



Sujet: Etude et conception d'une mini centrale hybride photovoltaïque / Diesel pour l'électrification rurale décentralisée du village « NZO'OH » de la Commune rurale de FONGO - TONGO dans la région de l'Ouest Cameroun

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN
GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE ET ENERGIES
RENOUVELABLES**

OPTION : PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'ELECTRICITE

Présenté et soutenu publiquement le 14 Novembre 2011 par

DJOUMESSI NKEMZEM Yves Armand

Travaux dirigés par :

Pr KOALAGA Zacharie Enseignant à ZiE, Maître de Mémoire

ASONGLEFAC FONDI Michael ingénieur en Maintenance Industrielle, Maître de stage

Jury d'évaluation du stage :

Président : **YAO AZUMAH**

Membres et correcteurs :

SAYON SIDIBE

ANSELME RUNGUNDU

Promotion 2010/2011

CITATIONS

« Un développement véritable du milieu rural sans l'énergie électrique ne saurait être envisageable. Et l'un des principaux défis actuels de l'accès à l'électricité de certains milieux ruraux réside dans notre capacité à produire de manière décentralisée l'électricité à travers un mélange d'énergies d'origines renouvelables et celles d'origines fossiles afin de laisser aux générations futures un environnement dans lequel ils pourraient s'épanouir. »

DEDICACES

Je dédis ce présent mémoire à :

- Ma fille SONGO DJOUMESSI Keysia Alexandra ;
- Ma fiancée GUEFACK SONGO Gladice Lisa;
- Ma mère Veuve NKEMZEM Marcelline ;
- Mes petits frères et sœurs ;
- Et à toute la famille du Pr TATSADJEU.

« Votre présence à mes côtés a été une perpétuelle source de motivation. Retrouvez dans ce document, un gage de ma réussite dans mes aspirations académiques relatives aux sacrifices que vous avez consentis à mon égard. Je ne l'oublierai jamais »

REMERCIEMENTS

Je ne saurais commencer la rédaction de ce mémoire sans toutefois remercier ceux qui de loin ou de près ont contribué à la mise en œuvre de ce document. Ainsi, je voudrais remercier :

- Dieu tout puissant, car il a dit : « si je ne bâtis pas la maison alors celui qui la bâtit, le fait en vain » Merci seigneur pour toute cette grâce et tant de bonté à mon égard ;
- Mon Directeur de mémoire Pr KOALAGA Zacharie Enseignant à 2iE, pour toute l'attention accordée dans le suivi de ce travail ;
- Mon maître de stage, Monsieur ASSONLEFACK FONDI Michael ingénieur en maintenance industrielle et productique, Consultant en électricité pour les entreprises JOURDAIN COMPANY LTD et TALESS SARL pour sa disponibilité sans faille tout au long du déroulement de notre stage et du processus de rédaction de ce document ;
- Monsieur Magloire Jean DEUGOUE ingénieur électricien à l'agence de l'électrification rurale (AER) du Cameroun pour sa disponibilité et les conseils prodigués tout au long de la rédaction de ce document ;
- Monsieur Daniel TSAKEM maire de la commune rurale de FONGO-TONGO ;
- Madame Sylvie OUEDRAOGO KIENOU coordonatrice de la formation à distance pour la filière Master spécialisé M2 GEER au 2iE pour sa disponibilité et son dévouement pour répondre aux différentes sollicitations des étudiants ;
- Monsieur Kone TOFANGUY chef du service de la formation à distance au 2iE pour son assistance et tous les conseils prodigués ;
- Les enseignants du 2iE pour leur tutorat très apprécié et leur esprit pédagogique;
- Tous mes camarades de la deuxième promotion du Master II Spécialisé GEER et particulièrement Messieurs André Patrick EKO MVONDO, et Luc Jean Jacques Aime ELOCK MAYOUCK ;
- Les familles : TEMATEU Victor, GOME Etienne, PASSO Jean Marie, FOMEN Simon, TIWA Thomas, DJOUMESSI Roger, NGUIMGO Vincent, SONGO Martin, KEMGANG Jean, TSAKEM Daniel, TONFACK Collins ; Joseph TEMGOUA ;
- Mes amis : NGAMI Hugues, Rodrigue TIOSSOCK, CHEDJOU Amos, FEUDJIO Patrick, EWANE Benjamin, KOUAGNE Frédéric, TEMETEU Thierry, TCHUENTE Innocent, WAKEU Séverin, DONGMO Guy, SEUMO NGAMO Serge, Florence FEUZEU, Stéphane FOTSO, Thierry FOTSO, Antoine NDOJENG ;
- Tous ceux qui ont de prêt ou de loin contribué à la rédaction de ce mémoire.

RESUME

Le présent travail, qui traite de l'**Etude et conception d'une mini centrale hybride photovoltaïque (PV) / Diesel pour électrification rurale décentralisée du village NZO'OH de la Commune rurale de FONGO - TONGO dans la région de l'Ouest Cameroun**, s'inscrit dans l'optique de contribuer à l'amélioration de l'accès à l'électricité en milieu rurale au Cameroun par l'étude d'un cas pratique : L'électrification du village NZO'OH au moyen d'une mini centrale hybride Photovoltaïque (PV) / Diesel.

Pour ce faire, nous avons réalisé une enquête auprès de la population après avoir recueilli auprès des services météorologiques les différentes valeurs mensuelles de l'ensoleillement et des températures de la zone du projet. Ceci afin de collecter les données indispensables pour évaluer l'état du besoin en matière d'électricité. De cette enquête il ressort que, le moins nantis des foyers débourse environ **3500 F CFA** par mois pour l'éclairage au moyen des lampes tempêtes ; en fonction du besoin exprimé et du bilan de l'état de fonctionnement des équipements électriques chez les détenteurs de groupes électrogènes, la consommation journalière totale du village en électricité ainsi que les pertes liées à son transport pourrait s'évaluer à **281,04 kWh /Jour**. Ainsi, nous avons tracé la courbe de variation horaire de la charge journalière du village qui nous a permis de constater que le pic de puissance qui a lieu au environ de **7h**, est de **32 kW**. Nous avons par la suite reparti cette courbe en trois cycles correspondant à des besoins bien spécifiques qui nous ont permis de dimensionner le générateur photovoltaïque d'une puissance de **114 kWc** ainsi que les deux groupes électrogènes de puissances respectives **12,5 kVA** et **30 kVA**. Tous ces trois générateurs devraient fonctionner de manière coordonnées afin de satisfaire en continu les besoins en électricité le village.

Une analyse économique nous a permis de déterminer dans un premier temps le coût définitif de réalisation du projet qui s'élève à **420 138 413 F CFA** et par la suite de déterminer le prix de revient actualisé du kW qui est de **392 F CFA**. Le calcul de la VAN (**183 135 791 F CFA**) de ce projet sur sa durée de vie (**20 ans**), nous a permis d'apprécier sa rentabilité.

L'étude de l'impact social et environnemental nous a permis de mesurer sur le plan social, l'amélioration des conditions de vie à travers une modernisation véritable des services de santé, d'éducation, de commerce, de transformation des produits agricoles et des habitations villageoises. Et sur le plan environnemental le résultat le plus important est la substitution des lampes traditionnelles et des groupes électrogènes individuels par l'énergie électrique issue de mini centrale hybride.

Mots Clés : *Mini centrale hybride - Générateur photovoltaïque - Groupe Electrogène - Electrification rurale décentralisée - Rentabilité financière - Etude impact social et environnemental.*

ABSTRACT

This work deals with **the study and the design of a hybrid photovoltaic (PV)/Diesel power station for a decentralised rural electrification of the village NZO'OH in FONGO- TONGO division in the Western region of Cameroon**. Its main goal is to help improve the access to electricity in rural Cameroon. In order to achieve that goal, we studied a practical case namely the electrification of the village NZO'OH by using a little hybrid photovoltaic (PV)/Diesel power station.

To do so, we conducted a survey among the population so as to collect the data necessary to assess the identified need for electricity after collecting from the different meteorological centres the monthly values of sunshine and temperatures of the project's area. This investigation shows that the smallest household spends about **3500 FCFA / month** for lighting purpose using kerosene lamps. According to the needs expressed and the assessment of the state operation of electrical equipment among owners of individual generators, the total daily consumption of electricity in the village can be estimated at **281, 04 kWh/day**. Thus we plotted the hourly variation curve of the village's daily load and found that the peak power is **32 kVA** and occurs at about **7 AM**. We then split this curve into three levels corresponding to specific needs. This has allowed us to size the photovoltaic generator with a capacity of **180 kWp**. The power of the two generators is respectively **12, 5 kVA** and **30 kVA** and is enough to equip our mini hybrid power station. These generators operate in a coordinated way in order to meet up with the ongoing electricity needs of the village.

An economic analysis allowed us to initially determine the final cost of the project amounting to **420 138 413 F CFA** on the one hand and that of hours kilowatt which is **392 F CFA** on the other hand. The calculation of Net Current Value (80 million) of the project over its shelf life (**20 years**), it also enabled us to evaluate its profitability.

The study of the social and environmental impact has allowed us to measure at the social level the improving living conditions with the upgrading of health services, education, trade, processing agricultural products, and village housing. At the environmental level the most important result is the substitution of traditional lamps and individual generators, which are consumers of fossil fuels and are hostile pollutants to environment and health, with electrical energy from cleaner sources (e.g. photovoltaic generator, and new generator generations).

Key words: *Hybrid power station - Solar generator - Generator - Rural decentralised electrification Return on equity - Social and environmental impact study.*

LISTE DES ABREVIATIONS

PV : Photovoltaïque ;

kWc : Kilowatt crête ;

OMD : Objectifs du millénaire pour le développement ;

P : Puissance active ;

Q : puissance réactive ;

U : Tension

S: Puissance apparente;

W: Watts;

kW: kilowatts ;

VA : Volts ampères ;

VAR : Volts ampère réactif ;

I_{cc} : Courant de court circuit ;

P_e : Pertes techniques ;

Cosφ : Facteur de puissance ;

k_u : Facteur d'utilisation ;

GE : Groupe électrogène ;

k_e : Facteur d'extension de la demande en électrique ;

k_G : Coefficient des pertes globales du générateur photovoltaïque ;

DC : Courant continu ;

AC : Courant alternatif ;

DDR : Disjoncteur Différentiel Résiduel

PR : Prix actualisée du kilowatt

VAN : Valeur actuelle nette ;

AER : Agence de l'électrification rurale du Cameroun ;

MINEE: Ministère de l'eau et de l'énergie du Cameroun

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Formules des puissances actives, réactives et apparentes des récepteurs	7
Tableau 3.2 : Estimation des distances entre éléments du générateur PV.....	21
Tableau 4.1 : Caractérisation des différents utilisateurs du village NZO'OH	35
Tableau 4.2 : Situation énergétique domestique	36
Tableau 4.3 : Situation énergétique des installations sociocommunautaires	37
Tableau 4.4 : Situation énergétique des installations sociocommunautaires	38
Tableau 4.5 : Données géographique du village NZO'OH.....	39
Tableau 4.6 : Valeurs moyennes mensuelle de l'ensoleillement de la ville de DSCHANG	39
Tableau 4.7 : Valeurs moyennes mensuelle de la température de la ville de DSCHANG	39
Tableau 4.8 : Bilan de puissance du village NZO'OH	40
Tableau 4.9 : Estimation horaire des pertes techniques dans le réseau de transport et distribution du village.....	42
Tableau 4.10 Estimation horaire des pertes techniques dans le réseau de transport et distribution du village.....	43
Tableau 4.11 : Variation horaire de la consommation journalière du village NZO'OH	44
Tableau 4.12 : Calcul de la fraction solaire de notre mini centrale hybride	46
Tableau 4.13 : Dimensionnement et installation du générateur PV.....	47
Tableau 4.14 : Choix de l'onduleur bidirectionnel	48
Tableau 4.15 : Calcul de la section des câbles pour les éléments du générateur photovoltaïque	48
Tableau 4.16 : Dimensionnement et installation du groupe électrogène 1 (GE_1).....	49
Tableau 4.17 : Dimensionnement et installation du groupe électrogène 2 (GE_2).....	50
Tableau 4.18 : Choix du système de synchronisation.....	51
Tableau 4.19 : Choix des disjoncteurs différentiels résiduels pour le régime du neutre.....	51
Tableau 4.20 : Dimensionnement du réseau de transport et de distribution	53
Tableau 4.21 : Calcul du prix de revient actualisé du kW	55
Tableau 4.22 : Calcul la VAN du projet	55

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1: Profil amélioré de la courbe de variation horaire de la consommation journalière d'un village.....	10
Figure 3.2: Principe de définition de la fraction solaire journalière	11
Figure 3.3: Système hybride PV - Diesel série.....	12
Figure 3.4: Système hybride PV - Diesel commuté	13
Figure 3.5: Système hybride PV - Diesel parallèle	14
Figure 3.6: Configuration globale de la mini centrale hybride PV/Diesel.....	15
Figure 3.7 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau.....	18
Figure 3.8: Schéma de principe pour la mise à la terre des modules PV.....	19
Figure 3.9: Schéma électrique simplifié d'un système de synchronisation de deux générateurs	25
Figure 3.10: Eléments mécaniques d'une ligne de distribution aérienne BT en milieu	28
Figure 3.11: Types de supports pour la construction d'une ligne de distribution aérienne BT en milieu rural.....	28
Figure 3.12: Types d'armements pour la construction d'une ligne de distribution aérienne BT en milieu	31
Figure 3.13: Principe de réalisation des différents types de mise à la terre dans un réseau de	31
Figure 4.1 : Variation moyenne mensuelle de l'ensoleillement de la ville de DSCHANG	39
Figure 4.2 Plan cartographique de la répartition des consommateurs du village NZO'OH.....	41
Figure 4.3 : Courbe de variation horaire de la consommation journalière	45
Figure 4.4 : Profil amélioré de la courbe de variation horaire de la consommation journalière	45
Figure 4.6: Définition de la fraction solaire de la mini centrale hybride PV/Diesel	46
Figure 4.7 Photographie du système de synchronisation SYN 5302 d'ABB et de son armoire	51
Figure 4.8 Schéma électrique de la mini centrale hybride de PV/ Diesel de NZO'OH.....	52
Figure 4.9 Plan cartographique du réseau de transport et de distribution du village NZO'OH.....	54

LISTE DES EQUATIONS

Equation 3.1: Calcul de la puissance apparente utile d'un récepteur.....	7
Equation 3.2 : Evaluation de la puissance de l'éclairage public d'une localité donnée.....	8
Equation 3.3: Calcul des pertes techniques.....	8
Equation 3.4: Calcul de la consommation journalière des utilisateurs.....	9
Equation 3.5: Calcul de la consommation journalière du village.....	9
Equation 3.6: Calcul de la fraction solaire d'une mini centrale hybride PV/Diesel	11
Equation 3.7: Détermination graphique de la consommation journalière du village.....	11
Equation 3.8: Calcul de la consommation journalière à satisfaire par le générateur PV.....	16
Equation 3.9: Calcul du facteur de conservation globale (k_G) du générateur PV.....	16
Equation 3.10: Calcul du facteur d'extension (k_e) de la demande en électricité du village.....	17
Equation 3.11: Calcul de la puissance crête du générateur PV (P_c).....	16
Equation 3.12: Calcul du nombre de modules constituant de champ PV.....	17
Equation 3.13: Calcul de la puissance crête du champ PV installé.....	17
Equation 3.14: Calcul de l'angle d'inclinaison des modules.....	18
Equation 3.15: Calcul de la capacité de stockage (C_S) de la mini centrale hybride.....	19
Equation 3.16: Calcul du nombre de batteries constituant la capacité de stockage.....	19
Equation 3.17: Calcul du courant d'entrée (I_{er}) du régulateur de charge et décharge des batteries.....	20
Equation 3.18: Calcul de la puissance d'entrée du régulateur (P_{er}) de charge et décharge des batteries.....	20
Equation 3.19: Calcul de la puissance d'entrée de la partie onduleur de l'onduleur bidirectionnel.....	21
Equation 3.20: Calcul de la puissance de la sortie de la partie onduleur de l'onduleur bidirectionnel.....	21
Equation 3.21: Calcul de la puissance d'entrée de la partie redresseur de l'onduleur bidirectionnel.....	21
Equation 3.22 : Calcul de la puissance de la sortie de la partie redresseur de l'onduleur bidirectionnel.....	21
Equation 3.23: Calcul en DC de la section des câbles de connexion des éléments du générateur PV.....	21
Equation 3.24: Calcul de l'intensité de courant transportée côté AC du générateur PV.....	22
Equation 3.25: Calcul de la chute de tension côté AC du générateur PV.....	22
Equation 3.26: Calcul de l'épaisseur du massif en béton (e_{mGE}) pour l'installation du groupe.....	23
Equation 3.27: Calcul de la cuve de fuel pour un approvisionnement mensuel du groupe électrogène (C_{FGE}).....	24
Equation 3.28: Calcul du courant de déclenchement magnétique (I_{mag}) du DDR pour le régime IT.....	26
Equation 3.29: Calcul de l'intensité transportée (I_T) par le réseau de transport et de distribution.....	27
Equation 3.30: Calcul de la chute de tension (ΔU) dans le réseau de transport et de distribution.....	27
Equation 3.31: Calcul de l'effort sur les supports d'alignements.....	29
Equation 3.32: Calcul de l'effort sur les supports d'arrêts.....	30
Equation 3.33: Calcul de la flèche dans le réseau de transport et distribution.....	31
Equation 3.34: Calcul des profondeurs de fouille des fondations pour l'implantation des supports.....	31
Equation 3.35: Calcul des annuités pour le projet d'implantation de la mini centrale.....	33
Equation 3.36: Calcul de la valeur actuelle d'une dépense % au moment futur de la dépense.....	33
Equation 3.37: Calcul de la valeur actuelle d'une dépense annuelle pendant une période de plusieurs années.....	33
Equation 3.38: Calcul du prix de revient actualisé du kilowatt.....	33
Equation 3.39: Calcul de la valeur actuelle nette (VAN) du projet.....	34

TABLES DE MATIERES

CITATIONS	ii
DEDICACES	iii
REMERCIEMENTS	iv
RESUME	v
ABSTRACT	vi
LISTE DES ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES EQUATIONS	x
I - INTRODUCTION	1
II - OBJECTIFS DE TRAVAIL	4
2.1. Objectif Général.....	5
2.2. Objectifs Spécifiques	5
III - METHODES ET OUTILS	6
3.1. Collectes de données.....	6
3.2. Evaluation du besoin en électricité du village	7
3.2.1. Bilan de puissance du village	7
3.2.2. Evaluation de la puissance de l'éclairage public	8
3.2.3. Estimation des pertes techniques journalière dans le réseau de transport et de distribution	8
3.2.4. Plan cartographique de la répartition géographique des consommateurs du village	9
3.2.5. Evaluation de la consommation journalière du village	9
3.2.6. Courbe de variation horaire de la consommation journalière du village.....	9
3.3. Dimensionnement de la mini centrale hybride Photovoltaïque / Diesel	10
3.3.1. Définition du cahier de charge de la mini centrale	10
3.3.2. Fraction solaire journalière de la mini centrale hybride PV/Diesel.....	11
3.3.3. Configuration de notre mini centrale hybride PV/Diesel.....	12
3.3.4. Dimensionnement et installation du champ photovoltaïque.....	16
3.3.5. Dimensionnement de la capacité de stockage (Batteries)	19
3.3.6. Choix du régulateur de charge et de décharge des batteries	20
3.3.7. Choix de l'onduleur bidirectionnel	21
3.3.9. Calcul des sections des câbles de connexion des éléments du générateur photovoltaïque	21
3.3.10. Dimensionnement et installation des groupes électrogènes	22
3.3.11. Armoire de synchronisation des générateurs de la mini centrale hybride	24
3.3.12. Régime du neutre de la centrale	25
3.3.13. Schéma électrique de la centrale	26
3.4. Dimensionnement du réseau de transport et de distribution.....	26
3.4.1. Calcul électrique des câbles.....	26
3.4.2. Calcul des éléments mécaniques des lignes.....	27
3.4.3. Mise à la terre du neutre dans le réseau	31

3.4.4. Plan cartographique du réseau de transport et de distribution.....	32
3.5. Analyse économique du projet	32
3.5.1. Calcul du prix actualisé de revient du kW.....	32
3.5.2. Rentabilité financière du projet	34
3.6. Etude impact socio-économique et environnemental du projet.....	34
3.6.1. Impact socio-économique du projet	34
3.6.2. Impact environnemental du projet	34
IV - RESULTATS	35
4.1. Collectes de données.....	35
4.1.1 Caractérisation des différents utilisateurs du village	35
4.1.2 Etat de la situation énergétique du village	36
4.2.2 Données géographiques et météorologique du village	39
4.2. Evaluation du besoin en électricité du village	40
4.2.1. Bilan de puissance globale du village	40
4.2.2. Plan cartographique de la répartition géographique des consommateurs du village	41
4.2.3. Estimation des pertes techniques journalière dans le réseau de transport et de distribution	42
4.2.4 Evaluation de la consommation journalière du village	43
4.2.5. Variation horaire de la consommation journalière du village.....	44
4.2.6. Courbe de variation horaire de la consommation journalière du village.....	45
4.2.7. Profil amélioré de la courbe de variation horaire de la consommation journalière du village.....	45
4.3. Dimensionnement de la mini centrale hybride Photovoltaïque / Diesel	46
4.3.1. Calcul de la fraction solaire	46
4.3.2. Dimensionnement et installation du générateur photovoltaïque	47
4.3.3. Choix de l'onduleur bidirectionnel	48
4.3.4. Sections des câbles pour les éléments du générateur photovoltaïque.....	48
4.3.5. Dimensionnement et installation des groupes électrogènes	49
4.3.6. Choix du système de synchronisation des générateurs de la mini centrale hybride	50
4.3.7. Choix du calibre du disjoncteur différentiel résiduel (DDR)	51
4.3.8. Schéma électrique de la centrale	51
4.4. Dimensionnement du réseau de transport et de distribution.....	52
4.4.1. Calcul électrique des câbles, des éléments mécaniques et mise à la terre dans le réseau	53
4.4.2. Plan cartographique du réseau de transport et de distribution.....	54
4.5. Etude économique du projet.....	55
4.5.1. Calcul du prix actualisé de revient du kW.....	56
4.5.2. Rentabilité financière du projet	56
4.6. Etude impact socio-économique et environnemental du projet.....	56
4.6.1. Impact socio-économique du projet	56
4.6.2. Impact environnemental du projet	57

V- DISCUSSIONS ET ANALYSES	58
5.1. Analyse des résultats du dimensionnement de la mini centrale hybride.....	58
5.2. Analyse des résultats du dimensionnement du réseau de transport et de distribution	58
5.3. Analyse des résultats de l'étude économique.....	59
5.4. Analyse de la faisabilité économique du projet.....	59
5.5. Analyse des résultats de l'étude impact socio-économique et environnemental	60
VI- CONCLUSION	61
VII- RECOMMANDATIONS	63
VIII- BIBLIOGRAPHIES	64
IX- ANNEXES	65

I-INTRODUCTION

Malgré son important potentiel hydroélectrique (19,7 GW de potentiel technique équitable pour un productible de 115 TWH/an) qui situe le Cameroun en 2^{ème} position en Afrique après le Congo [9], l'accès à l'électricité y rencontre encore beaucoup de problèmes :

- Les baisses de tensions (< 220 V) régulières observées dans la plupart des localités qui sont raccordées au réseau national de distribution électrique [10];
- Des interruptions spontanées (Les délestages électriques) récurrent de la fourniture de l'électricité que l'on observe sur l'ensemble du territoire national ;
- Le très faible taux d'accès à l'électricité : 60% dont 10% en zone rurale [10];
- Pour les localités en milieu rural qui sont connectées au réseau national de distribution, la résolution des pannes liées aux dysfonctionnements observés sur le réseau est généralement de très longue durée (1 à 2 semaine dans certaines localités) [10].

Cette situation nous montre non seulement que malgré les importants moyens déployés par l'unique entreprise AES-SONEL ayant en charge la production et la distribution de l'électricité au Cameroun pour résorber ces problèmes, elle reste assez limitée dans la gestion du réseau national de distribution et la planification de la demande en électricité, mais également que 90% de la population en milieu rural au Cameroun n'ont pas accès à l'électricité. Situation qui compromet fortement le développement durable¹ significatif en milieu rural qui est lié à la disponibilité de l'énergie électrique indispensable pour le fonctionnement des structures de base, telles que l'éclairage public, l'éducation, la communication et la santé. C'est d'ailleurs ce constat qui a motivé l'adoption et la publication de l'arrêté ministériel N°00000013/MINEE du 26 janvier 2009, portant sur la libéralisation du service de production, distribution et de vente de l'électricité au Cameroun [10]. Donnant ainsi la possibilité sur le plan institutionnel aux producteurs privés d'accompagner AES-SONEL dans l'amélioration de l'offre de l'électricité au Cameroun.

Le faible taux d'électrification observé en milieu rural s'explique par le fait que, dans les agglomérations de faibles densité de populations et éloignées des points de production (si la densité d'abonnés potentiels est inférieur à 20 habitants/km et pour des distances > 10 km), la connexion au réseau national de distribution de l'énergie électrique n'est rentable pas pour la société AES-SONEL [11] ; ainsi l'alimentation de ces localités est soit inexistante, soit assurée par le biais des groupes électrogènes qui apparaissent comme la solution la plus simple dans les zones hors-réseau ceci étant dû à leur faible coût d'investissement, leur facilité d'installation et de mise en service. La technologie du diesel est largement répandue et trouver des mécaniciens pour la maintenance ne pose généralement pas de problème.

¹ : Le « développement durable » est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Il reste attaché à la Conférence de Rio qui prônait une approche conjointe de l'environnement (des pays du Nord) et du développement (des pays du Sud) [12].

Malgré tous ces avantages liés à l'installation, la mise en service et la maintenance des groupes électrogènes, son utilisation comme principale source de production de l'énergie électrique reste assez problématique.

En effet :

- Ils sont inefficaces (on note une grande consommation de gasoil par kWh produit : moins de 3kWh par litre) sur le plan énergétique, tant en raison de leur vétusté moyenne que d'un fonctionnement en dehors des taux de charge optimaux [13];
- Ils sont très polluants pour l'environnement à cause du rejet dans la nature du dioxyde de carbone (CO₂) qui est un gaz à effet de serre ;
- Le coût d'exploitation accroît au fil des années pouvant aller de 2% à la première année à 20% après quelques années de fonctionnement [13] ;
- Leurs budgets de fonctionnement subissent le coût du gasoil sans cesse croissant sur le marché des hydrocarbures (350 à 534 FCFA entre 2000 et 2007) [9] ;
- Ils sont nuisibles sur le plan sonore et posent les problèmes de gestion des huiles de vidange ;
- Le transport du carburant, et des pièces de rechange dans la région n'est pas chose aisée à cause du mauvais état des infrastructures routières en milieu rural au Cameroun.

Dans le contexte actuel où le concept de mécanisme de développement durable en accord avec les objectifs du millénaire pour le développement (OMD) prône la protection de l'environnement et la préservation des ressources naturelles par limitation de la consommation des énergies fossiles ², il était donc indispensable de réfléchir sur de nouveaux modes d'électrification rurale décentralisée compatible avec le développement durable.

Les kits photovoltaïques individuels ont été largement promus dans les pays en développement (PED) durant les 2 dernières décennies et ont beaucoup à offrir pour les petites activités et les ménages en milieu rural, mais ils ne peuvent produire ni suffisamment d'électricité ni de façon assez flexible et continue pour permettre un développement durable et significatif.

Cependant, pour la réalisation des centrales solaires 100% PV pouvant produire une électricité suffisante, le coût d'investissement et les coûts variables (remplacement des batteries) sont particulièrement élevés à cause du surdimensionnement des panneaux solaires et des capacités des batteries nécessaires à un service assuré toute l'année.

Par ailleurs, les études menées par *L. Stayanov, G Notton et V. Lazarov (2006)* permettent de constater que pour les centrales 100 % solaires, plus de 60% d'énergie produite par le champ de modules PV est perdue, mais également que la présence d'un groupe électrogène en tant que source auxiliaire permettait de réduire de manière considérable cette énergie gaspillée et la taille de la centrale [20].

² : Les énergies fossiles (Charbon, pétrole, gaz) sont les énergies non renouvelables. La réserve mondiale totale = 785 GTEP; la consommation mondiale actuelle est de 10 GTEP/an et on estime à 20 GTEP/an la consommation énergétique à l'horizon 2015. Faute de maintenir constante la consommation à 10 GTEP/an on espère la limiter à 15 GTEP/an. Donc un effort important est à faire au niveau mondial.

Sur la base de tels constats, une nouvelle option se présente : les centrales hybrides (où la source principale est un système de batterie PV avec un ou plusieurs groupes électrogènes de soutien) offrant une réduction des coûts en comparaison des montages entièrement PV, et alliant la flexibilité d'un réseau diesel aux économies réalisées par un système photovoltaïque, sur la durée de vie de l'investissement.

Les centrales hybrides ont été introduites et expérimentées dans plusieurs pays (Indonésie, Inde, Chine, Mongolie, îles Françaises...) et connaissent jusqu'ici un fonctionnement loin d'être irréprochable mais acceptable et offrant une qualité de service susceptible de répondre aux besoins en électricité des populations pour les quelles elles ont été conçues [13].

La présente étude dont le sujet porte sur l'« **Etude et conception d'une mini centrale hybride photovoltaïque (PV) / Diesel pour électrification rurale décentralisée du village NZO'OH de la Commune de FONGO-TONGO dans l'OUEST Cameroun** » s'inscrit dans l'optique de contribuer à l'amélioration de l'accès à l'électricité en milieu rural au Cameroun en procédant à une étude complète de faisabilité technique et économique pouvant déboucher sur l'implantation d'une mini centrale hybride PV / Diesel, avec comme cas pratique le village NZO'OH qui s'inscrit parmi les localités Camerounaises en milieu rural n'ayant pas accès à l'électricité.

La réalisation de cet objectif nous impose de manière spécifique les étapes suivantes :

- Collecte de données : Il sera question pour nous de recueillir auprès des habitants du village NZO'OH et les services météorologiques des informations qui nous permettront d'avoir l'état de sa situation énergétique et son potentiel solaire;
- Evaluer le besoin en électricité du village tout en prenant en compte les pertes techniques susceptibles d'être générées pendant le transport de énergie qui devrait couvrir ce besoin;
- Tracer la courbe de variation horaire de la consommation du village;
- Définir la fraction solaire pour notre mini centrale hybride : il s'agit ici de définir le pourcentage de la consommation journalière que seul le générateur photovoltaïque devrait satisfaire;
- Définir la configuration de notre mini centrale hybride PV/Diesel ;
- Dimensionnement de la mini centrale hybride PV/Diesel : Il sera question pour nous de procéder au dimensionnement du générateur photovoltaïque et des groupes électrogènes;
- Dimensionnement du réseau de transport et de distribution de l'énergie produite : Il sera question pour nous ici d'effectuer les calculs électriques des câbles et des éléments mécaniques des lignes aériennes du réseau de transport et de distribution;
- Analyse économique du projet : Il s'agira de déterminer le coût total de réalisation du projet, calculer le prix de revient actualisé du kW d'électricité produit et transporté,

calculer la valeur actuelle nette (VAN) du projet sur sa période de vie qui est de 20 ans dans notre cas afin de mesurer sa rentabilité ;

- Etude impact socio-économique et environnemental du projet : Ici, il sera question pour nous de mesurer au niveau du village NZO'OH l'impact socio-économique et environnemental de l'implantation d'une mini centrale hybride PV/Diesel et de son réseau de distribution.

Ainsi, notre étude s'articulera autour de trois grandes parties. La première s'intéressera au matériel et les méthodes utilisées dans la réalisation de ces différentes étapes, la deuxième présentera les résultats obtenus, la troisième discutera et analysera ces résultats. Nous ferons ensuite quelques recommandations avant de conclure.

II-OBJECTIFS DE TRAVAIL

2.1. Objectif général

L'objectif général de notre projet est la réalisation d'un modèle d'étude complète de dimensionnement d'une mini centrale hybride photovoltaïque (PV) / Diesel et de son réseau de distribution pour l'amélioration de l'électrification rurale décentralisée au Cameroun à travers l'étude d'un cas pratique : l'électrification rurale du village NZO'OH au moyen d'une mini centrale hybride photovoltaïque (PV) / Diesel.

2.2. Objectifs spécifiques

L'atteinte de l'objectif général de ce projet nous amène inéluctablement à des objectifs spécifiques liés au dimensionnement et à l'implantation d'une mini centrale électrique hybride PV/ Diesel :

- Procéder à une collecte de données au niveau du village NZO'OH qui nous permettra d'estimer :
 - ✓ Son potentiel solaire ;
 - ✓ Son potentiel financier ;
 - ✓ Son besoin en électricité
- Identifier le site approprié dans l'un des quartiers du village NZO'OH qui pourra servir à l'implantation de la mini centrale hybride ;
- Procéder en tenant compte de l'aspect coût, écologique, et qualité de service à une étude de faisabilité technique et économique qui puisse aboutir sur la mise en place d'une mini centrale hybride PV /Diesel et du réseau de transport et de distribution pour l'électrification du village NZO'OH ;
- Procéder à l'étude impact socio-économique et environnemental liée à la matérialisation de ce projet dans le village NZO'OH ;
- Procéder à une analyse de la faisabilité économique du projet afin de faire des propositions susceptibles d'aboutir à la définition dans un cadre institutionnelle des mesures d'assistance aux promoteurs des projets dans le secteur des énergies renouvelables en général et solaire en particulier.

III- METHODES ET OUTILS

La démarche méthodologique que nous avons utilisé pour traiter ce sujet a consisté à recueillir auprès des responsables (Chefs de familles, exploitants de petits commerces et des fermes, responsables des installations sociocommunitaires,...) au niveau du village NZO'OH des données qui nous ont permis d'évaluer non seulement l'état de la situation énergétique du village et les différents coûts y afférents, mais également l'état du besoin en électricité grâce auquel nous avons obtenu le tracé de la courbe de variation horaire de la consommation journalière du village qui nous a permis de définir la fraction solaire de notre mini centrale ; puis nous sommes passé au dimensionnement du générateur photovoltaïque et des deux groupes électrogènes qui constituent l'ossature principale de notre centrale hybride. Par la suite, nous avons effectué l'analyse économique de notre projet afin de calculer son coût de réalisation du quel nous avons déduit le prix de revient actualisé du kW d'électricité produit et transporté. Le calcul de la VAN du projet nous a permis de mesurer sa rentabilité. L'étude impact socio-économique et environnemental nous a permis de mesurer dans le village NZO'OH l'impact socio-économique et environnemental de l'implantation de la mini centrale et de son réseau de distribution.

Ainsi, les grandes étapes méthodologiques de notre étude se présentent de la manière suivante :

- Collecte des données ;
- Evaluation du besoin en électricité du village ;
- Dimensionnement de la mini centrale hybride PV/Diesel ;
- Dimensionnement du réseau de distribution ;
- Analyse économique du projet ;
- Etude de l'impact socio-économique et environnemental du projet.

3.1 Collecte des données au village NZO'OH

Elle s'est faite à travers une enquête auprès des différents responsables des foyers d'habitations et de ceux ayant en charge la gestion des petits commerces, motels, écoles publiques, centres de santé, lieux de cultes, et fermes d'élevage au niveau du village NZO'OH. Question de prendre connaissance des différentes méthodes utilisées pour satisfaire leurs besoins énergétiques et les coûts qui y sont associés.

