



ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA-TCHAD

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE

MASTER SPECIALISE EN GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 30 Janvier 2024 par :

20131455 MOUHAMAD BECHIR HAMID

Travaux codiriges par :

Directeur de mémoire : Professeur ABAKAR MAHAMAT TAHIR

Vice- Président de l'Université de N'Djamena charge de l'école doctorale.

Evaluateur 2iE Dr : ABOUBAKAR GOMNA Enseignant chercheur à 2IE.

Jury d'évaluation du mémoire :

Présidente : Dr MARIE SAWADOGO

Membres et correcteurs : Dr : ABOUBAKAR GOMMA

Dr : DANIEL YAMAGEUI

Promotion [2023/2024]

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mes défunts parents qui je dis, quoique je fasse je ne pourrai estimer vos valeurs, celle qui m'a ouvert les yeux sur ce monde, pour son affection, son soutien indéfectible, celle qui a souffert et qui souffre toujours pour me donner le souffle de la continuité ma chère mère Housna Ahmad Djarama. Et celui qui m'a inspiré le sens du sacrifice et de la patience ; notre exemple, vous êtes toujours le père, l'enseignant, le Maître, qui m'a appris l'alphabet de la vertu et qui a sans cesse contribué à parfaire mon éducation.

Et mon père Hamid Ramadan, symboles d'affection et d'amour, qui ont sacrifié tout leur temps pour mon bonheur et ma réussite qu'ils se trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance et ma très grande affection

MOUHAMAD BECHIR HAMID

Citation

« Le plus grand plaisir de la vie est de réaliser ce que les autres vous pensent incapables de réaliser »

Walter Bagehot, Dissonais citations et proverbe

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

Remerciements

Nous voulons ç travers la réalisation de ce projet de mémoire exprimer nos profondes gratitudee et sincères remerciements aux personnes physiques et morales ayant pris part directement ou indirectement à l'élaboration de ce travail. Malgré toutes les embûches et les difficultés rencontrées, Dieu m'a permis de l'achever. Honneur et gloire lui en soit rendu.

Je voudrais ensuite adresser toutes mes gratitudee à mes deux directeurs de mémoire, professeur ABAKAR MAHAMAT TAHIER vice-président de l'université de N'Djamena charge de l'école doctorale au Tchad, qui en tant que directeur de mémoire s'est toujours montré très disponible, le long de la réalisation de ce mémoire et pour ses conseils.

Nous tenons à remercier également mon évaluateur interne Dr Aboubacar GOMNA enseignant chercheur à la fondation 2IE codirecteur, qui accepté de diriger ce travail de recherche, ses multiples occupations. Je les remercie pour tout ce qu'ils m'ont apporté, sa compétence avérée, sa présences actives, tout en y- gardant un œil critique et avisé durant ce travail de recherche abattu.

Un grand merci à tous les enseignants de la fondation 2IE, employés et stagiaires de laboratoires,

Je suis très reconnaissant envers ma petite famille, mon épouse AMINA MAHAMAT, mes enfants HOUSNA, HASSAN, SAMIYA, pour leurs sympathies et leurs présences à mes cotes durant toute cette période ;

Merci à toutes les personnes dont je ne citerai les noms. A celles qui sont su redonner espoirs sans mes qu'elles le sachant, lorsqu'on se sent au plus bas, par un petit mot ou un simple geste. Merci pour leur insoutenables, faute de la pression du travail, je l'avoue.

Également à tous les membres de ma famille, qui ne sont pas avec nous dans ce bas monde qui mon soutenues durant toute la période de mes études.

A tous mes amis et mes collègues qui ne sont pas avec nous, je vous dis que je vous aime.

Merci à mes parents

« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGUIYA AU TCHAD »

Résumé

La transition énergétique impose aujourd'hui aux réseaux d'électricité des profondes mutations. La croissance des besoins couplée à l'intégration massive de sources de production renouvelables et intermittentes met leur stabilité en péril.

Pour répondre à cette problématique, ces travaux se concentrent sur l'étude techno-économique d'une installation micro-réseau solaire photovoltaïque pour un site isolé cas de la ville de Douguiya au Tchad.

Les systèmes intégrés des composants tels qu'une installation photovoltaïque de 30,5kW et un parc de batterie de 156kWh, avec un groupe électrogène de 15kVA de secours, sur une superficie balayée 2160m² qui occupe l'installation sur une superficie totale de 10000m².

Mots Clés :

Energie Photovoltaïque ; Réseau électriques ; étude technique économique,

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

Abstract

The energy transition is currently imposing profound changes on electricity networks. The growth in needs coupled with the massive integration of renewable and intermittent production sources puts their stability at risk. To respond to this problem, this work focuses on the techno-economic study of a photovoltaic solar micro-grid installation for an isolated site in the town of Doguiya in Chad. The system integrated components such as a 30.5kW photovoltaic installation and a 156kWh battery bank, with a 15kVA emergency generator, over a swept area of 2160m² which occupies the installation on a total area of 10000m².

Key words: Photovoltaic Energy; Electric network; technical economic study, energy mix

**« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

Liste des abréviations

kWh : Kilowattheure ;

KWh /m²/j : kilo watt heure par mètre carré par jour ;

SNE : Société nationale de l'électricité ;

MT : Moyenne tension ;

KV : Kilovolt ;

FEM : Fonds d'Environnement Mondiale ;

ONUDI : Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel ;

ERDET : Projet d'Electrification Rurale pour le Développement Economique au Tchad ;

MPE : Ministère du Pétrole et de l'Énergie ;

ADER : Agence pour le développement de l'énergie renouvelable ;

PV : Phovoltaïque ;

DC : Courant Continu ;

AC : Courant Alternatif ;

°C : Degré Celsius ;

UTE C15-712 : C'est une norme

IMMP : Le courant de puissance maximale des modules.

CC : Courant continu ;

kVA : kilo volte Ampère ;

ROI : Retour sur investissement ;

VAN : Valeur actuelle nette ;

TRI : Taux de rentabilité interne,

MW : Mega-Watt ;

kWh : KiloWattheure

VANA : Valeur actuelle nette ajustée ;

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

Sommaire

Table des matières

| | |
|--|------------|
| <i>Dédicaces</i> | <i>i</i> |
| <i>Citation</i> | <i>ii</i> |
| <i>Remerciements</i> | <i>iii</i> |
| <i>Résumé</i> | <i>iv</i> |
| <i>Abstract</i> | <i>v</i> |
| <i>Liste des abréviations</i> | <i>vi</i> |
| <i>Sommaire</i> | <i>vii</i> |
| <i>Listes des tableaux</i> | <i>xii</i> |
| <i>Liste des figures</i> | <i>xii</i> |
| INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 Contexte | 3 |
| 1.2 Problématiques | 4 |
| I.1.1 Objectifs | 4 |
| a. Objectif Général | 4 |
| b. Objectifs spécifiques | 5 |
| 1.1.2 Présentation de la Structure d'accueil | 5 |
| Cadre Institutionnel et Réglementaire..... | 5 |
| CHAPITRE I : | 8 |
| GENERALITES SUR LES SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUES AUTONOME | 8 |
| I.1 Les constituants de cette installation photovoltaïque | 9 |
| I.1.1 Les panneaux photovoltaïques | 9 |
| 1.1.2 Régulateurs charge..... | 9 |
| 1.1.4 Boîte de jonction | 9 |
| 1.1.5 Les onduleurs photovoltaïques..... | 10 |
| 1.1.6 Batteries..... | 10 |
| II.1.1 Description d'une installation photovoltaïque | 11 |
| II.1.2 Les centrales photovoltaïques site isolée | 11 |

