	1	4	1200	60%	720
fer à souder	1200	1	4	4800	60%	2880
tondeuse à coiffer	20	1	5	100	60%	60
machine à coudre	100	2	6	1200	60%	720
casque à cheveux	600	1	5	3000	60%	1800
	conso totale			14384	0,612625139	8812

station de pompage		nombre: 1				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>autre</u>						
pompe basse consommation	2000	1	5,5	11000	50%	5500
	conso totale			11000		5500

Eclairage public		nombre: 1				
APPAREIL DE CONSOMMATION	PUISSANCE (W)	QUANTITE	h/jour	CONSOMMATION TOTALE Wh	FRACTION NOCTURNE	CONSOMMATION NOCTURNE (wh)
<u>eclairage</u>						
fluorescent	18	44	5	3960	100%	3960
	conso totale			3960		3960

<b>conso totale de l'ensemble</b>				<b>109564</b>	<b>0,776</b>	<b>85000</b>
-----------------------------------	--	--	--	---------------	--------------	--------------

## Annexe 2.4 Tableau de charge horaire

PROFIL HORAIRE [W]	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Energie (Wh)
Ampoules basse consommation							360	10							10	10	20	50	650	1800	3000	3000	3300	250	12460
Lampes fluorescentes	144	72				324	324								576	360	594	594	1080	456	2340	2340	3564	5040	17808
Eclairage public																				792	792	792	792	792	3960
Chargeur de téléphone mobile						290	290	170	170	120	20	120	120	120	120	20	10			280	580	1370	1080		4880
Télévision basse consommation	480	240						120	120	120	120	120	600	600	120	120		480	480	2760	1840	4560	960	960	14800
Téléviseur écran plasma														120						120	120	120			480
Poste radio						380	380								380					400	780				2320
DVD / décodeur satellite	200	100						50	50	50	50	50	250	275	50	50	0	200	200	1175	925	1925	400	400	6400
Appareil de musique										300	300						300					300	300	300	1800
Réfrigérateur basse consommation										540	540		540	540	540				780	780	780	780	780	780	7380
réfrigérateur - congélateur											120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	240	240	120	120	1920
ventilateur	400	240	240	240						40	160	120	440	440	200	240	40				800	840	760	640	5840
Fer à repasser								1000	1000							1000			1000						4000
Pompage hydraulique											2000	2000	2000	2000	2000										10000
Moulin basse consommation													300			300	300	300							1200
Tondeuse à coiffer											20		20						20	20	20				100
Casque à coiffer																600	600	600							1800
Machine à coudre									200	200	200	200	200		100	100	200	200	200	100	100	100			2100
Fer à souder										1200		1200				1200	1200								4800
chargeur de batterie								120	120	240	240	240			120			120		480	480	960	480		3600
Energie totale horaire (Wh)	1224	652	240	240	0	994	1354	1470	1660	2810	3770	4170	4590	4595	3956	3520	2784	2084	4530	9283	12777	17327	12536	9282	107648

**Annexe 2.5 : Dimensionnement de l'installation solaire PV****Choix de l'onduleur multifonctionnel**

Puissance pointe en journée	8,07	% de la charge	100%
facteur de perte	0,92		
rendement de l'onduleur	0,91		
nombre d'onduleur	3,00		
puissance onduleur par phase	2,69		

**Dimensionnement du générateur PV**

besoin journalière (Wh) sur la courbe de charge	40113		
taux de croissance	3%		
prévision annuelle sur les 15 ans	1,469638131		
pourcentage de la charge	100%		
Besoin journalière (Wh)	71213		
Rend batterie	0,8	<b>Dimension du champ</b>	
Rend onduleur	0,93	Longueur	1,665 m
Rend régulateur	0,98	Largueur	0,991 m
Rend générateur	0,8	Surface	1,65 m <sup>2</sup>
facteur de perte	0,93	Surface du champ	188,1 m <sup>2</sup>
facteur de conversion due à l'ensoleillement	0,9	nombre de modules retenus	114
facteur de dégradation	0,9	Surface réel du champ	197,51 m <sup>2</sup>
Ha (Wh/m <sup>2</sup> /jr)	4,211		
Pc (WC)	35077		
Tension gén (V)	48		
Tension module (V)	24		
Pn d'un module (WC)	250		
NmS	2		
NbP	70		
PC installée (WC)	35000		
Nombre de panneaux	140		
PC installée (kWC)	35		

**Dimensionnement du park de batterie**

consommation journalière totale (Wh/jr)	64080
nombre d'années	15 ans
facteur de croissance	1,469638131
poucentage de consommation nocturne	0,776

		Dimension des batteries	
Besoins journaliers (Wh)	49257		
température (°C)	35		
facteur de température	0,9		
Rend. Batterie	0,8		
Tension bat (gén ) (V)	48	Longueur	0,522 m
Autonomie (jours) Jraut DM	3	Largueur	0,238 m
	80%	Surface unitaire	0,12 m <sup>2</sup>
capacité unitaire (Ah)	3500	Surface des accumulateurs	5,76 m <sup>2</sup>
Tension accumulateur (V)	48	Surface réel des accumulats	6,34 m <sup>2</sup>
Capacité min(Ah)	5344,73	surface totale	12,68 m <sup>2</sup>
Nbs	1		
Nbp	2	nombre de batteries retenu	48
Capacité total inst (Ah)	7000		
Nbre accumulateur	2		

## Annexe 2.6 : Tableau : résumé de comparaison entre les batteries plomb

BO : Batterie ouverte

	BO semi traction	BO Plaque épaisse US	BO Tubulaire	Batterie Gel	AGM Décharge profonde	AGM Standard	2V OPZS	2V OPZV
Étanche	N	N	N	O	O	O	N	O
Durée de vie (Nb cycles à 50 % DOD)	400 - 600	550 - 1200	env. 2000	600 - 2500	env. 1000	400 - 600	2500 - 3000	3000 - 3500
Durée de vie (Utilisation en solaire)	4 - 5 ans	4 à 7 ans	5 à 8 ans	3 à 15 ans	4 à 7 ans	3 à 5 ans	> 8 ans	> 12 ans
Capacité à supporter la décharge profonde	+	+++	+++	+++	+++	-	+++	+++
Résistance aux Temp. élevées	++	++	+++	++	+	+	+++	++
Rendement de charge Bat. neuve (diminue avec l'âge des batteries)	85 - 90 %	85 - 90 %	85 - 90 %	85 - 90 %	88 - 96 %	88 - 96 %	85 - 90 %	85 - 90 %
Vitesse de charge	++	++	++	+	+++	+++	++	+
Autodécharge (augmente avec l'âge des batteries)	---	----	---	-	-	-	---	-
Tolérance / mauvais paramètres de charge solaire	++	++	+++	+	++	++	+++	+
Utilisation Solaire + Groupe électrogène	++	++	+++	+	+++	+++	++	+
Capacité Max d'une batterie C100	250 Ah (12V)	qq centaines Ah (6V)	250 Ah (12 V)	qq milliers Ah	qq milliers Ah			
Prix (€ / Ah), en multiple / BO semi traction	base 100	120 - 160	160 - 180	180 - 300	180 - 220	180 - 220	220 - 400	300 - 500