Les données collectées sont présentées de la manière suivante :

- Différents types d'utilisateurs du village NZO'OH ;
- Situation énergétique de ces utilisateurs (méthodes d'accès aux services énergétiques et différents coûts y afférents);
- Paramètres géographiques (Latitude et longitude), climatiques (Ensoleillement, température) et démographiques ;
- Les caractéristiques du site choisis pour l'implantation de la mini centrale.

3.2. Evaluation du besoin en électricité du village

La première étape dans la mise sur pied d'une centrale est l'estimation de la puissance électrique qu'il faut pour satisfaire la demande. Afin d'avoir une idée précise sur l'état de la demande, il a été indispensable de dresser le bilan de puissance du village et d'évaluer sa consommation journalière.

3.2.1. Bilan de puissance du village

Un bilan de puissance peut se définir comme étant une évaluation de la puissance des équipements électriques que possèdent tous les utilisateurs du village. Ainsi, en se référant aux données collectées au village et aux connaissances en matières des solutions électriques basses consommations, nous avons dressé le bilan de puissance total du village.

En effet, il a été question pour nous de répertorier au niveau des différents utilisateurs possédant des groupes électrogènes, les puissances électriques des différents récepteurs existants et de proposer aux utilisateurs n'en possédant pas, en fonction des besoins exprimés les équipements électriques susceptibles d'améliorer leurs conditions de vie existentiel une fois qu'ils auront accès à l'électricité.

Pour faciliter notre travail, nous avons d'abord dressé séparément le bilan de puissance des différents utilisateurs avant de faire un bilan de puissance global pour le village. Les formules des puissances apparentes, actives et réactives absorbées en courant alternatif monophasé et triphasé connaissant le courant absorbé, la tension et le facteur de puissance que nous avons utilisé lors de l'établissement de ce bilan sont données dans le tableau ci-dessous :

<i>Grandeurs</i>	<i>Puissance apparente</i>	<i>Puissance active</i>	<i>Puissance réactive</i>
<i>Monophasé</i>	$S = U \times I$	$P = U \times I \times \text{Cos}\varphi$	$P = U \times I \times \text{Sin}\varphi$
<i>Triphasé</i>	$S = \sqrt{3} \times U \times I$	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \text{Cos}\varphi$	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \text{Sin}\varphi$
<i>Unités</i>	<i>VA ou kVA</i>	<i>W ou kW</i>	<i>VAR ou kVAR</i>
<i>On déduit :</i>	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$		
<i>Théorème de Bucherot :</i>	$S = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2}$		

Tableau 3.1: Formules des puissances actives, réactives et apparentes des récepteurs

En utilisant le rendement, et en tenant compte des facteurs d'utilisation (*ku*) et en considérant le facteur de simultanéité (*ks*) égal à 1, les puissances électriques apparentes absorbées ont été calculées suivant les formules ci-dessous :

$$S_u = \frac{P_u \times k_u}{\eta \times \text{Cos}\varphi}$$

(Equation 3.1)

Précisons ici que les résultats des différents bilans énergétiques réalisés dans le cadre de ce travail ont été établis et présentés dans les tableaux réalisés grâce au logiciel MICROSOFT EXCEL.

3.2.2 Evaluation de la puissance de l'éclairage publique

On adopte un besoin de puissance se situant entre 0,75 W et 1 W par habitant pour un éclairage de 12 heures par jour. Ainsi, l'énergie pour l'éclairage publique E_{pu} est donnée par la formule suivante [16]:

$$E_{pu} \text{ (en kWh)} = P_t \times d \times 0,75 \times 0,001 \times 365 \quad (\text{Equation 3.2})$$

Où:

- ✓ d est la durée de fonctionnement des lampadaires par jour en heure ;
- ✓ P_t est l'effectif de la population à l'année t .

Avant de passer à l'évaluation de la consommation journalière du village, il était indispensable pour nous de faire une estimation des pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution qui seront considérées comme une consommation supplémentaire qui sera ajoutée à la consommation totale des utilisateurs du village.

3.2.3. Estimation des pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution

Puisque cette puissance sera transportée à travers un réseau de distribution, pour disposer d'une puissance active identique au niveau des récepteurs de nos différents utilisateurs, il faudrait appeler sur le réseau une puissance active d'autant plus importante que les besoins de puissance réactive sont eux-mêmes importants. A la puissance active ainsi perdue, correspondent des pertes en énergie (P_e) dont la valeur en kWh est donnée par la formule suivante [4] :

$$P_e = 10^3 RLP^2 t / U^2 \cos^2 \phi \quad (\text{Equation 3.3})$$

Où :

- ✓ R : est la résistance linéique du câble utilisé pour la construction du réseau de transport et de distribution en (Ω/km) qui dans notre cas a été considérée égale à 0,66 ceci en émettant l'hypothèse suivant laquelle notre réseau sera construit avec un faisceau de câble de distribution aérienne en Alu 3x50 + NP tel que prescrit par AES-SONEL pour les réseaux triphasé BT en milieu rurale ;
- ✓ L : est la longueur de la ligne (km) ;
- ✓ U : la tension entre phase (V) ;
- ✓ P : la puissance active appelée (kW) ;
- ✓ t : la durée annuelle d'utilisation de la puissance P (heures) ;
- ✓ $\cos \phi$: facteur de puissance de l'utilisateur.

Les utilisateurs étant repartis à des points différents dans le village, il a fallu calculer pour chaque utilisateur, les pertes engendrées par la puissance qu'il appelle sur le réseau de transport et distribution. Ainsi, le calcul de ces pertes était conditionné par la connaissance des distances entre les positionnements géographiques des différents utilisateurs et le site d'implantation de la mini centrale. Et pour avoir un aperçu global sur ces distances, nous avons jugé indispensable de réaliser un plan cartographique de la répartition des consommateurs du village.

3.2.4. Plan cartographique de la répartition des consommateurs du village

C'est une carte sur laquelle nous avons une vue spatiale de la disposition géographique des différents utilisateurs qui devraient être connectés à notre réseau de distribution de notre mini centrale.

Elle a été réalisée lors de la descente sur le site du projet (Village NZO'OH). A l'aide d'un décamètre, d'une boussole, des piquets et du compteur kilométrique du véhicule mis à notre disposition par le maire de la commune rurale de FONGO-TONGO, à travers une étude de piquetage, nous avons pu matérialiser les distances entre différents utilisateurs et le site qui a été choisi pour l'implantation de notre mini centrale. La distance entre deux piquets a été prise égale à 40 m et cette valeur trouve sa justification dans le fait que pour la construction des réseaux de transport et de distribution en milieu rural, le cahier de prescription technique d'AES-SONEL recommande une distance de 40 m entre supports.

Une fois la phase de matérialisation terminée, Pour la réalisation de notre carte, nous avons utilisé le logiciel de dessin AUTOCAD et l'échelle de dessin que nous avons utilisé est 1/8000. Ceci pour que notre carte puisse tenir sur un format A4.

3.2.5. Evaluation de la consommation journalière du village

Nous rappelons que notre mini centrale hybride doit être conçue pour la satisfaction du besoin en électricité du village et dans ce contexte, l'évaluation de la consommation journalière du village a pour l'égalité:

$$\text{Energie générée} = \text{Energie consommée}$$

Pour l'évaluation de la consommation journalière du village, nous avons réuni dans le même tableau les puissances des différents équipements électriques de tous les utilisateurs du village aux quels nous avons associé leurs temps de fonctionnement et les pertes liées à ces différentes puissances. Ainsi, nous avons pu calculer la consommation journalière de chaque utilisateur (C_{ju}) de la quelle nous avons déduis la consommation journalière du village (C_{jv}) selon les formules suivante

$$C_{ju} \text{ (en kWh/j)} = \sum P_i \text{ (en W)} \times t_i \text{ (en h)} \times n_i \quad (\text{Equation 3.4})$$

$$C_{jv} \text{ (en kWh/j)} = \sum_u^{n_u} [C_{ju} \text{ (en Wh/j)} \times n_u + P_{eu}] \quad (\text{Equation 3.5})$$

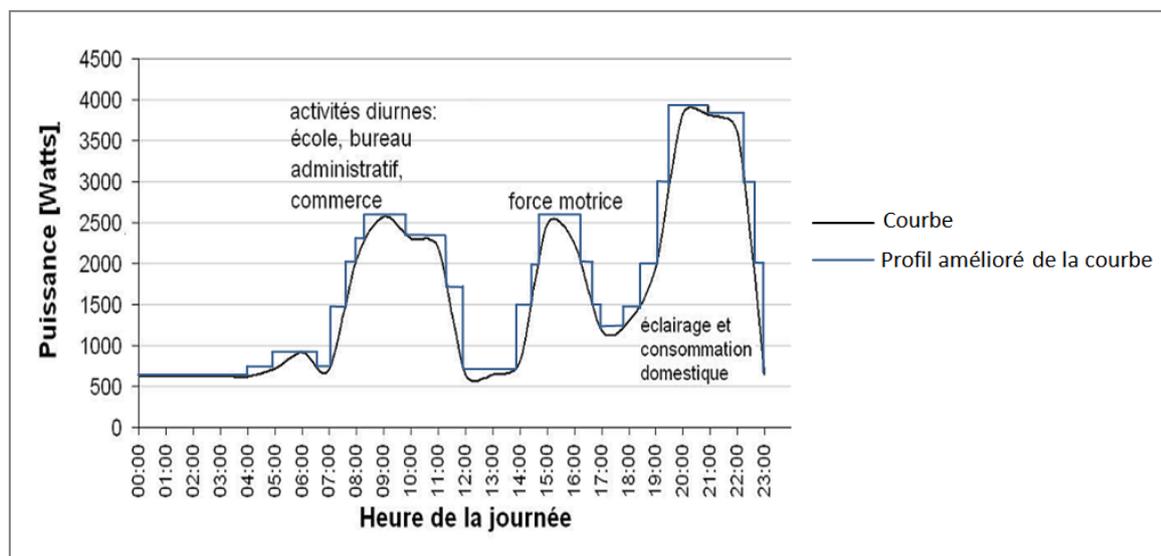
Où :

- ✓ P_i : Puissance électrique du récepteur de type i en (kW) ;
- ✓ P_{eu} : Pertes techniques engendrées par la puissance électrique appelée par les utilisateurs de type u sur le réseau de transport et de distribution ;
- ✓ t_i : Durée moyenne d'utilisation du récepteur de type i en (h) ;
- ✓ n_i : Nombre de récepteurs électrique de type i ;
- ✓ n_u : Nombre d'utilisateurs de type u .

3.2.6. Courbe de la variation horaire de la consommation journalière du village

Après avoir dressé le tableau de variation horaire de l'énergie électrique appelée par les différents utilisateurs du village sur une période de 24 heures, grâce à l'option graphique du logiciel MICROSOFT EXCEL, nous

avons obtenu la courbe y afférente. Et à partir de cette courbe, nous avons tracé un profil amélioré donc l'utilisation rend la phase de dimensionnement un peu plus aisée.



Source : Modèle d'électrification rurale pour localités de moins de 500 habitants au Sénégal

Figure 3.1: Profil amélioré de la courbe de variation horaire de la consommation journalière d'un petit village

Une fois la détermination du profil effectuée, il fallait procéder au dimensionnement de notre mini centrale hybride.

3.3. Dimensionnement du mini central hybride PV/Diesel

Avant de procéder au dimensionnement proprement dit de notre mini centrale, il était indispensable de définir son cahier de charge afin de choisir le type de configuration qui correspond à ce cahier de charge.

3.3.1. Cahier de charge de notre mini centrale

Comme nous pouvons le constater, le profil de la charge ainsi obtenu nous présente de manière détaillé le besoin que nous devons satisfaire, et pour cela nous avons jugé nécessaire de définir pour notre mini centrale hybride un cahier de charge qui devrait nous orienter dans les choix liés à sa conception. Ceci afin qu'elle puisse satisfaire les besoins en électricité du village tels que matérialisés par la courbe de variation horaire journalière de sa charge. Ainsi, le cahier de charge de notre centrale est le suivant :

- ✓ La somme des puissances des différents générateurs doit être supérieure ou égale à la puissance maximale obtenue sur la courbe afin qu'ils puissent à tout instant de la journée satisfaire la demande : Par conséquent ils doivent être montés en parallèle;
- ✓ La mise en parallèle des différents générateurs doit se faire de manière automatique et sans interruption de l'alimentation de la charge ;
- ✓ Les batteries doivent pouvoir être chargées par le groupe électrogène afin de limiter l'impact des journées peu ensoleillées sur le niveau de leurs charges ;
- ✓ Assurer la sécurité des personnes ayant accès au local technique de la mini centrale ;

- ✓ Réduire au maximum les effets du niveau sonore du groupe électrogènes sur les populations se trouvant dans le voisinage direct du site de la centrale.
- ✓ Limiter au maximum l'impact lié à la consommation du diesel en définissant une fraction solaire pour notre mini centrale qui favorise cette limitation.

3.3.2. Fraction solaire journalière de notre mini centrale

La fraction solaire journalière peut se définir comme étant le pourcentage en termes de production que nous aimerions que le générateur PV puisse satisfaire de manière journalière dans la production globale de notre mini centrale. C'est un paramètre très important car il permet de mesurer la performance d'un système énergétique utilisant des sources renouvelables. Elle est définie suivant la formule ci-dessous :

$$\text{Fraction solaire (en \%)} = \frac{E_{jPV} \text{ (en kWh / j)}}{E_{jC} \text{ (en kWh / j)}} = \frac{E_{jPV} \text{ (en kWh / j)}}{E_{jPV} \text{ (en kWh / j)} + E_{jGE} \text{ (en kWh / j)}} \quad (\text{Equation 3.6})$$

Où :

- ✓ E_{jC} : Energie journalière produite par la mini centrale hybride (kWh/j) ;
- ✓ E_{jPV} : Energie journalière produite par le générateur photovoltaïque (kWh/j);
- ✓ E_{jGE} : Energie journalière produite par le groupe électrogène (kWh/j).

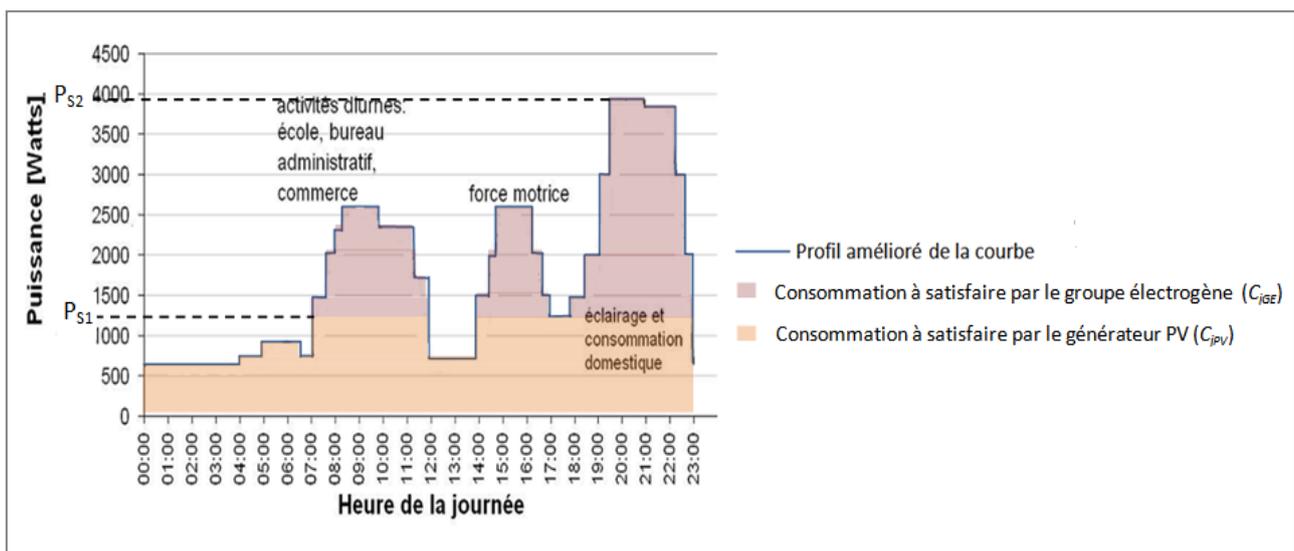
Pour notre mini centrale hybride, nous avons opté pour une injection du solaire pour une fraction solaire supérieur ou égale à 50 %.

Ainsi, Pour définir cette fraction solaire, nous avons découpé notre courbe en deux seuils de puissances P_{S1} et P_{S2} donc la somme permettrait de couvrir la consommation du village quelque soit l'heure de la journée.

En d'autre terme, la relation ci-dessous doit toujours être vérifiée en toute période de la journée :

$$(C_j)_{ti} \leq P_{S1} \text{ (en kW)} \times t_i \text{ (en h)} + [P_{S2} \text{ (en kW)} - P_{S1} \text{ (en kW)}] \times t_i \text{ (en h)} \quad (\text{Equation 3.7})$$

La courbe ainsi divisée, la partie inférieure correspond à la consommation que devrait satisfaire le générateur PV et la partie supérieure celle que devrait satisfaire le groupe électrogène.



Source : Auteur à partir de des logiciels PAINT et WORD

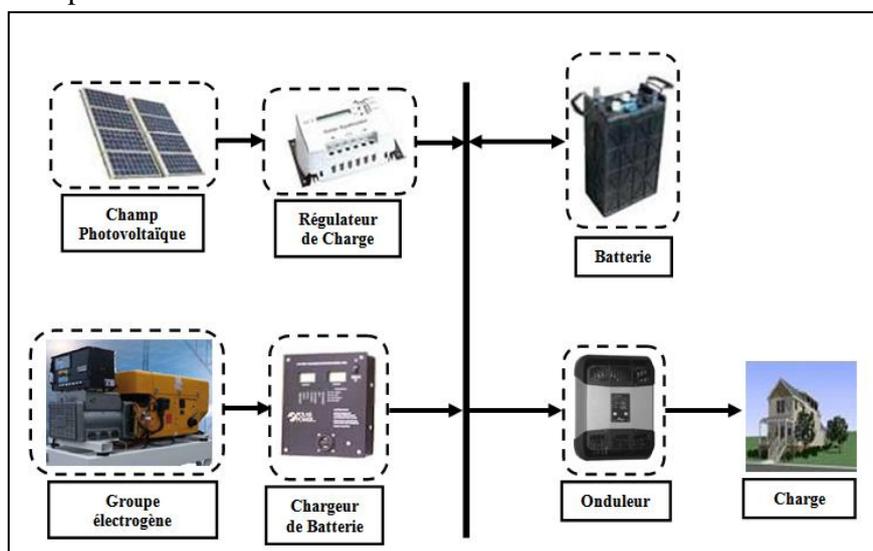
Figure 3.2: Principe de définition de la fraction solaire journalière

3.3.3. Configuration de notre mini centrale et description du fonctionnement

Avant de définir la configuration de notre mini centrale hybride, nous avons estimé qu'il était important de passer en revue les différentes configurations existantes des systèmes hybrides PV/Diesel. On distingue trois types de configuration hybride PV/Diesel [20].

3.3.3.1 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 champ photovoltaïque et l'énergie stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le diesel est débrayé. La puissance en courant continu fournie par le champ et la batterie est convertie en courant alternatif par un onduleur. De plus, il faut noter que dans cette configuration, 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. Le régime de fonctionnement du générateur dépend d'une part de la demande d'énergie et d'autre part, de l'état de charge de la batterie et de la production du champ PV. Le régime de fonctionnement du groupe électrogène dépend d'une part de la demande d'énergie et d'autre part, de l'état de charge de la batterie et de la production du champ PV. On peut également faire appel à un convertisseur CC/CC (MPPT) qui permettra au champ PV de fonctionner à son point maximum de puissance.



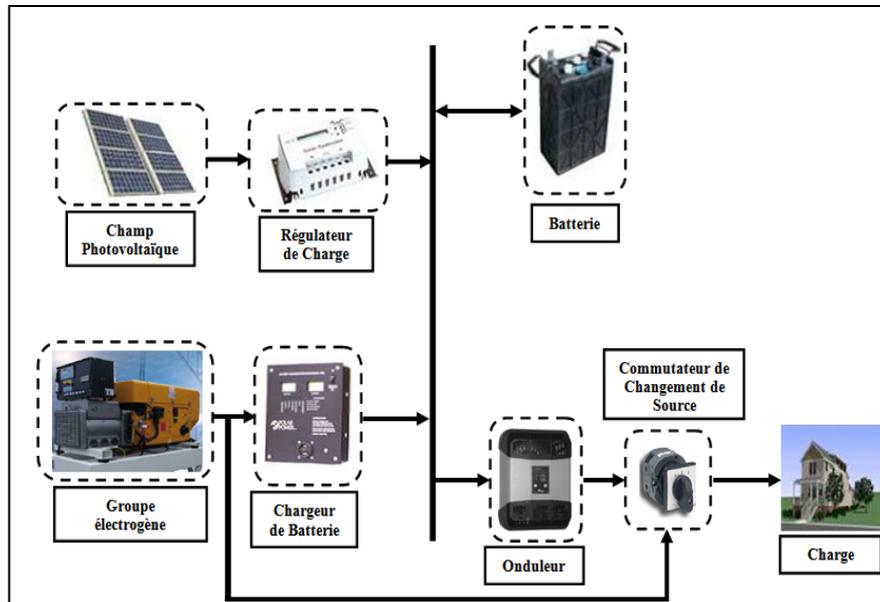
Source : *Revue des énergies renouvelables* vol 10 N°10 (2007)

Figure 3.3: Système hybride PV - Diesel série

3.3.3.2 Configuration hybride PV/ Diesel commuté

Cette configuration est très fréquemment utilisée malgré ses limitations opérationnelles. La charge peut être alimentée soit par le groupe électrogène, soit par l'onduleur alimenté par le champ PV ou la batterie. La batterie peut être chargée par le champ PV et le diesel. En principe, la puissance produite par le générateur est supérieure à la demande de la charge et l'excès est utilisé pour la charge de la batterie. Comme dans le cas précédent, le diesel est arrêté, lorsque la demande peut être satisfaite par le champ PV et la batterie. La

complexité du système implique l'utilisation d'un contrôle automatique à la place de la commande manuelle. Aujourd'hui, certains concessionnaires dans la fabrication des équipements pour systèmes photovoltaïques proposent des chargeurs de batteries qui démarrent automatiquement le groupe électrogène lorsque l'énergie débitée par les batteries et le générateur PV n'est plus suffisante pour alimenter la charge.



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

Figure 3.4: Système hybride PV - Diesel commuté

3.3.3.3. Configuration hybride PV-Diesel parallèle

Dans la configuration parallèle, toutes les sources peuvent alimenter la charge séparément à faible et moyenne demande mais également suppléer les pointes en combinant les sources. L'onduleur bidirectionnel peut fonctionner, soit comme un redresseur lorsqu'il y a un excès d'énergie produite par le diesel pour charger la batterie, soit comme un onduleur, pour transférer l'énergie fournie par le champ photovoltaïque ou par la batterie vers la charge. Grâce à l'onduleur bidirectionnel, le système parallèle peut alimenter une charge supérieure à la puissance nominale du générateur.

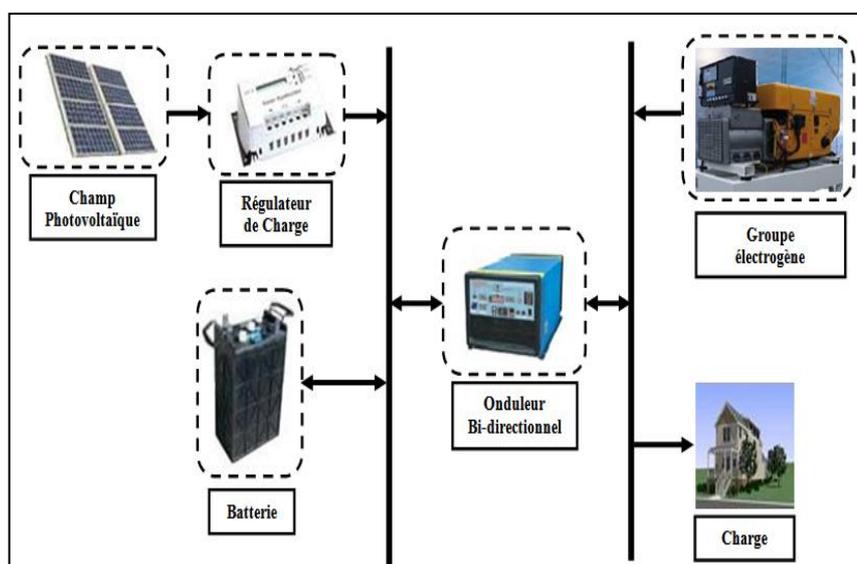
Ce système possède deux améliorations par rapport aux configurations série et commutée. L'association du générateur diesel et de l'onduleur permet l'alimentation d'une charge supérieure à la charge alimentée par chaque élément seul. En principe, la capacité du système est deux fois plus grande dans cette configuration. La possibilité de synchroniser l'onduleur avec le générateur diesel permet une meilleure flexibilité du système et de plus, la puissance nominale du générateur diesel peut être diminuée, ce qui augmente la partie de l'énergie directement utilisée d'où on obtient une augmentation du rendement du système. En utilisant un seul convertisseur comme onduleur et redresseur, on diminue le nombre d'éléments dans le système. De plus, les coûts du câblage et l'installation du système peuvent être diminués par l'intégration de toutes les composantes dans une seule unité, ce qui est avantageux, mais peut empêcher l'augmentation de la taille du système par l'ajout de nouveaux composants si la demande en électricité augmente.

Les avantages:

- L'alimentation de la charge peut être faite d'une manière optimale. Le rendement du générateur diesel peut être augmenté ;
- Le besoin d'une maintenance du diesel est réduit ;
- Les puissances nominales des différents éléments peuvent être diminuées par rapport aux puissances nominales dans les autres configurations, en alimentant toujours la même charge.

Les désavantages:

- Le contrôle automatique est indispensable pour le fonctionnement du système ;
- L'onduleur doit fournir un courant sinusoïdal pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible ;
- Le fonctionnement du système n'est pas évident pour une personne non formée.



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

Figure 3.5: Système hybride PV - Diesel parallèle

Au vue des différentes configurations des systèmes hybrides tels que présenté ci-dessus, nous pouvons constater que la seule configuration qui cadre avec le cahier de charge que nous avons défini pour notre mini centrale est la configuration PV/ Diesel parallèle. C'est cette configuration que nous avons opté pour notre mini centrale.

Sur la figure (3.5) présentant la configuration hybride PV/Diesel parallèle donne une composition globale de cette configuration sans toutefois ressortir l'une des composantes clé pour la mise en œuvre de cette configuration : Le système de synchronisation des générateurs, c'est la raison pour laquelle nous avons jugé indispensable de faire une représentation globale de notre mini centrale hybride en prenant en compte cet équipement.

3.3.3.4. Configuration globale de notre mini centrale hybride PV/Diesel

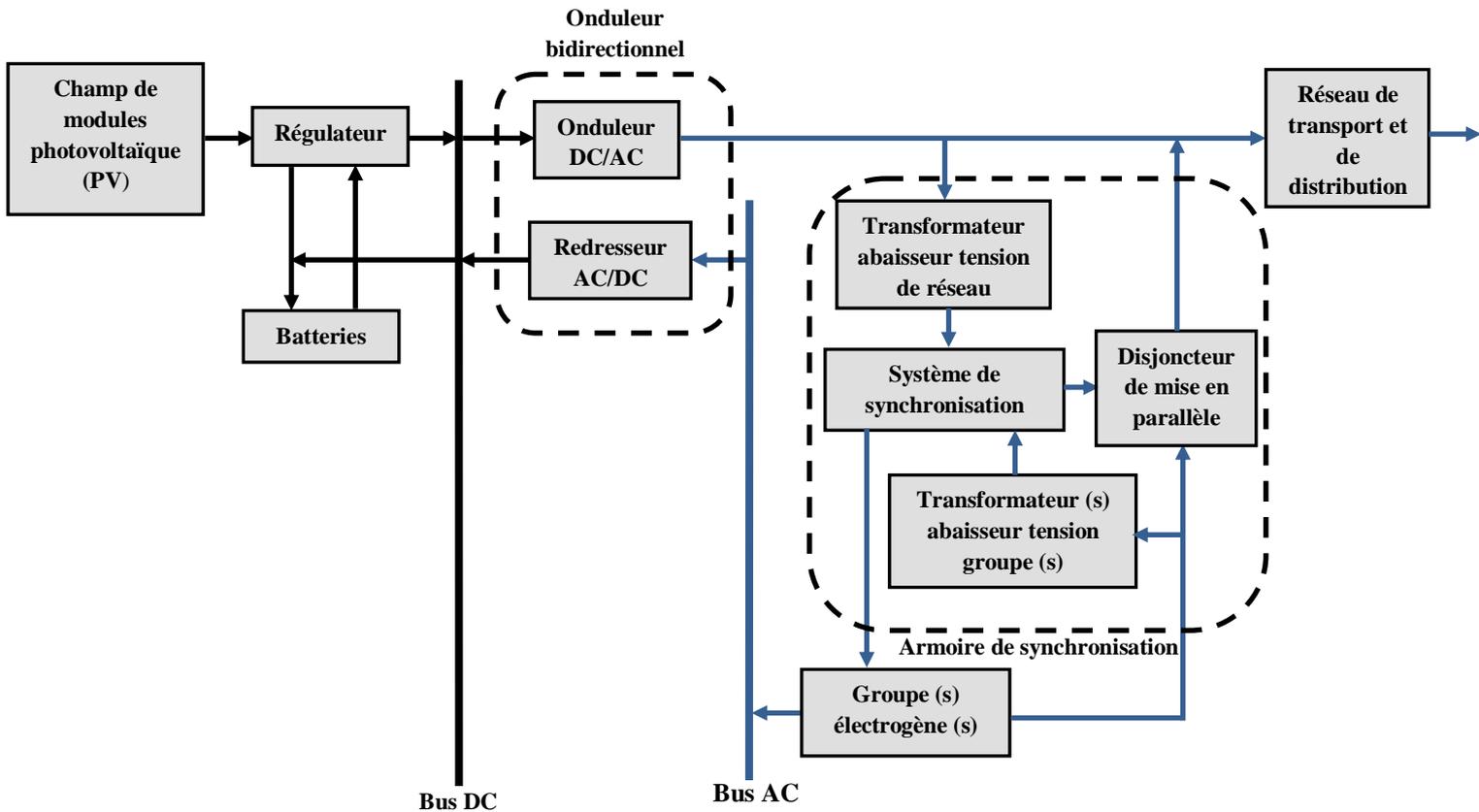


Figure 3.6: Configuration globale de la mini centrale hybride PV/Diesel

3.3.3.5. Description du fonctionnement global de notre mini centrale hybride PV/Diesel

Le *champ de modules photovoltaïques* convertit le rayonnement solaire en courant continu (DC) qui va transiter par le *régulateur* qui assure la charge et la décharge des *batteries*. L'*onduleur bidirectionnel* va dans un premier temps convertir le courant en provenance du champ et transitant par les batteries en courant alternatif (AC) pour l'injecter au réseau de transport et de distribution. A la tombée de la nuit, les batteries vont continuer à alimenter la charge à travers l'onduleur.

Pour les périodes de la journée pendant lesquelles la puissance de la charge est supérieure à la puissance P_{S1} , le *système de synchronisation* démarre le *groupe électrogène* et synchronise sa tension avec celle du réseau. Une fois les deux tensions synchronisées, le système de synchronisation commande la fermeture du *disjoncteur* qui va coupler le groupe électrogène au réseau afin qu'il puisse suppléer l'action du générateur PV dans l'alimentation de la charge.

Pendant le fonctionnement du groupe électrogène, le surplus d'énergie qu'il va produire sera converti par l'*onduleur bidirectionnel* en courant continu pour charger les *batteries*.

La présence des *transformateurs* permet d'abaisser les tensions respectives du réseau et des groupes électrogènes aux différentes entrées du système de synchronisation. Ce sont ces différentes tensions qui représentent les grandeurs d'entrées de notre système de synchronisation.

3.3.4. Dimensionnement et installation du champ photovoltaïque

La conception et le dimensionnement d'un générateur photovoltaïque précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération et de manière impondérable (la météorologie), et surtout de multiples interactions entre les choix. Par exemple, les pertes liées au transport et la distribution doivent être ajoutées à la consommation des récepteurs pour définir la consommation totale du système. Or, le choix de ces paramètres dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation journalière à satisfaire par le générateur PV (C_{jPV}).

3.3.4.1 Consommation journalière à satisfaire par le générateur PV (C_{jPV})

Ici, puisque nous sommes en alternatif, pour le calcul de la consommation journalière du village que doit satisfaire notre générateur PV tiendra compte du rendement de l'onduleur ($\eta_{Onduleur}$). Ainsi, grâce au profil amélioré de la courbe de variation horaire de la charge du village, nous avons dans un premier temps déterminé la consommation (C'_{jPV}) tout simplement en multipliant les différentes puissances par les intervalles de temps pendant lesquelles elles ont été appelées sur le réseau pendant 24 heures.

$$C'_{jPV} \text{ (en kWh/j)} = \sum P_i \text{ (kW)} \times T_i \quad \text{(Equation 3.8)}$$

Où :

- ✓ C'_{jPV} : Consommation journalière du village à satisfaire par le générateur PV (en kWh/j) ;
- ✓ T_i : Temps d'utilisation de la puissance P_i (en heures) ;
- ✓ P_i : Puissance correspondant à l'intervalle de temps T_i (en kW) ;

En tenant compte également du rendement de l'onduleur, nous avons finalement déterminé la consommation grâce à la relation ci-dessous :

$$C_{jPV} \text{ (en kWh/j)} = \frac{\sum P_i \text{ (kW)} \times T_i}{\eta_{Ond} \text{ (en \%)}} \quad \text{(Equation 3.9)}$$

Où :

- ✓ C_{jPV} : Consommation journalière du village à satisfaire par le générateur PV + celle de l'onduleur (en kWh/j) ;
- ✓ C'_{jPV} : Consommation journalière du village à satisfaire par le générateur PV (en kWh/j) ;
- ✓ η_{Ond} : Rendement de l'onduleur en % ;

3.3.4.2. Facteur de conversion du générateur (k_G)

Le facteur de conversion globale k_G est appliqué pour tenir compte des différentes pertes (modules, batteries, convertisseur, onduleur). Déterminé expérimentalement, ce facteur de conversion a pour valeur en général 0,6 (sans unité). Cependant, il se calcule suivant la formule ci-dessous :

$$k_G = k_p \times \eta_{Rég} \times \eta_{Batt} \quad \text{(Equation 3.10)}$$

Où :

- ✓ k_p : Facteur de conversion lié à l'ensoleillement moyen reçu par le module PV pris égal à 0,8 ;
- ✓ $\eta_{Rég}$: Rendement du régulateur pris égal à 0,9 ;
- ✓ η_{Batt} : Rendement de la batterie pris égal à 0,8.

3.3.4.3. Puissance crête du générateur photovoltaïque (P_{cg})

Pour le calcul de la puissance crête nécessaire pour notre système photovoltaïque, nous avons pris en compte le facteur d'évolution (k_e) de la consommation qui nous donne le pourcentage d'augmentation annuelle de la puissance électrique pendant la durée de vie de notre projet. Pour sa détermination, nous avons utilisé la formule ci-dessous [8] :

$$k_e = (1 + \tau_{AD})^{n-1} \quad \text{(Equation 3.11)}$$

Où :

- ✓ τ_{AD} : Taux d'augmentation annuelle (2 %) de la demande en électricité du village de référence (Village B AFOU) qui est une localité rural électricifiée ayant des réalités socio-économiques quasi identique à celle du village NZO'OH ;
- ✓ n : Durée de vie du projet qui est de 20 Ans.