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

| | |
|--|-----------|
| Figure 1:Schéma de principe d'une installation type photovoltaïque [2] | 11 |
| II.2 Les différents systèmes photovoltaïques | 11 |
| II.2.1 Les systèmes photovoltaïques hors réseau (Off-Grid) | 11 |
| II.2.2 Les systèmes photovoltaïques connectées au réseau (On- Grid) | 12 |
| II.2.3 Les systèmes photovoltaïques hybrides..... | 12 |
| II.2.4 Principe de fonctionnement d'une centrale solaire photovoltaïque | 12 |
| Figure 2:Schéma de principe d'un parc solaire photovoltaïque [4]..... | 13 |
| II.2.5 Inclinaison des panneaux installés | 13 |
| II.2.6 Orientation..... | 13 |
| Figure 3:Définition de l'orientation d'un panneau solaire [7] | 14 |
| II.2.7 Optimisation saisonnière..... | 14 |
| II.2.8 Angle d'inclinaison | 14 |
| Figure 4:Figure 4 : Plan de l'inclinaison de l'installation [8] | 14 |
| CHAPITRE II | 16 |
| ETUDE TECHNIQUE DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE SITE ISOLE..... | 16 |
| II.1 les systèmes techniques photovoltaïque..... | 17 |
| II.1.1 La réalité de l'énergie solaire au Tchad : | 17 |
| Figure 5:: Radiation global du Tchad [6]..... | 17 |
| II.1.2 Etude technique | 17 |
| II.3 Etude économique de l'installation photovoltaïque pour un site isolée | 17 |
| II. 1.4 L'hypothèse et condition générale de calcul du photovoltaïque..... | 17 |
| II.3.4 Historique de besoin de la population dans cette ville de Douguiya | 18 |
| II.3.4.1 Impacts potentiels de cette projet ERDET sur la population locale | 18 |
| II.3.4 .2 Méthodologie d'étude du système | 18 |
| II.3.4. 3 Matériels utilisés | 18 |
| Figure 6:Figure 6 : Synoptique des installations | 19 |
| II.1.5 Cahier de charge | 19 |
| II.1.6 Dimensionnement du système photovoltaïque..... | 19 |
| II.1.7 Estimation de la consommation..... | 20 |
| Tableau I:Récapitulatif du bilan énergétique d'une installation | 20 |
| II.1.8 : Choix et dimensionnement des panneaux photovoltaïque..... | 21 |
| ➤ Le nombre de panneau N_p | 21 |
| ➤ Le nombre de panneaux N_{ps} à monter en série : | 22 |
| Tableau II:Choix de la tension du système en fonction de la puissance du champ | 22 |

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

| | |
|--|-----------|
| La puissance totale à installer P_t du champ à installer doit vérifier la condition..... | 22 |
| II.1.9 Choix et dimensionnement des batteries, régulateurs de charges et onduleurs en fonction des besoins de l'installation | 22 |
| II.2. Choix et dimensionnement des batteries | 22 |
| ➤ Nombre de batterie N_b à monter en série..... | 23 |
| ➤ Nombre de batteries N_{bp} à monter en parallèle | 23 |
| ➤ Nombre total N_b de batterie à utiliser..... | 23 |
| II.2.1. Choix et dimensionnement des régulateurs de charge..... | 23 |
| II.2.2 PWM (Modulation de largeur d'impulsion)..... | 23 |
| II.2.3 Choix et dimensionnement des onduleurs | 24 |
| II.2.4 Choix et dimensionnement de la section des câbles | 24 |
| Tableau III: Choix des câbles en fonction de l'intensité du courant | 26 |
| II.2.5 Choix des éléments de protection | 26 |
| II.2.6 Disjoncteurs DC | 26 |
| Cas 1 : Entre le champ PV et le régulateur | 26 |
| Tension d'emploi U_e | 26 |
| Cas 2 Entre le parc batterie et le régulateur | 26 |
| II.2.7 Disjoncteurs AC | 27 |
| II.2.8 Parafoudres | 27 |
| Choix de parafoudre DC de type 2 : Recommandé pour les systèmes PV | 27 |
| Tableau IV: Tension de tenue aux chocs lorsque aucune information n'est connue | 27 |
| II.2.9 Fusible..... | 28 |
| Tableau V:: Choix de fusibles en fonction du nombre de chaine de modules | 28 |
| II.3. Sectionneurs | 28 |
| II.3.1 Prise de terre..... | 29 |
| Tableau VI:Données des rayonnement solaire et températures [7] | 29 |
| Composition du champ photovoltaïque..... | 30 |
| Tableau VII: Composition du champ photovoltaïque | 30 |
| Dimensionnement des batteries | 30 |
| Tableau VIII: : Composition des batteries | 30 |
| Récapitulatif des dispositifs installés pour l'alimentation..... | 30 |
| Tableau IX: Récapitulatif des dispositifs installés | 31 |
| II.3.4.7 Orientation et inclinaison des panneaux installés | 31 |
| Figure 7:: Des panneaux installés en hauteur sur des châssis | 31 |
| CHAPITRE III..... | 32 |

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

ETUDE ECONOMIQUE ET FINANCIERE DE CETTE INSTALLATION SOLAIRE....32

III.1 Détermination le retour sur investissement33

III.1.1 Détermination des coûts initiaux33

III.1.2 Calcul des économies et revenus annuels33

III.1.3 Prise en compte des coûts opérationnels annuels.....33

III.1.4 Calcul de retour sur investissement ROI.....33

III.1.5 Calcul du temps de retour sur investissement (Pay back)34

III.1.6 Dépréciation et augmentation des coûts énergétiques34

III.1.7 La durée de vie de l'installation34

III.1.8 Inflation et taux d'intérêt34

III.1.9 Estimation de la production énergétique annuelle.....34

III.2. Taux de performance35

III.2.1 Calcul des revenus de la vente d'électricité.....35

III.2.2 Calcul des économies sur la consommation de l'électricité35

III.2.3 Ajustement et considérations additionnelles35

III.2.4 L'analyse de la valeur actuelle nette (VAN)35

III.2.5 Période de récupération.....36

III.2.6 Ratio bénéfice/coût36

III.2.7 Rentabilité sur Investissement (ROI)37

III.2.8 Valeur Actuelle Nette Ajustée (VANA)37

III.2.9 Sensibilité et Analyse des scénarios37

III.3 Résultats et analyses financière des installations solaires37

Tableau X: Coût estimatif de financement des installations de la centrale solaire de Douguiya.....38