Source : <http://www.batterie-solaire.com/choisir-une-batterie-solaire.htm>, consulté le 24/03/2016

**Annexe 2.7 : Panneaux PV**

## Données générales

UGS	32402-N
Fabricant	REC

## Dimensions

Longueur (L)	99.1
Hauteur (H)	166.5
Profondeur (P)	3.8
Poids (kg)	18.0000

## Données techniques

Model de module	REC250PE
Type module	Rigide
Type cellules	Multicristalline
Numéro Cellule	60
Puissance nominale (Pmax)	250W
Tension nominale	24V
Tension Vmpp (Vmpp)	30.2V
Courant nominal Imp (A)	8.30A
Tension de circuit ouvert VOC (V)	37.4V
Courant de court-circuit ISC (A)	8.86A
"Rendement du module	15.1%
Tolérance de Puissance (+/-)	0/+5W
Température de fonctionnement	-40 ... +85°C
Coefficient Température (Pmax)	-0.40%/C

Coefficient Température (Voc)	-0.27%/C
Coefficient Température (Isc)	0.024%/C
Tension Maximale du Système	1000VDC
Maximum Courant Inverse	25A
Type de Verre	verre solaire anti-reflet traitement de surface
Epaisseur du Verre	3.2 mm
Cadre	en aluminium
No. de Diodes Bypass	3
Protection Boîte de Jonction	IP67
Section Transversale du Câble	4 mm <sup>2</sup>
Longueur Câble	0.9 + 1.2 m
Capacité de charge maximale	5400 Pa
Certifications	IEC 61215 & iec 61730, IEC 62716
Garantie de Puissance	Garantie de puissance linéaire de sortie 25 de l'année

## Données générales

UGS	32402-N
Fabricant	REC

## Dimensions

Longueur (L)	99.1
Hauteur (H)	166.5
Profondeur (P)	3.8
Poids (kg)	18.0000

## Garantie

Garantie de Fabrication-Distributeur	10 ans
Garantie SolaireShop	1 an

### ANNEXE 3 : OPTIMISATION TECHNICO-ECONOMIQUE

#### Annexe 3.1 : Tableau d'estimation du coût du kWh en zones périphériques du réseau

Elément de coût	Niveau de tension et localisation	FCFA/kWh
Coût du mix électrique	HT au niveau des postes 225/90/33, 90/33 et 90/15 kV	55
Pertes totales sur le réseau MT : 20%	Réseaux finaux 33 kV, 19kV et 15 kV	11
Coût d'investissement de la MT	Réseau MT	15
Coût moyen du kWh sur la MT en périphérie du réseau		81

Source : tableau 14, Plan Directeur d'Electrification Rurale de Côte d'ivoire, CI-ENERGIES

#### Annexe 3.2 : Devis d'alimentation HTA de Kromambira S/P de SOMINASSE

N°	Désignation	Unité	Fournitures			Travaux		
			Qte	Prix unitaire	Prix total	Qte	Prix unitaire	Prix total
<b>1</b>	<b>ETUDES</b>							
010-01	Relevés d'itinéraire au 1/5000	km				25	36 000	900 000
010-73	Relevés du profil en long 1/2500	km				25,5	114 000	2 907 000
011-21	Etude mécanique ligne HTA	km				25,5	9 488	241 939
011-31	Report définitif sur calque ligne HTA	km				25,5	4 066	103 688
011-71	Piquetage HTA	km				25,5	51 170	1 304 835
030-52	Tirage plans	m <sup>2</sup>				10	1 822	18 220
040-31	Dossier technique en 11 exemplaires	u				1	94 478	94 478
	<b>TOTAL</b>							<b>5 570 160</b>
<b>2</b>	<b>RESEAU HTA AERIEN</b>							
<b>2.1</b>	<b>POTEAU BETON</b>							
121-38	Poteau béton 12/300	u	107	180 247	19 286 461	107	58 991	6 312 058

121-39	Poteau béton 12/400	u	8	205 120	1 640 962	8	79 240	633 920
121-41	Poteau béton 12/500	u		237 987	0	0	85 315	0
121-42	Poteau béton 12/650	u	4	252 052	1 008 208	4	87 552	350 208
121-43	Poteau béton 12/800	u	6	300 057	1 800 339	6	96 326	577 957
121-44	Poteau béton 12/1000	u	8	342 986	2 743 889	8	112 914	903313,2
121-45	Poteau béton 12/1250	u	8	362 760	2 902 083	8	118 281	946 249
121-46	Poteau béton 12/1600	u		411 576	0		131 000	0
121-47	Poteau béton 13/300	u	39	215 238	8 394 270	39	67 098	2 616 804
121-48	Poteau béton 13/400	u	5	259 586	1 297 928	5	81 553	407 764
121-49	Poteau béton 13/500	u		290 841	0	0	104 056	0
121-51	Poteau béton 13/650	u	1	326 269	326 269	1	94 525	94 525
121-52	Poteau béton 13/800	u	0	338 031	0	0	108 137	0
121-53	Poteau béton 13/1000	u	1	401 323	401 323	1	114 143	114 143
121-54	Poteau béton 13/1250	u	0	429 374	0	0	124 067	0
122-44	Poteau béton 13/1600B	u		498 750	0	0	144 000	0
	<b>TOTAL</b>		<b>187</b>		<b>39 801 732</b>	<b>187</b>		<b>12 956 941</b>
	<b>2.2 ALMELEC ET TRANSFORMATEURS</b>							
353-12	Déroutage câble ALM 54,4 mm <sup>2</sup> en agglomération	km				76,500	126 456	9 673 884
354-12	Déroutage câble ALM 54,4 mm <sup>2</sup> hors agglomération	km				76,5	91 639	7 010 376
355-12	Câble ALM 54,4 mm <sup>2</sup>	km	25,000	900 900	22 522 500			
471-34	Transfo 50 KVA / 33 KV / H 61	u	1	3 267 550	3 267 550			
471-35	Transfo 100 KVA / 33 KV / H 61	u	0	4 273 678	0			
471-36	Transfo 160 KVA / 33 KV / H 61	u	0	5 004 190	0			
	<b>TOTAL</b>				<b>25 790 050</b>			<b>16 684 260</b>
	<b>2.3 ACCESS. AERIENS</b>							
231-12	BIS - 70/600	u	0	22 110	0	0	997	0