Ainsi le calcul de la puissance crête de notre générateur PV s'est fait à partir de la formule ci-dessous :

$$P_{cg} \text{ (en } W_c) = \frac{C_{jPV} \text{ (en kWh/j)} \times (1kW/m^2)}{k_G \times E \text{ (en kWh/m}^2\text{/j)}} \times k_e \quad \text{(Equation 3.12)}$$

Où :

- ✓ P_{cg} : Puissance crête du champ photovoltaïque PV en kilowatt crête (kW.) c'est-à-dire la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque sous un éclairage de 1000W/m² ;
- ✓ C_{jPV} : Consommation journalière du village à satisfaire par le générateur PV en kWh/j ;
- ✓ k_G : Facteur de conversion globale appliqué pour tenir compte de différentes pertes (modules, batteries, convertisseur, onduleur);
- ✓ E : Energie incidente sur le plan des modules (kWh/m²/j) : Choisir le mois où l'ensoleillement maximum est le plus faible ;
- ✓ k_e : Facteur d'évolution de la consommation (en %).

3.3.4.4. Nombre de modules du générateur photovoltaïque (n_m)

Le nombre de modules du générateur photovoltaïque est calculé suivant la formule ci-dessous :

$$n_m = n_s \times n_{//} \quad \text{(Equation 3.13)}$$

Où :

- n_s : Nombre de module en série
 $n_s = \text{Tension d'utilisation} / \text{Tension du module}$
 $= \text{Tension Batterie} / \text{Tension Module}$
- $n_{//}$: Nombre de branche de module en parallèle
 $n_{//} = \frac{P_{cg}}{P_{cm}} \times \frac{1}{n_s}$

3.3.4.5. Puissance crête du champ installé ($P_{cinstall}$)

La puissance crête installée a été calculée suivant la formule ci-dessous :

$$P_{cinstall} \text{ (en } W_c) = P_{cm} \text{ (en } W_c) \times n_s \times n_{//} \quad \text{(Equation 3.14)}$$

Où :

- ✓ P_{cm} : Puissance crête du module en watt crête ;

- ✓ (W_c) qui dépendra de la puissance des modules que nous choisirons pour notre champ.

3.3.4.6. Installation des modules du champ photovoltaïque

▪ Orientation et l'inclinaison des modules

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour une utilisation maximum.

On appelle orientation, le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (Sud, Nord, Est et Ouest...). L'orientation idéale d'un module photovoltaïque obéit à une règle vers l'équateur :

- ✓ Orientation vers le sud dans l'hémisphère Nord ;
- ✓ Orientation vers le nord dans l'hémisphère Sud.

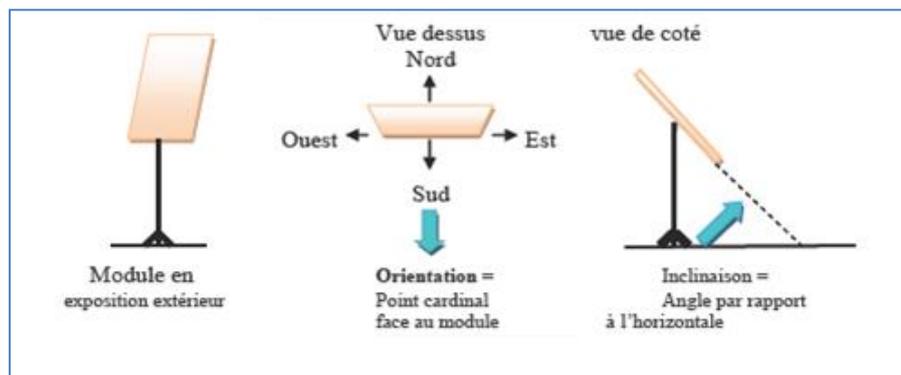
Précisons ici que lors de l'installation des modules, l'utilisation de la boussole nous donne le NORD et le SUD magnétique. Donc il faudra tenir compte de la déclinaison qui est la différence entre l'angle entre le NORD ou le SUD magnétique et NORD ou SUD géographique.

- ✓ L'inclinaison quant à elle indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal. Sa mesure se fait donc en degré. L'angle d'inclinaison se détermine à partir de la formule ci-dessous:

$$\text{Inclinaison (en } ^\circ) = \text{Latitude du site} + 10 ^\circ$$

(Equation 3.15)

La figure ci-dessous illustre le principe d'orientation et d'inclinaison d'un module photovoltaïque.



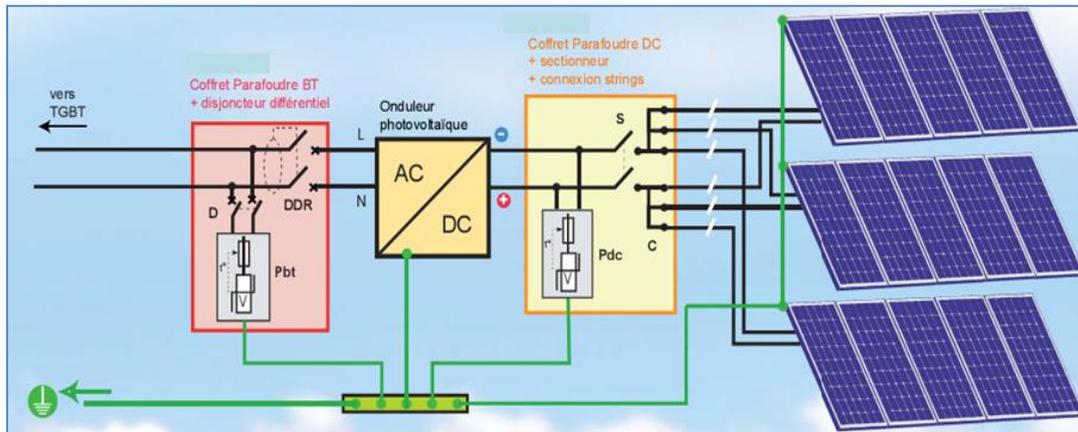
Source : Mémoire master M2GEER 2iE Promotion 2009/2010 de NZIETCHUENG Yves Mathurin

Figure 3.7 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

▪ Protection des modules PV contre les impacts de la foudre

Les champs photovoltaïques sont généralement sujets à risque compte tenu de leur surface importante et de leur structure complexe. Les interruptions de production pour cause de foudre doivent être prévenues par des mesures de protection contre les surtensions occasionnées par les impacts de la foudre. Ces mesures doivent être coordonnées techniquement et économiquement. Ainsi, il est indispensable d'installer une

mise à la terre afin d'assurer cette protection. Pour ce faire, toutes les parties métalliques devront être reliées entre elles en un seul point qui sera relié au piquet de mise à la terre. La figure ci-dessous illustre mieux le principe de mise à la terre des modules photovoltaïques.



Source : Plaquette CITEL Sécurité des installations photovoltaïques

Figure 3.8: Schéma de principe pour la mise à la terre des modules PV

3.3.5 Calcul de la capacité de stockage (C_s) et choix de la technologie

3.3.5.1 Calcul de la capacité de stockage (C_s) et choix de la technologie

Les systèmes de stockage couramment utilisés dans les installations solaires photovoltaïques sont des batteries d'accumulateur au plomb ou au cadmium nickel avec des taux de décharge maximum respectifs de l'ordre de 70% à 80%. Les caractéristiques des accumulateurs au plomb et au nickel cadmium sont présentées dans le tableau de l'annexe 1. La capacité de stockage requise pour notre système a été calculée suivant la formule ci-dessous :

$$C_s \text{ (en Ah)} = \frac{E_{\text{Batt}} \text{ (en Wh/j)} \times \text{Autonomie (en jours)}}{U_{\text{Batt}} \times \eta_{\text{Batt}} \times D_{\text{max}}} \quad (\text{Equation 3.16})$$

Où :

- ✓ C_s : Capacité de stockage en Ampère heure (Ah) ;
- ✓ Autonomie : On appelle nombre de jours d'autonomie, la période pendant laquelle la batterie peut alimenter seule l'installation à toute période de l'année (les panneaux étant considérés comme absents) ;
- ✓ E_{Batt} : Quantité d'énergie que l'on veut stocker dans les batteries afin qu'elles puissent de manière autonome satisfaire la consommation du village pendant la période pour laquelle elles ont été dimensionnées ;
- ✓ U_{Batt} : Tension d'utilisation en Volt (V) qui dépend de la tension d'entrée de l'onduleur choisi (48 V dans notre cas) ;
- ✓ η_{Batt} : Rendement de la batterie (85% dans notre cas) ;
- ✓ D_{max} : Décharge maximum de la batterie qui dépend des prescriptions du fabricant (50% dans notre cas).

3.3.5.2 Calcul du nombre de batteries (n_{Batt}) et choix de la technologie

Le nombre de batteries est calculé suivant la formule ci-dessous

$$n_{Batt} = n_{Bs} \times n_{B//} \quad (\text{Equation 3.17})$$

Avec :

- n_{Bs} : Nombre de batteries en séries
 $n_{Bs} = \text{Tension du champ PV} / \text{Tension de batteries}$
- $n_{B//}$: Nombre de branche de batteries en parallèle

$$n_{B//} = \frac{C_s}{C_{Batt}}$$

3.3.6 Choix du régulateur de charge et de décharge des batteries

La totalité du courant généré par les modules photovoltaïques doit passer par le régulateur de charge et de décharge des batteries. Celui-ci est dimensionné de manière à pouvoir protéger les batteries contre la surcharge et décharge profonde. Le choix de la technologie du régulateur (SHUNT, SERIE ou MPPT) est d'abord guidé par la puissance du système photovoltaïque et par le type de batterie à charger.

Pour notre système, nous avons décidé d'utiliser la technologie MPPT, parce que la technologie de ce régulateur est sans doute la meilleure ; il convient à notre application compte tenu de sa grande puissance. Ce régulateur nous garantit une récupération maximale de la puissance provenant des panneaux photovoltaïque en mesurant en permanence le courant et la tension ; de plus, il stoppe la charge lorsque celle-ci est terminée. Ce régulateur peut travailler dans une vaste gamme de température. Le tableau de l'annexe 2 montre les différents types de régulateurs avec leurs avantages et inconvénients.

Nous avons dimensionné le régulateur suivant les paramètres ci-dessous :

- **Tension nominale d'entrée** (12, 24 ou 48 V DC) : elle doit être celle du champ photovoltaïque qui dans notre cas a été prise égale à 48 V. (Voir en annexe 3 Le tableau des tensions recommandés);
- **Courant d'entrée** (I_{er}) : c'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter à un instant donné et doit être supporté sans problèmes par le régulateur. Pour estimer ce courant, il est préférable de prendre 1,5 fois l'intensité maximale du courant de court-circuit (I_{ccmax}) générée par les modules photovoltaïques avec respectivement I_{ccm} et $n_{//}$ le courant de court-circuit d'un module et le nombre de branches de modules en parallèle. Ceci afin de prévenir les augmentations instantanées de l'ensoleillement au dessus de 1000 W/m² :

$$I_{er} = 1,5 \times I_{ccm} \times n_{//} \quad (\text{Equation 3.18})$$

- **Puissance d'entrée du régulateur** (P_{er}) : c'est le courant total maximal que peuvent tirer les récepteurs simultanément. Il dépend du mode d'utilisation des récepteurs. L'intensité nominale à la sortie du régulateur est exprimé par :

$$P_{er} \text{ (en } W_c) \geq P_{cinstall} \text{ (en } W_c) /$$

(Equation 3.19)

3.3.7 Choix de l'onduleur bidirectionnel

Comme nous l'avons mentionné un peu plus haut, l'onduleur bidirectionnel peut fonctionner, soit comme un redresseur lorsqu'il y a un excès d'énergie produite par le diesel pour charger la batterie, soit comme un onduleur, pour transférer l'énergie fournie par le champ photovoltaïque ou par la batterie vers la charge.

Pour son choix, nous avons utilisé les paramètres ci-dessous :

▪ Partie onduleur

Puissance d'entrée : $P_{\text{Entrée/ Ond}} (\text{en kW}) \geq P_{\text{cinstall}} (\text{en kWc})$ (Equation 3.20)

Puissance de sortie : $P_{\text{Sortie/ Ond}} (\text{en kW}) \geq P_{\text{cinstall}} (\text{en kWc}) \times \eta_{\text{Ond}} > P_{S1} (\text{en kW}) \times k_e$ (Equation 3.21)

Où P_{S1} est le premier seuil de puissance issue de la division du profil amélioré de la courbe de variation horaire lors de la définition de la fraction horaire et k_e le facteur d'évolution de la consommation.

▪ Partie redresseur

Puissance d'entrée : $P_{\text{Entrée/ Red}} (\text{en kWc}) \leq (1/5) [U_{\text{Batt}} (\text{en V}) \times C_s (\text{en Ah})] / \eta_{\text{Red}}$ (Equation 3.22)

Puissance de sortie : $P_{\text{Sortie/ Red}} (\text{en kWc}) \leq (1/5) [U_{\text{Batt}} (\text{en V}) \times C_s (\text{en Ah})]$ (Equation 3.23)

L'utilisation de 1/5 est du au fait que, selon le SANDIA NATIONAL LABORATORIES le courant de charge des batteries ne doit pas excéder 1/5 de leurs capacité [20].

3.3.8 Calcul des sections des câbles de connexion des éléments du générateur PV

Avant de calculer les sections de câbles, il était indispensable de définir un le plan de câblage électrique global de l'installation. Pour faciliter cette étape, nous avons fait une estimation des longueurs susceptibles d'exister entre les différentes composantes du générateur photovoltaïque :

Différentes distances	Longueurs
Modules PV - Régulateur	10 m
Régulateur – Boîtier de raccordement	10 m
Régulateur - Batteries	10 m
Batteries - Onduleur	5m
Onduleur - TGBT	5m

Tableau3.2: Estimation des distances entre éléments du générateur PV

Une fois ces différentes longueurs estimées, nous avons calculé les différentes sections suivant les formules suivantes :

- En DC :

$$S (\text{en mm}^2) = \frac{L (\text{en m}) \times \rho (\text{en } \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}) \times I (\text{en Ampère})}{\Delta U}$$

(Equation 3.24)

- En AC triphasé équilibré : trois phases (avec ou sans neutre)

Précisons ici que le choix des sections des câbles se fait à partir de la puissance de sortie de l'onduleur. Nous avons déterminé l'intensité du courant à transporté (I_T) auquel nous avons appliqué les facteurs de corrections K_1 , K_2 , K_3 , K_4 relatif au mode de pose, la température ambiante, nombre de câbles dans la tranchée, et résistivité thermique du sol pour trouver l'intensité du courant fictif (I_F) à partir du quel nous avons déterminé grâce au tableau des câbles souterrains la section correspondante.

(Voir annexe 6 pour les tableaux relatifs à la détermination des facteurs de correction et de la section des câbles souterrains).

Ainsi, à partir des relations ci-dessous, nous avons pu déterminer la section des câbles :

$$I_T = \frac{P_{Ond}}{\sqrt{3} \times U_{Ond} \times \cos\phi} \quad \text{Et} \quad I_F = \frac{I_T}{K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4} \quad (\text{Equation 3.25})$$

Où :

- ✓ P_{Ond} est la puissance transportée par les câbles (en kW) ;
- ✓ U_{Ond} est la tension du groupe électrogène (en V) ;
- ✓ $\cos\phi$ est le facteur de puissance du réseau ;
- ✓ K_1 est le facteur de correction liée au mode de pose ;
- ✓ K_2 est le facteur de correction en fonction de la température ambiante ;
- ✓ K_3 est le facteur de correction en fonction du nombre de câble dans la tranchée ;
- ✓ K_4 est le facteur de correction en fonction de la résistivité thermique du câble.

Une fois la section des câbles déterminés, nous avons calculé grâce à la relation ci-dessous la chute de tension afin de se rassurer qu'elle était en dessous des valeurs admissibles.

$$\Delta U (\text{en V}) = \sqrt{3} \times I [R (L / S) \times \cos\phi + X L \times \sin\phi] \quad (\text{Equation 3.26})$$

Où:

- ✓ ρ : Résistivité du matériau: 0,0225 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ pour le cuivre et 0,036 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ pour l'aluminium.
- ✓ L : la longueur du conducteur (m) ;
- ✓ S : Section des conducteurs en mm^2 ;
- ✓ $\cos\phi$: Facteur de puissance: le facteur de puissance est pris égal à 0,9 ($\sin\phi = 0,6$) ;
- ✓ X : Réactance linéique des conducteurs; en l'absence d'autres indications
 $X = 0,08 \text{m}\Omega / \text{m}$;
- ✓ I : l'intensité de courant qui traverse le conducteur ;
- ✓ ΔU : Chutes de tension en volts (V) respectivement entre phases et entre phase et neutre qui doit être $\leq 5\%$ [5].

3.3.9 Dimensionnement et installation des groupes électrogènes

3.3.9.1. Choix du nombre et dimensionnement des groupes électrogènes

Pour le choix du nombre de groupes électrogènes, dans le souci d'éviter un fonctionnement récurrent en dessous de 30 à 50 % de la puissance nominale qui est préjudiciable au groupe électrogène, nous avons opté pour deux groupes de puissances différentes. Le premier pour suppléer le générateur PV pour les pointes moyennes et le second pour suppléer le générateur PV et le premier groupe pour les pointes plus

élevées. Pour cet exercice, nous avons également utilisé la répartition faite du profil amélioré de la courbe de variation de la charge horaire journalière du village lors de la définition de la fraction solaire.

Et grâce à la puissance P_{S2} , nous avons obtenu en kW la valeur de l'expression $[P_{S2} - P_{S1}]$, qui représente la puissance que devrait posséder le groupe électrogène de notre mini centrale. Grâce à cette puissance et au profil de la charge, nous avons défini les puissances de nos deux groupes électrogènes tout en tenant compte du facteur d'extension de la demande (ke).

Une fois ces puissances définis, puisque parmi nos différentes charge nous avons les moteurs des différents moulins, il fallait se rassurer que la puissance du groupe que nous avons trouvé pouvait prendre en compte l'impact liée au démarrage de ces moteurs. Pour ce fait, sachant qu'au démarrage, nous avons généralement le courant de démarrage $I_d = 7$ à 5 fois le courant nominal I_n et un facteur de puissance au démarrage $\cos\phi_d < \cos\phi$, nous avons calculé la puissance active des moteurs au démarrage :

$$P_{T2} = \sqrt{3} \times U \times I_d \times \cos\phi_d + \dots + \sqrt{3} \times U \times I_{dn} \times \cos\phi_{dn}$$

Puis nous avons vérifié la véracité de la relation: $P_{T2} \leq 0,66 \times [P_{GE1} + P_{Ond}]$

En définitive, nous choisirons une puissance des groupes électrogènes telle que :

$$0,85 \text{ à } 0,9 \times \Sigma \text{ Puissance des groupes} + \text{Puissance de l'onduleur} \geq \text{Puissance de la charge du village.}$$

3.3.9.2. Installation du groupe électrogène

Calcul de l'épaisseur de la dalle de béton :

Après la lecture du poids et des dimensions (*Longueur* \times *largeur*) sur la fiche technique du catalogue constructeur, nous avons :

- Estimé le poids du massif bétonné = $1,5 \times$ poids du Groupe Electrogène ;
- En augmentant une marche de 250mm de chaque côté du GE, nous avons obtenu :

$$L' = \text{Longueur} + 250 \text{ mm} ; l' = \text{longueur} + 250 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad S = L' \times l'$$

Sachant que $V = e \times S$ et $M = \rho \times V$ ($\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$), nous avons déterminé l'épaisseur du massif suivant la formule ci-dessous :

$$e_{MGE} \text{ (en m)} = M / \rho \times S$$

(Equation 3.27)

Calcul du niveau sonore du groupe :

Concernant le niveau sonore des groupes électrogènes, la réglementation française impose un maximum de 85 dB à 1 m [3]. Pour notre projet, a partir du niveau sonore donné par le catalogue constructeur, sachant que la réduction du bruit se fait généralement au moyen de :

- Silencieux : Réduction de -10 dB ;
- Murs + Abat-sons : Réduction de -30 dB ;
- La réduction par éloignement 3 dBA par doublement de distance.

En prescrivant la construction d'un local pour les groupes électrogènes à une certaine distance du local technique de la centrale et l'utilisation d'abat-sons, ceci permettait d'obtenir un niveau sonore raisonnable.

Calcul de la taille de la cuve de fuel pour un approvisionnement mensuel :

Pour ce calcul, nous avons eu besoin de la consommation (**Litres / heures**) du groupe qui est donnée par le catalogue fournisseur. Ainsi, nous avons trouvé la consommation (en **litres / heure / kVA**) par **kVA**.

Grâce au profil de la charge du village et les différents cycles de consommation que devraient satisfaire le groupe électrogène, nous avons déterminé les différents temps de fonctionnement du groupe (t_{FG}) aux quels nous avons associé la charge du village (P_{FG}) correspondant à ces différents temps, afin de trouver sa consommation journalière (C_{jGE}) en **litres / jour** et par la suite sa consommation mensuelle (C_{mGE}) en **litres / mois** grâce à la formule suivante :

$$C_{mGE} \text{ (en litres / mois)} = [\sum P_{FG} \times t_{FG} \times C_{GE/kVA}] \times 30 \quad \text{(Equation 3.28)}$$

Cependant, il faudrait préciser que dans la réalité, à demi-charge ou moins, le rendement du groupe ne sera pas optimum, on aura une consommation supérieure d'environ 20 % pendant la durée des charges (Voir annexe 5). Ce paramètre sera pris en considération lors du dimensionnement de la cuve de fuel.

Section des câbles de liaisons :

Précisons ici que pour le choix des sections des câbles, à partir de la puissance de chaque groupe électrogène, nous avons déterminé l'intensité du courant à transporté (I_T) auquel nous avons appliqué les facteurs de corrections K_1, K_2, K_3, K_4 relatif au mode de pose, la température ambiante, nombre de câbles dans la tranchée, et résistivité thermique du sol pour trouver l'intensité du courant fictif (I_F) à partir du quel nous avons déterminer grâce au tableau des câbles souterrains la section correspondante.

(Voir annexe 1 et 4 pour les tableaux relatif à la détermination des facteurs de correction et de la section des câbles souterrains).

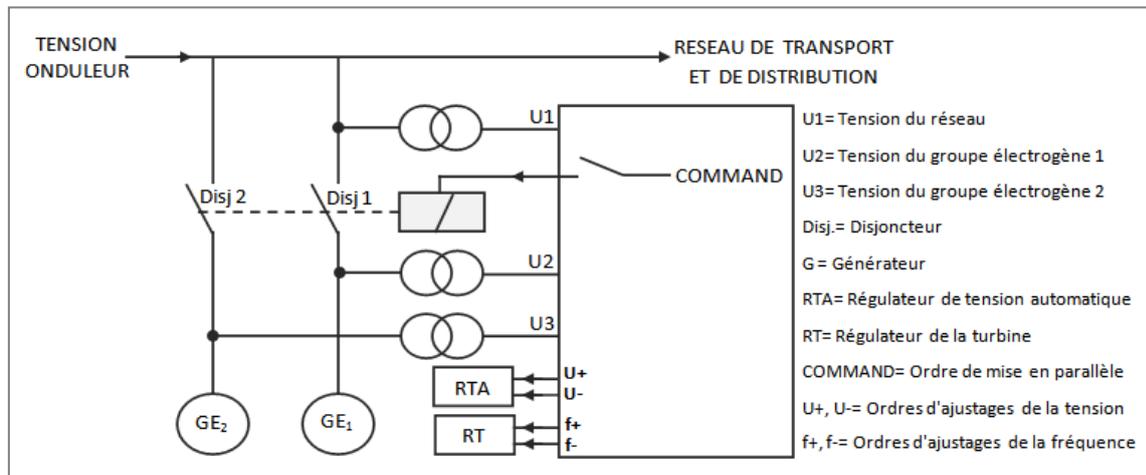
Ainsi, dans l'équation 3.26, en remplaçant la puissance de l'onduleur par la puissance du groupe électrogène, nous avons pu déterminer la section des câbles.

Une fois les sections des câbles déterminées, nous avons calculé grâce à l'équation 3.27 la chute de tension afin de se rassurer qu'elle était en dessous des valeurs admissibles.

3.3.10 Le système de synchronisation

Dans toute installation productrice d'énergie où des générateurs doivent être mis en parallèle pour alimenter un réseau de distribution, des systèmes de synchronisation doivent être installés. En effet, les disjoncteurs ne doivent être fermés que lorsque les tensions en présence sont proches du synchronisme. Dans le cas contraire, des dérangements du réseau, un stress de la machine voir dans un cas extrême des dégâts matériels peuvent s'en suivre. Le système de synchronisation se charge de cette fonction de manière sûre et

fiable, que cela soit en tant qu'élément de contrôle d'une synchronisation manuelle, ou comme système de synchronisation automatisé totalement indépendant. La figure ci-dessous présente de manière simplifiée le schéma électrique du système de synchronisation de notre mini centrale hybride.



Source : Plaquette SYNCHROACT ABB

Figure 3.9: Schéma électrique simplifié d'un système de synchronisation de deux générateurs

3.3.11 Le régime du neutre

Précisons que le régime du neutre pour une installation électrique permet de protéger les personnes contre les défauts d'isolement. La norme C15-100 définit trois régimes de neutre caractérisés par deux lettres : La première définit la relation entre le neutre de l'alimentation et la terre. **T** signifie que ce point est relié directement à la terre (liaison très basse impédance) alors qu'un **I** signifie qu'il est isolé (liaison par une forte impédance).

La seconde permet de préciser la relation entre les masses de l'installation et la terre. Un **T** signifie, là encore, une liaison directe (basse impédance) alors qu'un **N** signifie que les masses sont reliées au neutre de l'installation.

Les différents types de connexion rencontrés sont **TT**, **TN** et **IT**. Ils offrent tous la même efficacité en ce qui concerne la sécurité des personnes mais diffèrent en termes de disponibilité de l'énergie et de maintenance.

Ainsi, nous préconisons pour notre centrale le régime **TT** car c'est celui le mieux adapté pour notre mini centrale.

En effet le régime **IT** ne saurait être envisageable car pour sa mise en œuvre, il est indispensable que nous ayons deux récepteurs dans le local technique de la centrale. Or le véritable récepteur dans notre centrale est le système de synchronisation. Et c'est la raison pour laquelle nous avons préconisé le régime **TT** pour le local technique de notre centrale.

Le choix de ce régime nous impose l'utilisation d'un disjoncteur différentiel résiduel (DDR) afin que la protection des personnes contre les défauts d'isolement soit assurée.

$$I_{\Delta n} = \frac{U_L}{R_m}$$

(Equation 3.29)

Où :

- ✓ U_L : Tension limite (50 V pour un local sec et 25 V pour un local humide) ;
- ✓ R_m : résistance de la prise de terre (100 Ω).

3.3.12 Schéma électrique de la centrale

C'est le schéma sur lequel nous allons ressortir toutes les connections électriques entre les différentes composantes de notre centrale électrique. Pour sa réalisation, nous avons utilisé le logiciel de dessin MICROSOFT WORD.

3.4. Dimensionnement du réseau de transport et distribution

C'est le réseau de transport qui assurera le transport de l'énergie produite au niveau de notre centrale jusqu'au niveau de l'utilisateur. Précisons ici qu'il sera question d'un réseau de transport et distribution BT aérien triphasé. Dans cette phase de dimensionnement du réseau de transport et distribution, il a été question pour nous de procéder aux étapes suivantes :

- Dresser le schéma topographique de la distribution des puissances ;
- Procéder aux calculs électriques des lignes du réseau de transport BT aérien ;
- Procéder aux calculs mécaniques des lignes du réseau de transport BT aérien.

3.4.1. Calcul électrique des câbles du réseau

Les lignes du réseau de transport BT seront constituées de conducteurs isolés torsadés assemblés en faisceaux tendus sur les poteaux en bois. Ces faisceaux sont les conducteurs pré assemblés avec 3 conducteurs de phase en aluminium, un conducteur de neutre en almelec et deux conducteurs d'éclairage public en aluminium. Les caractéristiques des conducteurs utilisées pour la construction des réseaux BT aériens conformément à la norme NF- C33-209 sont données par le tableau de l'annexe 8.

Ainsi, il a été question pour nous dans cette phase d'effectuer plusieurs tests en cherchant à dimensionner le réseau BT à moindre coût. Pendant ces tests, nous avons vérifié que l'utilisation de conducteurs BT de section choisie satisfait les contraintes en courants admissibles et en chute de tensions. Les deux contraintes auxquelles est soumis le choix des sections des câbles dans un réseau de distribution BT sont les suivantes :

- Contrainte en courant admissible

On calcule d'abord l'intensité transportée (I_T) par les câbles :

$$I_T = \frac{P_T}{\sqrt{3} \times U_{réseau} \times \cos\phi}$$

(Equation 3.30)

Où :

- ✓ P_T est la puissance transportée par les câbles (en kW) ;
- ✓ U_T est la tension du réseau (en V) ;

✓ $\cos\phi$ est le facteur de puissance du réseau.

On vérifie dans le tableau des câbles alu faisceau de distribution aérienne (Autoporté) BT (Voir annexe 8) si la section de câble choisie (25 mm^2 , 35 mm^2 , 50 mm^2 , 70 mm^2 pour le transport et 16 mm^2 pour éclairage publique) admet dans les conditions normales l'intensité (I_T) trouvée.

- Contrainte de chute de tension

$$\frac{\Delta U}{U} \text{ (en \%)} = \sqrt{3}UI\cos\phi \times L \times \frac{R_0 + X_0 \operatorname{tg}\phi}{U^2} \times 100 = P \times L \times k < 10\% \quad (\text{Equation 3.31})$$

Précisons ici que pour les réseaux BT aériens neufs, $\Delta U/U < 10\%$ [4]

Avec $K = \frac{R_0 + X_0 \operatorname{tg}\phi}{U^2} \times 100$ et $P = \sqrt{3}UI\cos\phi$

Où :

- ✓ R_0 = Résistance linéique du tronçon en Ω/km ;
- ✓ X_0 = Réactance linéique du tronçon en Ω/km ;
- ✓ $\operatorname{tg}\phi$ = Tangente moyenne supposée du groupe = 0,5;
- ✓ U = Tension composée du réseau ;
- ✓ P = Puissance transitant dans le tronçon en kW ;
- ✓ L = Distance du tronçon en km.
- ✓

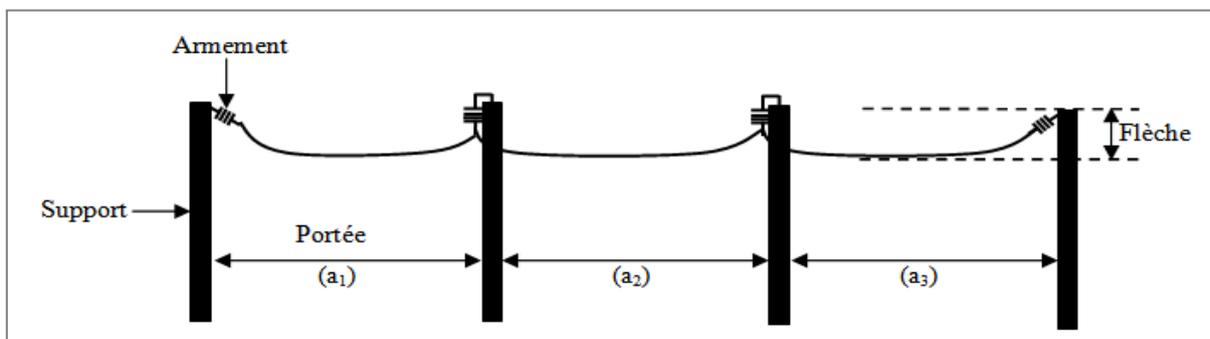
Pour quelques conducteurs, la valeur de k est donnée dans le tableau de l'annexe 7.

3.4.2. Calcul des éléments mécaniques des lignes du réseau

3.4.2.1 Différents éléments mécaniques d'un réseau de transport et de distribution

Les éléments mécaniques des lignes du réseau de distribution BT aérien que nous devons choisir pour la matérialisation de notre réseau sont les suivants :

- Les supports ;
- La flèche ;
- Armement ;
- Profondeurs de fouille pour fondation.



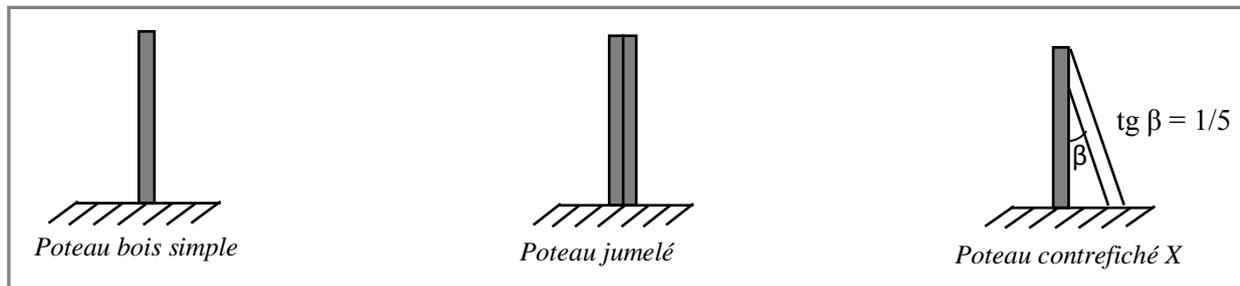
Source : Auteur réalisation grâce au logiciel MICROSOFT WORD

Figure 3.10: Eléments mécaniques d'une ligne de distribution aérienne BT en milieu

3.4.2.2 Différents types de supports utilisés

Les supports utilisés pour la construction des réseaux de distribution BT en milieu rural au Cameroun sont les poteaux bois. Au Cameroun, l'essence de bois utilisée est dénommée Eucalyptus SALIGNA. Le cahier des prescriptions techniques de la construction des ouvrages de distribution en électricité au Cameroun proposé par l'entreprise AES-SONEL préconise pour la construction des réseaux de distribution BT en milieu rural les supports suivants :

- Les poteaux en bois simples de 9 m d'hauteur pour des angles $\alpha \leq 30^\circ$;
- Les poteaux jumelés de 9 m d'hauteur pour des angles $30^\circ < \alpha \leq 60^\circ$;
- Les poteaux contrefichés X de 9 m d'hauteur pour des angles $60^\circ < \alpha \leq 90^\circ$.



Source : Auteur réalisé grâce au logiciel WORD MICROSOFT

Figure 3.11: Types de supports pour la construction d'une ligne de distribution aérienne BT en milieu rural

Précisons cependant que pour chaque type de support, on distingue plusieurs classes (A, B, C, D, E, F) qui sont définies par le facteur de résistance transversale c , rapport des moments résistants dans le plan perpendiculaire à l'effort nominal et dans celui de l'effort nominal. Ainsi, le choix d'une classe est fortement lié aux différents efforts auxquels sont soumis les supports.

3.4.2.3 Calcul des différents efforts sur les supports

Les conducteurs exercent sur les supports des efforts variés dont le calcul peut s'effectuer en tenant compte séparément des forces produites par le vent et la traction propre des conducteurs. Dans le cadre de notre projet, nous avons considéré que les supports sont au même niveau et dans ces circonstances, n'interviennent que des efforts horizontaux sur les supports. Et l'effort horizontal total qui s'exerce sur un support est la résultante :

- Des efforts transmis par les conducteurs et qui sont dus :
 - ✓ A l'action du vent sur ceux-ci ;
 - ✓ A leur tension mécanique.
- Des efforts dus au vent sur le support lui-même et son armement :
 - ✓ Ferrures et isolateurs.