III .3.1 : Production énergétique annuelle.....38

Tableau XI: Calcul de la production énergétique annuelle.....40

CONCLUSION & RECOMMANDATION.....41

CONCLUSION42

RECOMMANDATION43

BIBLIOGRAPHIE44

ANNEXE45

Annexe 1: : L'ensoleillement au Tchad46

Annexe 2: Température au Tchad46

Annexe 3: Caractéristique technique du panneau REC PEAK ENERGY SERIES49

Annexe 4:Caractéristique technique régulateur VARIO TRACK.....51

Annexe 5: Caractéristique technique de l'onduleurs Xtender XTH 6000-48.....53

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGUIYA AU TCHAD »**

| | |
|---|----|
| Annexe 6 Caractéristique technique de la batterie OPzS2-3000 (2V3000Ah) :..... | 54 |
| Annexe 7: Le groupe d'électrogène pour secours | 55 |
| Annexe 8:Plan de l'électrification de la ville de Douguiya | 56 |
| Annexe 9:Plan de l'électrification de la ville de Douguiya suite | 56 |
| Annexe 10: Carte des abonnements avec son chargeur et grille de prix de vente | 57 |
| Annexe 11: Les onduleurs et les régulateurs pour cette centrale solaire..... | 58 |
| Annexe 12 : Dimensionnement du générateur | 59 |
| Annexe 13 : Dimensionnement du parc des batteries..... | 59 |
| Annexe 14 : Ratios de vérification | 59 |

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

Listes des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau I:Récapitulatif du bilan énergétique d'une installation | 20 |
| Tableau II:Choix de la tension du système en fonction de la puissance du champ | 22 |
| Tableau III: Choix des câbles en fonction de l'intensité du courant..... | 26 |
| Tableau IV: Tension de tenue aux chocs lorsque aucune information n'est connue..... | 27 |
| Tableau V:: Choix de fusibles en fonction du nombre de chaine de modules..... | 28 |
| Tableau VI:Données des rayonnement solaire et températures [7]..... | 29 |
| Tableau VII: Composition du champ photovoltaïque | 30 |
| Tableau VIII: : Composition des batteries..... | 30 |
| Tableau IX: Récapitulatif des dispositifs installés | 31 |
| Tableau X: Coût estimatif de financement des installations de la centrale solaire de Douguiya | 38 |
| Tableau XI: Calcul de la production énergétique annuelle..... | 40 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1:Schéma de principe d'une installation type photovoltaïque [2]..... | 11 |
| Figure 2:Schéma de principe d'un parc solaire photovoltaïque [4] | 13 |
| Figure 3:Définition de l'orientation d'un panneau solaire [7] | 14 |
| Figure 4:Figure 4 : Plan de l'inclinaison de l'installation [8]..... | 14 |
| Figure 5:: Radiation global du Tchad [6] | 17 |
| Figure 6:Figure 6 : Synoptique des installations..... | 19 |
| Figure 7:: Des panneaux installés en hauteur sur des châssis | 31 |

INTRODUCTION

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGUIYA AU TCHAD »

Le Tchad est situé entre 7° et 23° de latitude Nord et entre 13° et 24° de longitude Est, de par sa superficie de 1 284 000km². C'est seulement environ 30% de capacité qui à l'électricité, une douzaine des villes et centres secondaires disposent des réseaux indépendants telle que le cas de Douguiya.

Pour une population d'environ 13 millions d'habitants, seuls 6,4% ont accès à l'électricité. En plus du niveau de desserts en électricité faible, le prix de cession du kWh reste parmi le plus cher de la sous-région. Le taux d'accès à l'électricité en milieu rurale est très faible, moins de 1%. Le manque de solution en énergie moderne dans les zones rurales favorise l'usage excessif du combustible ligneux. Ces sources d'énergies riches en monoxyde de carbone sont très nocives pour la sante.

L'exploitation des énergies renouvelables reste en déca des possibilités offerte. En effet le pays dispose d'un important potentiel d'énergies renouvelables dont une exploitation organisée et rationalisée, dans un cadre structuré et cohérent, permettrait de répondre aux besoins énergétiques du pays dans une perspective de durabilité.

Cependant, le Tchad regorge de potentiel solaire avec le nombre d'heures d'ensoleillement annuel qui varie de 2850heure au Sud à 3750heure au Nord et une intensité du rayonnement global qui varie en moyenne entre 4,5 à 6,5 kWh/m²/j, [1].

Le transport et la distribution de la SNE est faite de façon locale en MT de 15kV. En dehors de la ville de N'Djaména qui bénéficie du réseau interconnecté de Djarmaya, il n'y a pas d'autre réseau interconnecté.

La SNE est confrontée à d'énormes problèmes de commercialisation de son produit compte tenu du faible taux de facturation et de recouvrement et au manque à gagner occasionné par les branchements frauduleux. Elle connaît aussi un déficit d'exploitation énorme dû à la faiblesse des ressources propres et un niveau élevé de ses charges causées en grande partie par l'achat des combustibles et des lubrifiants qui représente 80% de la charge d'exploitation.

Dans cette optique que ce projet est née pour desservir la petite ville touristique de Douguiya avec l'appui financière de l'organisation des nations-unis pour le développement industriel (ONUDI) en collaboration avec le projet d'électrification rurale pour le développement économique au Tchad (ERDET) qui œuvre dans l'électrification rurale au Phovoltaïque.

I.1 Contexte

Le Tchad est un pays qui regorge d'énormes potentialités énergétiques mais qui restent très peu exploités. Parmi ces potentialités, il y a le système solaire photovoltaïque qui n'est pas développé et qui nécessite une forte valorisation.

Ainsi, dans le cadre de la mise en œuvre du projet cofinancé par le ministère du pétrole, de mine et de l'énergie du Tchad et le Fonds d'Environnement Mondiale (FEM) sous le financement de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) lance un appel à projet pour la valorisation des ressources énergétiques dans la ville de Douguiya, chef-lieu du Département de Mani au Tchad. Cette initiative nécessite donc une étude au préalable pour évaluer les retombées économiques qui doivent en découler.

C'est pourquoi, faisant face à cela, l'alternative qui s'offre est celle de mettre ne place un système solaire photovoltaïque dans une zone qui dispose d'un réseau de distribution d'électricité afin d'en faire une injection du surplus de la production.

C'est dans ce contexte que nous entendons effectuer une étude technico-économique d'une installation photovoltaïque connectée au réseau. Le site retenu pour l'étude est la petite ville touristique de Douguiya, située à 80 km à l'ouest de la capitale N'Djaména. Le choix porté pour cette localité est le fait qu'il existe déjà une entreprise espagnole qui dessert la ville en électricité.

En effet, ce type de système présente une offre en continu tout en prenant en compte des considérations telles que la réglementation locale, les conditions climatiques, la disponibilité des ressources, les coûts de l'énergie, les subventions gouvernementales etc. Cela peut aussi inclure des éléments tels que le coût des équipements, de la maintenance, des raccordements, à la gestion de l'énergie, les avantages environnementaux, économique et sociaux.

Une telle installation peut aussi présenter des risques tels que les coûts élevés d'investissement, les problèmes de faisabilité et de maintenance, les fluctuations de la production d'énergie en fonction des conditions météorologiques, réglementaires et de sécuritaire.

Les opportunités associées à une telle installation solaire connectée au réseau électrique peuvent inclure des économies sur le long terme, la création d'emplois locaux et le développement de l'industrie solaire, et la possibilité de vendre l'énergie excédentaire au réseau électrique.