232-52	NV 170-125-50/60	u	110	106 000	11 660 000	110	6 526	717 849
232-72	NV 180-125-70/50/40	u	39	118 000	4 602 000	39	8 192	319 480
232-82	NV 210-70/50/50	u	5	148 000	740 000	5	8 887	44 433
232-92	NV 240-70/60/50	u	3	189 000	567 000	3	10350	31050
235-11	Ferrure galvanisé	kg	2222	2 037	4 525 770	2 222	350	777 700
242-13	Chaîne isolateur à 3 éléments	u	551	49 550	27 302 050	551	972	535 572
261-11	Rallonge d'ancrage	u	12	5 409	64 912	12	209	2 508
311-22	Pince d'alignement 93,3 mm <sup>2</sup>	u	22	8 146	179 218	22	347	7 634
312-22	Pince d'ancrage 93,3 mm <sup>2</sup>	u	66	10 899	719 357	66	347	22 902
379-22	Ponts de raccordement 93,3 mm <sup>2</sup> < s < 117 mm <sup>2</sup>	u	3	12 436	37 307	3	2 638	7 914
441-12	Ensemble de trois parafoudres 36 KV	3u	1	287 100	287 100	1	16 662	16 662
451-18	IACC 33 kV	u	2	1 815 000	3 630 000	2	59 704	119 408
452-11	Plateforme de manœuvre	u	2	13 853	27 706	2	12 497	24 994
452-12	Terre des masses IACC	u	2	108 511	217 022	2	39 947	79 893
462-13	Prise de terre par piquet	u	2	7 862	15 724	2	10 604	21 208
471-21	Equipement H 61	u	1	1 336 500	1 336 500	1	118 762	118 762
	<b>TOTAL</b>				<b>55 911 664</b>			<b>2 847 969</b>
<b>2.4</b>	<b>DIVERS HTA</b>							
126-21	Boisage jointif d'une fouille	m <sup>3</sup>					9 272	0
126-31	PV pour fouille en terrain dur	m <sup>3</sup>					14 743	0
126-41	PV pour fouille au compresseur	m <sup>3</sup>					29 547	0
126-51	Volume de béton supplémentaire	m <sup>3</sup>					51 430	0
143-13	Epuisement de l'eau	h				1	2 694	2 694
415-11	Indemnité de coupure	u				1	31 935	31 935
422-21	Numérotation peinte au pochoir ( peinture comprise)	u				187	347	64 964
431-15	Ouverture manuelle de layon	km					341 420	0

431-16	Ouverture manuelle de pistes d'accès	km				45 000	0
431-17	Ouverture de layon au bull	km			25,5	900 000	22 950 000
431-18	Ouverture de pistes d'accès au bull	km			2,55	270 000	688 500
	<b>TOTAL</b>						<b>23 738 093</b>

<b>1</b>	<b>ETUDES</b>						<b>5 570 160</b>
<b>2</b>	<b>RESEAU HTA AERIEN</b>					<b>121 503 445</b>	<b>56 227 263</b>
	2.1 Poteau Béton					39 801 732	12 956 941
	2.2 Almelec et Transformateur					25 790 050	16 684 260
	2.3 Accessoires Aériens					55 911 664	2 847 969
	2.4 Divers						23 738 093
	<b>TOTAUX</b>					<b>121 503 445</b>	<b>61 797 423</b>

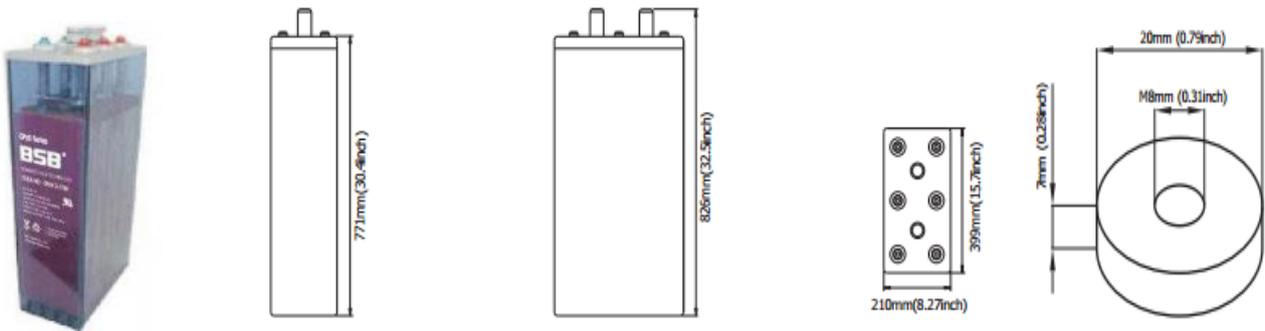
	<b>TOTAL FOURNITURES ET TRAVAUX</b>						183 300 869
	Transport						20 311 875
	<b>S/ TOTAL HT</b>						<b>203 612 744</b>
	TVA	18%					36 650 294
	<b>TOTAL TTC</b>						<b>240 263 037</b>

## RECAPITULATIF

<b>1</b>	<b>ETUDES</b>						<b>5 570 160</b>
<b>2</b>	<b>RESEAU HTA AERIEN</b>					<b>121 503 445</b>	<b>56 227 263</b>
	2.1 Poteau Béton					39 801 732	12 956 941
	2.2 Almelec et Transformateur					25 790 050	16 684 260
	2.3 Accessoires Aériens					55 911 664	2 847 969
	2.4 Divers						23 738 093
	<b>TOTAUX</b>					<b>121 503 445</b>	<b>61 797 423</b>

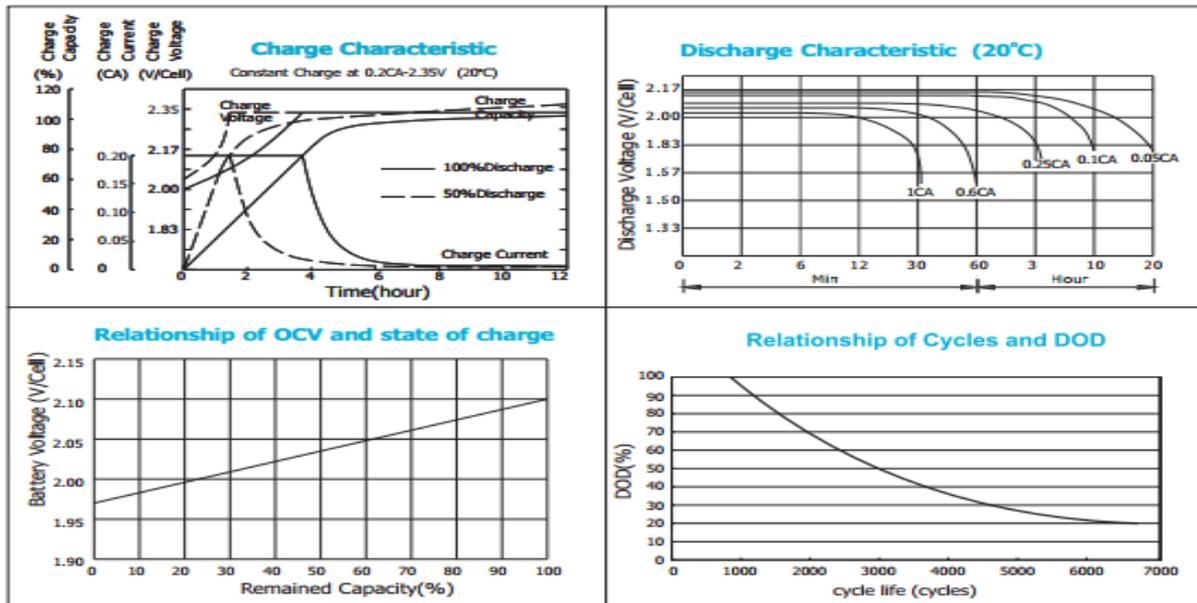
	<b>TOTAL FOURNITURES ET TRAVAUX</b>						183 300 869
	Transport						20 311 875
	<b>S/ TOTAL HT</b>						<b>203 612 744</b>
	TVA	18%					36 650 294
	<b>TOTAL TTC</b>						<b>240 263 037</b>