En fonction de l'emplacement du support (supports d'alignement et les supports d'arrêt), le calcul de l'effort se fait différemment. Pour ce calcul des efforts dans le cadre de notre projet, les hypothèses de calculs

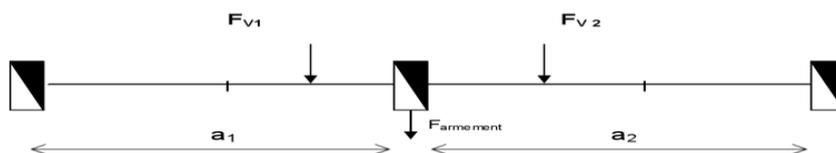
utilisées correspondent aux conditions de vent extrême telles que donnée dans le cahier des prescriptions technique d'AES-SONEL qui sont les suivantes :

- Température : **25° C**
- Pression du vent sur :
 - ✓ Surfaces planes des supports: **120 daN/m²** ;
 - ✓ Surfaces cylindriques des supports : **72 daN/m²** ;
 - ✓ Conducteurs : **48 daN/m²**.

Effort sur les supports d'alignement :

Un support d'alignement doit résister à l'effort du vent sur les conducteurs des deux demi-portées adjacentes, et sur le support lui-même et son armement. Pour les armements, on prendra les valeurs forfaitaires suivantes :

$$F_{armement} = 15daN \text{ à } 180Pa, 25daN \text{ à } 480Pa, 30daN \text{ à } 570Pa \text{ et } 35daN \text{ à } 640Pa$$



Comme les efforts sont dans la même direction, on calculera les efforts suivant la formule ci-dessous [] :

$$F = \frac{1}{k} (F_{V1} + F_{V2} + F_{armement}) = \frac{1}{k} \left[n \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) V \frac{daN}{m} + F_{armement} \right] \quad \text{(Equation 3.32)}$$

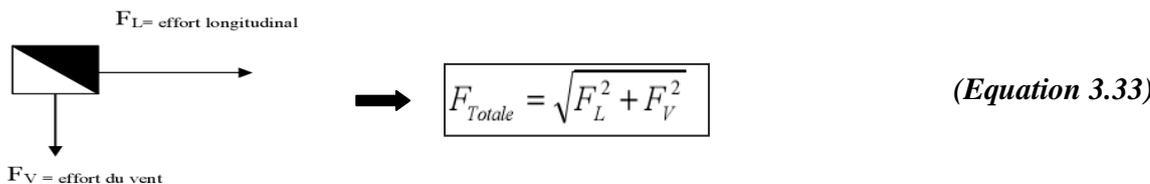
Avec :

- ✓ n = nombre de conducteurs ;
- ✓ V = effort linéique du vent sur les conducteurs ;
- ✓ $F_{armement}$ = effort sur l'armement ;
- ✓ k = coefficient de déclassement tenant compte du décalage du point d'appui des efforts dus aux conducteurs par rapport à la référence normalisée qui est de 0,25m sous le sommet du support (en général, $k = 0,9$ pour les armements d'alignement et $k=1$ pour les nappes d'angle et d'arrêt fixées à 0,25m sous le sommet) ;
- ✓ a_1 et a_2 sont exprimés en mètres, ce sont les longueurs des deux portées adjacentes.

Une fois F calculé, nous utilisons les tableaux de l'annexe 8 pour déterminer la classe du type de support correspondant à l'effort obtenu.

Effort sur les supports d'arrêt :

Un support d'arrêt est soumis à l'effort de traction des conducteurs dans le sens de l'effort nominal du poteau et à l'effort du vent dans le sens transversal.



Avec : $F_V = F_{Vc} + F_{armement} = n v \frac{a_1}{2} + F_{armement} \text{ daN}$

- ✓ n : nombre de conducteurs ;
- ✓ V : effort du vent par unité de longueur en daN / m ;
- ✓ a : portée en mètres ;

✓ $F_{armement}$: effort forfaitaire sur l'armement.

Précisons ici que F_L se détermine par lecture sur l'abaque N°32.21 de l'annexe 9 par l'intersection pour une portée équivalente de 40 m avec la courbe de contrainte maximum de 15°C - 2050 daN/m².

Une fois F_{Totale} calculé, nous avons également utilisé les tableaux de l'annexe 10 pour déterminer la classe du type de support correspondant à l'effort obtenu.

3.4.2.4 Calcul de la flèche

Distance verticale maximale entre la droite joignant les deux attaches et les conducteurs. A l'origine, elle dépend de la tension de réglage de la ligne, la flèche varie ensuite en fonction de la température et sous l'influence des surcharges (la température à considérer est celle du métal et non de la température ambiante). Elle a été calculée en considérant le paramètre 300 à 40 °C tel que recommandé pour la construction des réseaux de distribution BT [15] et suivant la formule ci-dessous :

$$f = \frac{a^2}{8 \times P}$$

(Equation 3.34)

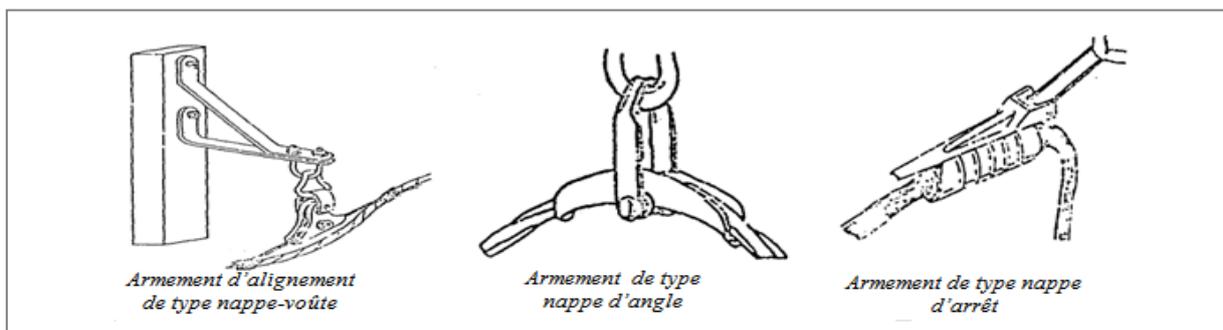
Où

- ✓ f : la flèche en m ;
- ✓ a : Porté en m ;
- ✓ P : est le paramètre qui représente le rayon du cercle inscrit au sommet de la parabole que forme le câble en m.

3.4.2.5 Type d'armement utilisé

Notre réseau étant constitué des faisceaux de câbles tendus sur poteaux, leur fixation aux différents supports se fera aux moyens des types d'armements suivants :

- Armements d'alignements encore appelé pince d'alignement : Ils sont utilisés pour les supports d'alignements ;
- Armements de renvoi d'angle de type nappe d'angle : Très peu utilisés, on les retrouve généralement sur certains supports d'angles ($30^\circ < \alpha \leq 60^\circ$) ;
- Armements d'ancrages de type nappes d'arrêt encore appelé pince d'encrage : Ils sont utilisés pour les supports d'angle ($60^\circ < \alpha \leq 90^\circ$) et les supports d'arrêts.



Source : Support de cours M2GEER 2iE transport et distribution d'électricité (Jean- Jacques GRAFF)

Figure 3.12: Types d'armements pour la construction d'une ligne de distribution aérienne BT en milieu

3.4.2.6 Profondeurs de fouille des fondations pour supports

La profondeur des fouilles pour la fondation à retenir pour les supports en bois se calcule suivant la formule ci-dessous :

$$H_i = \frac{H_T}{10} + 0,5 \text{ m}$$

(Equation 3.35)

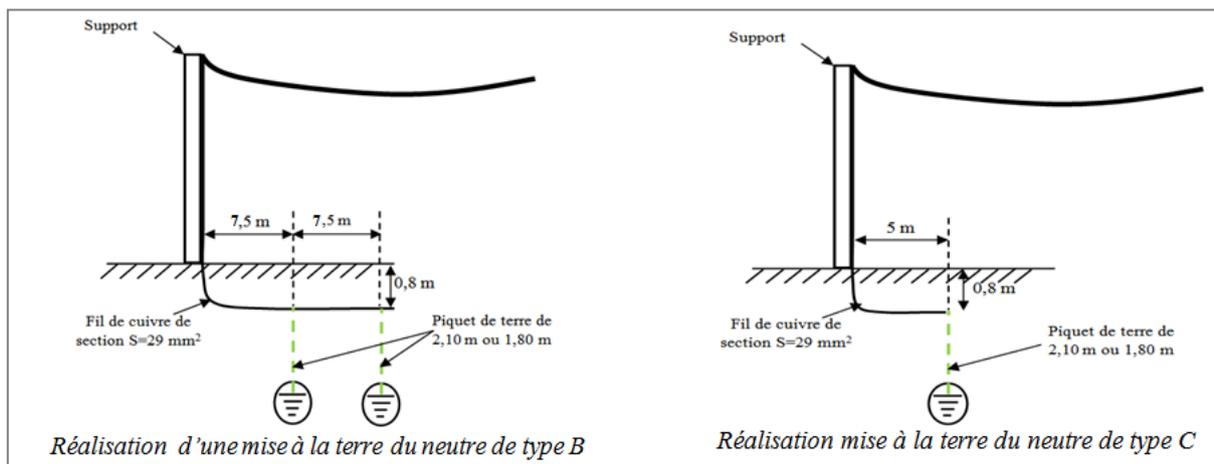
Où :

- ✓ H_i : Profondeur de la fouille en m ;
- ✓ H_T : Hauteur du support en m.

3.4.3. Mise à la terre du neutre du réseau

Pour la construction de notre réseau BT, nous préconisons l'utilisation de la mise à la terre sur le support adjacent au local technique de la centrale, tous les 200 m à partir de ce support sur les autres supports qui lui sont adjacents et à chaque fin de réseau BT, avec une résistance équivalente inférieure à 30 Ohms. A titre indicatif, les prises de terres seront réalisées de la façon suivante :

- Terres adjacentes au local technique : 02 piquets et 15 m de câbles en cuivre de section 29 mm^2 dans une tranchée de 0,80 m de profondeur (Mise à la terre de type B);
- Terres autres supports réseau BT : 1 piquet et 5 m de câbles en cuivre de section 29 mm^2 dans une tranchée de 0,80 m de profondeur (Mise à la terre de type C);



Source : Auteur réalisée grâce au logiciel AUTOCAD

Figure 3.13: Principe de réalisation des différents types de mise à la terre dans un réseau de distribution BT en zone rural au Cameroun

3.4.4. Plan cartographique du réseau de transport et de distribution

C'est une carte sur laquelle nous avons une vue spatiale de la disposition géographique des principaux éléments qui composent notre réseau de distribution et les différents points de réalisation des mises à la terre. Pour sa réalisation, nous avons utilisé le logiciel AUTOCAD.

3.5 Analyse économique du projet

Il sera question pour nous de collecter dans un premier temps les coûts unitaires des équipements à acquérir pour l'implantation de la mini centrale et la construction du réseau de distribution, et par la suite les coûts d'exploitation qui seront engagés chaque année. Tous ces éléments nous permettront de calculer

le prix de revient du kW d'électricité produit et transporté. Nous calculerons enfin la VAN sur la durée de vie du projet afin d'apprécier la rentabilité financière du projet.

3.5.1. Calcul du prix actualisé de revient du kW

Le principe de base pour le calcul du prix actualisé de revient du kW de cette analyse économique consiste à établir en valeur actualisée sur la durée de vie du projet (n) qui devrait permettre de choisir les durées d'amortissement et qui doivent évidemment être inférieure à la durée de vie du système. Ces coûts sont les suivants :

- Coût d'investissement initial de l'installation ;
- Coûts annuels d'exploitation et de maintenance ;
- coûts de remplacement des équipements ;
- valeur de rachat du système.

Les autres paramètres importants que nous avons considérés lors de ce calcul sont les taux d'intérêt permettant de financer notre projet en se plaçant dans l'hypothèse d'un emprunt pour sa matérialisation et les taux d'actualisation de la valeur future des différents coûts.

Le taux d'intérêt est souvent fonction du crédit que l'investisseur peut obtenir. Dans le cadre de notre projet, nous allons considérer un taux d'intérêt (int) de **10%** qui est considéré comme relativement bas. Le taux d'actualisation est, par ailleurs, fonction du taux d'inflation (inf) et du taux d'investissement (inv) disponible pendant la durée de vie du système. Pour notre projet, nous avons fixé le taux d'inflation à un niveau relativement bas, **3%** et le taux d'investissement à **8%**, nous donnant un taux d'actualisation (act) de **5%** ($act = inv - inf$).

Les coûts d'investissement initial (V_{init}) comprennent les dépenses qui seront effectuées lors de la réalisation de notre projet, c'est-à-dire les composantes du système, les coûts de génie civil associés et les frais généraux couvrant les frais de transport et leur installation. Nous avons également associé les coûts de construction du réseau de distribution.

Ce sont ces dépenses qui doivent être payées et éventuellement financées par le promoteur du projet. Ces frais peuvent être payés en une fois ou par **annuités** (V_{ann}) sur les durées d'amortissement et calculés selon la formule suivante :

$$V_{ann} = \frac{V_{init} (1 + int)^n \times int}{[(1 + int)^n - 1]} \quad \text{(Equation 3.36)}$$

Où :

- ✓ V_{ann} = la valeur de l'annuité ;
- ✓ V_{init} = le coût initial de l'investissement ;
- ✓ int = le taux d'intérêt bancaire ;
- ✓ n = la durée de vie du projet.

Pour les frais ponctuels qui sont généralement liés aux équipements (Onduleur, batteries, Convertisseur,..) susceptibles d'être remplacés sur la durée d'amortissement, on procède à une **actualisation simple** de la valeur présente de l'équipement pour l'année (n') de la dépense. La formule ci-dessous permet de calculer la valeur actuelle de cette dépense (V_{as}) par rapport au moment futur où elle sera effectuée :

$$V_{as} = \frac{V_{init E}}{(1 + act)^{n'}} \quad \text{(Equation 3.37)}$$

Où :

- ✓ V_{as} = la valeur actualisée simple de l'équipement ;
- ✓ $V_{init C}$ = la valeur initiale de l'équipement ;
- ✓ act = le taux d'actualisation ;
- ✓ n' = la durée de vie de l'équipement.

Pour les frais annuels, on procède à une **actualisation uniforme** de cette valeur annuelle pour la durée de vie du système. La formule ci-dessous permet d'effectuer ce calcul :

$$V_{au} = \frac{V_{Da}}{[1 - (1 + act)]^n} \quad \text{(Equation 3.38)}$$

Où :

- ✓ V_{au} = la valeur actualisée uniforme de la dépense annuelle ;
- ✓ V_{Da} = la valeur initiale de la dépense annuelle ;
- ✓ act = le taux d'actualisation ;
- ✓ n = la durée de vie du projet.

N.B. Cette formule permet de ramener la valeur des annuités à une valeur actualisée globale.

Ainsi, le Prix de Revient Actualisé est le rapport entre la somme actualisée des dépenses ($\sum D_n$), y compris les dépenses d'investissement (V_{int}), la valeur de rachat du système ($10\% \times V_{int}$) et la somme des productions physiques actualisée ($\sum Q_n$) en *kWh* pendant la période concernée.

$$PR = \frac{V_{int} + \sum D_n - 10\% \times V_{int}}{\sum Q_n} = \frac{V_{int} + D_1 (1 + act)^{-1} + D_2 (1 + act)^{-2} + \dots + D_n (1 + act)^{-n} - 10\% \times V_{int}}{Q_1 (1 + act)^{-1} + Q_2 (1 + act)^{-2} + \dots + Q_n (1 + act)^{-n}} \quad \text{(Equation 3.39)}$$

3.5.2 Rentabilité financière du projet

La rentabilité d'un projet se mesure une fois le calcul de la VAN d'un investissement est la richesse que génère cet investissement durant sa durée de vie ; c'est la rentabilité finale qu'il dégage au profit de son promoteur.

$$VAN = -I_0 + CF_1 (1 + act)^{-1} + CF_2 (1 + act)^{-2} + \dots + CF_n (1 + act)^{-n} \quad \text{(Equation 3.40)}$$

Où :

- ✓ *act* : taux d'actualisation ;
- ✓ *n* : durée de vie du projet ;
- ✓ *CF_j* : cash flow à l'année *j* (avec $1 \leq j \leq n$)

3.6 Etude impact socio-économique et environnemental du projet

3.8.1. Impact socio-économique du projet

L'étude impact socio-économique de notre projet nous permettra d'apprécier l'impact de l'implantation d'une mini centrale hybride PV/ Diesel sur les conditions de vie des populations du village NZO'OH et sur le développement de son économie. Ainsi, nous avons répertorié plusieurs aspects sur le plan social et économique susceptibles d'être modifier avec l'accès à l'électricité. Notamment grâce à l'implantation de d'une mini centrale.

3.6.2. Impact environnemental du projet

L'étude impact environnemental d'un projet peut être définie comme un outil prospectif qui s'intéresse à l'identification et à l'évaluation des effets du projet sur l'environnement en général et sur ses composantes biophysiques et humaines en particulier. Ainsi, nous avons répertorié plusieurs aspects positifs et négatives sur le plan environnemental susceptibles d'être modifier avec l'implantation de d'une mini centrale hybride PV/ Diesel. Pour les aspects négatifs, nous avons prescrit une série d'actions susceptibles de les atténuer.

IV - RESULTATS

4.1 Collecte des données au village NZO'OH

4.1.1 Caractérisation des différents utilisateurs du village NZO'O

Caractérisation des différents utilisateurs du village NZO'OH				
Différents d'utilisateurs	Caractéristique	Nbre	constitution	Profil des responsables
Utilisation domestique	Maison d'habitation pour famille aisée	10	02 salons, 06 chambres, 01 cuisine, 02 douches et un grenier + magasin	Cadres retraités, grands agriculteurs, cadres résidents en ville et grands fermiers
	Maison d'habitation pour famille moyenne	16	01 salons, 04 chambres, 01 cuisine, 01 douches et un grenier + magasin	Fonctionnaire à la retraite, agriculteurs moyens, propriétaire des fermes.
	Maison d'habitation pour famille modeste	10	01 salons, 06 chambres, 01 cuisine, 02 douches et un grenier + magasin	Salariés modestes et agriculteurs
	Grande concession familiale	1	Rassemblement de 09 maisons de type pour famille modeste autour d'une même cours avec celle du chef de famille placé au centre	Agriculteurs
	Moyenne concession familiale	2	Rassemblement de 06 maisons de type pour famille modeste autour d'une même cours avec celle du chef de famille placé au centre	Agriculteurs
	Petite concession familiale	20	Rassemblement de 04 maisons de type pour famille modeste autour d'une même cours avec celle du chef de famille placé au centre	Agriculteurs
Installation sociocommunautaire	Centre de santé intégré (CSI)	1	10 chambres d'hospitalisation, 01 laboratoire, 01 salle de petite chirurgie, 02 bureaux	Gestion étatique
	Ecole primaire	2	06 salles de classes, 04 bureaux, 02 douches	Gestion étatique et gestion de la communauté chrétienne CEBEC
	Ecole maternelle	2	02 salles de classes, 04 bureaux, 02 douches	Gestion étatique et élites ressortissants de NZO'OH
	Foyer culturel de NZO'OH	1	01 grande salle de conférence, 01 magasin, et 01 douche.	Gestion du comité de développement du village NZO'OH
	Eglise CEBEC de NZO'OH	1	01 grande salle pour le culte	gestion de la communauté chrétienne CEBEC
Activités génératrice de revenus	Auberge la «gaité»	1	10 Chambres avec douches, 01 magasin, 01 salle d'accueil + douche, 01 cuisine	Gestion privée avec salariés
	Auberge le « repère»	1	6 Chambres avec douches, 01 magasin, 01 salle d'accueil + douche, 01 cuisine	Gestion privée avec salariés
	Débîts de boissons + épiceries	4	01 pièce	Gestion privée avec salariés
	Moulin	3	01 salle avec un moulin à moteur	Gestion privée avec salariés
	Grande ferme	1	01 pièce centrale, 01 magasin, 01 chambre et 10 douches	Gestion privée avec salariés
	Petite ferme	1	01 pièce centrale, 01 magasin, 01 chambre et 10 douches	Gestion privée avec salariés

Tableau 4.1: Caractérisation des différents utilisateurs du village NZO'OH

4.1.2 Etat de la situation énergétique du village NZO'OH

4.1.2.1 Situation énergétique domestique

Type								
d'utilisateur	Maison	Maison	Maison	Grandes	Concessions	Petites		
Domestique	d'habitation pour famille aisée	d'habitation pour famille moyenne	d'habitation pour famille modeste	concessions familiales	familiales moyennes	concessions familles		
Nombre	10	16	10	1	2	20		
Pourcentage	17%	27%	17%	2%	3%	34%		
<i>Différents modes d'accès à l'énergie</i>								
Chauffage + cuisson	Biomasse gratuite	Biomasse gratuite	Biomasse gratuite	Biomasse gratuite	Biomasse gratuite	Biomasse gratuite		
Eclairage	Alimentation au groupe électrogène à essence (100 VA)	Alimentation au groupe électrogène à essence (50 VA)	Lampe à pétrole	Lampe à pétrole	Lampe à pétrole	Lampe à pétrole		
Radio K7			Piles	Piles	Piles	Piles		
Téléphone portable			Recharge chez détenteur de GE	Recharge chez détenteur de GE	Recharge chez détenteur de GE	Recharge chez détenteur de GE		
Poste de télévision			0	0	0	0		
Lecteur DVD			0	0	0	0		
Repassage			Fer à charbon	Fer à charbon	Fer à charbon	Fer à charbon		
Réfrigérateur			0	0	0	0		
Congélateur			0	0	0	0		
<i>Coûts des différents modes d'accès à l'énergie</i>								
Coûts mensuels moyens pour l'achat des combustibles liquides			25 000 F CFA	15 000 F CFA	3 500 F CFA	24 000 F CFA	18 000 FCFA	12 000 FCFA
Coûts annuel	300 000 F CFA	180 000 F CFA	42 000 F CFA	288 000 F CFA	216 000 F CFA	144 000 F CFA		
<i>Totaux coûts mensuels et annuels des différents modes d'accès à l'énergie</i>								
Coûts mensuels moyens pour l'achat des combustibles liquides						825 000 F CFA		
Totaux Coûts annuels moyens pour l'achat des combustibles liquides						9 900 000 F CFA		

Tableau 4.2 : Situation énergétique domestique

4.1.2.2 Situation énergétique pour activités génératrices de revenus

Types d'activités génératrices de revenus							
	Motel pour visiteurs à revenus moyens et élevés	Motels pour visiteurs à revenus faibles	Petites ferme pour élevage volailles	Grandes ferme pour élevage volailles	Débîts de boissons + Epiceries	Moulins	
Nombre	1	1	1	1	4	3	
Pourcentage	13%	13%	13%	13%	36%	27%	
<i>Différents modes d'accès à l'énergie</i>							
Chauffage + cuisson	Biomasse + gaz	Biomasse + gaz	Biomasse + réchaud à pétrole	Biomasse + réchaud à pétrole	0	0	
Eclairage	Alimentation au groupe électrogène (GE) à essence de (S=100VA)	Alimentation au groupe électrogène(GE) à essence de (S=70 VA)	Alimentation au groupe électrogène à essence de (S=50 VA)	Lampe à pétrole	Alimentation au Groupe électrogène à essence de (S=80 VA)	Alimentation au groupe électrogène(GE) à essence (S=50 VA)	
Radio K7				Piles			
Téléphone portable				Recharge chez détenteur de GE			
Poste de télévision				Inexistant			Inexistant
Lecteur DVD				Inexistant			Inexistant
repassage				Inexistant			Inexistant
Réfrigérateur				Inexistant			Inexistant
Congélateur				Inexistant			Inexistant
Moulin à maïs				Inexistant			Inexistant
<i>Coûts des différents modes d'accès à l'énergie</i>							
Coûts mensuels moyens pour l'achat des combustibles liquides	40 000 F CFA	30 000F CFA	20 000F CFA	25 000F CFA	21 000 F CFA	10 000 F CFA	
Coûts annuel de l'éclairage	480 000 F CFA	360 000 F CFA	240 000 F CFA	300 000 F CFA	252 000 F CFA	120 000F CFA	
<i>Totaux des coûts mensuels et annuels des différents modes d'accès à l'énergie</i>							
Coûts mensuels moyens pour l'achat des combustibles liquides						229 000 F CFA	
Totaux Coûts annuels moyens pour l'achat des combustibles liquides						2 748 000 F CFA	

Tableau 4.3 : Situation énergétique des installations sociocommunautaires

4.1.2.2 Situation énergétique pour les installations sociocommunautaires

								
<i>Différents types d'installations sociocommunautaires</i>	<i>Centre de santé intégré du village (CSI) NZO'OH</i>	<i>Ecoles maternelles</i>	<i>Ecoles primaires</i>	<i>Foyer culturel de NZO'OH</i>	<i>Eclairage public</i>	<i>Eglise CEBEC de NZO'OH</i>		
<i>Nombre</i>	1	2	2	1	<i>Inexistant</i>	1		
<i>Pourcentage</i>	14%	29%	29%	14%	<i>Inexistant</i>	14%		
<i>Différents modes d'accès à l'énergie</i>								
<i>Chauffage + cuisson</i>	Gaz	<i>Inexistant</i>	<i>Inexistant</i>	<i>Inexistant</i>	<i>Inexistant</i>	<i>Inexistant</i>		
<i>Lampes pour éclairage</i>	Alimentation au GE	Alimentation au GE	Alimentation au GE	Alimentation au GE		Alimentation au GE		
<i>Micro/Amplificateur</i>		<i>Inexistant</i>	<i>Inexistant</i>					
<i>Radio K7</i>	Alimentation au Groupe électrogène à essence de (S=200 VA)	Alimentation au Groupe électrogène à essence de (S=80 VA)	Alimentation au Groupe électrogène à essence de (S=80 VA)	<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>		
<i>Téléphone portable</i>				<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>		
<i>Poste de télévision</i>				<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>		
<i>Lecteur DVD</i>				<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>		
<i>Ordi/Imprimante</i>				<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>		
<i>Equipement biomédicaux</i>				<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>		
<i>Réfrigérateur</i>				<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>		
<i>Repassage</i>				<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>		
<i>Congélateur</i>				<i>Inexistant</i>		<i>Inexistant</i>	<i>Inexistant</i>	<i>Inexistant</i>
<i>Coûts des différents modes d'accès à l'énergie</i>								
<i>Coûts mensuels moyens pour l'achat des combustibles liquides</i>	40 000 F CFA	10 000 F CFA	15 000 F CFA	5 000 F CFA	<i>Inexistant</i>	7 000 F CFA		
<i>Coûts annuel</i>	480 000 F CFA	120 000 F CFA	180 000 F CFA	60 000 F CFA	<i>Inexistant</i>	84 000 F CFA		
<i>Totaux des coûts mensuels et annuels des différents modes d'accès à l'énergie</i>								
<i>Coûts mensuels moyens pour l'achat des combustibles liquides</i>						102 000 F CFA		
<i>Totaux Coûts annuels moyens pour l'achat des combustibles liquides</i>						1 224 000 F CFA		

Tableau 4.4 Situation énergétique des installations sociocommunautaires

4.2.2 Données géographiques et météorologique du village NZO'OH

4.2.2.1 Données géographiques

Données géographiques	
Latitude	5 ° 28 '29 ''N
Longitude	10 ° 05 '33 ''E
Distance	26 km de la ville de DSCHANG
Etat de route	Piste en terre en mauvais état
Population	Environ 400 habitants

Tableau 4.5 : Données géographiques du village NZO'OH

4.2.2.2 Données météorologique

a) Valeurs moyennes mensuelle de l'ensoleillement de la ville de DSCHANG

Mois	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	août	sep	oct.	nov.	dec
Ensoleillement horizontal (KW/m ² /j)	5,25	5,62	5,31	4,94	4,49	4,19	3,82	3,83	3,98	4,4	4,97	5,10

Source : Données Station météorologique de la ville de DSCHANG (2007)

Tableau 4.6 : Valeurs moyennes mensuelle de l'ensoleillement de la ville de DSCHANG

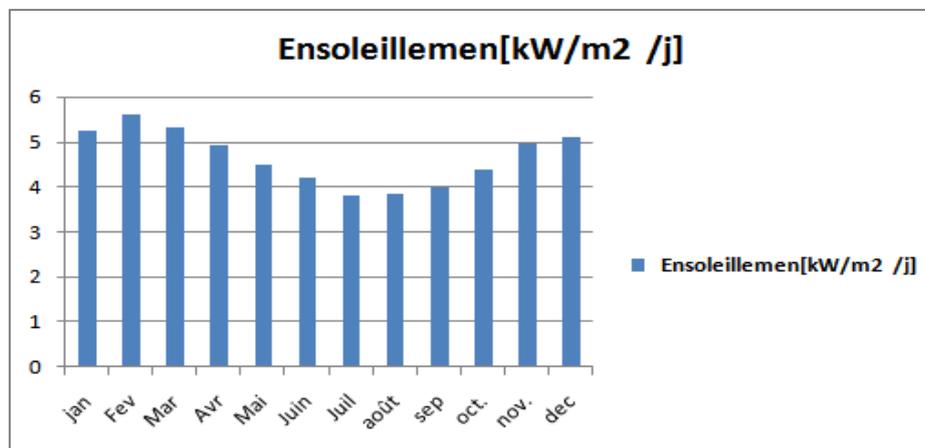


Figure 4.1 : Variation moyenne mensuelle de l'ensoleillement de la ville de DSCHANG

b) Valeurs moyennes mensuelle de la température de la ville de DSCHANG

Mois	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	aout	sep	oct	nov	dec
Température (°C)	24.3	25.4	25.0	24.4	23.6	22.4	21.4	20.5	21.7	21.9	22.4	23.2

Tableau 4.7 : Valeurs moyennes mensuelle de la température de la ville de DSCHANG

4.2 Evaluation du besoin en électricité du village

4.2.1. Bilan de puissance

Bilan de puissance global des utilisateurs du village NZO'OH														
Différents types d'utilisateurs		Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance apparente (kVA)	Facteur de puissance Cosφ	Nbres	Puissance active Niveau 1 (kW)	Puissance réactive Niveau 1 (kVAR)	Puissance apparente Niveau 1 (kVA)	Facteur de puissance Niveau 1 Cosφ	Puissance active globale (kW)	Puissance réactive globale (kVAR)	Puissance apparente globale (kVA)	Facteur de puissance globale Cosφ _G
Maisons d'habitations	Habitation pour famille aisée	1,58	0,39	1,63	0,97	10	15,80	3,90	16,27	0,97	37,76	8,60	38,73	0,98
	Habitation pour famille moyenne	1,31	0,25	1,33	0,98	16	20,96	4,00	21,34	0,98				
	Habitation pour famille modeste	0,10	0,07	0,12	0,82	10	1	0,70	1,22	0,82				
Concessions familiales	Grande concession familiale	4,88	3,08	5,77	0,85	1	4,15	2,62	4,91	0,85	10,79	6,76	12,73	0,85
	Moyenne concession familiale	0,42	0,27	0,50	0,84	2	0,84	0,54	1,00	0,84				
	Petite concession familiale	0,29	0,18	0,34	0,85	20	5,80	3,60	6,83	0,85				
Activités génératrices de revenus	Auberge la gaité	1,71	0,49	1,78	0,96	1	1,57	0,45	1,64	0,96	9,65	8,48	12,85	0,75
	Auberge le repère	1,57	0,40	1,62	0,97	1	1,35	0,34	1,39	0,97				
	Débit de boissons + épiceries	0,42	0,31	0,52	0,80	4	1,68	1,24	2,09	0,80				
	Moulin	1,32	0,92	1,61	0,82	3	3,96	2,76	4,83	0,82				
	Grande ferme	0,68	0,05	0,68	1	1	0,68	0,05	0,68	1				
	Petite ferme	0,41	0,04	0,41	1	1	0,41	0,04	0,41	1				
Installations sociocommunautaires	Centre de santé de NZO'OH	4,82	2,81	5,58	0,86	1	4,82	2,81	5,58	0,86	8,66	5,49	10,25	0,84
	Ecole primaire	0,72	0,51	0,88	0,82	2	1,44	1,02	1,76	0,82				
	Ecole maternelle	0,44	0,32	0,54	0,81	2	0,88	0,64	1,09	0,81				
	Eglise CEPEC de NZO'OH	0,10	0,07	0,12	0,82	1	0,10	0,07	0,12	0,82				
	Foyer culturel de NZO'OH	0,10	0,08	0,13	0,78	1	0,10	0,08	0,13	0,78				
	Eclairage public	0,04	0,025	0,05	0,85	33	1,32	0,83	1,56	0,85				
Puissance électrique totale installée au village NZO'OH											66,86	29,33	73,01	0,92

Tableau 4.8 : Bilan de puissance du village NZO'OH

(Pour les détails de l'établissement de ce bilan voir **Annexe : 11**)

4.2.2. Plan cartographique de la répartition des consommateurs du village NZO'OH

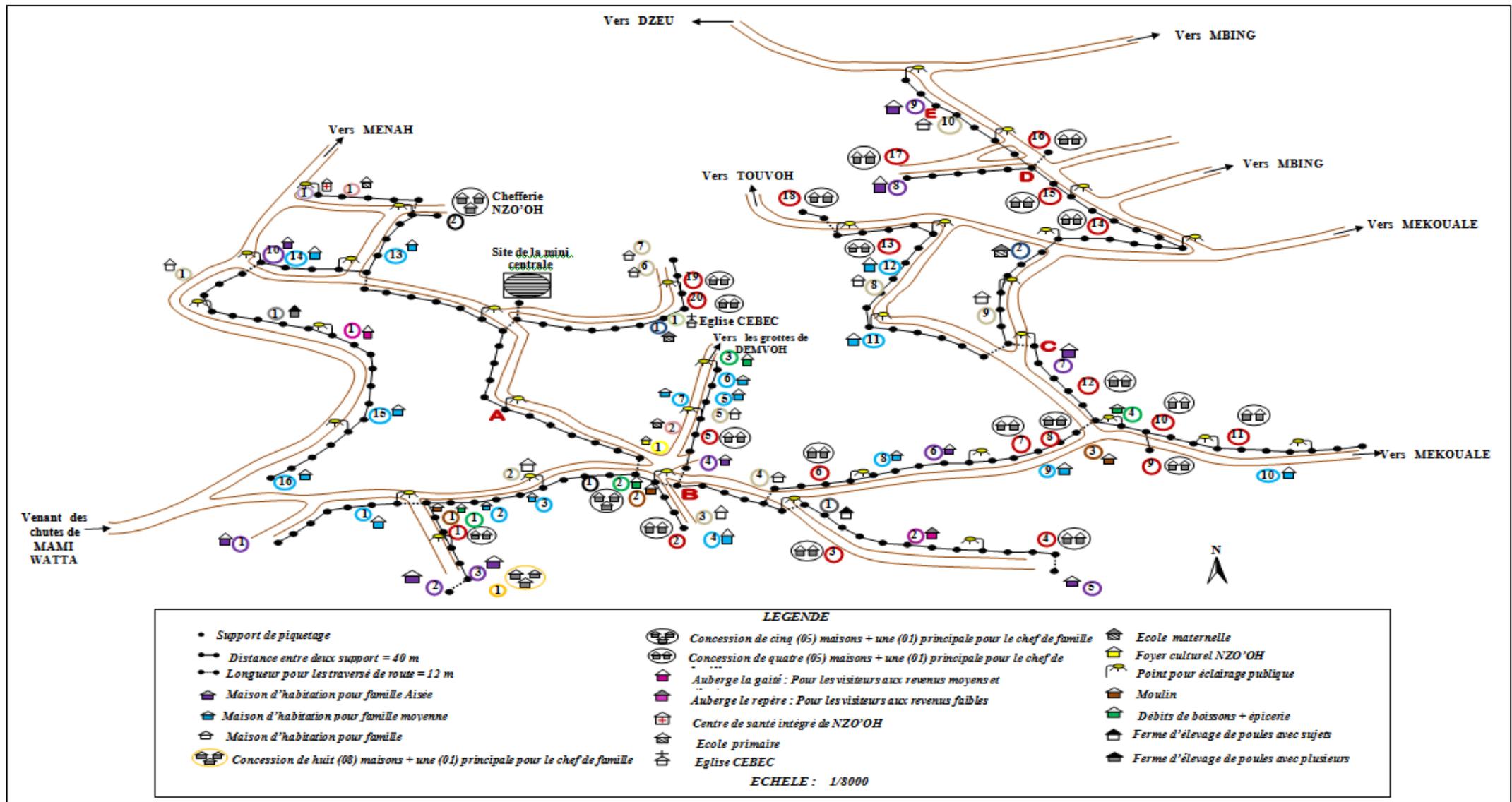


Figure 4.2 Plan cartographique de la répartition des consommateurs du village NZO'OH