I 2 Problématiques

Les problématiques qui font qu'il est plus que nécessaire de mettre en place un système connecté au réseau est le fait que :

- Le mix énergétique grâce à l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la production actuelle ;
- Le développement de l'électrification rurale et périurbaine ;
- La vulgarisation de l'efficacité énergétique ;
- Le renforcement du parc de production d'énergie thermique ;
- La promotion de l'utilisation des énergies modernes ;
- La réhabilitation et le renforcement des infrastructures de transport et de distribution
- L'encouragement et la pérennisation de l'intervention des investisseurs et des opérateurs privés ;
- L'amélioration de la gouvernance du secteur ;
- Les réformes du cadre institutionnel et de régulation ;
- L'entreprise n'arrive pas à desservir intégralement ses abonnés ;
- L'indisponibilité constante du carburant occasionnant des délestages intempestifs.

I.1.1 Objectifs

a. Objectif Général

L'objectif général de cette étude est de « présenter un aspect technico-économique d'une installation solaire photovoltaïque pour un site isolé » pour alimenter la petite ville touristique de Douguiya.

- Dans cette vision, les indicateurs affichés consistent à atteindre à l'horizon 2030 ;
- Un taux d'accès à l'électricité de 53% sur l'ensemble du territoire ; le taux d'accès actuel étant de 6,4% ;
- Un taux d'accès rural à l'électricité de 20% ;
- Le taux d'accès actuel étant de l'ordre de 0,6% ;
- La part des énergies renouvelables à 20% dans la production électrique nationale ;
- La part actuelle des énergies renouvelables dans la production électrique est extrêmement faible, environ 1%.

b. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Effectuer un dimensionnement du système à mettre en place ;
- Evaluer le coût d'investissement et de rentabilité comparé à d'autres types d'installations ;
- Faire la notice d'impact environnemental.

I.1.2 Présentation de la Structure d'accueil

Cadre Institutionnel et Réglementaire

Le Gouvernement compte renforcer la capacité de la Direction Générale en charge de l'Energie en matière de formulation de politiques et de suivi pour le secteur dans son ensemble, y compris les énergies dites traditionnelles. Une réorganisation du Ministère en charge de l'Energie sera effectuée, pour mettre le focus sur l'accroissement des énergies de sources renouvelables dans le mix énergétique, faire la promotion de l'efficacité énergétique, élaborer les textes réglementaires du secteur et mieux préciser ses relations avec les autres acteurs.

La loi de 1999 sur l'électricité sera relue. La relecture de la loi sur l'électricité aura pour objet de :

- Libéraliser la production et la distribution d'énergie électrique ;
- Etablir les principes pour la fixation des prix qui serviront de guide à l'Agence de Régulation ;
- Harmoniser la tarification pour l'électricité sur l'ensemble du pays ;
- Préciser les procédures de sélection des producteurs indépendants d'électricité ;
- Rédiger de nouvelles dispositions applicables aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique ;
- De préciser le cadre réglementaire de développement de l'électrification rurale ;
- Etablir un fonds pour le financement des activités du secteur ;
- Consacrer l'ouverture des réseaux électriques ;
- Préciser le rôle des collectivités territoriales dans le transfert de compétences ;
- Réviser les missions de l'agence de régulation et de préciser les sources de financement ;
- Intégrer les dispositions communautaires dans le domaine de l'énergie.

Une agence chargée de l'électrification rurale sera créée pour accélérer l'électrification dans les zones rurales ;

« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Une Agence de Régulation sera créée. Elle jouira d'une grande autonomie financière. Son personnel sera recruté sur une base compétitive. Les usagers seront consultés.

- L'Agence de Régulation aura pour mandat d'assurer l'application des textes en vigueur par les acteurs dans le secteur et la protection des consommateurs. Elle approuvera les ajustements de prix sur la base de principes bien établis et transparents. Les décisions de l'agence de régulation feront l'objet d'une large diffusion.

L'organisation institutionnelle de mise en œuvre de la lettre de politique repose ainsi sur des structures de suivi et d'orientation ; la Direction Générale en charge de l'énergie avec, la SNE, l'ADER, l'Agence d'électrification rurale et la Société des Hydrocarbures du Tchad (SHT) comme structures opérationnelles. La structure de régulation de l'électricité est l'Autorité de Régulation du Secteur de l'Electricité ; celle de la régulation des hydrocarbures est l'Autorité de Régulation du Secteur Pétrolier Aval du Tchad (ARSAT).

Loi N° 014/PR/1999 de la Présidence du 15/06/1999 relative à la Production au Transport et à la Distribution de l'Energie Electrique ;

Ordonnance N° 009/PR/2013 du 19 août 2013 portant création d'une Agence pour le Développement des Energies Renouvelables au Tchad (ADER TCHAD) ; Décret N° 1607/PR/PM/MPME/2014 portant Organisation et Fonctionnement de l'Agence pour le développement des Energies Renouvelables au Tchad (ADER-TCHAD).

L'objectif de l'agence pour le développement des énergies renouvelables au Tchad (ADER-TCHAD) au regard du fort potentiel d'énergie renouvelable en particulier solaire et pour atteindre les objectifs affichés au cours de la période. Le Gouvernement a adopté les actions ci-après

- Adopter une politique de défiscalisation, de subvention et de contrôle de qualité du matériel d'énergie renouvelable,
- Réaliser une étude du potentiel solaire PV du réseau électrique ;
- Construire en Partenariats Publics Privés (PPP) des centrales solaires photovoltaïques ;

Efficacité énergétique

Le Tchad ne dispose pas d'un cadre réglementaire permettant d'inciter à l'achat d'équipements à haut rendement énergétique et de décourager l'acquisition d'appareils énergétivores. L'énergie produite au Tchad n'est pas toujours utilisée de façon efficace. Les principaux facteurs explicatifs résident dans la mauvaise conception architecturale, le choix des matériaux inadaptés associés à des systèmes de climatisation inappropriés, des systèmes d'éclairages énergétivores, le comportement non rationnel des consommateurs. Toute chose qui concourt à des pertes importantes d'énergie et à des coûts énergétiques élevés.

L'objectif des politiques d'efficacité énergétique est de maintenir la même qualité de service avec une consommation moindre. C'est pourquoi le gouvernement devra également se pencher sur l'efficacité énergétique et l'économie d'énergie dans les bâtiments publics, ainsi que des normes de l'EE et d'étiquetages des appareils électriques, ce qui permet de diminuer la facture d'électricité de l'Etat et de ses démembrements. Cette action doit être étendue aux secteurs industriels, tertiaires et résidentiels.

CHAPITRE I:

GENERALITES SUR LES SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUES AUTONOME

I.1 Les constituants de cette installation photovoltaïque

I.1.1 Les panneaux photovoltaïques

Les module Phovoltaïque sont au cœur des technologies solaires, transformant directement l'énergie solaire en électricité et jouant un rôle crucial dans le développement durable et la production d'énergie renouvelable [1].

Le parc photovoltaïque s'étend sur une surface de 2160 m², où sont installés 164 panneaux photovoltaïques de type REC Peak Energy REC 240PE 02 de 240W. Chacun de ces panneaux est capable de produire une puissance crête de 240 Wc, avec des caractéristiques détaillées dans le tableau voir (annexes 3). Les panneaux sont répartis en quatre string parallèles, composées de 41 panneaux en série dans chaque rangée, ce qui donne une puissance crête de 9,84 kWc par rangée. L'ensemble des panneaux du parc est capable de fournir une puissance crête totale de 39,360 kWc.