### Annexe 3.3 : batteries OPzS 2V 1750 Ah



#### Caractéristiques techniques

Battery Model	OPzS 2-1750			
Designed Floating Life	20 Years			
Capacity(20°C)	24HR(84A,1.80V)	10HR(175A,1.80V)	5HR(300A,1.80V)	1HR(910A,1.80V)
	2016AH	1750AH	1500AH	910AH
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	399mm(15.7inch)	210mm(8.27inch)	771mm(30.4inch)	826mm(32.5inch)
Approx. Weight	without electrolyte:85Kg (187 lbs)		with electrolyte:120Kg(265 lbs)	
Internal Resistance	Full charged at 20°C: 0.00055 Ohm			
Self Discharge	3% of capacity declined per month at (20°C)			
Capacity Affected by Temp.(10HR)	40°C	20°C	0°C	-15°C
	109%	100%	85%	65%
Charge Voltage(20°C)	Cycle use		Float use	
	2.35V-2.4V(-5mV/ °C), max. Current:350A		2.21V-2.25V(-3mV/ °C)	



#### Constant current discharge ratings-ampères at 20°C

TIME	1h	3h	5h	10h	24h	48h	72h	100h	120h	240h
CUT-OFF VOLTAGE	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
CAPACITY(Ah)	910	1313	1500	1750	2016	2188	2328	2450	2485	2520

#### Constant power discharge ratings-watts at 20°C

TIME	1h	3h	5h	10h	24h	48h	72h	100h	120h	240h
CUT-OFF VOLTAGE	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
CAPACITY(Wh)	1684	2428	2784	3238	3723	4047	4306	4533	4597	4662

### Annexe 3.4 : Onduleurs multifonctionnels (VITRON de Easy Solar)



Quattro  
48/5000/70-100/100

Quattro	12/3000/120 24/3000/70	12/5000/200 24/5000/120 48/5000/70	24/8000/200 48/8000/110	48/10000/140
PowerControl / PowerAssist	Yes			
Integrated Transfer switch	Yes			
AC inputs (2x)	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz Power factor: 1			
Maximum feed through current (A)	50 / 30	2x100	2x100	2x100
<b>INVERTER</b>				
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V			
Output (1)	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1%			
Cont. output power at 25 °C (VA) (3)	3000	5000	8000	10000
Cont. output power at 25 °C (W)	2500	4500	7000	9000
Cont. output power at 40 °C (W)	2200	4000	6300	8000
Peak power (W)	6000	10000	16000	20000
Maximum efficiency (%)	93 / 94	94 / 94 / 95	96	96
Zero-load power (W)	15 / 15	25 / 25 / 25	35	35
Zero load power in AES mode (W)	10 / 10	20 / 20 / 20	30	30
Zero load power in Search mode (W)	4 / 5	5 / 5 / 6	10	10
<b>CHARGER</b>				
Charge voltage 'absorption' (V DC)	14,4 / 28,8	14,4 / 28,8 / 57,6	57,6	57,6
Charge voltage 'float' (V DC)	13,8 / 27,6	13,8 / 27,6 / 55,2	55,2	55,2
Storage mode (V DC)	13,2 / 26,4	13,2 / 26,4 / 52,8	52,8	52,8
Charge current house battery (A) (4)	120 / 70	200 / 120 / 70	110	140
Charge current starter battery (A)	4 (12V and 24V models only)			
Battery temperature sensor	Yes			
<b>GENERAL</b>				
Auxiliary output (A) (5)	25	50	50	50
Programmable relay (6)	1x	3x	3x	3x
Protection (2)	a-g			
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration			
General purpose com. port (7)	1x	2x	2x	2x
Remote on-off	Yes			
Common Characteristics	Operating temp.: -40 to +50 °C Humidity (non condensing): max. 95%			
<b>ENCLOSURE</b>				
Common Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection category: IP 21			
Battery-connection	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)			
230 V AC-connection	Screw terminals 13 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Bolts M6	Bolts M6	Bolts M6
Weight (kg)	19	34 / 30 / 30	45/41	45
Dimensions (h x w x d in mm)	362 x 258 x 218	470 x 350 x 280 444 x 328 x 240 444 x 328 x 240	470 x 350 x 280	470 x 350 x 280
<b>STANDARDS</b>				
Safety	EN 60335-1, EN 60335-2-29			
Emission, Immunity	EN55014-1, EN 55014-2, EN 61000-3-3, EN 61000-6-3, EN 61000-6-2, EN 61000-6-1			
1) Can be adjusted to 60 Hz; 120 V 60 Hz on request	3) Non linear load, crest factor 3:1			
2) Protection key:	4) At 25 °C ambient			
a) output short circuit	5) Switches off when no external AC source available			
b) overload	6) Programmable relay that can a. o. be set for general alarm, DC undervoltage or genset start/stop function			
c) battery voltage too high	AC rating: 230V/4A			
d) battery voltage too low	DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC			
e) temperature too high	7) A. o. to communicate with a Lithium Ion battery BMS			
f) 230 VAC on inverter output				
g) input voltage ripple too high				

### Annexe 3.5 : Groupe électrogène



#### Groupe électrogène :

- Puissance nominal : 20 Kw/25 Kva
- Puissance max : 22 Kw/28 Kva
- Fréquence (Hz) : 50 HZ
- Tension (V) : 230
- Amperage A : 36
- Controleur : GTR101
- Connecteur ATS : Inclus
- Batterie (Ah) : 1X12V - 60 Ah
- Capacité du réservoir de carburant (L) : 93
- Capacité de liquide de refroidissement (L) : 10
- Consommation (l/h 50/100% charge) : 4.5/7.7
- Autonomie (l/h 50/100% charge) : 21/12
- Niveau sonore 7 mètres (dBA) : 68