4.2.3. Estimation des pertes techniques journalière dans le réseau de transport et de distribution

Estimation des pertes techniques dans le réseau de transport et distribution du village																		
Heures d'utilisation	Variation horaire des pertes de toutes les habitations pour familles aisées (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les habitations pour familles moyennes (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les habitations pour familles modeste (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les petites concessions familiales (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les concessions familiales moyennes (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les petites concessions familiales (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les petites concessions familiales la gaité (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les petites concessions familiales le repère (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les moulins (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les grandes fermes (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les petites fermes (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les pertes du centre de santé intégré de NZO'OH (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les écoles primaires (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les écoles maternelles (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les églises de NZO'OH (kWh)	Variation horaire des pertes de tous les foyers culturels de NZO'OH (kWh)	Variation horaire des pertes de tous les éclairages publics (kWh)	Variation horaire des pertes de toutes les pertes globales NZO'OH du village (kWh)
0h - 1h	0	0	0	0	0	0	0,00194	0,00155	0	0,00369	0,00133	0,004486	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0139
1h - 2h	0	0	0	0	0	0	0,00194	0,00155	0	0,00369	0,00133	0,004486	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0139
2h - 3h	0	0	0	0	0	0	0,00194	0,00155	0	0,00369	0,00133	0,004486	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0139
3h - 4h	0	0	0	0	0	0	0,00194	0,00155	0	0,00369	0,00133	0,004486	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0139
4h - 5h	0	0	0	0	0	0	0,00194	0,00155	0	0,00369	0,00133	0,004486	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0139
5h - 6h	0	0	0	0	0	0	0,00194	0,00155	0	0,00369	0,00133	0,004486	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0139
6h - 7h	0,192	0,1609	0,00002	0,000054	0,000002	0,000002	0,01989	0,01948	0	0	0	0,000855	0	0	0	0	0	0,3932
7h - 8h	0,004	0,0001	0,00002	0,000054	0,000002	0,000002	0,01989	0,01948	0	0	0	0,000855	0	0	0	0	0	0,0444
8h - 9h	0,0031	0	0	0	0	0	0,00127	0,00124	0	0	0	0,175432	0,002557	0,001605	0	0	0	0,1852
9h - 10h	0,0031	0	0	0	0	0	0,00139	0,00136	0,037	0	0	0,175432	0,002557	0,001605	0	0	0	0,2224
10h - 11h	0,0031	0	0	0	0	0	0,00139	0,00136	0,037	0,00383	0,00142	0,105307	0,002557	0,001605	0	0	0	0,1576
11h - 12h	0,0031	0	0	0	0	0	0,00139	0,00136	0,037	0,00383	0,00142	0,105307	0,003353	0,002372	0	0	0	0,1576
12h - 13h	0,0031	0	0	0	0	0	0,00139	0,00136	0,037	0,00383	0,00142	0,105307	0,003353	0,002372	0	0	0	0,1591
13h - 14h	0,0031	0	0	0	0	0	0,00139	0,00136	0,037	0,00383	0,00142	0,105307	0,003353	0,002372	0	0	0	0,1591
14h - 15h	0,0031	0	0	0	0	0	0,00139	0,00136	0,037	0,00383	0,00142	0,105307	0,002557	0,001605	0	0	0	0,1576
15h - 16h	0,00314	0	0	0	0	0	0,00139	0,00136	0,037	0,00383	0,00142	0,105307	0,002557	0,001605	0	0	0	0,1576
16h - 17h	0,009	0,0017	0,00002	0,000054	0,000002	0,000002	0,00139	0,00136	0,037	0,00383	0,00142	0,000855	0	0	0	0	0	0,0566
17h - 18h	0,00934	0,0018	0,00003	0,000126	0,000007	0,00001	0,00156	0,00146	0,037	0,00383	0,00142	0,000855	0	0	0,000006	0,000015	0	0,0575
18h - 19h	0,04674	0,0145	0,00116	0,014086	0,001238	0,002528	0,00557	0,00356	0,038	0,00003	0,00002	0,004486	0,000637	0,000117	0,000055	0,000091	0,00081	0,1336
19h - 20h	0,04419	0,013	0,00116	0,014086	0,001238	0,002528	0,00532	0,00336	0	0,00003	0,00002	0,004486	0,000637	0,000117	0,000055	0,000091	0,00081	0,0911
20h - 21h	0,04419	0,013	0,00116	0,014086	0,001238	0,002528	0,00532	0,00336	0	0,00003	0,00002	0,004486	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0903
21h - 22h	0,04419	0,013	0,00116	0,014086	0,001238	0,002528	0,00532	0,00336	0	0,00003	0,00002	0,004486	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0903
22h - 23h	0	0	0	0	0	0	0,00194	0,00155	0	0,00369	0,00133	0	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0094
23h - 24h	0	0	0	0	0	0	0,00194	0,00155	0	0,00369	0,00133	0	0,000021	0,000029	0,000002	0,000004	0,00081	0,0094
Pertes techniques journalières globale dans le réseau de transport et de distribution liées à la consommation électrique des différents utilisateurs du village en kWh/j																		2,47

Tableau 4.9: Estimation horaire des pertes techniques dans le réseau de transport et distribution du village (voir annexe 12)

4.2.4. Evaluation de la consommation journalière du village

Consommation journalier global des utilisateurs du village NZO'OH					
Type d'utilisateur		Nbres	Consommation journalière pour un utilisateur (kWh/j)	Consommation journalière pour un utilisateur (kWh/j)	Consommation journalière global par d'utilisateurs (kWh/j)
Maisons d'habitations	<i>Habitation pour famille aisée</i>	10	5,33	53,3	96,52
	<i>Habitation pour famille moyenne</i>	16	2,44	39,0	
	<i>Habitation pour famille modeste</i>	10	0,42	4,20	
Concessions familiales	<i>Grande concession familiale</i>	1	1,75	1,75	20,79
	<i>Moyenne concession familiale</i>	2	1,2	2,40	
	<i>Petite concession familiale</i>	20	0,83	16,64	
Activités génératrices de revenus	<i>Auberge la gaité</i>	1	12,35	12,35	90,11
	<i>Auberge le repère</i>	1	11,48	11,48	
	<i>Débit de boissons + épiceries</i>	4	3,46	13,86	
	<i>Moulin</i>	3	12,16	36,47	
	<i>Grande ferme</i>	1	9,85	9,85	
	<i>Petite ferme</i>	1	6,10	6,10	
	<i>Centre de santé</i>	1	39,28	39,28	
Installations sociocommunautaires	<i>Ecole primaire</i>	2	4,49	8,99	71,15
	<i>Ecole maternelle</i>	2	3,06	6,12	
	<i>Eglise CEBEC</i>	1	0,48	0,48	
	<i>Foyer culturel</i>	1	0,44	0,44	
	<i>Eclairage publique</i>	33	0,48	15,84	
Pertes techniques journalières globale dans le réseau de transport et de distribution liées à la consommation électrique globale du village en kWh/j					2,47
Consommation journalière du Village (en kWh/j)					281,04

Tableau 4.10 Estimation horaire des pertes techniques dans le réseau de transport et distribution du village

(Pour les détails de l'établissement de ce bilan voir **Annexe : 12**)

4.2.5. Variation horaire de la consommation journalière du village NZO'OH

Variation horaire de la consommation globale du village																			
Heures	Variation horaire de la conso de toutes les familles aisées du village pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso habitations pour familles moyennes pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso famille modeste du village avec s pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso petites concessions familiales pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso concessions familiales moyennes pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso petites concessions familiales pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso du centre de santé intégré du village avec pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso des écoles primaire pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso des écoles maternelles pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso de l'église CEBEC de NZO'OH pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso du foyer culturel de NZO'OH pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso de toutes l'éclairage public pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso de l'auberge la gaité avec pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso de l'auberge le repère avec pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso des débits de boissons & épiceries pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso des moulins pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso de la grande avec ferme pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso de la petite ferme pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la conso globale du village NZO'OH pertes inclus (kWh)
0h - 1h	0	0	0	0	0	0	0,7145	0,08002	0,08	0,02	0,02	1,321	0,41994	0,3796	0	0	0,60369	0,361	3,9998
1h - 2h	0	0	0	0	0	0	0,7145	0,08002	0,08	0,02	0,02	1,321	0,41994	0,3796	0	0	0,60369	0,361	3,9998
2h - 3h	0	0	0	0	0	0	0,7145	0,08002	0,08	0,02	0,02	1,321	0,41994	0,3796	0	0	0,60369	0,361	3,9998
3h - 4h	0	0	0	0	0	0	0,7145	0,08002	0,08	0,02	0,02	1,321	0,41994	0,3796	0	0	0,60369	0,361	3,9998
4h - 5h	0	0	0	0	0	0	0,7145	0,08002	0,08	0,02	0,02	1,321	0,41994	0,3796	0	0	0,60369	0,361	3,9998
5h - 6h	0	0	0	0	0	0	0,7145	0,08002	0,08	0,02	0,02	1,321	0,41994	0,3796	0	0	0,60369	0,361	3,9998
6h - 7h	11,93229	16,54089	0,12002	0,240054	0,02	0,010002	0,310855	0	0	0	0	0	1,35789	1,3575	0	0	0,012	0,012001	31,9135
7h - 8h	1,744224	0,380088	0,12002	0,240054	0,02	0,010002	0,310855	0	0	0	0	0	1,35789	1,3575	0	0	0,012	0,012001	5,5646
8h - 9h	1,503139	0	0	0	0	0	4,615432	0,88256	0,591605	0	0	0	0,33927	0,3392	0,096028	0	0,012	0,012001	8,3912
9h - 10h	1,503139	0	0	0	0	0	4,615432	0,88256	0,591605	0	0	0	0,35539	0,3554	0,096028	3,678	0,012	0,012001	12,1016
10h - 11h	1,503139	0	0	0	0	0	3,545307	0,88256	0,591605	0	0	0	0,35539	0,3554	0,096028	3,678	0,61583	0,373417	11,9967
11h - 12h	1,503139	0	0	0	0	0	3,545307	0,88256	0,591605	0	0	0	0,35539	0,3554	0,096028	3,678	0,61583	0,373417	11,9967
12h - 13h	1,503139	0	0	0	0	0	3,545307	1,01335	0,722372	0	0	0	0,35539	0,3554	1,099598	3,678	0,61583	0,373417	13,2618
13h - 14h	1,503139	0	0	0	0	0	3,545307	1,01335	0,722372	0	0	0	0,35539	0,3554	1,099598	3,678	0,61583	0,373417	13,2618
14h - 15h	1,503139	0	0	0	0	0	3,545307	0,88256	0,591605	0	0	0	0,35539	0,3554	1,325219	3,678	0,61583	0,373417	13,2259
15h - 16h	1,503139	0	0	0	0	0	3,545307	0,88256	0,591605	0	0	0	0,35539	0,3554	1,325219	3,678	0,61583	0,373417	13,2259
16h - 17h	2,549001	1,66166	0,12002	0,240054	0,02	0,010002	0,310855	0	0	0	0	0	0,35539	0,3554	1,325219	3,678	0,61583	0,373417	11,6149
17h - 18h	2,597344	1,721763	0,150032	0,370126	0,04001	0,03001	0,310855	0	0	0,040006	0,04002	0	0,37656	0,3685	1,344372	3,678	0,61583	0,373417	12,0568
18h - 19h	5,834738	4,93448	0,921161	3,904086	0,57124	0,422528	0,714486	0,44064	0,160117	0,120055	0,10009	1,321	0,71337	0,5756	1,550134	3,745	0,04983	0,048224	26,1268
19h - 20h	5,67219	4,673011	0,921161	3,904086	0,57124	0,422528	0,714486	0,44064	0,160117	0,120055	0,10009	1,321	0,69712	0,5594	1,485554	0	0,04983	0,048224	21,8607
20h - 21h	5,67219	4,673011	0,921161	3,904086	0,57124	0,422528	0,714486	0,08002	0,080029	0,020002	0,02	1,321	0,69712	0,5594	1,485554	0	0,04983	0,048224	21,2399
21h - 22h	5,67219	4,673011	0,921161	3,904086	0,57124	0,422528	0,714486	0,08002	0,080029	0,020002	0,02	1,321	0,69712	0,5594	1,485554	0	0,04983	0,048224	21,2399
22h - 23h	0	0	0	0	0	0	0,7145	0,08002	0,08	0,02	0,02	1,321	0,41994	0,3796	0	0	0,60369	0,361	3,9998
23h - 24h	0	0	0	0	0	0	0,7145	0,08002	0,08	0,02	0,02	1,321	0,41994	0,3796	0	0	0,60369	0,361	3,9998
Consommation journalier global des utilisateurs du village NZO'OH																			281,04

Tableau 4.11: Variation horaire de la consommation journalière du village NZO'OH (voir annexe 12 pour détails)

4.2.6. Courbe de variation horaire de la consommation journalière du village NZO'OH

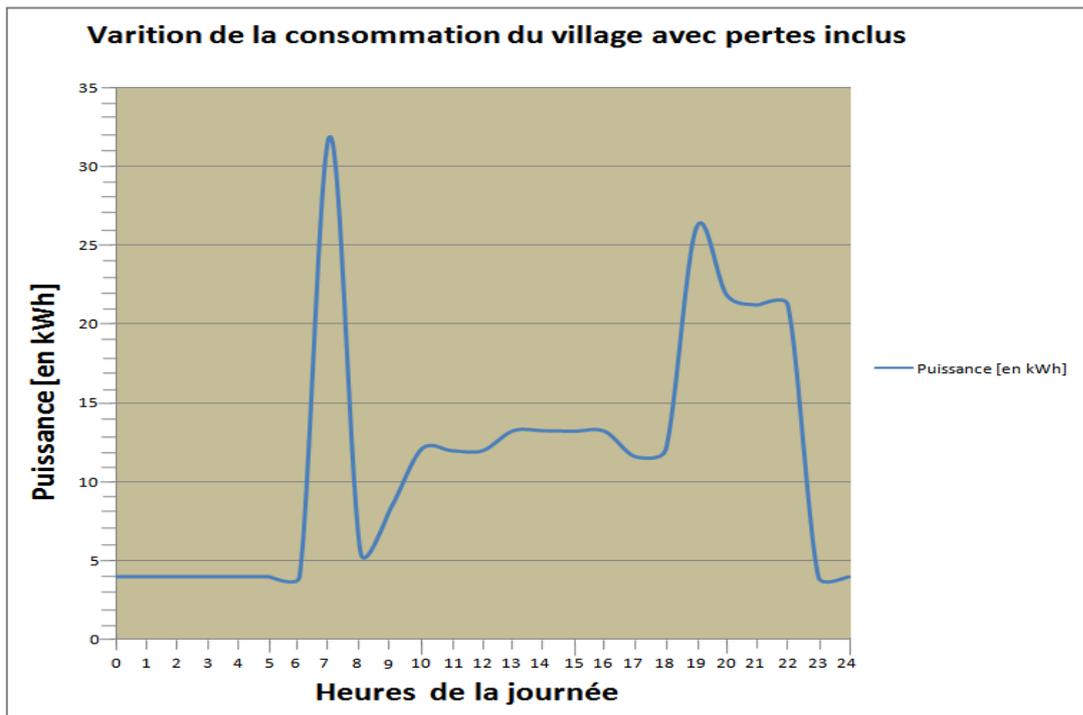


Figure 4.3 : Courbe de variation horaire de la consommation journalière

4.2.7. Profil amélioré de la courbe de variation horaire de la consommation journalière du village NZO'OH

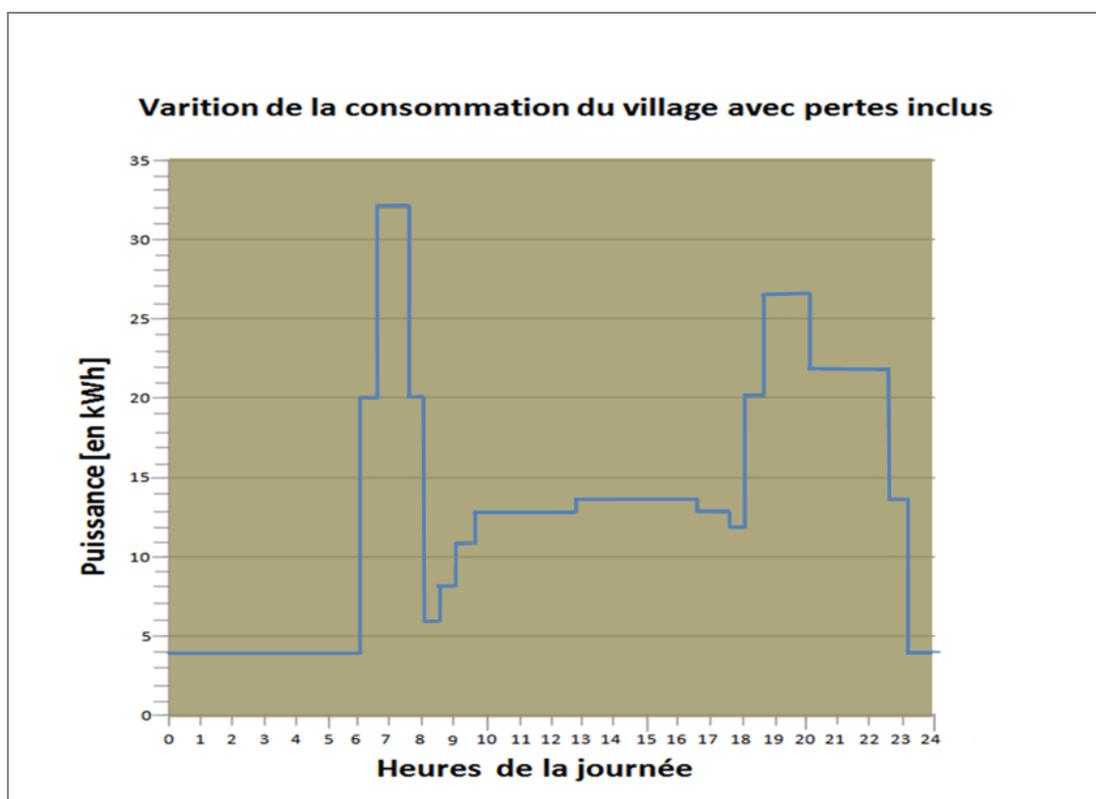


Figure 4.4 : Profil amélioré de la courbe de variation horaire de la consommation journalière

4.3 Dimensionnement de la mini centrale hybride PV/Diesel

4.3.1. Calcul de la fraction solaire

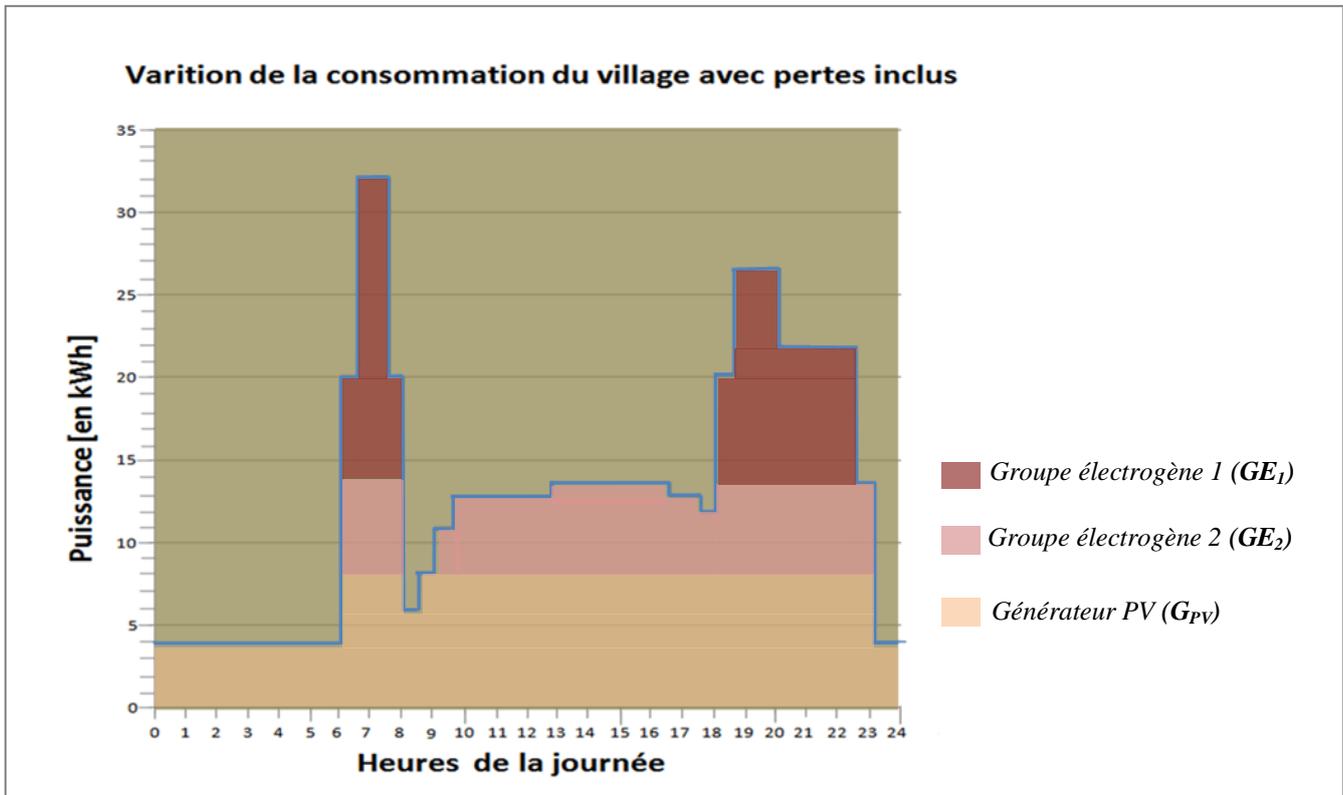


Figure 4.5: Définition de la fraction solaire de la mini centrale hybride PV/Diesel

Calcul de la fraction solaire	
Consommation journalière à satisfaire par la mini centrale hybride (en kWh/j)	316,75
Consommation journalière à satisfaire par le générateur PV (en kWh/j)	163
Consommation journalière à satisfaire par le groupe électrogène 1 (GE ₁) (en kWh/j)	88
Consommation journalière à satisfaire par le groupe électrogène 2 (GE ₂) (en kWh/j)	65,75
Fraction solaire (en %)	51,46 %

Tableau 4.12: Calcul de la fraction solaire de notre mini centrale hybride

(Voir annexe 13 pour détails)

4.3.2. Dimensionnement et installation du générateur PV

Dimensionnement et installation du générateur photovoltaïque													
Caractéristiques des éléments choisis													
	Rendement	Tension	Tension Max	Iccmax	Puissance	Dimension	Constructeur						
Modules	13%	12 V	17,2V	10,76 A	180 Wc	1,48× 0,676× 0,034	VICTRON MULTICRISTALIN						
Batteries	85%	24V			4600 Ah		BATTERIE TZS SOLAR						
Régulateur	90%						STECA POWER						
Onduleur	90%						XANTREX						
Paramètres de dimensionnement													
Facteur de conversion liée à l'ensoleillement (K_p)							80%						
Facteur de conversion globale du générateur PV (K_G)							55,1%						
Ensoleillement (en kWh/m ² /j)							3,82						
Facteur d'extension de la demande							1,3						
Latitude géographique du site (en °)							5						
Consommation journalière à satisfaire par le générateur PV (C_{jPV}) en kWh/j							163						
Contribution maximale en termes de puissance pour le générateur PV en kW							8						
Tension d'utilisation (en V)							48 V						
Dimensionnement du générateur photovoltaïque													
Puissance	Modules					Batteries				Régulateur			
crête calculé (en kW _C)	Nombre en série par branche // (n _s)	Nombre de branche // (n _{//})	Nombre total modules (n _m)	Puissance crête installé (en kW _C)	Inclinaison (en°) et Orientation	Capacité de stockage (en Ah)	Nombre en série par branche // (n _{bs})	Nombre de branche // (n _{b//})	Nombre total batteries (n _b)	Puissance (kW)	Intensité du Courant (A)	Caractéristique du type de régulateur choisis	Nbre a placé en parallèle
114	4	159	635	114	15 Plein SUD	21 205	2	5	10	≥ 114	≥ 2380	REGULATEUR STECA POWER TARON 12V / 24V / 48V 8400 W	≥ 14

Tableau 4.13: Dimensionnement et installation du générateur PV

4.3.3. Choix de l'onduleur bidirectionnel

Choix de l'onduleur bidirectionnel											
Spécifications techniques souhaitées						Spécifications techniques choisis					
	Tension d'entrée (en V)	Puissance d'entrée (en kW)	Tension de sortie (en V)	Rendement [η]	Puissance de sortie (en kW)	Tension d'entrée (en V)	Puissance d'entrée (en kW)	Tension de sortie (en V)	Rendement [η]	Puissance de sortie (en kW)	Constructeur et modèle
Partie Onduleur	48 en DC	≥ 114	220 en AC Monophasé 380 en AC Triphasé	90% Ou 9,12%	$\geq 102,6$ Ou 10,4	48 en DC	≤ 120	220 en AC Monophasé 380 en AC Triphasé	90%	≤ 108	XANTREX Convertisseur/Chargeur hybride de type XW
Partie Redresseur	220 en AC	$\leq 226,2$	48 V en DC	90%	$\leq 203,57$	220 en AC	≤ 120	48 V en DC	90%	≤ 108	

Tableau 4.14: Choix de l'onduleur bidirectionnel

4.3.4. Sections des câbles pour les éléments du générateur photovoltaïque

Calcul de la section de câble pour le générateur photovoltaïque							
Section côté DC							
	Longueur (en m)	Résistivité du cuivre (en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Tension (en V)	Chute de tension Max (en V)	Intensité transporté (en A)	Section de câble (en mm^2)	Section de câble Cuivre choisi (en mm^2)
Modules PV- Régulateur	10	0,0225	48 DC	2,4 V DC	158,33	30	2x35
Régulateur - Boîtier de raccordement	10	0,0225	48 DC	2,4 V DC	158,33	30	2x35
Boîtier de raccordement - batteries	10	0,0225	48 DC	2,4 V DC	2375	445	3x2x150
Batteries - Onduleur	10	0,0225	48 DC	2,4 V DC	2375	445	3x2x150
Section côté AC							
	Longueur (en m)	Intensité transporté (en A)	Facteur de correction	Intensité fictive transporté (en A)	Choix de la section de câble Cuivre (en mm^2)		
Onduleur - TGBT	5	15,19	0,85	18	3x25 + N		

Tableau 4.15: Calcul de la section des câbles pour les éléments du générateur photovoltaïque

4.3.5. Dimensionnement et installation du groupe électrogène 1 (GE₁)

Dimensionnement et installation du groupe électrogène 1 (GE ₁)			
Paramètres de dimensionnement			
Consommation journalière à satisfaire par le groupe électrogène 1 (C _{JGE1})		88 kWh / 110 kVAh	
Facteur de puissance (Cosφ)		0,8	
Facteur d'extension de la demande (ke)		1,3	
Contribution maximale en termes de puissance pour le groupe électrogène 1 (GE ₁) en kW		6	
Caractéristique des moteurs pour moulins	Nombre	3	
	Tension nominal (en V)	220	
	Courant nominal totale (en A)	8,52	
	Facteur de puissance (Cosφ)	0,8	
	rapport I démarrage / I normal	7	
	Facteur de puissance au démarrage (Cosφ _d)	0,4	
Choix du groupe électrogène 1 (GE₁)			
Choix du groupe	Calcul des puissances	S _n du groupe 1 (en kVA)	10
		P _n du groupe 1 (en kW)	8
	Vérification de la contrainte de démarrage des moulins	Impact des moulins au démarrage (P _{T2} en kW)	5,25
		Contrainte : P _{T2} ≤ 0,66(P _{Ond} + P _{GE1})	5,25 ≤ 9,24
	Choix du groupe	Puissance du groupe	S _{GE} ≥ 10 kVA CAT OLYMPIAN ; Modèle GEP 13.6 12,5 kVA / 10 kW
Calcul de l'épaisseur de la dalle de béton (e_{DBGE1} en m)			
Poids du massif (P _M)	1,5 × Poids du groupe (en Kg)	870	
Surface de la dalle (S _D)	[(Longueur + 0,25) × (largeur + 0,25)] (en m ²)	2,12	
Epaisseur de la dalle (e _{DGE1})	[P _M / (S _D × ρ du béton)] avec ρ = 2500 kg/m ³ (en m)	0,16	
Calcul du niveau sonore au niveau du local technique de la centrale (à 7 mètres de son local d'installation)			
Niveau sonore à 7 m donné par le catalogue constructeur (en dBa)		65,7	
Réduction par utilisation murs + Abat-sons (en dBa)		30	
Calcul du niveau sonore au local technique de la centrale (en dBa)		35,7	
Calcul de la taille de la cuve pour un approvisionnement mensuel			
Consommation pour le 3/4 de la charge du groupe donné par le catalogue constructeur		2,8 l / h pour 9,38 kVA	
Consommation en l/h par kVA		0,30	
Consommation journalière total du groupe 1 (en litres / jours)		39	
Taille de la cuve pour un approvisionnement mensuel (en litres)		≥ 1182	
Section des câbles			
Puissance de court-circuit (3 × P _n) en kW		23,89	
Intensité de court-circuit (en A)		45,36	
Mode de pose	posé en parallèle dans un caniveau sablé de Profondeur ≤ 1,5 m		
Intensité fictive de court-circuit (en A) avec [K1=1, K2=0,96, K3=0,78, K4=1,13]		53,61	
Choix de la section de câbles	Câble Cuivre de 3 × 35 mm ² + N35mm ²		

 Tableau 4.16: Dimensionnement et installation du groupe électrogène 1 (GE₁)

4.3.6. Dimensionnement et installation du groupe électrogène 2 (GE₂)

Dimensionnement et installation du groupe électrogène 2 (GE ₂)			
Paramètres de dimensionnement			
Consommation journalière à satisfaire par le groupe électrogène 1 (C _{JGE1})			65,75kWh / 82,19 kVAh
Facteur de puissance (Cosφ)			0,8
Facteur d'extension de la demande (ke)			1,3
Contribution maximale en termes de puissance pour le groupe électrogène 1 (GE ₁) en kW			18
Caractéristique des moteurs pour moulins	Nombre		3
	Tension nominal (en V)		220
	Courant nominal totale (en A)		8,52
	Facteur de puissance (Cosφ)		0,8
	rapport I démarrage / I normal		7
	Facteur de puissance au démarrage (Cosφ _d)		0,4
Choix du groupe électrogène 1 (GE₁)			
Choix du groupe	Calcul des puissances	S _n du groupe 1 (en kVA)	30
		P _n du groupe 1 (en kW)	24
	Vérification de la contrainte de démarrage des moulins	Impact des moulins au démarrage (P _{T2} en kW)	ignorer l'impact
		Contrainte : P _{T2} ≤ 0,66(P _{Ond} + P _{GE1})	pas indispensable
Choix du groupe	Puissance du groupe	S _{GE} ≥ 30 kVA	
		CAT OLYMPIAN ; Modèle GEP 30	30 kVA / 24 kW
Calcul de l'épaisseur de la dalle de béton (e_{DBGE1} en m)			
Poids du massif (P _M)		1,5 × Poids du groupe (en Kg)	1671
Surface de la dalle (S _D)		[(Longueur +0,25) × (largeur +0,25)] (en m ²)	2,82
Epaisseur de la dalle (e _{DGE1})		[P _M / (S _D × ρ du béton)] avec ρ = 2500 kg/m ³ (en m)	0,24
Calcul du niveau sonore au niveau du local technique de la centrale (à 7 mètres de son local d'installation)			
Niveau sonore à 7 m donné par le catalogue constructeur (en dBa)			66,8
Réduction par utilisation murs + Abat-sons (en dBa)			30
Calcul du niveau sonore au local technique de la centrale (en dBa)			36,8
Calcul de la taille de la cuve pour un approvisionnement mensuel			
Consommation pour le 3/4 de la charge du groupe donné par le catalogue constructeur			5,2 l / h pour 22,5 kVA
Consommation en l/h par kVA			0, 23
Consommation journalière total du groupe 1(en litres / jours)			27
Taille de la cuve pour un approvisionnement mensuel (en litres)			≥ 811
Section des câbles			
Puissance de court-circuit (3× P _n) en kW			72
Intensité de court-circuit (en A)			136,09
Mode de pose		posé en parallèle dans un caniveau sablé de Profondeur ≤ 1,5 m	
Intensité fictive de court-circuit (en A) avec [K1=1, K2=0,96, K3=0,78, K4=1,13]			160, 83
Choix de la section de câbles		Câble cuivre de 3× 95 mm ² + N50mm ²	

 Tableau 4.17: Dimensionnement et installation du groupe électrogène 2 (GE₂)

4.3.7. Choix du système de synchronisation

<i>Choix du système de synchronisation</i>	
<i>MODELE</i>	SYN 5302
<i>CONSTRUCTEUR</i>	ABB
<i>PUISSANCE</i>	25 W

Tableau 4.18: Choix du système de synchronisation



Figure 4.7 Photographie du système de synchronisation SYN 5302 d'ABB et de son armoire

4.3.8. Choix des disjoncteurs différentiels résiduels (DDR) pour le régime du neutre

<i>Choix des Disjoncteurs Différentiels résiduels pour le régime du neutre</i>			
<i>Paramètres</i>	U_t (en V)	<i>Résistance de la prise de terre</i> (en Ω)	<i>Calibre du DDR</i> (mA)
<i>DDR Onduleur</i>	25	100	250
<i>DDR Groupe électrogène 1</i>	25	100	250
<i>DDR Groupe électrogène 2</i>	25	100	250

Tableau 4.19: Choix des disjoncteurs différentiels résiduels pour le régime du neutre