I.1.2 Régulateurs charge

La centrale est équipée des onduleurs bidirectionnels de type Vario Track. Ces onduleurs bidirectionnels sont des équipements qui peuvent convertir l'électricité dans les deux sens, à savoir du courant continu à courant alternatif (CC-CA) et de courant alternatif à courant continu (CA-CC). Ces onduleurs sont couramment utilisés dans les systèmes de stockage d'énergie, tels que les batteries, pour assurer une gestion efficace de l'énergie en fonction des besoins du système et de l'utilisateur. Lorsque les batteries sont chargées, le SI convertit l'énergie du courant continu en courant alternatif pour alimenter les charges connectées au système. En revanche, lorsque les batteries sont déchargées, le régulateur convertit l'énergie de courant alternatif en courant continu pour recharger les batteries, celui-ci peut maintenir sa fiabilité et sa rentabilité, même lorsque les conditions sont extrêmes. La caractéristique dans le tableau 4 en annexe.

I.1.4 Boîte de jonction

Une boîte de jonction, également appelée boîte de jonction de combinaison, est un composant important d'une installation solaire qui permet de connecter les panneaux solaires photovoltaïques entre eux pour former des chaînes ou des groupes électriques. L'utilité principale d'une boîte de jonction dans une installation solaire est de permettre une connexion sécurisée et fiable des câbles d'un string des modules et de les protéger contre les intempéries

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

et les dommages électriques. Elle permet également de faciliter le câblage entre les panneaux solaires et l'onduleur photovoltaïque. Afin de protéger les quatre rangées de panneaux solaires du site, une boîte de jonction est installée à proximité du champ photovoltaïque. Cette boîte est munie de quatre interrupteurs sectionneurs d'une capacité de 500 A chacun, un pour chaque rangée, permettant de couper l'alimentation électrique en cas de besoin. En outre, il y a également quatre parafoudres pour prévenir les surtensions susceptibles d'endommager le système.

I.1.5 Les onduleurs photovoltaïques

Un onduleur photovoltaïque est un équipement électronique utilisé pour convertir l'électricité produite par un panneau solaire photovoltaïque qui est en CC, en énergie électrique utilisable sous forme de CA pour alimenter les équipements électriques domestiques ou pour être injectée dans le réseau électrique. Le site est équipé de deux onduleurs photovoltaïques triphasés de 24 kW, de type Xtender XTH 6000-48-4, installés en aval de la boîte de jonction. Chaque onduleur reçoit deux rangées de panneaux photovoltaïque à l'entrée, les caractéristiques des onduleurs ont été regroupées dans le tableau. (Voir annexe 5)

I.1.6 Batteries

Les batteries de stockage sont une composante importante dans les centrales électriques modernes, notamment celles qui utilisent des sources EnR (solaire & éolien). Elles permettent de stocker l'énergie électrique produite pendant les périodes de faible demande pour la restituer durant les périodes de forte demande. Cette capacité de stockage permet de stabiliser la production d'énergie intermittente et de garantir une alimentation en électricité constante et fiable. Le site est équipé d'un parc de batteries de technologie plomb-acide de type Hoppecke 2 OPzV de la marque Hoppecke [KG23a]. Ces batteries sont compactes et offrent une grande densité d'énergie. Le parc de batteries est constitué de 52 batteries, chacune ayant une capacité de 2 V - 3000 Ah C10. Ces batteries sont réparties en deux rangées connectées en parallèle, avec chaque rangée contenant 26 batteries connectées en série comme illustré sur la figure 3.5. Ce qui donne une capacité totale de 48 V - 156000 Ah C10. Les caractéristiques électriques de la batterie Hoppecke 2 OPzV sont représentées (voir annexe 6) .

« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

II.1.1 Description d'une installation photovoltaïque

Une installation photovoltaïque est constituée de plusieurs éléments : le système photovoltaïque, les câbles de raccordement, les locaux techniques, la clôture et les accès [2].

II.1.2 Les centrales photovoltaïques site isolée

Une centrale solaire PV est composé de plusieurs champs de panneaux solaires comportant un grand nombre de cellules PV convertissant directement l'énergie lumineuse en électricité. Elle permet de produire de l'électricité à grande échelle. Elles rassemblent plusieurs modules solaire PV reliés en série ou parallèle, qui sont des générateurs de courant continu [2].

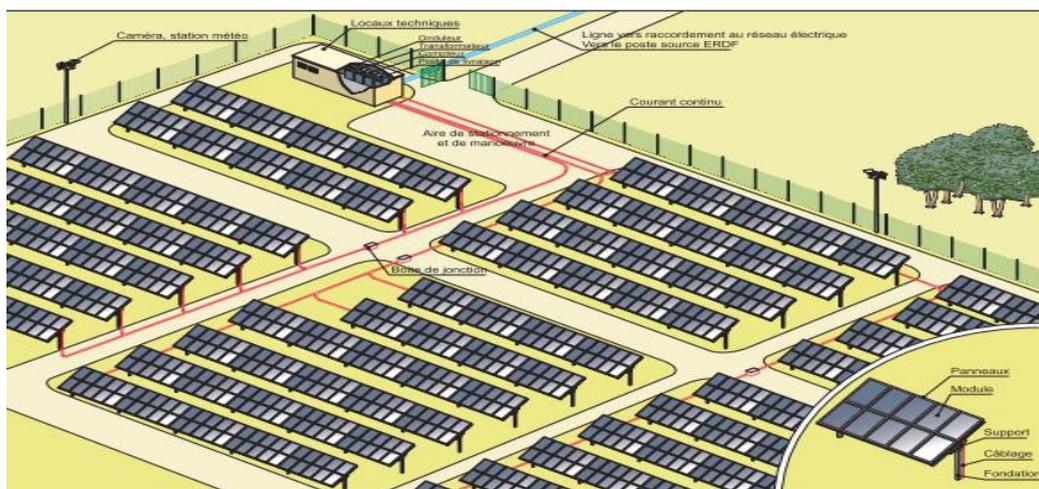


Figure 1:Schéma de principe d'une installation type photovoltaïque [2]

II.2 Les différents systèmes photovoltaïques

Les systèmes Phovoltaïque (PV) peuvent être classés en quatre classes différentes catégories selon leur configuration, leur connexion au réseau électrique, et leur utilisation. Voici les principaux types de systèmes photovoltaïques :

II.2.1 Les systèmes photovoltaïques hors réseau (Off-Grid)

Ces systèmes fonctionnent de manière autonome, sans être connectés au réseau électrique public. Ils sont souvent utilisés dans un endroit isolé où le coût de connexion au réseau est prohibitif ou techniquement impossible. Un système hors réseau typique comprend des panneaux solaires, une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie produite, un régulateur de charge pour protéger les batteries contre la surcharge, et un onduleur pour convertir le courant continu (DC) en courant alternatif (AC) utilisable par les appareils électriques standards.

II.2.2 Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau (On- Grid)

Les systèmes connectés au réseau sont directement liés au réseau électrique public. Ils permettent de vendre l'excédent d'électricité généré par les panneaux solaires à l'opérateur du réseau ou d'utiliser l'électricité du réseau quand la production solaire est insuffisante généralement pas de batteries pour le stockage de l'énergie, ce qui réduit leur coût initial. Cependant, en l'absence d'un système de stockage, ils ne fournissent pas d'électricité durant une coupure de réseau.