#### Moteur :

- Type moteur : **HY4100 Hyundai**
- Puissance (kw/1500 tr/mn) : 27
- Vitesse : 1500 tr/mn
- Régulation moteur : Mécanique
- Démarrage : Electrique

- Cylindrée cm<sup>3</sup> : 3298
- Capacité Huile (L) : 15

#### Génératrice :

- Génératrice : 184F
- Puissance nominale (kW/kVA) : 22/27.5
- Cos : 0.8
- Régulation de la tension : AVR/Sans Balais

#### Sécurité et Alarmes :

- Basse pression d'huile
- Défaut de démarrage
- Batterie faible
- Température élevée
- Niveau d'huile bas
- Sur et sous vitesse moteur
- Arrêts d'urgence (2)

#### Infos Logistiques :

- Poids Net (Kg) : 880
- Poids Brut (Kg) : 990
- Dimensions net (mm) : 2220x950x1300

#### Garantie :

- 3 ans ou 1000 heures

## ANNEXE 4 : DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE DISTRIBUTION

### Annexe 4.1 Calibres des disjoncteurs

Compact NSA160 NS100 à NS250 déclencheurs TM-D et TM-G					
cal. (A)	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
16	16	15,6	15,2	14,8	14,5
25	25	24,5	24	23,5	23
40	40	39	38	37	36
63	63	61,5	60	58	57
80	80	78	76	74	72
100	100	97,5	95	92,5	90
125	125	122	119	116	113
160	160	156	152	147,2	144
200	200	195	190	185	180
250	250	244	238	231	225

Source : Tableau 52 F (Extrait norme NF C 15-100)

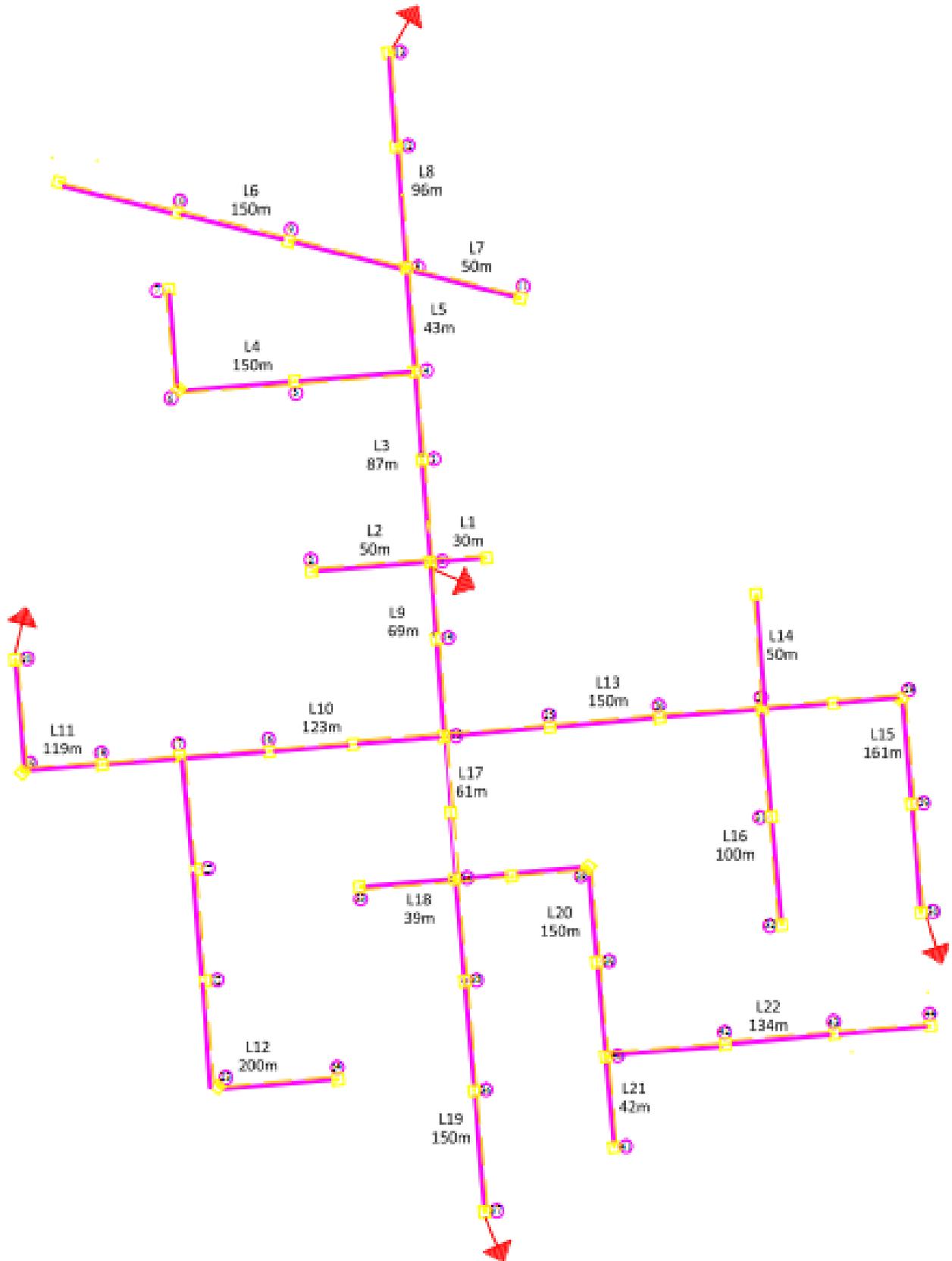
### Annexe 4.2 Influence de la température ambiante / pose non enterrés

Température ambiante  (°C)	Elastomère (caoutchouc)	ISOLATION			
		PVC	PR / EPR	Minérale*	
				Gaine en PVC ou câble nu et accessible 70°C	Câble nu et inaccessible 105°C
10	1,29	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,22	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,15	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,07	1,06	1,04	1,07	1,04
35	0,93	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,71	0,79	0,87	0,77	0,88
50	0,58	0,71	0,82	0,67	0,84
55		0,61	0,76	0,57	0,80
60		0,50	0,71	0,45	0,75
65			0,65		0,70
70			0,58		0,65
75			0,50		0,60
80			0,41		0,54
85					0,47
90					0,40
95					0,32

Source : Tableau 52J1 (Extrait norme NF C 15-100)