4.3.9. Schéma électrique de la mini centrale hybride PV/Diesel du village NZO'OH

4.4. Dimensionnement du réseau de transport et de distribution

4.4.1 Calculs électriques des câbles et des éléments mécaniques du réseau

Dimensionnement du réseau de transport et de Distribution									
Paramètres pour les calculs									
Pression du vent à 25 °C pour le calcul des supports							120	daN/m ²	
Paramètre à 40 ° C sans vent (P)							300	m	
Hauteur des supports (H _T)							9	m	
Porté équivalente (a _{eq})							40	m	
Nombre de conducteurs (n)							6		
Coefficient de déclassement armement d'alignement (k)							0,9		
Coefficient de déclassement armement d'ancrage et d'angle (k)							1		
Puissance à transporté (P)							42	kW	
Tension du réseau (U)							380	V	
Facteur de puissance (Cosφ)							0,8		
Choix de la section des câbles									
Intensité de courant transporté (I _T)							79,8	A	
Section et type de câble choisis	Câble Alu faisceau de 3 × 50 mm² + NP + 2EP								
Vérification contrainte de chute de tension									
Tronçons (en km)	Puissance traversant tronçon (en kW)	Longueur tronçon (en km)	Coefficient tronçon (k)	ΔU % chute tronçon	Chute de entre la centrale et le point E				
Centrale - A	22,25	0,28	0,54	3,36%	8,92%				
A-B	14,78	0,36	0,54	2,87%					
B-C	3,85	0,96	0,54	2,00%					
C-D	1,42	0,8	0,54	0,61%					
D-E	0,66	0,2	0,54	0,07%					
Choix des supports									
	Calcul de l'effort						Classe du support	Nombre	
	F _L (en daN)	F _{armement} (en daN)	V (en daN/m)	F _V (en daN)	F _T (en daN)	F (en daN)			
Choix des supports de type simples									
supports d'alignements	405	15	0,17	35,4	0	62	C	165	
Choix des supports de type jumelés									
supports d'alignements	405	15	0,17	35,4	0	62	C	10	
supports d'arrêts	405	15	0,17	35,4	406,54	0	C	11	
Choix des supports type contrefichées									
supports d'alignements	405	15	0,17	35,4	574,94	0	C	11	
Choix des armements									
Types d'armements								Nombre	
Armements d'alignements								165	
Armements d'ancrages								32	
Différents types								Nombre	
Mise à la terre de types B								1	
Mise à la terre de types C								34	
Calcul de la flèche									
Valeur de la flèche (en m)	0,67								
Profondeur des fouilles des fondations pour supports									
Valeur de la profondeur (en m)	1,4								

Tableau 4.19: Dimensionnement du réseau de transport et de distribution

4.4.2 Plan cartographique du réseau de transport et de distribution du village NZO'OH

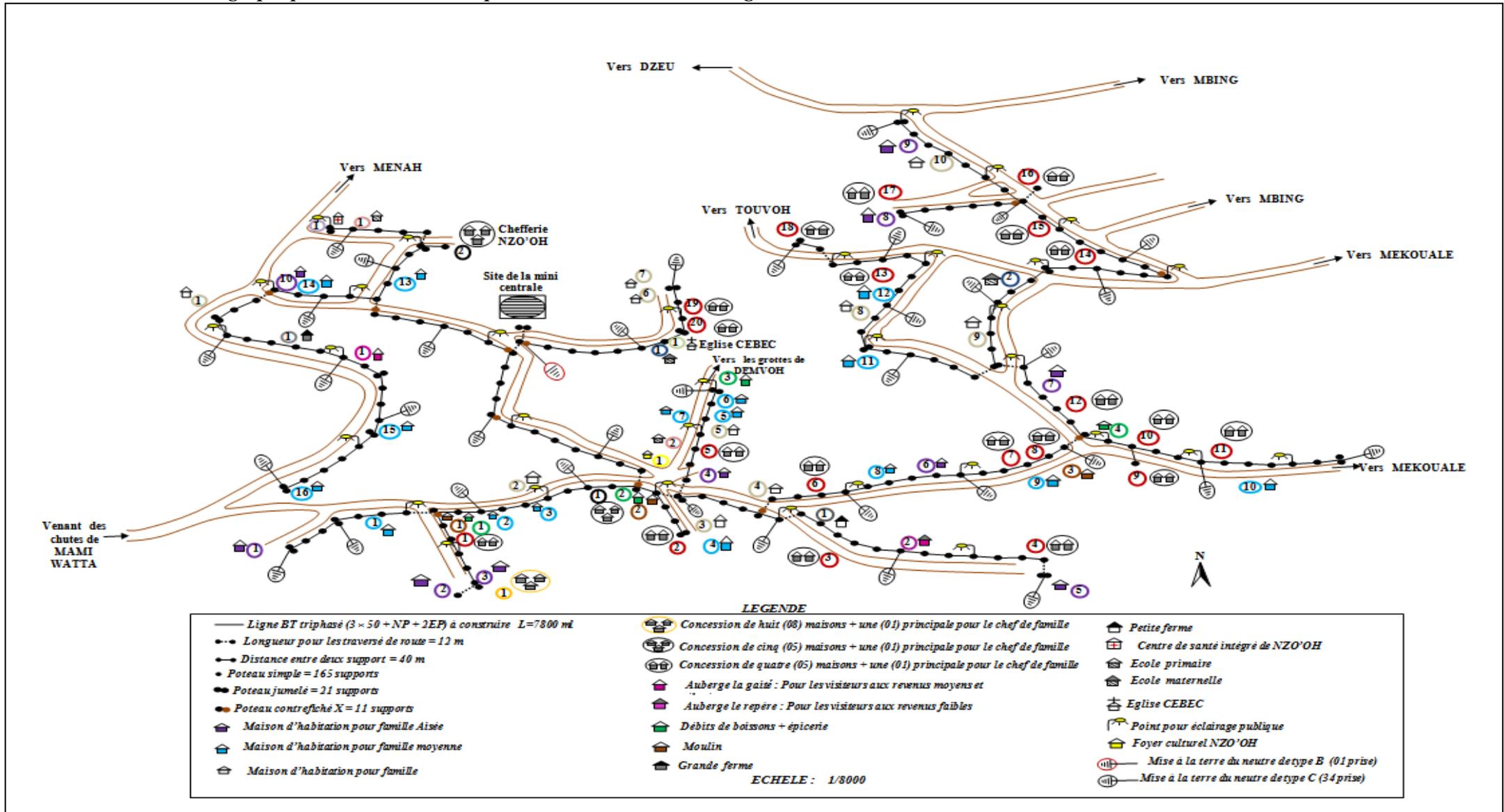


Figure 4.9 Plan cartographique du réseau de transport et de distribution du village NZO'OH

4.5. Analyse économique du projet

Calcul du prix de revient actualisé du kW						
Investissement Initiale, Dépenses et Coûts de rachat du système						
	Durée de la période (en années)	Valeur Présente (en FCFA)	Coefficient d'annuité 10%	Coefficient Actualisation simple 5%	Coefficient Actualisation uniforme 5%	Montant actualisée (en F CFA)
A - Investissement Initiale						
Construction de la centrale	20	332 685 326				
Construction du réseau de transport et de distribution	20	48 392 600				
Frais généraux (5% Investissement Initiale)	20	19 053 896				
Totaux des coûts pouvant être remboursé en annuité	20	400 131 822				
Valeur de l'annuité (10 % taux d'intérêt)	20	46 999 334	0,1175		12,462	585 715 583
Suivie, évaluation et formation	0	20 006 591			1	20 006 591
Total A		420 138 413				605 722 174
B- Dépense						
Dépense liées au remplacement	7	28 542 816		0,7107		20 284 846
	14	28 542 816		0,5051		14 416 061
Dépense liées au fonctionnement	20	34 040 925			12,462	424 225 171
Total B						458 926 079
C-Valeur de rachat du système						
Total C	20	-42013841		0,377		-15 834 575
Quantité physique de la production de la mini centrale hybride						
	Durée de la période	Facteur d'augmentation de la production			Production actualisé (en kWh)	
Quantité physique de la production	20	1,33			2 673 414	
Prix de revient actualisé du kWh						
Valeur du prix de revient actualisé du kWh						392

Tableau 4.21: Calcul du prix de revient actualisé du kW

(voir **annexe 14** pour détails)

Calcul de la Valeur Actuelle Nette (VAN)					
Année	Investissement Initial (Vint) (F CFA)	Recette annuelle (kW / ans)	Bénéfice après impôt (F CFA)	Cash-flow Actualisé (5%) (F CFA)	Cash-flow Actualisé Cumulé (F CFA)
0	421 868 866			-421 868 866	-400 232 192
1		45 621 186	-6182872	30 293 706	-391 575 161
2		46 305 504	-5498554	30 293 706	-361 281 455
3		47 000 086	-4803971	30 293 706	-330 987 749
4		47 705 087	-4098970	30 293 706	-300 694 043
5		48 420 664	-3383394	30 293 706	-270 400 338
6		49 146 974	-2657084	30 293 706	-240 106 632
7	28 542 816	49 884 178	-4817714	4 648 725	-235 457 907
8		50 632 441	-4069452	33 191 541	-202 266 366
9		51 391 928	-3309965	33 191 541	-169 074 825
10		52 162 806	-2539086	33 191 541	-135 883 284
11		52 945 249	-1756644	33 191 541	-102 691 743
12		53 739 427	-962465	33 191 541	-69 500 202
13		54 545 519	-156374	33 191 541	-36 308 662
14	28 542 816	55 363 701	1200165	4 110 368	-32 198 293
15		56 194 157	1864530	32 819 276	620 982
16		57 037 069	2538860	32 987 858	33 608 840
17		57 892 625	3223305	33 158 969	66 767 810
18		58 761 015	3918016	33 332 647	100 100 457
19		59 642 430	4623148	33 508 930	133 609 387
20		60 537 066	5338857	49 526 404	183 135 791
VAN (5%)					183 135 791

Tableau 4.22: Calcul la VAN du projet

(Voir **annexe 14** pour détails)

4.6. Etude impact socio-économique et environnemental

4.6.1. Impact socio-économique

Sur le plan socio-économique, nous pouvons noter :

- 40 emplois temporaires ;
- 10 emplois permanents ;
- La modernisation de certaines habitations, et des installations sociocommunautaires ;
- Le village NZO'OH s'enrichira d'un réseau d'éclairage public.

4.6.2. Impact environnemental

Sur le plan environnemental, nous pouvons quelques aspect:

- Aspect Négatif
 - ✓ Risque de pollution par les huiles de vidanges pendant les travaux de maintenance ;
 - ✓ Problème de gestion des batteries usées ;
 - ✓ Diminution des superficies agricoles avec la construction du réseau de transport et de distribution de l'électricité.
- Aspect positif
 - ✓ Remplacement des lampes à pétrole et des groupes électrogènes très polluantes par l'électricité en provenance de la mini centrale hybride.

V- ANALYSE ET DISCUSSION

5.1. Analyse des résultats du dimensionnement de la mini centrale hybride

Dans la phase de dimensionnement de notre mini centrale hybride, bien qu'ayant trouvée une puissance installée de **66,86 kW** et un *Cosφ* égal à **0,92**, le pic de puissance obtenu grâce à la courbe de variation horaire de la consommation journalière nous donne **32 kW**. Soit pour un taux de charge égale à **47,86 %** par rapport à la puissance installée. Ce faible taux de charge s'explique simplement par le fait que tous les différents utilisateurs du village n'appellent pas leurs puissances respectives de manière simultanée.

La consommation journalière des différents utilisateurs du village pourrait se chiffrer à **278,57 kWh/j** avec des pertes techniques dans le réseau de transport et de distribution inclus qui pourraient s'évaluer à **2,47 kWh/j** soit pour une consommation journalière globale (avec pertes inclus) de **281,04 kWh/j**. Ce résultat nous montre que uniquement **0,87 %** de l'énergie produit est perdu lors du transport et de la distribution. Ce qui s'explique par le choix de la section des câbles, et les distances assez petites entre utilisateurs et le site de la centrale.

Le profil amélioré de la charge nous ayant permis de procéder au dimensionnement de notre mini centrale correspond à une consommation journalière de **316,75 kWh/j** soit une augmentation de **35 kWh/j** pour un pourcentage **12,70%** par rapport à la consommation réelle du village. Cette valeur pourra s'avérer très utile si jamais nous avons une augmentation annuelle de la consommation au dessus de nos prévisions (*ke=1,3*).

Ainsi, les différentes puissances des générateurs obtenus (*P_{GPV}=114 kWc, P_{GE1}=12,5 kVA, P_{GE2}=30kVA*) permettrons grâce au système de synchronisation d'alimenter en continu le village NZO'OH.

5.2. Analyse des résultats du dimensionnement du réseau de transport et de distribution

Les différentes chutes de tensions obtenues à certains points critiques de notre réseau de transport et de distribution nous donnent des valeurs (**8,92 %**) inférieurs à la valeur admissible ($\leq 10 \%$). Ce qui nous conforte dans le choix de la section de câbles (**3x50 +NP+ 2EP**) que nous avons utilisée. Cependant, Pour une extension du réseau de distribution au-delà de **2,8 km**, il faudrait utiliser une section de câble supérieure à celle utilisée.

Le calcul des différents efforts dus à la force du vent et à la traction des conducteurs sur les supports nous ont permis de définir les différentes classes (*Classe C pour les supports simples, jumelés et contrefichés*) des supports que nous avons prescrit pour la construction du réseau de transport et de distribution.

L'aspect physique de notre réseau impose pour sa construction :

- ✓ Cent soixante cinq (**165**) supports simples
- ✓ Vingt un (**21**) supports jumelés ;
- ✓ Onze (**11**) supports contrefichés.

La matérialisation des prises de mise à la terre du neutre dans notre réseau de transport et de distribution qui permettra d'assurer une protection du réseau contre les effets de la foudre et des courts-circuits nous donne :

- ✓ Une (**01**) prise de mise à la terre de type **C**;
- ✓ Quarante (**40**) prises de mise à la terre de type **B**.

La réalisation des fouilles à une profondeur de **1,4 m** pour l'implantation des supports permettra au réseau de résister aux intempéries de diverses natures.

5.3. Analyse les résultats de l'étude économique

La valeur globale des différents coûts pour la réalisation de ce projet est de **420 138 413 F CFA** pour un montant actualisé global de **605 722 174 F CFA**.

Le montant actualisé global est obtenu en considérant qu'initialement, les coûts d'achat des équipements et de construction de la mini centrale et son réseau de transport et de distribution qui s'élève à **400 131 822 F CFA** peut être obtenu par le promoteur auprès des banques moyennant un taux d'intérêt de **10%** et remboursable par annuité sur **20 ans** pour un montant global actualisé égal à **585 715 583 F CFA** (Soit une valeur actualisé de l'annuité égale à **29 285 780 F CFA**). Les coûts relatif au suivie, évaluation et formation devraient être entièrement financés par le promoteur du projet à hauteur de **20 0060591 F CFA**.

Le montant des dépenses actualisées relatif aux coûts de fonctionnement et de remplacement de certains équipements de la centrale sur sa durée de vie nous donne **458 926 076 F CFA**.

Ainsi, pour une production globale actualisée de **2 673 414 kWh / 20 ans**, nous avons obtenu un montant de **392 F CFA** pour **le prix de revient actualisé** du kWh.

Le calcul de la **VAN** nous donne **183 135 791 F CFA** et le délai de récupération est de **15 ans**

5.4. Analyse de faisabilité économique du projet

L'intérêt fondamental d'un tel projet pour les promoteurs potentiels, serait le marché de l'électrification rurale.

Au niveau du village NZO'OH, les dépenses effectuées mensuellement par les villageois modestes s'élèvent à **3500 F CFA** pour l'éclairage au moyen des lampes à pétroles et pour l'achat des piles utilisées par les radio- cassettes. Ce qui correspond à un besoin de **12, 6 kWh/mois** (Voir annexe 16 pour détails). Ce qui revient à dire que le villageois modeste serait prêt à déboursier **278 F CFA** pour **1 kWh** l'électricité pour avoir accès à l'éclairage et écouter la radio cassette chaque mois.

Le calcul du prix de revient actualisé du kWh nous donne **392 F CFA / kWh** soit une différence de **114 F CFA** avec le montant que serait prêt à déboursier un villageois modeste. Or il ressort de l'enquête préliminaire mené dans le cadre de ce projet que très peu de villageois sont favorables à une telle augmentation.

Au Cameroun, l'électrification rurale est à la charge le l'agence de l'électrification rurale (AER) qui est sous la tutelle du ministère de l'eau et de l'énergie (MINEE).

La loi N°00000013/MINEE du 26 janvier 2009, portant sur la libéralisation du service de production, distribution et de vente de l'électricité au Cameroun donne la possibilité sur le plan institutionnel aux producteurs privés d'accompagner AES-SONEL dans l'amélioration de l'offre de l'électricité au Cameroun

Ainsi, la faisabilité économique d'un tel projet réside uniquement dans la capacité des différents intervenants à trouver des voix et moyens pour absorber ce surplus.

VI- CONCLUSION

Au terme de ce travail, force a été pour nous de constater que la conception et la réalisation d'une centrale hybride nécessite, une bonne connaissance des principes de dimensionnement des ses différentes composantes. Ainsi, les études menées dans le cadre de ce projet nous ont permis de procéder dans un premier temps au dimensionnement d'une mini centrale hybride PV/Diesel et par la suite à celui du réseau de transport et de distribution.

Tous ces calculs de dimensionnements ainsi effectués permettront d'implanter dans le village NZO'OH une mini centrale hybride PV/Diesel et un réseau de transport et de distribution qui viendra à coup sûr résorber le problème de l'électrification de ce village. Ce qui représentait le principal objectif à atteindre dans le cadre de cette étude.

Pour atteindre cet objectif, nous avons grâce aux données recueillies au village NZO'OH estimé la puissance électrique installée qui s'évaluait à **66,8 kW** pour une consommation journalière globale de **281,04 kWh**. Précisons que cette consommation englobait les pertes techniques dans le réseau de transport et de distribution qui s'évaluait quant à eux a **2,47 kWh /j**. Ces pertes techniques ont été estimées grâce au plan cartographique de la répartition des différents utilisateurs au niveau du village sur la quelle nous pouvons déterminer les distances entre eux et le site choisi pour l'implantation de mini centrale.

Nous avons par la suite tracé la courbe de variation horaire de la charge du village qui nous a permis de constater que le pic de puissance était de **32 kW**. Soit un taux de charge de **47,86 %** par rapport à puissance installée.

A partir de la courbe de variation horaire de la consommation journalière, nous avons obtenu un profil amélioré qui nous a permis de définir la fraction solaire de notre centrale et de dimensionner les différentes composantes de notre mini centrale.

Ainsi, nous avons obtenu un générateur photovoltaïque de **114 kWc**, et deux groupes de puissances respectives **12,5 kVA** et **30 kVA**. Pour une puissance totale installée de **52,9 kVA**. Un système de synchronisation se chargera de mettre en parallèle les différents générateurs pour alimenter en continu le village NZO'OH.

L'énergie ainsi produit par notre mini centrale sera acheminée vers les différents utilisateurs du village par un réseau de transport et de distribution que nous avons dimensionné et qui est constitué de **7,4 km** de câbles de sections **3×50 mm² + NP + 2EP** soutenus par **197** supports en bois (**165 supports simples, 21 supports jumelés, 09 supports contrefichés simples**) avec mise à la terre du neutre tous les **200 mètres** à partir du support adjacent à la centrale et à toutes les fins de réseau.

L'étude économique nous a permis de déterminer le coût de réalisation de ce projet qui se chiffre à **420 138 413 F CFA**. Du quel nous avons déduit le prix de revient actualisé du kW qui est de **392 F CFA**.

Le calcul de la **VAN** sur la période de vie de notre système nous donne un montant de **183 135 791 F CFA**.

Sur le plan environnemental le résultat le plus important est la substitution des lampes traditionnelles et des groupes électrogènes individuels par l'énergie électrique issue de mini centrale hybride. Bien que nous déplorons les risques de pollutions par les huiles de vidanges pendant les travaux de maintenance. Donc il sera important de préconiser quelques actions à effectuer afin d'éviter ou d'atténuer l'impact des huiles de vidange sur l'environnement.

Ainsi, nous pensons que l'étude ainsi réalisée dans le cadre ce projet représente un début de solution pour la résolution du problème d'électrification des zones rurales isolées au Cameroun pour la promotion d'un développement durable en milieu rural et dans lesquelles nous avons généralement des valeurs de l'ensoleillement favorables à la production de l'électricité d'origine solaire.

VII- RECOMMANDATIONS

Compte tenu de l'importance de l'électricité dans le développement socio -économique des populations rurales et son rôle prépondérant dans la lutte contre la pauvreté et de son impact positif sur l'environnement, l'Electrification Rurale Décentralisée au moyen des mini centrales hybrides PV/Diesel est à promouvoir. Pour cela, nous formulons les recommandations suivantes :

- L'état Camerounais afin de susciter l'intérêt du secteur privé à s'investir dans des projets d'électrification rurales au moyens des mini centrale hybrides, et dans le souci de ramener le prix de revient actualisé du kW au niveau de la bourse du villageois modeste, devrait :
 - ✓ Soit créer une banque pour le développement des énergies renouvelables au niveau de laquelle les porteurs de projets rentables dans le secteur des énergies renouvelables en général et solaire en particulier pourrons avoir des emprunts à des taux relativement bas (inférieur à 5%) ;
 - ✓ Soit faire baisser le taux de l'emprunt (inférieur à 5%) au niveau des banques pour les promoteurs de projets dans le domaine de énergies renouvelables en général et solaire en particulier ;
 - ✓ Soit accorder des financements partiels et considérables aux promoteurs des projets dans le secteur des énergies renouvelables en général et solaire en particulier.
- L'état camerounais devrait signer des partenariats avec des fabricants de l'occident afin que les équipements solaires puissent revenir à bon prix et que le coût du kilowatt crête diminue ;
- Multiplier des conférences et colloques afin d'informer le public sur les biens fondés des énergies nouvelles et de leur impact sur l'environnement ;
- Les promoteurs des projets de cette nature devrait solliciter l'expertise d'une personne qualifiée qui pourra évaluer les quantités carbonés évitées grâce à la réalisation de tels projets afin de monter un dossier pour une demande des crédits carbonés ;
- Avant la matérialisation de se projet, il sera indispensable de mener à bien des campagnes de sensibilisation des populations bénéficiaires des principes de base de la gestion économique et efficace de l'énergie ;
- L'utilisation des bacs de retentions des huiles de vidange lors des travaux de maintenance, qui seront ensuite enfutées avant d'être confiées à une entreprise spécialisée pour leur traitement avant leur rejet dans la nature.

VIII- BIBLIOGRAPHIES

1- Manuels et Ouvrage de Référence

- [1] -ELODIE HANFF, NATHALIE WEISMAN (2009): *Cours de source d'énergie et enjeux environnementaux, M2GEER à l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE).*
- [2]-Pr ZACHARIE KOLAGA. (2011): *Cours d'électricité photovoltaïque M2GEER de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE).*
- [3]-JEAN JACQUES GRAFF (2011): *Cours d'électrification rurale décentralisée, M2GEER de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE).*
- [4]-JEAN JACQUES GRAFF (2011): *Cours de transport et de distribution d'électricité, M2GEER de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE).*
- [5]-AHMED O BAGRE (2011): *Cours d'installation électrique, M2GEER de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE).*
- [6]-BAPIO BAYALA (2011): *Cours de technologie électrique, M2GEER de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE).*
- [7]-FREDEDIC TRAORE (2011): *Cours d'analyse financière, M2GEER de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE).*
- [8]-HOUPA D.D DUPLEX ELVIS (2006): *Cours Mathématique pour Physique III, Licence Electronique, Electrotechnique et Automatique de la faculté des sciences de l'Université de NGAOUNDERE.*
- [9]-MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ENERGIE (2008): *Système d'information d'énergétique du Cameroun ; Rapport 2008.*
- [10]-EMMANUEL NGNINKAM, ELIE TOLAIE (2010): *Systèmes énergétiques au Cameroun : Vulnérabilité, Adaptation, Résilience.*
- [11]-KAMDEM KAMDEM MAXIME (2008): **Les déterminants de la pauvreté énergétique en milieu rural au Cameroun**
- [12]-ROYER.J, DJIAKO. T, SCHILLER.E, BOCAR SADA SY (2004): *Pompage Photovoltaïque (Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et techniciens), IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA.*
- [13]-AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE (2007): *Injection de photovoltaïque en réseau diesel isolé : Quelques critères de faisabilité.*
- [14]-MICHAEL VANDENBERGH (2007): *Système hybride PV/Diesel pour l'électrification rurale.*
- [15]-AES-SONEL (2005): *Cahier des prescriptions techniques pour la construction des ouvrages en électricité au Cameroun.*

3 - Mémoires

[16] -HERBERT.E.C KOULETIO (2010) : *Etude pour la mise en place d'un mécanisme de production intégrée Energie – Eau – Agriculture au Benin.*

[17]-NZIETCHUENG YVES MATHURIN (2010) : *Dimensionnement d'une centrale photovoltaïque pour les stations relais de télécommunication et électrification rurale (Télémédecine et télécentre communautaire).*

4- Articles

[18] -D.REKIOUA, Z.ROUMILIA, et T REKIOUA (2008) : *Etude d'une centrale hybride photovoltaïque-Eolien-Diesel.*

[19] -A.HAMIDAT, A.HADJ ARAB, et M.BELHAMEL (2007) : *Etude et réalisation d'une mini centrale photovoltaïque hybride pour l'électrification du refuge ESSEKREM.*

[20] -L.STAYANOV, G.NOHON, et V.LAZAROV (2007) : *Optimisation des systèmes multi-sources de production d'électricité à énergies renouvelables.*

5- liens des Sites Internet

- <http://www.Wikipédia.L'encyclopédie libre.com/> ; consulté le 08/07/ 2011.
- http://www.banque-pdf.com/fr_hybride-diesel-photovoltaïque.html; consulté le 02/08/ 2011.
- <http://www.abb.com/synchrotact.com/>; consulté le 15/08/2011.
- <http://www.cder.net4sun.com/> ; consulté le 20 /08/2011.

IX- ANNEXES

ANNEXE 1: Facteur de puissance et d'utilisation de quelques équipements électrique

ANNEXE 2: Tensions adaptées pour différentes puissances crêtes d'un générateur photovoltaïque

ANNEXE 3: Caractéristiques des accumulateurs au plomb et au nickel

ANNEXE 4: Technologies des régulateurs avec avantages et inconvénients

ANNEXE 5: Variation de la consommation d'un groupe en fonction des taux de charge

ANNEXE 6: Les facteurs de correction pour le dimensionnement de câbles en BT.

ANNEXE 7: Les valeurs de K pour quelques conducteurs

ANNEXE 8: Caractéristique des conducteurs pour la construction des réseaux BT aériens

ANNEXE 9: Abaque pour la détermination de l'effort longitudinale sur les supports

ANNEXE 10: Classes des supports utilisées pour la construction des réseaux BT aériens

ANNEXE 11: Spécification technique des composants du générateur photovoltaïque

ANNEXE 12 : Bilan de puissance du village NZO'OH

ANNEXE 13 : Variation de la consommation journalière du village NZO'OH

ANNEXE 14: Définition de la fraction solaire

ANNEXE 15: Analyse économique du projet

ANNEXE 1: Facteur de puissance et d'utilisation de quelques équipements électrique

Récepteur	Facteur d'utilisation	Facteur de puissance
Eclairage		
• Incandescence	1	1
• Fluo non compensé	1	0,50
• Fluo compensé	1	0,85
• Décharge	1	0,90
Moteurs		
• Jusqu'à 0,6 kW	—	0,5
• De 1 à 3 kW	—	0,7
• De 4 à 40 kW	—	0,8
• Plus de 50 kW	—	0,9
Prises de courant		
• Dans les bureaux	0,2 à 0,5	—
• En industrie	1	—
Chauffage par résistance	1	1
Climatisation	1	—

En général, on peut admettre un facteur d'utilisation de l'ordre de 0,8 pour les moteurs.

ANNEXE 2: Tensions adaptées pour différentes puissances crêtes d'un générateur photovoltaïque

Puissance du générateur photovoltaïque	0 – 500 Wc	500 Wc – 2 kWc	2 kWc – 10 kWc	> 10 kWc
Tension recommandée	12 VDC	24 VDC	48 VDC	> 48 VDC

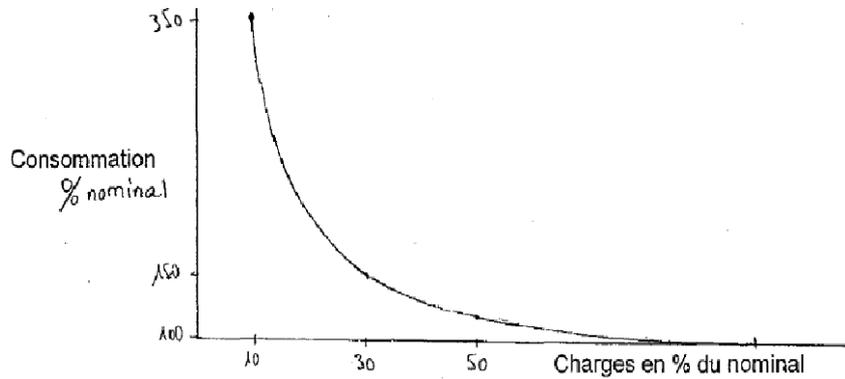
ANNEXE 3: Caractéristiques des accumulateurs au plomb et au nickel

Caractéristiques	Accumulateurs au plomb	Accumulateurs au cadmium nickel
Rendement	Bon rendement de charge et de décharge 96%	Faible rendement 80%
Durée de vie	De 7 à 10 ans	10 ans
Surcharges et décharges profondes	Mal acceptées	Acceptées
Autodécharge	Faible de 3 à 5% par mois	Faible
Charge	A faible régime (lente) 0,2 C ₁₀	Accepte des régimes de charge élevé (charge rapide ; possibilité de charge lente 0,0004 C ₅)
Effet de la température	Pas très bonne performance à faible température	Fonctionnement normal sur une large plage de températures
Energie massique	Faible par rapport au Cd-Ni (170 Wh/kg)	Bonne (210 Wh/kg)
Entretien	Nécessite un entretien régulier sauf pour les étanches	Très peu d'entretien, nul pour les étanches
Risques de projection d'électrolyte	Projection d'acide sulfurique	Projection d'une solution basique
Risques d'explosion	Importants pendant la charge et pendant 1 heure après la coupure du courant	Identiques aux accumulateurs au plomb
Coût	Pas très élevé	Elevé

ANNEXE 4: Technologies des régulateurs avec avantages et inconvénients

Type de régulateur	Méthode de charge	Avantage	Désavantage
Shunt - interrupteur	On/Off	- Faible résistance de passage entre le panneau et la batterie. - Simple, fiable si bien dimensionné	-dissipation de l'interrupteur au I _{sc} du panneau - diode de blocage indispensable -tension de hot spot plus élevée -fin de charge difficile à atteindre -tension plus élevée sur l'interrupteur en cas de surtension
Shunt linéaire	Tension constante	- fin de charge optimale - faible résistance de passage entre les panneaux et la batterie	-dissipation thermique importante -diode de blocage indispensable - tension de hot spot plus élevée
Série interrupteur	On/Off	-dissipation de l'interrupteur à I _{max} < I _{sc} - simple et fiable -surtension sur l'interrupteur réduite d'une tension de batterie	- fin de charge difficile à atteindre.
Série linéaire	Tension constante	-fin de charge optimale - surtension sur l'interrupteur réduite d'une tension de batterie	-dissipation thermique importante -tension de passage plus élevée
Série PWM	Tension constante	-fin de charge optimale - dissipation thermique réduite	-tension de passage plus élevée -électronique plus complexe -génère des parasites possibles sur des équipements sensibles proches
MPPT	Tension constante	- rendement élevé a toute température	-coût -génère des parasites possibles sur des équipements sensibles proches

ANNEXE 5: Variation de la consommation d'un groupe en fonction des taux de charge



Source : cours électrification rural Jean Jacques GRAFF

ANNEXE 6: Les facteurs de correction pour le dimensionnement de câbles en BT.

FACTEUR DE CORRECTION K1

En fonction du mode de pose des câbles posés à l'air libre.

Si les câbles sont enterrés, on prendra un facteur de correction K1 = 1,00.

MODE DE POSE		FACTEUR DE CORRECTION K1	
		Câbles multipolaires	Câbles unipolaires
◆ Câbles	- fixés aux parois et plafonds - posés sur chemins de câble, tablettes, corbeaux	1,00	1,00
◆ Câbles	- posés en gouttières	1,00	0,90
◆ Câbles	- posés dans les huisseries	1,00	0,90
◆ Câbles	- posés sur conduits apparents, encastrés sous moulure et plinthe - posés en goulottes, gaine ou en caniveaux ouverts ou fermés - posés dans des vides de construction, alvéoles ou blocs alvéolés	0,90	0,80
◆ Câbles	- posés en conduits dans des caniveaux fermés ou ouverts	0,80	0,70

FACTEUR DE CORRECTION K2

Pour câbles posés dans une température ambiante différente :
 — de 30 °C pour les câbles à l'air libre
 — de 20 °C pour les câbles enterrés.

TABLEAU N° 9

TEMPÉRATURE AMBIANTE θ_a °C	Câbles basses tension isolés au		
	Caoutchouc $\theta_p = 60$ °C	PVC $\theta_p = 70$ °C	PR $\theta_p = 90$ °C
CÂBLES A L'AIR LIBRE			
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,91	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55		0,61	0,76
60		0,50	0,71
65			0,65
70			0,58
75			0,50
CÂBLES ENTERRÉS			
10		1,10	1,07
15		1,05	1,04
20		1,00	1,00
25		0,95	0,96
30		0,89	0,93
35		0,84	0,89
40		0,77	0,85
45		0,71	0,80
50		0,63	0,76

Pour des valeurs différentes on peut calculer le coefficient K2 avec la formule suivante :

$$K_2 = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_a}{\theta_p - \theta_n}}$$

Notation :

θ_p : température de l'âme en régime normal.

θ_n : température ambiante normale
(30 °C ou 20 °C)

θ_a : température ambiante réelle.