II.2.3 Les systèmes photovoltaïques hybrides

Les systèmes hybrides combinent les caractéristiques des systèmes hors réseau et connectés au réseau et connectés au réseau. Ils sont connectés au réseau électrique mais disposent aussi de batteries pour stocker l'électricité. Ce type de système offre une grande flexibilité, permettant à l'utilisateur de consommer sa propre énergie stockée, de s'alimenter via le réseau en cas de besoin et de vendre l'excédent de production solaire au réseau. Les systèmes hybrides peuvent également inclure d'autres sources d'énergie, comme des générateurs diesel pour une fiabilité maximale ;

II.2.4 Principe de *fonctionnement* d'une centrale solaire photovoltaïque

Le rayonnement du soleil sur les modules PV est transformé en courant électrique continu acheminé vers un onduleur. L'onduleur convertit cette électricité en courant alternatif

compatible avec le réseau [4]

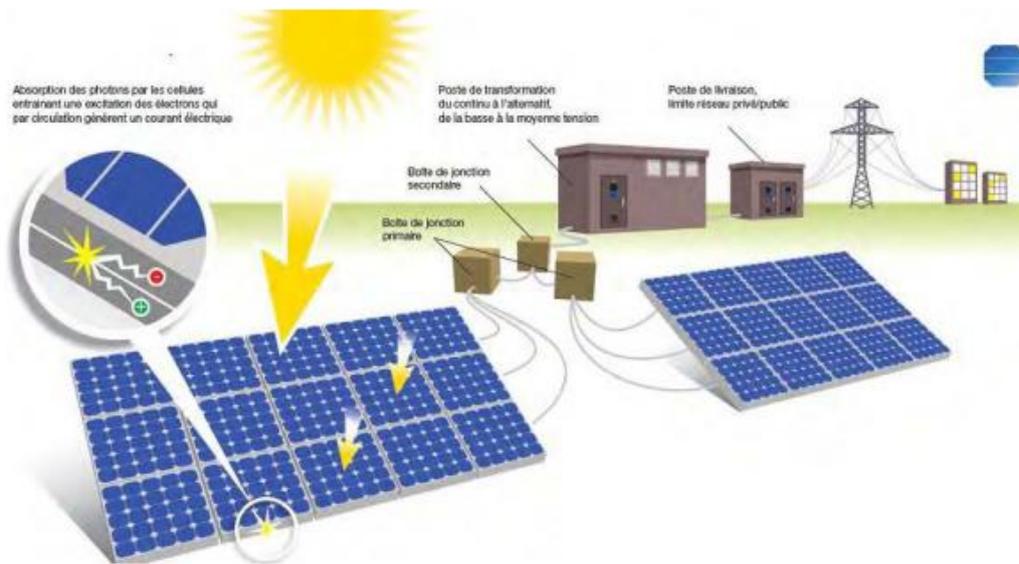


Figure 2: Schéma de principe d'un parc solaire photovoltaïque [4]

En pratique la puissance délivrée par un module varie en fonction de l'énergie solaire reçue qui dépend du jour, de l'heure, de la météo, de la température. La puissance crête n'est que rarement atteinte par le module au cours de sa vie en fonctionnement, l'implantation des panneaux solaires doivent éviter les effets de l'ombrage qui peuvent limiter le rayonnement solaire. La production PV dépendra de l'irradiation reçue, de la puissance crête des modules et du rendement du système [4].

II.2.5 Inclinaison des panneaux installés

Une règle couramment utilisée est d'incliner les panneaux à un angle égal à la latitude du lieu d'installation pour maximiser la production d'énergie sur l'année. Par exemple, si vous êtes à une latitude de 45° incliner les panneaux à 45° par rapport à l'horizontale peut être un bon point.

II.2.6 Orientation

L'orientation idéale pour les panneaux solaires dans l'hémisphère nord est plein sud. Dans l'hémisphère sud, c'est plein nord. Ceci permet aux panneaux de recevoir le maximum de lumière solaire directe tout au long de la journée.

Il est très important de positionner correctement les modules PV afin de les utiliser à leur plein potentiel. La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil a un effet direct dans la production de leur énergie. [7]

« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Les plaques sont toujours orientées vers l'équateur :

- Direction vers le sud dans l'hémisphère nord.
- Orientation vers le nord dans l'hémisphère sud.

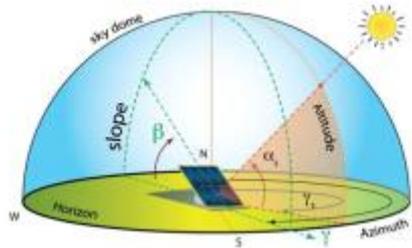


Figure 3: Définition de l'orientation d'un panneau solaire [7]

II.2.7 Optimisation saisonnière

Pour maximiser la production d'énergie pendant les mois d'été, vous pouvez diminuer l'angle d'inclinaison de 10 à 15° par rapport à la latitude. Pour maximiser la production pendant les mois d'hiver, augmentez l'angle d'inclinaison de 10 à 15° par rapport à la latitude,

II.2.8 Angle d'inclinaison

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale.

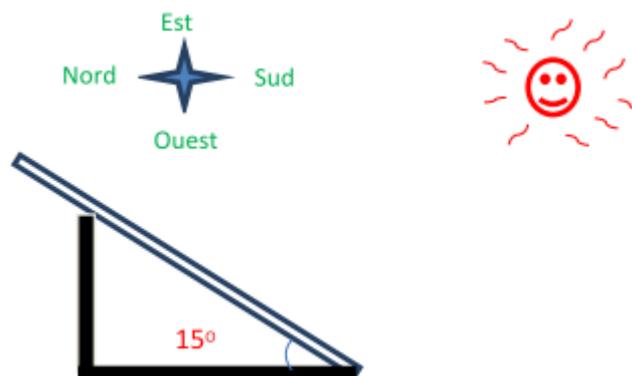


Figure 4: Figure 4 : Plan de l'inclinaison de l'installation [8]

Les conditions climatiques utilisées pour les dimensionnements du champ photovoltaïque sont choisies toujours dans les conditions défavorables (la période la plus chaude au Tchad est le mois d'avril où la température moyenne l'ensoleillement atteint 36° C).

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

- L'irradiation journalière moyenne sera prise égale à 5,36 kWh/m²/j sur le plan incliné des modules [5].
- L'irradiante sera prise égale à 750W/m² sur le plan incline des modules

Il existe trois façons de produire de l'énergie solaire à partir de panneau photovoltaïque en abondance. La première méthode consiste à utiliser le système de suivi automatique pour le soleil, où les panneaux sont verticalement au soleil.

- L'autre méthode consiste à guider manuellement les panneaux chaque saison vers chaque direction du rayonnement solaire dans sa valeur maximale et cette méthode nécessite une intervention individuelle à des moments spécifiques de l'année.

CHAPITRE II

ETUDE TECHNIQUE DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE SITE ISOLE

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

II.1 les systèmes techniques photovoltaïque

II.1.1 La réalité de l'énergie solaire au Tchad :

Les conditions climatiques utilisées pour les dimensionnements du champ photovoltaïque sont choisies toujours dans les conditions défavorables (la période la plus chaude au Tchad est le mois d'avril où la température moyenne l'ensoleillement atteint 36° C à l'ombre) voir annexe 1.