**Annexe 4.5 : Schéma des lignes de distribution et de l'éclairage public**



### Annexe 4.6 : Chute de tension dans l'Eclairage Public

Calcul de la puissance de la chute de tension par segment de ligne de distribution							détermination Ib		Caclus de Chutes de Tension						Vérification		
segment	P unit (W)	ut	Fact utilisation	P total (kW)	fact croiss	P Calcul CDT (W)	Vac (V)	Iac (A)	L (m)	S (mm <sup>2</sup> )	R (Ωmm <sup>2</sup> /m)	cosφ	ΔU (V)	CDT (en %)	CDT Max	CDT <CDT max	
L0	0,018	44	100%	0,792	15%	0,91	230	3,96	30	16	0,036	1	0,53	0,23	5%	ok	
L1	0,018	44	100%	0,792	10%	0,87	230	3,78	30	16	0,036	1	0,51	0,22	5%	ok	
L2	0,018	1	100%	0,018	10%	0,02	230	0,09	50	16	0,036	1	0,02	0,01	5%	ok	
L3	0,018	11	100%	0,198	10%	0,22	230	0,96	87	16	0,036	1	0,38	0,17	5%	ok	
L4	0,018	3	100%	0,054	10%	0,06	230	0,26	150	16	0,036	1	0,18	0,08	5%	ok	
L5	0,018	7	100%	0,126	10%	0,14	230	0,61	43	16	0,036	1	0,12	0,05	5%	ok	
L6	0,018	2	100%	0,036	10%	0,04	230	0,17	150	16	0,036	1	0,11	0,05	5%	ok	
L7	0,018	1	100%	0,018	10%	0,02	230	0,09	50	16	0,036	1	0,02	0,01	5%	ok	
L8	0,018	2	100%	0,036	10%	0,04	230	0,17	96	16	0,036	1	0,07	0,03	5%	ok	
L9	0,018	31	100%	0,558	10%	0,61	230	2,65	69	16	0,036	1	0,82	0,36	5%	ok	
L10	0,018	9	100%	0,162	10%	0,18	230	0,78	123	16	0,036	1	0,43	0,19	5%	ok	
L11	0,018	3	100%	0,054	10%	0,06	230	0,26	119	16	0,036	1	0,14	0,06	5%	ok	
L12	0,018	4	100%	0,072	10%	0,08	230	0,35	200	16	0,036	1	0,32	0,14	5%	ok	
L13	0,018	8	100%	0,144	10%	0,16	230	0,7	150	16	0,036	1	0,47	0,2	5%	ok	
L14	0,018	0	100%	0	10%	0	230	0	50	16	0,036	1	0	0	5%	ok	
L15	0,018	3	100%	0,054	10%	0,06	230	0,26	161	16	0,036	1	0,19	0,08	5%	ok	
L16	0,018	2	100%	0,036	10%	0,04	230	0,17	100	16	0,036	1	0,08	0,03	5%	ok	
L17	0,018	12	100%	0,216	10%	0,24	230	1,04	61	16	0,036	1	0,29	0,13	5%	ok	
L18	0,018	1	100%	0,018	10%	0,02	230	0,09	39	16	0,036	1	0,02	0,01	5%	ok	
L19	0,018	3	100%	0,054	10%	0,06	230	0,26	150	16	0,036	1	0,18	0,08	5%	ok	
L20	0,018	7	100%	0,126	10%	0,14	230	0,61	150	16	0,036	1	0,41	0,18	5%	ok	
L21	0,018	1	100%	0,018	10%	0,02	230	0,09	42	16	0,036	1	0,02	0,01	5%	ok	
L22	0,018	3	100%	0,054	10%	0,06	230	0,26	134	16	0,036	1	0,16	0,07	5%	ok	
													Cumul de chutes de Tension dans le réseau EP	4,94	2,16	5%	ok

### Annexe 4.7 : Puissance totale de chute de tension par segment de ligne

Type de consommation	Ut	P ut kW	segments de ligne de distribution																						
			L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22
Maison type 1-Tarif ECONOMIQUE	20	0,5	20	20	0	7	3	2	0	0	2	13	3	1	1	5	0	2	1	4	0	1	3	1	0
Maison type 2-Tarif MOYEN	38	0,5	38	38	3	9	3	5	1	0	3	25	3	1	2	11	0	2	5	11	1	3	7	1	2
Maison type 3-Tarif CONFORT	10	0,5	10	10	1	3	1	2	0	1	1	6	2	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	0	1
Maison type 4-Tarif GRAND CONFORT	8	0,5	8	8	1	2	1	1	0	0	1	5	2	1	1	1	0	1	0	2	0	0	2	1	1
Maison type 5-Tarif BOUTIQUE	2	0,5	2	2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
CENTRE DE SANTE	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ECOLE	1	0,5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CENTRE RELIGIEUX	1	0,5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOYER DE JEUNES	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STATION POMPAGE	1	2	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	81		L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22
TOTAL PUISSANCE (kW)			42	42	2,5	13	4	7,5	0,5	0,5	6	26	5	2	2,5	10	0,5	3	3,5	10	0,5	3	6,5	1,5	2
Facteur de simultanéité		57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%
taux de croissance		3%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Puissance de calcul de CDT (kW)			35	35	2,1	11	3,4	6,3	0,4	0,4	5	21	4,2	1,7	2,1	8,4	0,4	2,5	2,9	8,4	0,4	2,5	5,4	1,3	1,7

## Annexe 4.8 : Calculs de la chute de tension dans le réseau BT

Calcul de la P de CDT par segment		détermination Ib		Caclus de Chutes de Tension						Vérification	
segment	P Calcul CDT (kW)	Vac (V)	Iac (A)	L (m)	S (mm <sup>2</sup> )	R (Ωmm <sup>2</sup> /m)	cosφ	ΔU (V)	ΔU (en %)	CDT Max	CDT < CDT max
L0	35	400	60,67	30	35	0,036	1	2,7	0,68	7%	ok
L1	35	400	60,67	30	35	0,036	1	2,7	0,68	7%	ok
L2	2,1	400	3,64	50	35	0,036	1	0,27	0,07	7%	ok
L3	11	400	19,07	87	35	0,036	1	2,46	0,62	7%	ok
L4	3,4	400	5,89	150	35	0,036	1	1,31	0,33	7%	ok
L5	6,3	400	10,92	43	35	0,036	1	0,7	0,18	7%	ok
L6	0,4	400	0,69	150	35	0,036	1	0,15	0,04	7%	ok
L7	0,4	400	0,69	50	35	0,036	1	0,05	0,01	7%	ok
L8	5	400	8,67	96	35	0,036	1	1,23	0,31	7%	ok
L9	21	400	36,4	69	35	0,036	1	3,73	0,93	7%	ok
L10	4,2	400	7,28	123	35	0,036	1	1,33	0,33	7%	ok
L11	1,7	400	2,95	119	35	0,036	1	0,52	0,13	7%	ok
L12	2,1	400	3,64	200	35	0,036	1	1,08	0,27	7%	ok
L13	8,4	400	14,56	150	35	0,036	1	3,24	0,81	7%	ok
L14	0,4	400	0,69	50	35	0,036	1	0,05	0,01	7%	ok
L15	2,5	400	4,33	161	35	0,036	1	1,03	0,26	7%	ok
L16	2,9	400	5,03	100	35	0,036	1	0,75	0,19	7%	ok
L17	8,4	400	14,56	61	35	0,036	1	1,32	0,33	7%	ok
L18	0,4	400	0,69	39	35	0,036	1	0,04	0,01	7%	ok
L19	2,5	400	4,33	150	35	0,036	1	0,96	0,24	7%	ok
L20	5,4	400	9,36	150	35	0,036	1	2,08	0,52	7%	ok
L21	1,3	400	2,25	42	35	0,036	1	0,14	0,04	7%	ok
L22	1,7	400	2,95	134	35	0,036	1	0,59	0,15	7%	ok
<b>Cumul de Chutes de tension dans le réseau BT</b>								28,43	7,14	7,50%	ok