ANNEXE 7: Caractéristique des conducteurs pour la construction des réseaux BT aériens

Nature	Section en mm ²	Intensité admissible « A »
Câbles faisceau de distribution aérienne (autoporté)	3x25 + NP	112 A à 30 °C
	3 x 35 + NP	138 A à 30 °C
	3 x 50 + NP	168 A à 30 °C
	3 x 70 + NP	213 A à 30 °C
	3 x 150 + NP	344 A à 30 °C
Câbles souterrains armés à âme aluminium, isolant PRC et enveloppe PRC. (Norme UTE.NFC 33-210) (Norme EDF HN33.S.33)	3 x 35 + N35	120 A à 20 °C
	3 x 50 + N50	140 A à 20 °C
	3 x 95 + N50	210 A à 20 °C
	3 x 150 + N70	280 A à 20 °C
	3 x 240 + N95	370 A à 20 °C
Câbles souterrains cuivre	4 x 50	210 A à 20 °C
	4 x 95	325 A à 20 °C

ANNEXE 8: Les valeurs de k pour quelques conducteurs

$$k = \frac{R_0 + X_0 \operatorname{tg} \varphi}{U^2} \cdot 100$$

Nature	Section en mm ²	Intensité admissible « A »	k en (kW.km) ⁻¹ réseau 230/400 V
Câbles alu faisceau de distribution aérienne (autoporté)	3x25 + NP	112 A à 30 °C	0,99
	3 x 35 + NP	138 A à 30 °C	0,72
	3 x 50 + NP	168 A à 30 °C	0,54
	3 x 70 + NP	213 A à 30 °C	0,42
	3 x 150 + NP	344 A à 30 °C	0,23
Câbles souterrains norme UTE.NFC 33-210 (âme aluminium, isolant PR)	3 x 35 + N35	120 A à 20 °C	0,72
	3 x 50 + N50	140 A à 20 °C	0,54
	3 x 95 + N50	210 A à 20 °C	0,28
	3 x 150 + N70	280 A à 20 °C	0,20
	3 x 240 + N95	370 A à 20 °C	0,13

ANNEXE 9: Abaque pour la détermination de l'effort longitudinale sur les supports

— 23 —

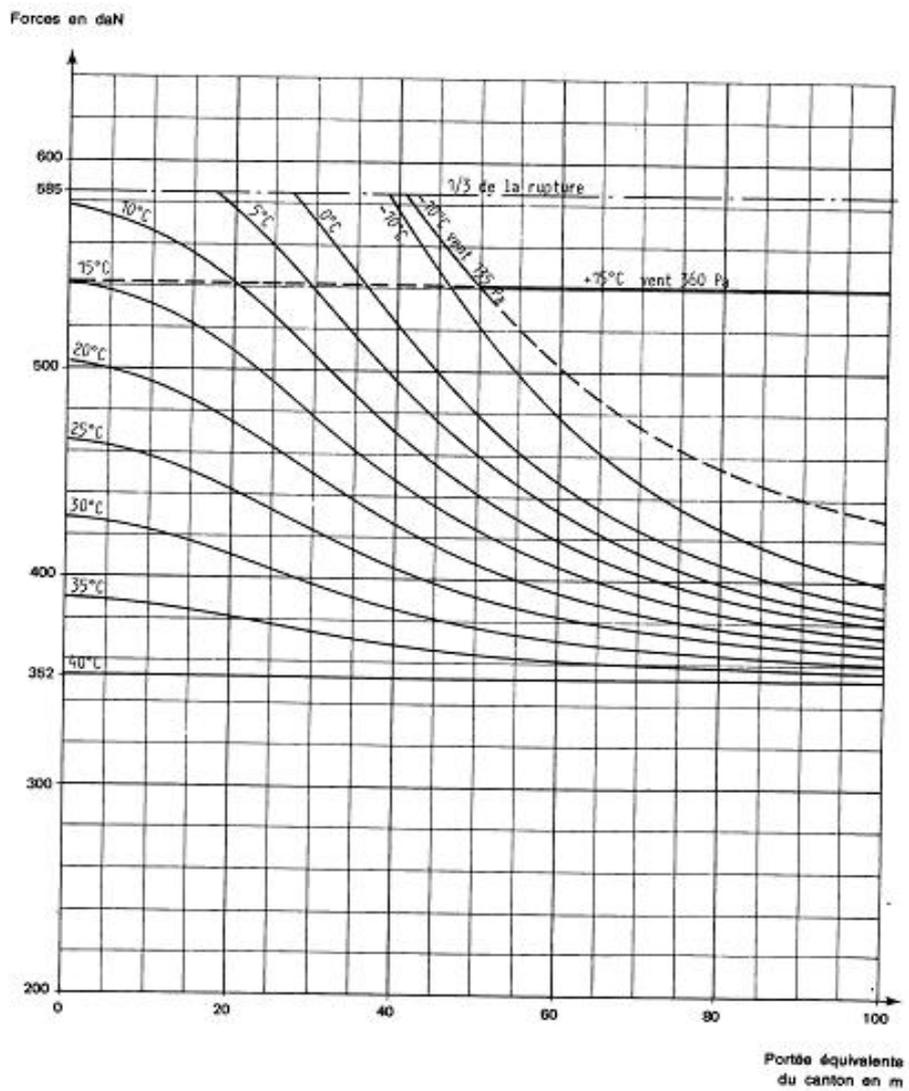
NF C 11-201
ANNEXE III

ABAUQUE N° 31.23

Forces de traction

Faisceau 3 × 70 mm² + 1 × 54,6 mm² + 2 EP

Paramètre 300 à 40 °C sans vent



ANNEXE 10: Classes des supports utilisées pour la construction des réseaux BT aériens

a) Le poteau bois simple

Une connaissance directe du poteau bois simple découle des expériences menées.

Nous avons obtenu le tableau des efforts suivant :

		EFFORTS NOMINAUX (daN)			
CLASSE HAUTEUR (m)	C	D	E	F	
	9	190	300	-	-
10	175	280	-	-	
11	165	250	345	386	
12	160	245	340	380	
13	150	235	335	380	

b 1) Le poteau jumelé

Le calcul d'un poteau jumelé se développe de la même façon qu'un poteau simple, mais en considérant la section totale des 2 poteaux l'inertie étant prise dans le sens de l'effort.

Nous avons obtenu le tableau suivant pour les efforts :

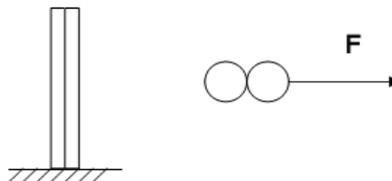
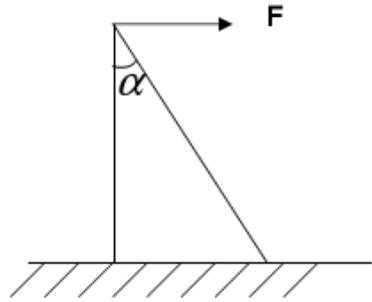


Figure 1 : Poteau jumelé

		EFFORTS NOMINAUX (daN)			
CLASSE HAUTEUR (m)	C	D	E	F	
	9	570	900	-	-
10	525	840	-	-	
11	495	750	1035	1155	
12	480	735	1020	1140	
13	450	705	1005	1140	

b 2) Le poteau contrefiché

Deux types de poteaux contrefichés sont en vigueur à la SONEL, en fonction de l'angle α :



contrefiché z : $tg \alpha = \frac{1}{3}$

contrefiché x : $tg \alpha = \frac{1}{5}$

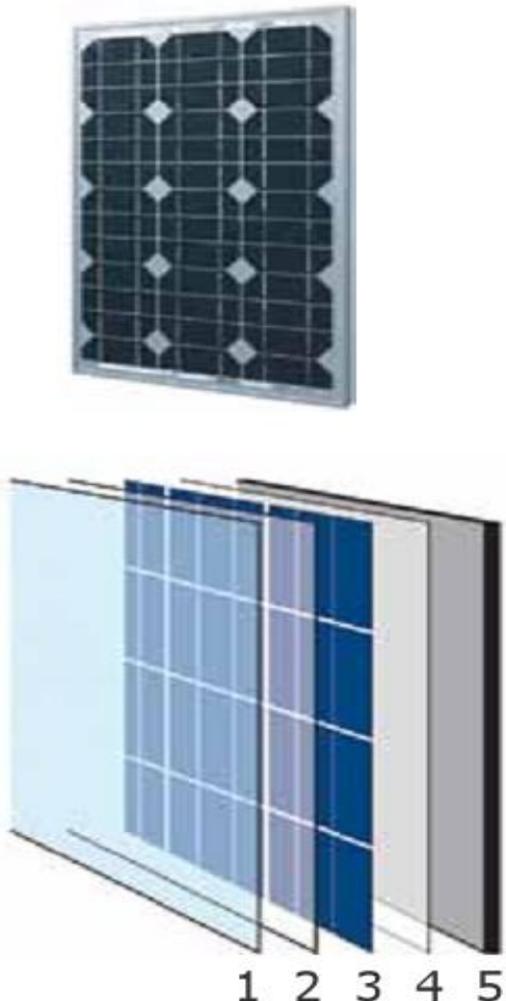
Figure 2 : Poteau contrefiché

Le poteau contrefiché est utilisé pour des angles importants tel que le montre le tableau de valeurs ci-dessous pour le poteau contrefiché z.

		EFFORTS NOMINAUX (daN)			
		C	D	E	F
HAUTEUR (m)	CLASSE				
	9		1450	2250	-
10		1260	1955	-	-
11		1075	1760	2560	2900
12		930	1525	2300	2700
13		-	-	-	-

ANNEXE 11 : Spécifications techniques des composantes du générateur PV

1) Spécification technique du Module PV



The image shows a top-down view of a square photovoltaic module with a grid of dark cells. Below it is a 3D cutaway diagram of the module's layers, numbered 1 to 5 from left to right: 1. Glass, 2. Ethylene vinyl chloride (EVA) encapsulant, 3. Silicon wafer, 4. Backsheet, and 5. Frame.

MODULES MULTICRISTALIN VICTRON
Numéro de référence : **PX-TE -018**
Rendement : **13 %**
Tension : **12 V**
Tension Maximum : **17,2 V**
Puissance : **180 W_c**
Courant nominal : **15 A**
Courant de court-circuit : **16,76 A**
Dimensionnement : **1,48× 0,676× 0,034**

2) Spécification technique des régulateurs



The image shows a grey rectangular solar charge controller with a digital display and several control buttons on the front panel. The brand name 'Aeca' is visible in red on the bottom right of the device.

STECA POWER TAROM :
Cette gamme de régulateur est conçue pour des applications industrielles et en extérieur (IP65).
Il est utilisé pour une large plage de puissance allant jusqu'à 8400Wc, pour 3 niveaux de tension (12V, 24V, 48V).
Si vous les raccordez en parallèle, plusieurs régulateurs peuvent fonctionner dans un système PV simple ou PV hybride dans une plage allant jusqu'à 20KWc d'électricité solaire.

3) Spécification technique des batteries



BATTERIE STATIONNAIRE TZS24 4580Ah

BATTERIE STATIONNAIRE TZS24 4580Ah

La batterie solaire stationnaire TZS24 a une capacité de 4580 Ah à C120 en 2V. A plaques positives tubulaires, elle a été spécialement conçue pour assurer en toute sécurité la continuité de fourniture d'énergie pendant la nuit et les périodes de faible ensoleillement. Son alliage et sa faible consommation d'eau lui assure une bonne tenue au cyclage et une longue durée de vie avec un entretien réduit. Elle peut être fournie en 2V, 12V, 24V et 48V.



4) Spécification technique de l'onduleur bidirectionnel

3-3 « XANTREX » Le chargeur Convertisseur :



A /- Contrôleur/chargeur hybride XW

C'est la nouvelle génération de convertisseurs/chargeurs pour les systèmes à énergie renouvelable et les applications d'alimentation de secours.

Le convertisseur/chargeur hybride XW est un convertisseur/chargeur sinusoïdal pur, équipé d'un convertisseur CC-CA, d'un chargeur de batterie et d'un commutateur de transfert automatique CA.

C'est l'outil idéal pour les applications hybrides Photovoltaïque-Diesel.

Il est utilisé pour une large plage de puissance allant jusqu'à 120 kWc, et sur des batteries allant jusqu'à 25 00 Ah.

Caractéristiques produit :

Sortie sinusoïdale pure

Configurations monophasée (230 V ca) et triphasée (400/230 V ca) dispo.

Double entrée CA

Connexion en parallèle possible pour plusieurs unités

Communication en réseau via la fonction Xanbus™

ANNEXE 12 : Bilan de puissance du village NZO'OH

Bilan de puissance des maisons d'habitations																			
Type d'utilisateur	Récepteurs		Puissance active nominale (W)	ku	Cosφ	Tension d'utilisation (V)	Courant d'utilisation (A)	Puissance d'utilisation par récepteur (W)	Puissance d'utilisation par récepteur (VA)	Puissance d'utilisation par récepteur (VAR)	Puissance d'utilisation par type de maison (kW)	Puissance d'utilisation par type utilisateur (kVAR)	Puissance apparente type utilisateur (kVA)	Facteur de puissance type utilisateur (Cosφ)	Nbres par type de maisons	Puissance active des maisons (kW)	Puissance réactive des maisons (kVAR)	Puissance apparente des maisons (kVA)	Facteur de puissance des maisons (Cosφ _C)
	Types	Nbres																	
Maison d'habitation Pour famille aisée Deux(02) salons Six (06) chambres Une (01) cuisine Deux(02) douches Grenier et magasin	Tubes fluorescents	16	20	1	0,85	220	0,11	320	376,47	198,32	1,58	0,39	1,63	0,97	10	37,74	8,63	38,71	0,97
	Radio K7 + CD	1	30	0,8	0,8	220	0,17	24	30	18									
	Poste de télévision	1	80	0,8	0,8	220	0,45	64	80	48									
	Lecteur DVD	1	20	0,8	0,8	220	0,11	16	20	12									
	Réfrigérateur	1	150	1	0,8	220	0,85	150	188	112,5									
	Fer à repasser	1	1000	1	1	220	4,55	1000	1000	0									
Téléphone Portable	3	2	0,8	0,8	220	0,01	4,8	6	3,6										
Maison d'habitation Pour famille moyenne Un salon Quatre (04) chambres Une (01) cuisine Grenier et magasin	Tubes fluorescents	10	20	1	0,85	220	0,11	200	235	123,95	1,31	0,25	1,33	0,98	16	37,74	8,63	38,71	0,97
	Radio K7 + CD	1	30	0,8	0,8	220	0,17	24	38	28,81									
	Poste de télévision	1	80	0,8	0,8	220	0,45	64	100	76,84									
	Lecteur DVD	1	20	0,8	0,8	220	0,11	16	25	19,21									
	Fer à repasser	1	1000	1	1	220	4,55	1000	1000	0									
	Téléphone Portable	2	2	0,8	0,8	220	0,01	3,2	5	3,84									
Maison d'habitation Pour famille modeste Un salon Trois (03) chambres Une (01) cuisine Une (01) douche Grenier	Lampes	8	11	1	0,85	220	0,06	88,0	104	54,54	0,10	0,07	0,12	0,84	10	37,74	8,63	38,71	0,97
	Radio K7	1	15	0,8	0,8	220	0,09	12	15	9									
	Téléphone Portable	2	2	0,8	0,8	220	0,01	3	4	2,4									

Bilan de puissance des concessions familiales

Type d'utilisateur	Récepteurs		Puissance active nominale (W)	ku	Cosφ	Tension d'utilisation (V)	Courant d'utilisation (A)	Puissance d'utilisation par récepteur (W)	Puissance d'utilisation par récepteur (VA)	Puissance d'utilisation par récepteur (VAR)	Puissance active par concession (kW)	Puissance réactive par maison (kVAR)	Puissance apparente (kVA)	Facteur de puissance (Cosφ)	Nbres par type de concession	Puissance active des concessions (kW)	Puissance réactive des concessions (kVAR)	Puissance d'utilisation des concessions (kVA)	Facteur de puissance global (Cosφ _G)
	Types	Nbres																	
Grandes concessions familiales	Lampes	36	11	1	0,85	220	0,06	396	466	245	0,42	0,27	0,50	0,85	1	4,88	3,08	5,77	0,85
	Radio K7	1	15	0,8	0,8	220	0,09	12	15	9									
	Téléphone Portable	9	2	0,8	0,8	220	0,01	14,4	18	11									
Concessions familiale moyennes	Lampes	24	11	1	0,85	220	0,06	264	311	164	0,29	0,18	0,34	0,85	2	4,88	3,08	5,77	0,85
	Radio K7	1	15	0,8	0,8	220	0,09	12	15	9									
	Téléphone Portable	6	2	0,8	0,8	220	0,01	9,6	12	7									
Petites concessions familiales	Lampes	16	11	1	0,85	220	0,06	176	207	109	0,19	0,12	0,23	0,85	20	4,88	3,08	5,77	0,85
	Radio K7	1	15	0,8	0,8	220	0,09	12	15	9									
	Téléphone Portable	4	2	0,8	0,8	220	0,01	6,4	8	5									

Bilan de puissance des activités génératrice de revenus (Partie 1)																			
Type d'utilisateur	Récepteurs		Puissance active nominale (W)	ku	Cosφ	Tension d'utilisation (V)	Courant d'utilisation (A)	Puissance d'utilisation par récepteur (W)	Puissance d'utilisation par récepteur (VA)	Puissance d'utilisation par récepteur (VAR)	Puissance d'utilisation par type de maison (kW)	Puissance d'utilisation par type utilisateur (kVAR)	Puissance apparente type utilisateur (kVA)	Facteur de puissance type utilisateur (Cosφ)	Nbres par type d'utilisateur	Puissance active globale (kW)	Puissance réactive globale (kVAR)	Puissance apparente globale (kVA)	Facteur de d'utilisation globale (Cosφ _c)
	Types	Nbres																	
Auberge la gaité	Tubes fluorescents	4	20	1	0,85	220	0,11	80	94	50	1,71	0,49	1,78	0,96	1	4,95	2,12	5,38	0,92
	Lampes	23	11	1	0,85	220	0,06	253	298	157									
	Radio K7 + CD	1	30	0,8	0,8	220	0,17	24	30	18									
	Poste de télévision	1	80	0,8	0,8	220	0,45	64	80	48									
	Lecteur DVD	1	20	0,8	0,8	220	0,11	16	20	12									
	Congélateur	1	250	1	0,8	220	1,42	250	313	188									
	Fer à repasser	1	1000	1	1	220	4,55	1000	1000	0									
Téléphone Portable	13	2	0,8	0,8	220	0,01	20,8	26	16										
Auberge le repère	Tubes fluorescents	2	20	1	0,85	220	0,11	40	47	25	1,57	0,40	1,62	0,97	1	4,95	2,12	5,38	0,92
	Lampes	15	11	1	0,85	220	0,06	165	194	102									
	Radio K7 + CD	1	30	0,8	0,8	220	0,17	24	30	18									
	Poste de télévision	1	80	0,8	0,8	220	0,45	64	80	48									
	Lecteur DVD	1	20	0,8	0,8	220	0,11	16	20	12									
	Réfrigérateur	1	250	1	0,8	220	1,42	250	313	188									
	Fer à repasser	1	1000	1	1	220	4,55	1000	1000	0									
	Téléphone Portable	8	2	0,8	0,8	220	0,01	12,8	16	10									
Débit de boissons & épiceries	Tubes fluorescents	2	20	1	0,85	220	0,11	40	47	25	0,42	0,31	0,52	0,81	4	4,95	2,12	5,38	0,92
	Lampes	1	11	1	0,85	220	0,06	11	13	7									
	Radio K7+CD	1	40	0,8	0,8	220	0,23	32	40	24									
	Poste de télévision	1	80	0,8	0,8	220	0,45	64	80	48									
	Lecteur DVD	1	20	0,8	0,8	220	0,11	16	20	12									
Congélateur	1	250	1	0,8	220	1,42	250	313	188										
Téléphone Portable	3	2	0,8	0,8	220	0,01	4,8	6	4										

Bilan de puissance des activités génératrice de revenus (Partie 2)																			
Type d'utilisateur	Récepteurs		Puissance active nominale (W)	ku	Cosφ	Tension d'utilisation (V)	Courant d'utilisation (A)	Puissance d'utilisation par récepteur (W)	Puissance d'utilisation par récepteur (VA)	Puissance d'utilisation par récepteur (VAR)	Puissance d'utilisation par type de maison (kW)	Puissance d'utilisation par type utilisateur (kVAR)	Puissance apparente type utilisateur (kVA)	Facteur de puissance type utilisateur (Cosφ)	Nbres par type d'utilisateur	Puissance d'utilisation global (kW)	Puissance d'utilisation global (kVAR)	Puissance d'utilisation global (kVA)	Facteur de puissance global (Cosφ _G)
	Types	Nbres																	
Moulin	Lampes	2	11	1	0,85	220	0,06	22	26	14	1,23	0,92	1,54	0,80	3	4,79	2,86	5,58	0,86
	Radio K7	1	15	0,8	0,8	220	0,09	12	15	9									
	Téléphone Portable	1	1	0,8	0,8	220	0,01	0,8	1	1									
	Moteur monophasé	1	1500	0,8	0,8	220	8,52	1200	1500	900									
Grande ferme pour élevage des volailles	Lampes	3	20	1	0,85	220	0,11	60	71	37	0,68	0,05	0,68	1	1	4,79	2,86	5,58	0,86
	Incandescence	10	60	1	1	220	0,27	600	600	0									
Petite ferme pour élevage des volailles	Radio K7	1	15	0,8	0,8	220	0,09	12	15	9	0,41	0,04	0,41	1	1	4,79	2,86	5,58	0,86
	Téléphone Portable	3	2	0,8	0,8	220	0,01	4,8	6	4									
	Lampes	3	11	1	0,8	220	0,06	33	41	25									
	Incandescence	6	60	1	1	220	0,27	360	360	0									
	Radio K7	1	15	0,8	0,8	220	0,09	12	15	9	0,41	0,04	0,41	1	1	4,79	2,86	5,58	0,86
	Téléphone Portable	2	2	0,8	0,8	220	0,01	3,2	4	2									

Bilan de puissance des infrastructures sociocommunautaires (partie 1)																			
Type d'utilisateur	Récepteurs		Puissance nominale (W)	ku	Cosφ	Tension d'utilisation (V)	Courant d'utilisation (A)	Puissance d'utilisation par récepteur (W)	Puissance d'utilisation par récepteur (VA)	Puissance d'utilisation par récepteur (VAR)	Puissance d'utilisation par type de maison (kW)	Puissance d'utilisation par type utilisateur (kVAR)	Puissance apparente type utilisateur (kVA)	Facteur de puissance type utilisateur (Cosφ)	Nbres par type d'utilisateur	Puissance active globale (kW)	Puissance réactive globale (kVAR)	Puissance apparente globale (kVA)	Facteur de puissance global (Cosφ _G)
	Types	Nbres																	
Centre de santé NZO'OH	Tubes fluorescents	20	20	1	0,85	220	0,11	400	471	248	4,82	2,81	5,58	0,86	1	7,15	4,47	8,43	0,85
	Radio K7	6	11	0,8	0,85	220	0,06	52,8	62	33									
	Poste de télévision	1	80	0,8	0,8	220	0,45	64	80	48									
	Réfrigérateur	1	150	1	0,8	220	0,85	150	188	113									
	Matériel de Labo	1	1040	1	0,8	220	5,91	1040	1300	780									
	Matériel de chirurgie	1	60	1	0,8	220	0,34	60	75	45									
	Radiographie	1	1750	1	0,8	220	9,94	1750	2188	1313									
	Ordinateur complet	1	300	0,8	0,8	220	1,70	240	300	180									
	Imprimante	1	50	0,8	0,8	220	0,28	40	50	30									
	Fer à repasser	1	1000	1	1	220	4,55	1000	1000	0									
Téléphone Portable	15	2	0,8	0,8	220	0,01	24	30	18										
Ecole primaire	Tubes fluorescents	11	20	1	0,85	220	0,11	220	259	136	0,72	0,51	0,89	0,82	2	7,15	4,47	8,43	0,85
	Radio K7	3	15	0,8	0,8	220	0,09	36	45	27									
	Poste télévision	1	80	0,8	0,8	220	0,45	64	80	48									
	Ordinateur complet	1	300	0,8	0,8	220	1,70	240	300	180									
	Imprimante	1	50	0,8	0,8	220	0,28	40	50	30									
	Photocopieur	1	150	0,8	0,8	220	0,85	120	150	90									
	Téléphone Portable	3	2	0,8	0,8	220	0,01	4,8	6	4									
Ecole maternelle	Tubes fluorescents	4	20	1	0,85	220	0,11	80	94	50	0,44	0,32	0,54	0,81	2	7,15	4,47	8,43	0,85
	Radio K7	1	15	0,8	0,8	220	0,09	12	15	9									
	Poste de télévision	1	80	0,8	0,8	220	0,45	64	80	48									
	Ordinateur	1	300	0,8	0,8	220	1,70	240	300	180									
	Imprimante	1	50	0,8	0,8	220	0,28	40	50	30									
	Téléphone Portable	3	2	0,8	0,8	220	0,01	4,8	6	3,6									

Bilan de puissance des infrastructures sociocommunautaires (partie 2)																			
Type d'utilisateur	Récepteurs		Puissance active nominale (W)	ku	Cosφ	Tension d'utilisation (V)	Courant d'utilisation (A)	Puissance d'utilisation par récepteur (W)	Puissance d'utilisation par récepteur (VA)	Puissance d'utilisation par récepteur (VAR)	Puissance d'utilisation par type utilisateur (kW)	Puissance d'utilisation par type de maison (kVAR)	Puissance d'utilisation par type utilisateur (kVA)	Puissance apparente type utilisateur (kVA)	Facteur de puissance type utilisateur (Cosφ)	Puissance active globale (kW)	Puissance réactive globale (kVAR)	Puissance apparente globale (kVA)	Facteur de d'utilisation global (Cosφ _G)
	Types	Nbres																	
Eglise CEBEC de NZO'OH	Tubes fluorescents	2	20	1	0,85	220	0,11	40	47,06	24,79	0,10	0,07	0,12	0,83	1	1,52	0,96	1,80	0,85
	Eclairage extérieur	1	20	1	0,85	220	0,11	20	23,53	12,39									
	Amplificateur +micro	1	50	0,8	0,8	220	0,28	40	50,00	30,00									
Eclairage public	Lampadaires	1	40	1	0,85	220	0,21	40	47,06	24,79	0,04	0,02	0,05	0,85	33				
Foyer culturel de NZO'OH	Lampes	2	20	1	0,8	220	0,11	40	50,00	30,00	0,10	0,08	0,13	0,80	1	1,52	0,96	1,80	0,85
	Eclairage extérieur	1	20	1	0,8	220	0,11	20	25,00	15,00									
	Amplificateur +micro	1	50	0,8	0,8	220	0,28	40	50,00	30,00									

ANNEXE 13 : Variation de la consommation journalière du village NZO'OH

<i>Variation horaires de la consommation pour les maisons d'habitations pour famille aisée</i>			
<i>Heures d'utilisation</i>	<i>Variation horaire des pertes de toutes les famille aisée du village (kWh)</i>	<i>Variation horaire de la consommation de toutes les familles aisées du village (kWh)</i>	<i>Variation horaire de la consommation de toutes les familles aisées du village avec pertes inclus (kWh)</i>
0h - 1h	0	0	0
1h - 2h	0	0	0
2h - 3h	0	0	0
3h - 4h	0	0	0
4h - 5h	0	0	0
5h - 6h	0	0	0
6h - 7h	0,192	11,74	11,932289
7h - 8h	0,004	1,74	1,744224
8h - 9h	0,0031	1,5	1,503139
9h - 10h	0,0031	1,5	1,503139
10h - 11h	0,0031	1,5	1,503139
11h - 12h	0,0031	1,5	1,503139
12h - 13h	0,0031	1,5	1,503139
13h - 14h	0,0031	1,5	1,503139
14h - 15h	0,0031	1,5	1,503139
15h - 16h	0,00314	1,5	1,503139
16h - 17h	0,00900	2,54	2,549001
17h - 18h	0,00934	2,588	2,597344
18h - 19h	0,04674	5,788	5,834738
19h - 20h	0,04419	5,628	5,672190
20h - 21h	0,04419	5,628	5,672190
21h - 22h	0,04419	5,628	5,672190
22h - 23h	0	0	0
23h - 24h	0	0	0
	0,42	53,28	53,70

Variation horaires de la consommation des habitations pour familles moyennes			
Heures d'utilisation	Variation horaire des pertes de toutes les habitations pour familles moyennes (kWh)	Variation horaire de la consommation habitations pour familles moyennes (kWh)	Variation horaire de la consommation habitations pour familles moyennes avec pertes inclus (kWh)
0h - 1h	0	0	0
1h - 2h	0	0	0
2h - 3h	0	0	0
3h - 4h	0	0	0
4h - 5h	0	0	0
5h - 6h	0	0	0
6h - 7h	0,1609	16,38	16,540886
7h - 8h	0,0001	0,38	0,380088
8h - 9h	0	0	0
9h - 10h	0	0	0
10h - 11h	0	0	0
11h - 12h	0	0	0
12h - 13h	0	0	0
13h - 14h	0	0	0
14h - 15h	0	0	0
15h - 16h	0	0	0
16h - 17h	0,0017	1,66	1,661660
17h - 18h	0,0018	1,72	1,721763
18h - 19h	0,0145	4,92	4,934480
19h - 20h	0,0130	4,66	4,673011
20h - 21h	0,0130	4,66	4,673011
21h - 22h	0,0130	4,66	4,673011
22h - 23h	0	0	0
23h - 24h	0	0	0
	0,22	39,04	39,26

Variation horaires des pertes techniques des habitations pour familles modeste			
Heures d'utilisation	Variation horaire des pertes de toutes les familles modeste du village (kWh)	Variation horaire de la consommation famille modeste du village (kWh)	Variation horaire de la consommation famille modeste du village avec pertes inclus (kWh)
0h - 1h	0	0	0
1h - 2h	0	0	0
2h - 3h	0	0	0
3h - 4h	0	0	0
4h - 5h	0	0	0
5h - 6h	0	0	0
6h - 7h	0,00002	0,12	0,120020
7h - 8h	0,00002	0,12	0,120020
8h - 9h	0	0	0,000000
9h - 10h	0	0	0,000000
10h - 11h	0	0	0,000000
11h - 12h	0	0	0,000000
12h - 13h	0	0	0,000000
13h - 14h	0	0	0,000000
14h - 15h	0	0	0,000000
15h - 16h	0	0	0,000000
16h - 17h	0,00002	0,12	0,120020
17h - 18h	0,00003	0,15	0,150032
18h - 19h	0,00116	0,92	0,921161
19h - 20h	0,00116	0,92	0,921161
20h - 21h	0,00116	0,92	0,921161
21h - 22h	0,00116	0,92	0,921161
22h - 23h	0	0	0
23h - 24h	0	0	0
	0,005	4,19	4,2

Variation horaires des pertes techniques pour la grande concession familiale					
		Concession I	Variation horaire des pertes de toutes La grande concessions familiales (kWh)	Variation horaire de la consommation La grande concessions familiales (kWh)	Variation horaire de la consommation La grande concessions familiales avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000			
	R(en Ω /km)	1,32			
	L (en km)	1,12			
	U^2 (en V)	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,72			
Heures d'utilisation	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	0	0,000000	0	0	0
1h - 2h	0	0,000000	0	0	0
2h - 3h	0	0,000000	0	0	0
3h - 4h	0	0,000000	0	0	0
4h - 5h	0	0,000000	0	0	0
5h - 6h	0	0,000000	0	0	0
6h - 7h	12	0,000002	0,000002	0,01	0,010002
7h - 8h	12	0,000002	0,000002	0,01	0,010002
8h - 9h	0	0,000000	0,0000	0	0,000000
9h - 10h	0	0,000000	0,0000	0	0,000000
10h - 11h	0	0,000000	0,0000	0	0,000000
11h - 12h	0	0,000000	0,0000	0	0,000000
12h - 13h	0	0,000000	0,0000	0	0,000000
13h - 14h	0	0,000000	0,0000	0	0,000000
14h - 15h	0	0,000000	0,0000	0	0,000000
15h - 16h	0	0,000000	0,00000	0	0,000000
16h - 17h	12	0,000002	0,000002	0,01	0,010002
17h - 18h	26,4	0,000010	0,000010	0,03	0,030010
18h - 19h	422,4	0,002528	0,002528	0,42	0,422528
19h - 20h	422,4	0,002528	0,002528	0,42	0,422528
20h - 21h	422,4	0,002528	0,002528	0,42	0,422528
21h - 22h	422,4	0,002528	0,002528	0,42	0,422528
22h - 23h	0	0,000000	0	0	0
23h - 24h	0	0,000000	0	0	0
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liée à la consommation électrique de la grande concession familiale en kWh/j			0,010	1,74	1,75

Variation horaires des pertes techniques pour les concessions familiales moyennes						
		Concession 1	Concession 2	Variation horaire des pertes de toutes les concessions familiales moyennes (kWh)	Variation horaire de la consommation concessions familiales moyennes (kWh)	Variation horaire de la consommation concessions familiales moyennes avec pertes inclus (kWh)
	10^{-3}	1000	1000			
	$R(\text{en } \Omega/\text{km})$	1,32	1,32			
	$L(\text{en km})$	0,64	0,56			
	$U^2(\text{en V})$	144400	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,72	0,72			
Heures	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)	Pertes (en kWh)			
d'utilisation						
0h - 1h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
1h - 2h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
2h - 3h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
3h - 4h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
4h - 5h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
5h - 6h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
6h - 7h	12	0,000001	0,000001	0,000002	0,02	0,020002
7h - 8h	12	0,000001	0,000001	0,000002	0,02	0,020002
8h - 9h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,000000
9h - 10h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,000000
10h - 11h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,000000
11h - 12h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,000000
12h - 13h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,000000
13h - 14h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,000000
14h - 15h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,000000
15h - 16h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,000000
16h - 17h	12	0,000001	0,000001	0,000002	0,02	0,020002
17h - 18h	21,6	0,000004	0,000003	0,000007	0,04	0,040007
18h - 19h	285,6	0,000660	0,000578	0,001238	0,57	0,571238
19h - 20h	285,6	0,000660	0,000578	0,001238	0,57	0,571238
20h - 21h	285,6	0,000660	0,000578	0,001238	0,57	0,571238
21h - 22h	285,6	0,000660	0,000578	0,001238	0,57	0,571238
22h - 23h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
23h - 24h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liées à la consommation électrique des concessions familiales moyennes en kWh/j				0,005	2,38	2,385

Variation horaires de la consommation pour les petites concessions familiales			
Heures d'utilisation	Variation horaire des pertes pour petites concessions (kWh)	Variation horaire de la consommation petites concessions (kWh)	Variation horaire de la consommation petites concessions avec pertes inclus (kWh)
0h - 1h	0,000000	0	0
1h - 2h	0,000000	0	0
2h - 3h	0,000000	0	0
3h - 4h	0,000000	0	0
4h - 5h	0,000000	0	0
5h - 6h	0,000000	0	0
6h - 7h	0,000054	0,24	0,240054
7h - 8h	0,000054	0,24	0,240054
8h - 9h	0,000000	0	0,000000
9h - 10h	0,000000	0	0,000000
10h - 11h	0,000000	0	0,000000
11h - 12h	0,000000	0	0,000000
12h - 13h	0,000000	0	0,000000
13h - 14h	0,000000	0	0,000000
14h - 15h	0,000000	0	0,000000
15h - 16h	0,000000	0	0,000000
16h - 17h	0,000054	0,24	0,240054
17h - 18h	0,000126	0,37	0,370126
18h - 19h	0,014086	3,89	3,904086
19h - 20h	0,014086	3,89	3,904086
20h - 21h	0,014086	3,89	3,904086
21h - 22h	0,014086	3,89	3,904086
22h - 23h	0,000000	0	0
23h - 24h	0,000000	0	0
	0,06	16,65	16,71