- L'irradiation journalière moyenne sera prise égale à 5,36 kWh/m²/j sur le plan incliné des modules [5].
- L'irradiance sera prise égale à 750W/m² sur le plan incliné des modules

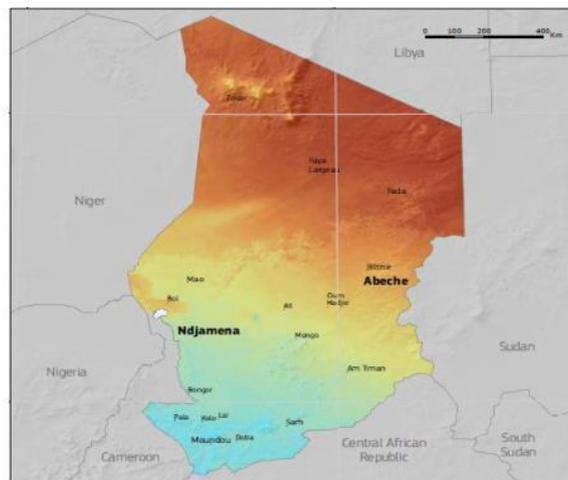


Figure 5:: Radiation global du Tchad [6]

II.1.2 Etude technique

II.3 Etude économique de l'installation photovoltaïque pour un site isolée

Le but de cet étude économique consiste à détermine, le prix de revient de l'installation, il faut calculer la somme des prix équipements ou accessoires utilisés, lorsque la mise à l'échelle du système est terminée, connaître le nombre d'unités, le nombre de batteries, ainsi que les différents appareils utilisés participation à la préparation de l'installation.

II. 1.4 L'hypothèse et condition générale de calcul du photovoltaïque

Comme la ville de Douguiya est soumis à notre étude est l'utilisation d'électricité n'est pas assez élevé et compte tenue de la puissance demandée, il est préférable d'utiliser un système d'installation raccordé au réseau avec stockage. Mais tout de même ces différentes variantes sont à prendre en compte pour évaluer l'aspect économique de notre installation.

II.3.4 Historique de besoin de la population dans cette ville de Douguiya

Le système qui a déjà installé est un groupe de 15 kVA, qui est la propriété d'un particulier qui n'arrive pas à satisfaire tous les besoins du client, mais la demande est plus grande que l'offre, le fournisseur n'arrive pas à satisfaire les clients en l'énergie électrique. Le groupe démarré que la nuit, à partir de 18h à 23h30min.

Raison pour laquelle, le projet d'électrification rurale pour le développement économique au Tchad (ERDET) vient appui cette population à travers cette micro-réseau solaire pour satisfaire leur besoin en énergie pour activité commercial de la population dans cette localité. La ville de Douguiya est une ville touristique et leur principale activité qui est commerce, c'est la raison pour laquelle, ce projet vient à point nommée.

II.3.4.1 Impacts potentiels de cette projet ERDET sur la population locale

Le projet d'électrification rurale pour le développement économique au Tchad vise à augmenter le taux d'accès à l'électricité par ces mini-réseaux dans les villes secondaires, dans les zones rurales.

Au nombre des impacts positifs du projet, on notera entre autres :

- L'amélioration des conditions de vie de près de 69 foyers qui accéderont à l'électricité par voie d'abonnement (voir annexe 2) ;
- Le développement des activités génératrices de revenus,
- La création de revenus financiers du fait des emplois permanents et temporaires qui seront créés au profit des populations locales ;
- L'amélioration de la fourniture des services sociaux de base grâce à l'électricité

II.3.4 .2 Méthodologie d'étude du système

Nous avons un recensement des habitants dans cette localité pour avoir leurs avis vis-à-vis de demande leur avis sur les modalités de paiement de leurs consommations, par rapport à l'anciens système c'est-à-dire de 18h à 23h30 min avec l'utilisation de groupe électrogène. Nous avons trouvé 69 clients potentiels à payer l'électricité par rapport à leur besoin et matériels électroménagers (voir grille des tarifs en annexe 10).

II.3.4. 3 Matériels utilisés

- Un (1) Thermocouple pour mesurer la température
- Un (1) multimètre numérique AC/DC

« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

- Un (1) Décamètre pour mesure la distance
- Un (1) Solari mètre.
- Décamètre ;
- GPS

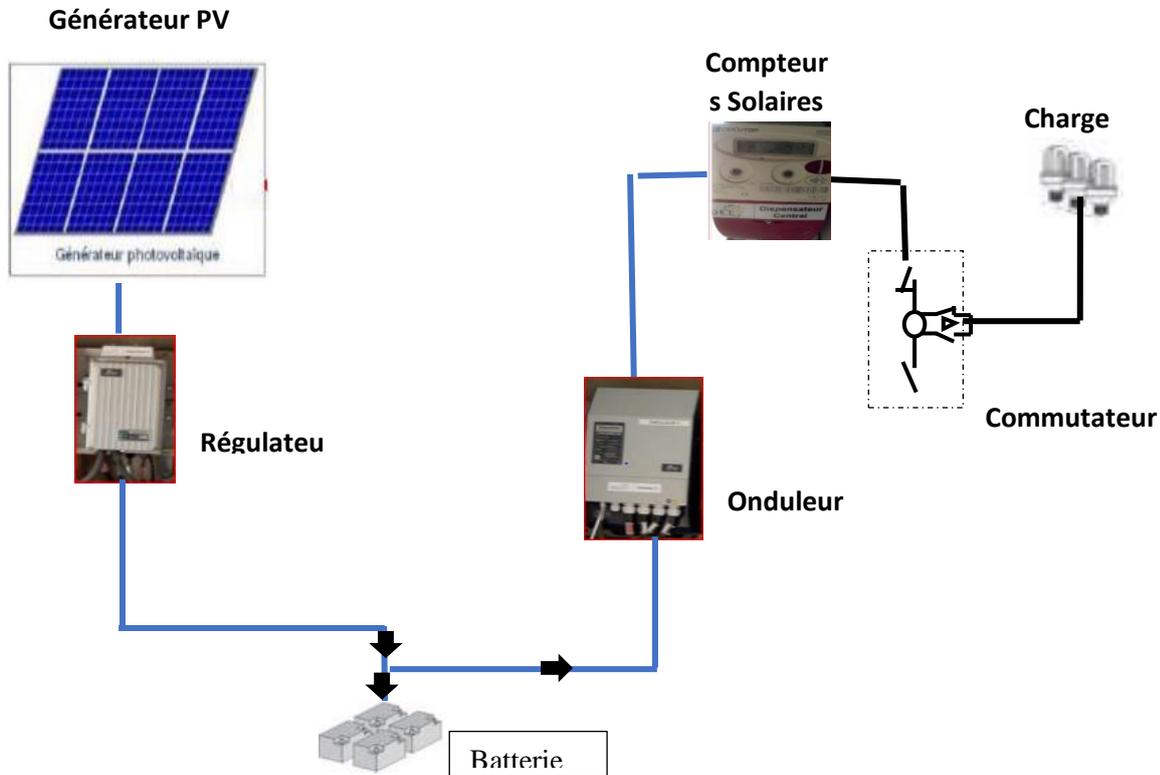


Figure 6:Figure 6 : Synoptique des installations

II.1.5 Cahier de charge

- Nous considérons les besoins des ménages modestes, qui sont au des nombre des clients 69 foyers qui disposent les objets suivants :
- 207 lampes de 9W à l'usage nocturne pendant 12heures de temps,
- En plus le client dispose 2 congélateurs à l'usage diurne et nocturne, 4H en journée, 2H la nuit,
- 10postes téléviseur à l'usage nocturne pendant 5H de temps
- Et enfin 9 ventilateurs sur pied à l'usage diurne et nocturne, 0H en journée, 6H la nuit.