**Annexe 4.9 : devis d'alimentation BT/EP de kromambira s/p de sominasse**

N°	Désignation	Unité	Fournitures			Travaux		
			Qte	Prix unitaire	Prix total	Qte	Prix unitaire	Prix total
<b>1</b>	<b>ETUDES</b>							
010-01	Relevés d'itinéraire au 1/5000	km				35	36 000	1 260 000
010-73	Relevés du profil en long 1/2500	km				35,05	114 000	3 995 700
011-22	Etude mécanique ligne BTA	km					18 500	0
011-32	Report définitif sur calque ligne BTA	km				0,000	11 700	0
011-72	Piquetage BTA	km				0,000	57 500	0
030-52	Tirage plans	m <sup>2</sup>				10	1 822	18 220
040-31	Dossier technique en 11 exemplaires	u				1	94 478	94 478
	<b>TOTAL</b>							<b>5 368 398</b>
<b>3</b>	<b>RESEAU BTA/EP AERIEN</b>							
<b>3.1</b>	<b>POTEAU BETON</b>							
121-11	PBA 9-200	u	22	114 365	2 516 026	22	39 710	873 616
121-13	PBA 9-400	u	5	141 567	707 836	5	54 983	274 914
121-15	PBA 9-650	u	18	187 980	3 383 645	18	67 201	1 209 622
121-16	PBA 9-800	u	5	203 448	1 017 241	5	79 420	397 098
	<b>TOTAL</b>		<b>50</b>		<b>7 624 748</b>	<b>50</b>		<b>2 755 249</b>
<b>3.2</b>	<b>CABLE ALUMINIUM</b>							
514-11	Déroutage câble PRC <=35 mm <sup>2</sup>	km				2,204	357 180	787 225
514-12	Déroutage câble PRC >35 mm <sup>2</sup>	km				0	450 090	0
621-11	Câble PRC 3 X 35 + 54,6 + 16 mm <sup>2</sup>	km	2,204	3 640 000	8 022 560			
621-12	Câble PRC 3 X 50 + 54,6 + 16 mm <sup>2</sup>	km	0	4 175 000	0			
621-13	Câble PRC 3 X 70 + 54,6 + 16 mm <sup>2</sup>	km	0,000	5 116 000	0			
	<b>TOTAL</b>				<b>8 022 560</b>			<b>787 225</b>
<b>3.3</b>	<b>ACCESSOIRES AERIENS</b>							
452-13	Terre du neutre	u	1	136 000	136 000	1	72 200	72 200
461-11	Circuit terre	u	4	20 691	82 764	4	6 943	27 770
462-14	Prise de terre par piquet	u	4	7 862	31 448	4	11 107	44 428
511-11	Ensemble alignement	u	34	6 500	221 000	34	833	28 336
512-11	Esemble Ancrage simple	u	18	9 216	165 887	18	833	15 001
513-11	Ensemble ancrage double	u	7	18 173	127 208	7	972	6 804
581-11	Raccordement par faisceau DP S < 70 mm <sup>2</sup>	u	52	2 769	144 001	52	1 389	72 212
581-13	Raccordement par conducteur EP	u	13	2 212	28 751	13	417	5 417
584-11	Capuchon extrémité	u	75	1 977	148 271	75	278	20 858
	<b>TOTAL</b>				<b>1 085 330</b>			<b>293 026</b>

<b>3.4</b>	<b>ECLAIRAGE PUBLIC</b>							
530-38	Lanternes LED 18 W	u	44	21 000	924 000	44	12 407	545 908
530-55	Lampes LED 18 W tubulaire	u	44	13 250	583 000			
801-13	Crosse EP 1,2 m	u	44	14 500	638 000	44	2 533	111 452
801-14	Ferrure fixation EP	u	30	1 843	55 290	30	1 347	40 410
811-11	Fourniture équipement lanterne crosse 1,2 m	u	44	9 260	407 425			
812-11	Fourniture pour pose coffret EP	u	1	72 717	72 717			
812-12	Fourniture pour pose cellule photoélectrique	u	1	10 156	10 156			
813-12	Coffret EP TRIPH 80 A	u	1	750 000	750 000	1	30 500	30 500
813-14	Cellule photo	u	1	93 826	93 826	1	13 283	13 283
	<b>TOTAL</b>				<b>3 534 414</b>			<b>741 553</b>
<b>3.5</b>	<b>DIVERS BTA</b>							
126-32	PV pour fouille en terrain dur	m3					13 973	0
126-42	PV pour fouille au compresseur	m3					19 795	0
126-52	Volume de béton supplémentaire	m3					42 694	0
422-22	Numérotation peinte au pochoir (peinture comprise)	u				50	324	16 200
	<b>TOTAL</b>						<b>76 785</b>	<b>16 200</b>

#### RECAPITULATIF

<b>1</b>	<b>ETUDES</b>			<b>5 368 398</b>
<b>2</b>	<b>RESEAU BTA/EP AERIEN</b>		<b>20 267 051</b>	<b>4 593 253</b>
	3.1 Poteau Béton		7 624 748	2 755 249
	3.2 Câble Aluminium		8 022 560	787 225
	3.3 Accessoires Aériens		1 085 330	293 026
	3.4 Eclairage Public		3 534 414	741 553
	3.5 Divers BTA			16 200
	<b>TOTAUX</b>		<b>20 267 051</b>	<b>9 961 651</b>
	<b>TOTAL FOURNITURES ET TRAVAUX</b>			30 228 702
	Transport			6 868 750
	<b>S/ TOTAL BT</b>			<b>37 097 452</b>
	TVA	18%		6 677 541
	<b>TOTAL TTC</b>			<b>43 774 993</b>

### Annexe 4.10 : ampoule LED



Source : [www.wattuneeed.com](http://www.wattuneeed.com)