Variation horaires des pertes techniques pour l'auberge "la gaité"					
Heures d'utilisation		Auberge la gaité	Variation horaire des pertes de l'auberge la gaité (kWh)	Variation horaire de la consommation de l'auberge la gaité (kWh)	Variation horaire de la consommation de l'auberge la gaité avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000			
	R(en Ω /km)	1,32			
	L(en km)	1,12			
	U^2 (en V)	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,92			
	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	418	0,001941	0,00194	0,418	0,41994
1h - 2h	418	0,001941	0,00194	0,418	0,41994
2h - 3h	418	0,001941	0,00194	0,418	0,41994
3h - 4h	418	0,001941	0,00194	0,418	0,41994
4h - 5h	418	0,001941	0,00194	0,418	0,41994
5h - 6h	418	0,001941	0,00194	0,418	0,41994
6h - 7h	1338	0,019888	0,01989	1,338	1,35789
7h - 8h	1338	0,019888	0,01989	1,338	1,35789
8h - 9h	338	0,001269	0,00127	0,338	0,33927
9h - 10h	354	0,001392	0,00139	0,354	0,35539
10h - 11h	354	0,001392	0,00139	0,354	0,35539
11h - 12h	354	0,001392	0,00139	0,354	0,35539
12h - 13h	354	0,001392	0,00139	0,354	0,35539
13h - 14h	354	0,001392	0,00139	0,354	0,35539
14h - 15h	354	0,001392	0,00139	0,354	0,35539
15h - 16h	354	0,001392	0,00139	0,354	0,35539
16h - 17h	354	0,001392	0,00139	0,354	0,35539
17h - 18h	374,8	0,001561	0,00156	0,375	0,37656
18h - 19h	707,8	0,005565	0,00557	0,7078	0,71337
19h - 20h	691,8	0,005317	0,00532	0,6918	0,69712
20h - 21h	691,8	0,005317	0,00532	0,6918	0,69712
21h - 22h	691,8	0,005317	0,00532	0,6918	0,69712
22h - 23h	418	0,001941	0,00194	0,418	0,41994
23h - 24h	418	0,001941	0,00194	0,418	0,41994
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liée à la consommation électrique de l'auberge la gaité en kWh/j			0,09	12,35	12,44

Variation horaires des pertes techniques pour l'auberge "le repère"					
Heures d'utilisation		Auberge le repère	Variation horaire des pertes de l'auberge le repère (kWh)	Variation horaire de la consommation de l'auberge le repère (kWh)	Variation horaire de la consommation de l'auberge le repère avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000			
	R(en Ω/km)	1,32			
	L (en km)	1,12			
	U^2 (en V)	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,94			
Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)				
0h - 1h	378	0,001555	0,00155	0,378	0,3796
1h - 2h	378	0,001555	0,00155	0,378	0,3796
2h - 3h	378	0,001555	0,00155	0,378	0,3796
3h - 4h	378	0,001555	0,00155	0,378	0,3796
4h - 5h	378	0,001555	0,00155	0,378	0,3796
5h - 6h	378	0,001555	0,00155	0,378	0,3796
6h - 7h	1338	0,019480	0,01948	1,338	1,3575
7h - 8h	1338	0,019480	0,01948	1,338	1,3575
8h - 9h	338	0,001243	0,00124	0,338	0,3392
9h - 10h	354	0,001364	0,00136	0,354	0,3554
10h - 11h	354	0,001364	0,00136	0,354	0,3554
11h - 12h	354	0,001364	0,00136	0,354	0,3554
12h - 13h	354	0,001364	0,00136	0,354	0,3554
13h - 14h	354	0,001364	0,00136	0,354	0,3554
14h - 15h	354	0,001364	0,00136	0,354	0,3554
15h - 16h	354	0,001364	0,00136	0,354	0,3554
16h - 17h	354	0,001364	0,00136	0,354	0,3554
17h - 18h	366,8	0,001464	0,00146	0,367	0,3685
18h - 19h	571,8	0,003558	0,00356	0,572	0,5756
19h - 20h	555,8	0,003361	0,00336	0,556	0,5594
20h - 21h	555,8	0,003361	0,00336	0,556	0,5594
21h - 22h	555,8	0,003361	0,00336	0,556	0,5594
22h - 23h	378	0,001555	0,00155	0,378	0,3796
23h - 24h	378	0,001555	0,00155	0,378	0,3796
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liée à la consommation électrique de l'auberge le repère en kWh/j			0,08	11,48	11,56

Variation horaires des pertes techniques pour les débits de boissons & épicereries								
Heures d'utilisation		N°1	N°2	N°3	N°4	Variation horaire des pertes de toutes les débits de boissons & épicereries (kWh)	Variation horaire de la consommation des débits de boissons & épicereries (kWh)	Variation horaire de la consommation des débits de boissons & épicereries avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000	1000	1000	1000			
	R(en Ω/km)	1,32	1,32	1,32	1,32			
	L (en km)	1,12	1,12	0,64	0,56			
	U^2 (en V)	144400	144400	144400	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,66	0,66	0,66	0,66			
	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)	Pertes (en kWh)	Pertes (en kWh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
1h - 2h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
2h - 3h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
3h - 4h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
4h - 5h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
5h - 6h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
6h - 7h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
7h - 8h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
8h - 9h	24	0,000009	0,000009	0,000005	0,000004	0,00003	0,096	0,096028
9h - 10h	24	0,000009	0,000009	0,000005	0,000004	0,00003	0,096	0,096028
10h - 11h	24	0,000009	0,000009	0,000005	0,000004	0,00003	0,096	0,096028
11h - 12h	24	0,000009	0,000009	0,000005	0,000004	0,00003	0,096	0,096028
12h - 13h	274	0,001172	0,001172	0,000669	0,000586	0,00360	1,096	1,099598
13h - 14h	274	0,001172	0,001172	0,000669	0,000586	0,00360	1,096	1,099598
14h - 15h	330	0,001699	0,001699	0,000971	0,000850	0,00522	1,32	1,325219
15h - 16h	330	0,001699	0,001699	0,000971	0,000850	0,00522	1,32	1,325219
16h - 17h	330	0,001699	0,001699	0,000971	0,000850	0,00522	1,32	1,325219
17h - 18h	334,8	0,001749	0,001749	0,001000	0,000875	0,00537	1,339	1,344372
18h - 19h	385,8	0,002323	0,002323	0,001327	0,001161	0,00713	1,543	1,550134
19h - 20h	369,8	0,002134	0,002134	0,001219	0,001067	0,00655	1,479	1,485554
20h - 21h	369,8	0,002134	0,002134	0,001219	0,001067	0,00655	1,479	1,485554
21h - 22h	369,8	0,002134	0,002134	0,001219	0,001067	0,00655	1,479	1,485554
22h - 23h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
23h - 24h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liées à la consommation électrique des débits de boissons + épicereries en kWh/j						0,06	13,86	13,91

Variation horaires des pertes techniques pour les moulins							
Heures d'utilisation		Moulin 1	Moulin 2	Moulin 3	Variation horaire des pertes de toutes les moulins (kWh)	Variation horaire de la consommation des moulins (kWh)	Variation horaire de la consommation des moulins avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000	1000	1000			
	R(en Ω /km)	1,32	1,32	1,32			
	L (en km)	0,64	0,56	0,56			
	U^2 (en V)	144400	144400	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,64	0,64	0,64			
	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)	Pertes (en kWh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
1h - 2h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
2h - 3h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
3h - 4h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
4h - 5h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
5h - 6h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
6h - 7h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
7h - 8h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
8h - 9h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
9h - 10h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
10h - 11h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
11h - 12h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
12h - 13h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
13h - 14h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
14h - 15h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
15h - 16h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
16h - 17h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
17h - 18h	1213,6	0,013463	0,011781	0,011781	0,037	3,641	3,678
18h - 19h	1235,6	0,013956	0,012212	0,012212	0,038	3,707	3,745
19h - 20h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
20h - 21h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
21h - 22h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
22h - 23h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
23h - 24h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0	0
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liées à la consommation électrique des Moulins en kWhj					0,372	36,48	36,85

Variation horaires des pertes techniques pour la grande ferme					
		Grande ferme	Variation horaire des pertes de toutes les de la grande ferme (kWh)	Variation horaire de la consommation de la grande ferme (kWh)	Variation horaire de la consommation de la grande ferme avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000			
	R(en Ω/km)	1,32			
	L (en km)	1,12			
	U^2 (en V)	144400			
$\cos^2\phi$	1,00				
Heures d'utilisation	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	600	0,00369	0,00369	0,60000	0,60369
1h - 2h	600	0,00369	0,00369	0,60000	0,60369
2h - 3h	600	0,00369	0,00369	0,60000	0,60369
3h - 4h	600	0,00369	0,00369	0,60000	0,60369
4h - 5h	600	0,00369	0,00369	0,60000	0,60369
5h - 6h	600	0,00369	0,00369	0,60000	0,60369
6h - 7h	12	0,00000	0,00000	0,012	0,01200
7h - 8h	12	0,00000	0,00000	0,012	0,01200
8h - 9h	12	0,00000	0,00000	0,012	0,01200
9h - 10h	12	0,00000	0,00000	0,012	0,01200
10h - 11h	612	0,00383	0,00383	0,612	0,61583
11h - 12h	612	0,00383	0,00383	0,612	0,61583
12h - 13h	612	0,00383	0,00383	0,612	0,61583
13h - 14h	612	0,00383	0,00383	0,612	0,61583
14h - 15h	612	0,00383	0,00383	0,612	0,61583
15h - 16h	612	0,00383	0,00383	0,612	0,61583
16h - 17h	612	0,00383	0,00383	0,612	0,61583
17h - 18h	612	0,00383	0,00383	0,612	0,61583
18h - 19h	49,8	0,00003	0,00003	0,0498	0,04983
19h - 20h	49,8	0,00003	0,00003	0,0498	0,04983
20h - 21h	49,8	0,00003	0,00003	0,0498	0,04983
21h - 22h	49,8	0,00003	0,00003	0,0498	0,04983
22h - 23h	600	0,00369	0,00369	0,60000	0,60369
23h - 24h	600	0,00369	0,00369	0,60000	0,60369
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liée à la consommation électrique de la grande ferme en kWh/j			0,06	9,94	10

Variation horaires des pertes techniques pour la petite ferme					
		Petite ferme	Variation horaire des pertes de la petite ferme (kWh)	Variation horaire de la consommation de la petite ferme (kWh)	Variation horaire de la consommation de la petite ferme avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000			
	R(en Ω /km)	1,32			
	L (en km)	1,12			
	U^2 (en V)	144400			
$\text{Cos}^2\phi$	1,00				
Heures d'utilisation	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	360	0,001327	0,00133	0,36	0,361
1h - 2h	360	0,001327	0,00133	0,36	0,361
2h - 3h	360	0,001327	0,00133	0,36	0,361
3h - 4h	360	0,001327	0,00133	0,36	0,361
4h - 5h	360	0,001327	0,00133	0,36	0,361
5h - 6h	360	0,001327	0,00133	0,36	0,361
6h - 7h	12	0,000001	0,00000	0,012	0,012001
7h - 8h	12	0,000001	0,00000	0,012	0,012001
8h - 9h	12	0,000001	0,00000	0,012	0,012001
9h - 10h	12	0,000001	0,00000	0,012	0,012001
10h - 11h	372	0,001417	0,00142	0,372	0,373417
11h - 12h	372	0,001417	0,00142	0,372	0,373417
12h - 13h	372	0,001417	0,00142	0,372	0,373417
13h - 14h	372	0,001417	0,00142	0,372	0,373417
14h - 15h	372	0,001417	0,00142	0,372	0,373417
15h - 16h	372	0,001417	0,00142	0,372	0,373417
16h - 17h	372	0,001417	0,00142	0,372	0,373417
17h - 18h	372	0,001417	0,00142	0,372	0,373417
18h - 19h	48,2	0,000024	0,00002	0,0482	0,048224
19h - 20h	48,2	0,000024	0,00002	0,0482	0,048224
20h - 21h	48,2	0,000024	0,00002	0,0482	0,048224
21h - 22h	48,2	0,000024	0,00002	0,0482	0,048224
22h - 23h	360	0,001327	0,00133	0,36	0,361
23h - 24h	360	0,001327	0,00133	0,36	0,361
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liée à la consommation électrique de la grande ferme en kWh/j			0,02	6,10	6,12

Variation horaires des pertes techniques pour le centre de santé intégré de NZO'OH					
		CSI	Variation horaire des pertes de tous le centre de santé intégré de NZO'OH (kWh)	Variation horaire de la consommation du centre de santé intégré du village (kWh)	Variation horaire de la consommation du centre de santé intégré du village avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000			
	R(en Ω /km)	1,32			
	L (en km)	0,72			
	U^2 (en V)	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,74			
Heures d'utilisation	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,7145
1h - 2h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,7145
2h - 3h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,7145
3h - 4h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,7145
4h - 5h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,7145
5h - 6h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,7145
6h - 7h	310	0,000855	0,000855	0,31	0,310855
7h - 8h	310	0,000855	0,000855	0,31	0,310855
8h - 9h	4440	0,175432	0,175432	4,44	4,615432
9h - 10h	4440	0,175432	0,175432	4,44	4,615432
10h - 11h	3440	0,105307	0,105307	3,44	3,545307
11h - 12h	3440	0,105307	0,105307	3,44	3,545307
12h - 13h	3440	0,105307	0,105307	3,44	3,545307
13h - 14h	3440	0,105307	0,105307	3,44	3,545307
14h - 15h	3440	0,105307	0,105307	3,44	3,545307
15h - 16h	3440	0,105307	0,105307	3,44	3,545307
16h - 17h	310	0,000855	0,000855	0,31	0,310855
17h - 18h	310	0,000855	0,000855	0,31	0,310855
18h - 19h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,714486
19h - 20h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,714486
20h - 21h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,714486
21h - 22h	710	0,004486	0,004486	0,71	0,714486
22h - 23h	710	0,004486	0	0,71	0,7145
23h - 24h	710	0,004486	0	0,71	0,7145
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liée à la consommation électrique du centre de santé intégré de NZO'OH en kWh/j			1,040	39,280	40,320

Variation horaires des pertes techniques pour les écoles primaires						
Heures d'utilisation	10^3	école 1	école 2	Variation horaire des pertes de toutes les les écoles primaires du village (kWh)	Variation horaire de la consommation des écoles primaires du village (kWh)	Variation horaire de la consommation des écoles primaires du village avec pertes inclus (kWh)
	R(en Ω /km)	1,32	1,32			
	L (en km)	0,28	0,76			
	U^2 (en V)	144400	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,72	0,72			
	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)	Pertes (en kWh)			
	0h - 1h	40	0,000006			
1h - 2h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
2h - 3h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
3h - 4h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
4h - 5h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
5h - 6h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
6h - 7h	0	0,000000	0,000000	0	0	0
7h - 8h	0	0,000000	0,000000	0	0	0
8h - 9h	440,8	0,000688	0,001868	0,002557	0,88	0,882557
9h - 10h	440,8	0,000688	0,001868	0,002557	0,88	0,882557
10h - 11h	440,8	0,000688	0,001868	0,002557	0,88	0,882557
11h - 12h	440,8	0,000688	0,001868	0,002557	0,88	0,882557
12h - 13h	504,8	0,000903	0,002450	0,003353	1,01	1,013353
13h - 14h	504,8	0,000903	0,002450	0,003353	1,01	1,013353
14h - 15h	440,8	0,000688	0,001868	0,002557	0,88	0,882557
15h - 16h	440,8	0,000688	0,001868	0,002557	0,88	0,882557
16h - 17h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
17h - 18h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
18h - 19h	220	0,000171	0,000465	0,000637	0,44	0,440637
19h - 20h	220	0,000171	0,000465	0,000637	0,44	0,440637
20h - 21h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
21h - 22h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
22h - 23h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
23h - 24h	40	0,000006	0,000015	0,000021	0,08	0,080021
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liées à la consommation électrique les écoles primaires en kWh/j				0,024	8,98	9

Variation horaires des pertes techniques pour les écoles maternelles						
Heures d'utilisation		école 1	école 2	Variation horaire des pertes des écoles maternelles du village (kWh)	Variation horaire de la consommation des écoles maternelles avec pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la consommation des écoles maternelles avec pertes inclus (kWh)
	10^3	1000	1000			
	R(en Ω /km)	1,32	1,32			
	L (en km)	0,68	0,76			
	U^2 (en V)	144400	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,72	0,72			
	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,08
1h - 2h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,08
2h - 3h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,08
3h - 4h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,08
4h - 5h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,08
5h - 6h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,08
6h - 7h	0	0,000000	0,000000	0	0	0
7h - 8h	0	0,000000	0,000000	0	0	0
8h - 9h	296,8	0,000758	0,000847	0,001605	0,59	0,591605
9h - 10h	296,8	0,000758	0,000847	0,001605	0,59	0,591605
10h - 11h	296,8	0,000758	0,000847	0,001605	0,59	0,591605
11h - 12h	296,8	0,000758	0,000847	0,001605	0,59	0,591605
12h - 13h	360,8	0,001120	0,001252	0,002372	0,72	0,722372
13h - 14h	360,8	0,001120	0,001252	0,002372	0,72	0,722372
14h - 15h	296,8	0,000758	0,000847	0,001605	0,59	0,591605
15h - 16h	296,8	0,000758	0,000847	0,001605	0,59	0,591605
16h - 17h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
17h - 18h	0	0,000000	0,000000	0,000000	0	0
18h - 19h	80	0,000055	0,000062	0,000117	0,16	0,160117
19h - 20h	80	0,000055	0,000062	0,000117	0,16	0,160117
20h - 21h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,080029
21h - 22h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,080029
22h - 23h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,08
23h - 24h	40	0,000014	0,000015	0,000029	0,08	0,08
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liées à la consommation électrique des écoles maternelles en kWh/j				0,015	6,10	6,115

Variation horaires des pertes techniques pour l'église CEBEC de NZO'OH					
Heures d'utilisation	10^3	église 1000	Variation horaire des pertes l'église CEBEC de NZO'OH (kWh)	Variation horaire de la Consommation de l'église CEBEC de NZO'OH (kWh)	Variation horaire de la Consommation de l'église CEBEC de NZO'OH avec pertes inclus (kWh)
	R(en Ω/km)	1,32			
	L (en km)	0,3			
	U²(en V)	144400			
	Cos²φ	0,72			
	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,02
1h - 2h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,02
2h - 3h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,02
3h - 4h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,02
4h - 5h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,02
5h - 6h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,02
6h - 7h	0	0,000000	0	0	0
7h - 8h	0	0,000000	0	0	0
8h - 9h	0	0,000000	0	0	0
9h - 10h	0	0,000000	0	0	0
10h - 11h	0	0,000000	0	0	0
11h - 12h	0	0,000000	0	0	0
12h - 13h	0	0,000000	0	0	0
13h - 14h	0	0,000000	0	0	0
14h - 15h	0	0,000000	0	0	0
15h - 16h	0	0,000000	0	0	0
16h - 17h	0	0,000000	0	0	0
17h - 18h	40	0,000006	0,000006	0,04	0,040006
18h - 19h	120	0,000055	0,000055	0,12	0,120055
19h - 20h	120	0,000055	0,000055	0,12	0,120055
20h - 21h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,020002
21h - 22h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,020002
22h - 23h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,02
23h - 24h	20	0,000002	0,000002	0,02	0,02
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liée à la consommation électrique l'église CEBEC de NZO'OH en kWh/j			0,00013	0,48	0,48

Variation horaires des pertes techniques pour le foyer culturel de NZO'OH					
		Foyer Culturel	Variation horaire des pertes du foyer culturel de NZO'OH (kWh)	Variation horaire de la consommation des écoles maternelles avec pertes inclus (kWh)	Variation horaire de la consommation du foyer culturel de NZO'OH (kWh)
	10^3	1000			
Heures d'utilisation	R(en Ω/km)	1,32			
	L (en km)	0,72			
	U^2 (en V)	144400			
	$\text{Cos}^2\phi$	0,72			
	Variation consommation horaire (en Wh)	Pertes (en kWh)			
0h - 1h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,02
1h - 2h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,02
2h - 3h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,02
3h - 4h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,02
4h - 5h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,02
5h - 6h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,02
6h - 7h	0	0,000000	0	0	0
7h - 8h	0	0,000000	0	0	0
8h - 9h	0	0,000000	0	0	0
9h - 10h	0	0,000000	0	0	0
10h - 11h	0	0,000000	0	0	0
11h - 12h	0	0,000000	0	0	0
12h - 13h	0	0,000000	0	0	0
13h - 14h	0	0,000000	0	0	0
14h - 15h	0	0,000000	0	0	0
15h - 16h	0	0,000000	0	0	0
16h - 17h	0	0,000000	0	0	0
17h - 18h	40	0,000015	0,000015	0,04	0,040015
18h - 19h	100	0,000091	0,000091	0,1	0,100091
19h - 20h	100	0,000091	0,000091	0,1	0,100091
20h - 21h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,020004
21h - 22h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,020004
22h - 23h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,02
23h - 24h	20	0,000004	0,000004	0,02	0,02
Pertes techniques journalières dans le réseau de transport et de distribution liée à la consommation électrique du foyer culturel de NZO'OH en kWh/j			0,00023	0,44	0,440

<i>Variation horaires des pertes techniques pour l'éclairage public</i>			
<i>Heures d'utilisation</i>	<i>Variation horaire des pertes de toutes l'éclairage public du village (kWh)</i>	<i>Variation horaire de la consommation de toutes l'éclairage public du village (kWh)</i>	<i>Variation horaire de la consommation de toutes l'éclairage public du village (kWh)</i>
0h - 1h	0,00081	1,32	1,321
1h - 2h	0,00081	1,32	1,321
2h - 3h	0,00081	1,32	1,321
3h - 4h	0,00081	1,32	1,321
4h - 5h	0,00081	1,32	1,321
5h - 6h	0,00081	1,32	1,321
6h - 7h	0,00000	0	0
7h - 8h	0,00000	0	0
8h - 9h	0,00000	0	0
9h - 10h	0,00000	0	0
10h - 11h	0,00000	0	0
11h - 12h	0,00000	0	0
12h - 13h	0,00000	0	0
13h - 14h	0,00000	0	0
14h - 15h	0,00000	0	0
15h - 16h	0,00000	0	0
16h - 17h	0,00000	0	0
17h - 18h	0,00000	0	0
18h - 19h	0,00081	1,32	1,321
19h - 20h	0,00081	1,32	1,321
20h - 21h	0,00081	1,32	1,321
21h - 22h	0,00081	1,32	1,321
22h - 23h	0,00081	1,32	1,321
23h - 24h	0,00081	1,32	1,321
	0,01	15,84	15,85

ANNEXE 14: Définition de la fraction solaire

Consommation journalière à satisfaire par la mini centrale hybride				
Périodes	Temps d'utilisation	Contribution en Puissance	consommation	Consommation journalière à satisfaire
	[en heures]	[en kW]		[en kWh]
0h - 6h	6	4	24	316,75
6h - 6h30	0,5	20	10	
6h30 - 7h30	1	32	32	
7h30 - 8h	0,5	20	10	
8h - 8h30	0,5	8	4	
8h30 - 9h	0,5	8	4	
9h - 9h30	0,5	11	5,5	
9h30 - 13h	3,5	13	45,5	
13h - 16h30	3,5	13,5	47,25	
16h30 - 17h30	1	13	13	
17h30 - 18h	0,5	12	6	
18h-18h30	0,5	20	10	
18h30-20h	1,5	26,5	39,75	
20h - 22h30	2,5	22	55	
22h30 - 23h	0,5	13,5	6,75	
23h - 24h	1	4	4	

Consommation journalière à satisfaire par le générateur PV				
Périodes	Temps d'utilisation	Contribution en Puissance	consommation	Consommation journalière à satisfaire
	[en heures]	[en kW]		[en kWh]
0h - 6h	6	4	24	163
6h - 6h30	0,5	8	4	
6h30 - 7h30	1	8	8	
7h30 - 8h	0,5	8	4	
8h - 8h30	0,5	6	3	
8h30 - 9h	0,5	8	4	
9h - 9h30	0,5	8	4	
9h30 - 13h	3,5	8	28	
13h - 16h30	3,5	8	28	
16h30 - 17h30	1	8	8	
17h30 - 18h	0,5	8	4	
18h-18h30	0,5	8	4	
18h30-20h	1,5	8	12	
20h - 22h30	2,5	8	20	
22h30 - 23h	0,5	8	4	
23h - 24h	1	4	4	

Consommation journalière à satisfaire par le groupe électrogène 1 (GE₁)				
Périodes	Temps d'utilisation	Contribution en Puissance	consommation	Consommation journalière à satisfaire
	[en heures]	[en kW]	[en kWh]	[en kWh/j]
0h - 6h	6	0	0	88
6h - 6h30	0,5	6	3	
6h30 - 7h30	1	6	6	
7h30 - 8h	0,5	6	3	
8h - 8h30	0,5	2	1	
8h30 - 9h	0,5	0	0	
9h - 9h30	0,5	3	1,5	
9h30 - 13h	3,5	5	17,5	
13h - 16h30	3,5	5,5	19,25	
16h30 - 17h30	1	5	5	
17h30 - 18h	0,5	4	2	
18h-18h30	0,5	6	3	
18h30-20h	1,5	6	9	
20h - 22h30	2,5	6	15	
22h30 - 23h	0,5	5,5	2,75	
23h - 24h	1	0	0	

Consommation journalière à satisfaire par le groupe électrogène 2 (GE₂)				
Périodes	Temps d'utilisation	Contribution en Puissance	consommation	Consommation journalière à satisfaire
	[en heures]	[en kW]	[en kWh]	[en kWh/j]
0h - 6h	6	0	0	65,75
6h - 6h30	0,5	6	3	
6h30 - 7h30	1	18	18	
7h30 - 8h	0,5	6	3	
8h - 8h30	0,5	0	0	
8h30 - 9h	0,5	0	0	
9h - 9h30	0,5	0	0	
9h30 - 13h	3,5	0	0	
13h - 16h30	3,5	0	0	
16h30 - 17h30	1	0	0	
17h30 - 18h	0,5	0	0	
18h-18h30	0,5	6	3	
18h30-20h	1,5	12,5	18,75	
20h - 22h30	2,5	8	20	
22h30 - 23h	0,5	0	0	
23h - 24h	1	0	0	

ANNEXE 15: Analyse économique du projet

Coûts de construction du réseau de transport et de distribution et des points d'éclairage								
1	RESEAU BT TRIPHASE 3 × 50+ NP+2EP							
	TRAVAUX ET FOURNITURES	Quantité	Unité	Fourniture F CFA		MONTAGE		TOTAUX F.CFA
				P.U	P.T	P.U	P.T	
1.1	Etude et piquetage	7,8	km		0	170 000	1 326 000	1 326 000
1.2	Fouilles	39	m3		0	5 000	195 000	195 000
1.3	F et P poteaux bois de 9m/S	165	U	60 000	9 900 000	10 000	1 650 000	11 550 000
2.4	F et P poteaux bois de 9m/J	21	U	130 000	2 730 000	20 500	430 500	3 160 500
2.5	F et P poteaux bois de 9m/X	11	U	130 000	1 430 000	20 500	225 500	1 655 500
1.6	F et P armement d'alignement BT	151	U	8 000	1 208 000	2 000	302 000	1 510 000
1.7	F et P armement d'ancrage BT	42	U	15 000	630 000	3 000	126 000	756 000
1.8	Déroulage câble 3 × 50+NP+2EP	7800	ml	2 100	16 380 000	350	2 730 000	19 110 000
1.9	Mise à la terre de type B	1	U	120 000	120 000	15 000	15 000	135 000
1.10	Mise à la terre de type C	34	U	70 000	2 380 000	10 000	340 000	2 720 000
1.11	Plaque numéro et numérotation	197	U	2 000	394 000	200	39 400	433 400
1.12	F et P éclairage public	33	U	60 000	1 980 000	20 000	660 000	2 640 000
Sous Total 1								45 191 400
2	PRESTATIONS DIVERSES							
2.1	Transport et manutention matériels	1	FFt		0	550 000	550 000	550 000
2.2	transport poteaux bois	1	FFt		0	700 000	700 000	700 000
2.3	Abatage - Elagage	1,5	km		0	150 000	225 000	225 000
2.4	Déplacement équipes	10	j		0	75 000	750 000	750 000
Sous Total 2								2 225 000
Coût Total								47 416 400

<i>Analyse Economique Projet Mini centrale hybride PV / Diesel et réseau de transport et de distribution pour l'électrification du village NZO'OH (Partie1)</i>		
Description Du Projet		
<i>Durée de vie du système</i>	20	Ans
<i>Puissance de la mini centrale</i>	52,5	kVA
<i>Production Journalière</i>	420,312	kWh/j
<i>Production annuelle</i>	153 414	kWh/ans
<i>Production sur la durée de vie totale du projet</i>	3 068 275	kWh/20 ans
Paramètres économiques		
<i>1. Taux d'intérêt annuel (τ_i)</i>	10%	
<i>2. Taux d'investissement (τ_{inv})</i>	8%	
<i>3. Taux d'inflation (τ_{inf})</i>	3%	
<i>4. Taux d'actualisation net (2-3) (τ_{act})</i>	5%	
<i>2. Durée de la période d'Amortissement</i>	20	

Analyse Economique Projet Mini centrale hybride PV / Diesel et réseau de transport et de distribution pour l'électrification du village NZO'OH (Partie2)						
Poste D'investissement						
Générateur photovoltaïque						
A	Module	635	335 990	213 353 650		
	Régulateur	15	482 998	7 244 970		
	Support pour modules	114 000	120	13 680 000		
	Câbles	1	3 870 630	3 870 630		
	Génie civil	114 000	200	22 800 000		
	Main d'œuvre	114 000	100	11 400 000		
	Total A				272 349 250	
B	Batterie	10	1 047 167	10 471 666		
	Onduleur bidirectionnel	1	18 071 150	18 071 150		
	Total B			28 542 816		
Groupes électrogènes						
C	Groupe électrogène 1 (12,5 kVA / 10 kW)	1	6 326 800	6 326 800		
	Groupe électrogène 2 (30 kVA / 24 kW)	1	8 156 900	8 156 900		
	Armoire de synchronisation	1	8 779 560	8 779 560		
	Câbles	30	1 000	30 000		
	Génie civil	34 000	150	5 100 000		
	Main d'œuvre	34 000	100	3 400 000		
	Total C				31 793 260	
Construction du réseau de transport et de distribution et Points d'éclairage publique						
D	Réseau triphasé 3× 50 + NP + 2 EP	7,8	5 865 718	45 752 600		
	Points d'éclairage public	33	80 000	2 640 000		
	Total D			48 392 600		
Frais Généraux (5% Coût Inv)		5%		19 053 896		
Coût Investissement initial Total				400 131 822		

Analyse Economique Projet Mini centrale hybride PV / Diesel et réseau de transport et de distribution pour l'électrification du village NZO'OH (Partie3)				
Poste de Fonctionnement				
E	Générateur photovoltaïque			
	Coût de maintenance (2% Coût Inv)	2%		6 017 841
	Coût d'exploitation (3% Coût Inv)	3%		9 026 762
	Total coût annuel de fonctionnement Générateur PV			15 044 603
	Groupes électrogènes			
	Coût de maintenance (20% Coûts achat)	20%		2 896 740
	Dépenses combustible GE ₁	14184	520	7 375 680
	Dépenses combustible GE ₂	9732	520	5 060 640
	Dépenses lubrifiant GE ₁ (10 % combustible)	10%		506 064
	Dépenses lubrifiant GE ₂ (10 % combustible)	10%		737 568
	Total coût annuel de fonctionnement des groupes électrogènes			16 576 692
	Réseau de transport et de distribution et Points d'éclairage public			
	Coût de maintenance (2% Coût Inv)	2%		967 852
	Coût d'exploitation (3% Coût Inv)	3%		1 451 778
Total coût annuel de fonctionnement du réseau et des points d'éclairage			2 419 630	
Coût de fonctionnement			34 040 925	
Poste Suivi et Evaluation, et Formation				
F	Coût Suivi et Evaluation (5% Inv Total)	3%		12 003 955
	Coût pour formation (2% Coût Inv Total)	2%		8 002 636
Coût Total Suivi, Evaluation, et Formation			20 006 591	

Analyse Economique Projet Mini centrale hybride PV / Diesel et réseau de transport et de distribution pour l'électrification du village NZO'OH (Partie 4)										
		<i>Quantités</i>	<i>Prix Unitaire (en Fcfa)</i>	<i>Prix Total (en Fcfa)</i>	<i>Durée de la période</i>	<i>Valeur Présente (en F cfa)</i>	<i>Coef. Pour annuité</i>	<i>Coef D'actual Simple</i>	<i>Coef D'actual Uniforme</i>	<i>Valeur Actualisé (en F cfa)</i>
Amortissement										
Annuités	Coût Investissement initial Total				20	46 999 334	0,1175		12,462	585 715 583
	B				7	28 542 816		0,7107		20 284 846
					14	28 542 816		0,5051		14 416 061
	E				20	34 040 925			12,462	424 225 171
F					0	20 006 591		1		20 006 591
Valeur de Rachat										
		-10%			20	-42 013 841		0,377		-15 834 575
Coût actualisé du projet										1 048 813 678
Coût de revient actualisé du prix du kWh										392

Calcul de la VAN du projet													
Année	Investis Initial (I ₀) (F CFA)	Production annuelle (kW / ans)	Production annuelle consommé (kW / ans)	Prix de vente du kW	Recette annuelle (F CFA)	Dépense (F CFA)	Valeur résiduelle (F CFA)	Amortissement (F CFA)	Bénéfice avant impôt (F CFA)	Impôt sur le bénéfice (F CFA)	Bénéfice après impôt (F CFA)	Cash-flow Flow (F CFA)	Cash-flow Flow Cumulé (F CFA)
0	420 138 413											-420 138 413	-420 138 413
1		153414	115614	392	45 356 719	21510352		30 293 706	-6 447 338		-6447338	30 293 706	-389 844 708
2		153414	117348	392	46 037 070	21510352		30 293 706	-5 766 987		-5766987	30 293 706	-359 551 002
3		153414	119108	392	46 727 626	21510352		30 293 706	-5 076 431		-5076431	30 293 706	-329 257 296
4		153414	120895	392	47 428 541	21510352		30 293 706	-4 375 517		-4375517	30 293 706	-298 963 590
5		153414	122708	392	48 139 969	21510352		30 293 706	-3 664 089		-3664089	30 293 706	-268 669 885
6		153414	124549	392	48 862 068	21510352		30 293 706	-2 941 989		-2941989	30 293 706	-238 376 179
7	28 542 816	153414	126417	392	49 594 999	21510352		33 191 541	-5 106 893		-5106893	4 648 725	-233 727 454
8		153414	128313	392	50 338 924	21510352		33 191 541	-4 362 968		-4362968	33 191 541	-200 535 913
9		153414	130238	392	51 094 008	21510352		33 191 541	-3 607 884		-3607884	33 191 541	-167 344 372
10		153414	132192	392	51 860 418	21510352		33 191 541	-2 841 474		-2841474	33 191 541	-134 152 831
11		153414	134174	392	52 638 324	21510352		33 191 541	-2 063 568		-2063568	33 191 541	-100 961 290
12		153414	136187	392	53 427 899	21510352		33 191 541	-1 273 993		-1273993	33 191 541	-67 769 750
13		153414	138230	392	54 229 318	21510352		33 191 541	-472 575		-472575	33 191 541	-34 578 209
14	28 542 816	153414	140303	392	55 042 758	21510352		32 353 143	1 179 263	235 853	943410	4 046 180	-30 532 029
15		153414	142408	392	55 868 399	21510352		32 353 143	2 004 904	400 981	1603923	32 754 124	2 222 095
16		153414	144544	392	56 706 425	21510352		32 353 143	2 842 930	568 586	2274344	32 921 729	35 143 824
17		153414	146712	392	57 557 021	21510352		32 353 143	3 693 527	738 705	2954821	33 091 848	68 235 672
18		153414	148913	392	58 420 377	21510352		32 353 143	4 556 882	911 376	3645506	33 264 519	101 500 192
19		153414	151147	392	59 296 682	21510352		32 353 143	5 433 188	1 086 638	4346550	33 439 781	134 939 972
20		153414	153414	392	60 186 132	21510352	15 838 547	32 353 143	6 322 638	1 264 528	5058110	49 456 218	184 396 190