<b>Puissance :</b>	18 Watts
<b>Culot :</b>	E27
<b>Type d'ampoule :</b>	LED
<b>Alimentation :</b>	220-240V~
<b>Forme :</b>	Rond
<b>Certification :</b>	CE
<b>Fréquence :</b>	50-60 Hz
<b>Diamètre d'éclairage :</b>	220°
<b>Équivalent puissance ampoule classique :</b>	100 Watts
<b>Luminosité-Couleur :</b>	blanc chaud
<b>Flux lumineux :</b>	1520 lm
<b>Type de leds :</b>	SMD
<b>Indice de rendu des couleurs :</b>	≥ 80 Ra
<b>Temps d'utilisation :</b>	25000 heures
<b>Nombre de cycle :</b>	20000
<b>Luminosité-Couleur (Mesure) :</b>	3100 K
<b>Modèle :</b>	MELO

## ANNEXE 5 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

### Annexe 5.1 : Tableau extrait de la réglementation applicable au projet

Textes juridiques	Extraits d'articles liés à l'étude	Pertinence au projet
<b>Loi N°2000-513 du 1<sup>er</sup> Aout portant constitution de la république de Côte d'Ivoire</b>	<u>Article 19</u> : Le droit à un environnement sain est reconnu à tous.	Les aspects de protection de l'environnement, du droit à un environnement sain et de lutte contre la pollution doivent être intégrés dans la gestion du présent projet.
	<u>Article 28</u> : La protection de l'environnement et la promotion de la qualité de la vie sont un devoir pour la communauté et pour chaque personne physique ou morale	
<b>Loi n° 88-651 du 7 juillet 1988 relatif à la Protection de la santé publique et de l'environnement contre les effets des déchets industriels toxiques et nucléaires et des substances nocives</b>	<u>Article 1</u> : Sont interdits sur toute l'étendue du territoire, tous actes relatifs à l'achat, à la vente, à l'importation, au transit, au transport, au dépôt et au stockage des déchets industriels toxiques et nucléaires et des substances nocives.	Assurer la prise en charge des déchets en vue de réduire leurs impacts sur l'environnement. Analyser les voies de valorisation ou de recyclage des déchets générés (panneaux et batteries usagés) dans la mise en œuvre du projet.
<b>Loi n° 96-766 du 03 octobre 1996 portant Code de l'environnement</b>	<u>Article 20</u> : Les immeubles, les installations classées, les véhicules et engins à moteur, les activités industrielles, commerciales, artisanales ou agricoles, détenues ou exercées par toute personne physique ou morale doivent être conçus et exploités conformément aux normes techniques en vigueur en matière de préservation de l'atmosphère.	Veillez à ce que les équipements tel que les groupes électrogènes utilisés pour le fonctionnement des centrales respectent les normes techniques pour que tous rejet atmosphérique soit conforme.
	<u>Article 26</u> : Tous les déchets, notamment les déchets dangereux, doivent être collectés, traités et éliminés de manière écologiquement rationnelle afin de prévenir, supprimer ou réduire leurs effets nocifs sur la santé de l'homme, sur les ressources naturelles, sur la faune et la flore et sur la qualité de l'Environnement.	Mettre en place un mode de gestion des déchets de matériaux utilisés (panneaux, batteries, matériel électriques, etc.). Trouver un mode de collecte et d'élimination adéquat.

Textes juridiques	Extraits d'articles liés à l'étude	Pertinence au projet
	<p><u>Article 35</u>: Lors de la planification et de l'exécution d'actes pouvant avoir un impact important sur l'environnement, les autorités publiques et les particuliers se conforment aux principes suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Principe de précaution</li> <li>- Substitution</li> <li>- Préservation de la diversité biologique</li> <li>- Non-dégradation des ressources naturelles</li> <li>- Principe pollueur-payeur</li> <li>- Information et participation</li> <li>- Coopération</li> </ul>	<p>Dans le cadre de ce projet, les potentiels risques devront être identifiés afin de prendre des dispositions de maîtrise ou substituer les tâches à haut risques par d'autres moins dangereuses. Toutes les mesures prises doivent contribuer à préserver la biodiversité, les ressources naturelles.</p> <p>En outre, dans la conduite de ce projet, il convient de tenir compte des avis des populations et coopérer à la prise de décision contribuant à la préservation de l'environnement.</p>
<p><b>Décret n° 96-894 du 8 novembre 1996 déterminant les règles et procédures applicables aux études relatives à l'Impact Environnemental des projets de développement</b></p>	<p><u>Articles 2</u> : sont soumis à l'étude d'impact environnemental :</p> <p>(...) lorsqu'un projet, en raison de sa nature, de ses dimensions, de la sensibilité sur site qui l'accueille, risque de porter atteinte à l'environnement, l'administration de tutelle chargée d'instruire le dossier technique devra requérir au préalable l'autorisation du Ministère chargé de l'environnement.</p> <p><u>Annexe I</u> : Projet soumis à étude d'impact environnemental :</p>	<p>Les installations envisagées sont des installations classées pour la protection de l'environnement donc soumis à autorisation préalable sur la base d'une EIES.</p>
<p><b>Décret n°2012-1047 du 24 octobre 2012 fixant les modalités d'application du principe pollueur-payeur tel que défini par la loi n° 96-766 du 03 Octobre 1996 portant Code de l'Environnement</b></p>	<p><u>Article 20</u> : Toute personne physique ou morale dont les agissements ou les activités causent ou sont susceptibles de causer des dommages à l'environnement, doit recourir aux technologies propres pour la remise en état de l'environnement.</p> <p><u>Article 23</u> : Le principe pollueur-payeur s'applique lorsque l'installation classée est à l'origine de la production de rejets industriels, de déchets non biodégradables ou dangereux.</p>	

Textes juridiques	Extraits d'articles liés à l'étude	Pertinence au projet
<b>Arrêté N°01164/MINEF/CIAPOL/SDIIC du 04 Novembre 2008 relatif à la Réglementation des rejets et émissions des installations classées pour la protection de l'Environnement</b>	<u>Article 7</u> : Sous réserve des dispositions particulières à certaines activités, les effluents gazeux doivent respecter des valeurs limites selon le flux horaire maximal autorisé.	Mettre en place des dispositions pour s'assurer de la conformité des émissions atmosphériques par rapport aux exigences réglementaires en vigueur en CI.
	<u>Article 9</u> : Disposition générales sur le bruit.	Mettre en place des dispositions relatives à la gestion du bruit pour respecter les exigences réglementaires.
<b>Prescriptions types applicables aux installations classées</b>	<u>Chapitres 3.1 à 3.3</u> : Emissions.	Limiter les émissions diffuses. Respecter les valeurs limites de rejet.
	<u>Chapitres 6.2 à 6.4</u> : Stockage, transport, élimination et contrôles des déchets.	Dans la conduite du projet, prendre des précautions sur les déchets afin d'assurer la protection de l'environnement. Eliminer tous les déchets produits. Consigner pour chaque enlèvement les renseignements minimaux dans un registre. Rédiger un plan de gestion des déchets

Source : DRAFT RAPPORT Etude de faisabilité projet PRODERE Version 2