II.1.6 Dimensionnement du système photovoltaïque

« Dimensionner », c'est fixer la « taille », les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît la configuration. En effet, le dimensionnement peut amener finalement à changer le système, par exemple s'il s'avère que des éléments « optimaux » sur le plan technique sont très chers, ou indisponible, etc...

« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

La méthode de dimensionnement consiste à déterminer d'abord la puissance crête qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant le mois le moins ensoleillé qui varie d'un pays à l'autre. Elle consiste à déterminer le moment où vous avez besoin d'électricité, et à mesurer votre consommation. Cette étape comporte peu de calculs, mais demande relativement beaucoup de réflexion car une erreur à ce stade faussera les résultats jusqu'à la fin.

II.1.7 Estimation de la consommation

Tableau I:Récapitulatif du bilan énergétique d'une installation

| N° | Appareil | Nombr D'appar eils (N) | Durée de Fonction nement Jour en h (Dj) | Durée de Fonction nement t nuit en h (Dn) | Puissan ce unitaire En W (Pu) | Puissance Totale en W (Pt) $Pt = Pu \times N$ | Energie cons en journée en kWh (Ej) $Ej = Pt \times Dj$ | Energie cons en soirée en kWh(En) $En = Pt \times Dn$ |
|----|-----------------|---------------------------------|---|--|---|---|--|--|
| 1 | LED | 207 | 0 | 12 | 8 | 1656 | 1656 | 19872 |
| 2 | Ventilate ur | 9 | 3 | 7 | 75 | 675 | 2025 | 4725 |
| 3 | Congélat eur | 4 | 5 | 3 | 150 | 600 | 3000 | 1800 |
| 4 | Télévis eurs | 10 | 2 | 5 | 75 | 750 | 1500 | 3750 |
| | | | | | | | 8181 | 30147 |
| | | | | | | | 38328 | |
| | Total | | | | 308 | | 47910Wh | |

L'énergie consommée par l'installation s'élève donc à : **47910Wh par jour**

II.1.8 : Choix et dimensionnement des panneaux photovoltaïque

La puissance minimale du champ solaire ou puissance crête de l'installation à utiliser est donnée par :

$$P_{cmin} = \frac{\text{Besoin journalier total}}{R_p \times \text{Irradiation solaire}}$$

Avec irradiation $I_r = 5,36 \text{ KWh/m}^2$ voir annexe

Avec : Ratio de performance. C'est un taux qui prend en compte le rendement de chacun des équipements associés (module solaire PV, contrôleur de charge, parc batterie, onduleur, câble de branchement). Le ratio de performance est le produit du rendement des équipements, il est sans unité. Le rendement du module solaire PV prend en compte les pertes dû à certaines incertitudes (l'efficacité des modules solaires PV, poussières, la météo, l'orientation et l'inclinaison). Il est sans unité. Pour les milieux dans lequel il y a assez de poussière il est conseillé d'utiliser la valeur 0,65. Dans le cas contraire la valeur du rendement des modules solaires PV utilisé est 0,8.

Besoin journaliers totaux : somme des besoins journalier en journée et en soirée

Irradiation solaire : Pour faire le dimensionnement on utilise l'irradiation du mois le plus défavorable.

Ces valeurs sont disponibles via les sources de données fournies à la section précédente.

- Le nombre de panneau N_p est donnée par la formule suivante :

➤ **Le nombre de panneau N_p**

$$N_p = \frac{P_c}{P_{cu}}$$

Avec :

P_c =Puissance crête du champ en Wc

P_{cu} =Puissance crête d'un panneau en Wc

Pour couvrir le besoin énergétique journalière il faudra donc installer 58 panneaux d'une puissance de 240 Wc, soit un champ solaire de puissance crête **13920 Wc**

- Considérons des modules photovoltaïques de 240Wc de tension de circuit -ouvert $V_{oc}=36,8V$ et de courant de court-circuit $I_{sc} 8,75A$. voir annexe

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

- **Le nombre de panneaux N_{ps} à monter en série :**

$$N_{ps} = \frac{\text{Tension du système}}{\text{tension nominale d'un panneau}}$$

La tension du système PV est choisie en fonction de la puissance du champs PV. Le tableau suivant renseigne sur la tension à choisir le système.

Tableau II: Choix de la tension du système en fonction de la puissance du champ

| N° | Puissance crête du champ | Tension du système |
|----|--------------------------|--------------------|
| 1 | Entre 0 et 500Wc | 12V |
| 2 | Entre 501 à 2000Wc | 24V |
| 3 | Entre 2000 à 10 000 Wc | 48V |
| 4 | Plus de 1000 Wc | 96V |

- **Le nombre de panneau à brancher parallèle N_{brp} est donné par la formule suivante**

$$N_{brp} = \frac{\text{Nombre de panneau}}{\text{Nombre de panneau à monter en série}}$$

La puissance totale à installer P_t du champ à installer doit vérifier la condition

$$P_c = N_{ps} \times N_{brp} \times P_{cu} \geq P_{cumin}$$

Le nombre total de panneaux à installer est de $58 \times 1 = 58$ panneaux de 240 Wc

II.1.9 Choix et dimensionnement des batteries, régulateurs de charges et onduleurs en fonction des besoins de l'installation

II.2. Choix et dimensionnement des batteries

Le parc de batterie constitue l'élément le plus sensible de l'installation. Pour avoir le confort voulu, il doit être bien dimensionnée. La capacité du parc (C_p) de la batterie est dimensionnée suivant la formule ci-dessous :

$$C_p = \frac{E_{jnuit} \times N_j}{U_s \times DOD \times R_b}$$

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Ejnoct : On utilise ici les besoins en énergie consommée uniquement en soirée ;

Nj : Représente le nombre de jour d'autonomie désiré ;

Us : Représente la tension du système (12,24 ou 48) ;

DOD : On utilise comme taux de décharge profonde 0,50 pour dimensionner le parc de batterie au plomb et 0,80 ou 0,90 pour dimensionner le parc de batterie lithium ;

Rb : Représente le rendement de la batterie. On utilise 0,7 ou 0,9 comme rendement, selon la batterie utilisée. On peut aussi se référer aux données du constructeurs.

La capacité Cp ainsi calculée est en Ah.

Les batteries choisis ont une capacité de 2V3000 Ah

➤ **Nombre de batterie Nbs à monter en série**

$$Nbs = \frac{\text{Tension du système (Us)}}{\text{Tension d'une batterie (Ub)}}$$

La tension du système Us est la tension utilisée dans la formule de détermination du parc batterie Cp ;

Ub : La tension nominale que fournit la batterie choisie à mettre dans l'installation (2,4,6,12)

$$Nbs = 24$$

➤ **Nombre de batteries Nbp à monter en parallèle**

$$Nbp = \frac{\text{Capacité du parc de batterie}}{\text{Capacité d'une batterie}}$$

➤ **Nombre total Nb de batterie à utiliser**

$$Nb = Nbs \times Nbp$$

II.2.1. Choix et dimensionnement des régulateurs de charge

II.2.2 PWM (Modulation de largeur d'impulsion)

Pour le choix du régulateur de charge PWM. On fixe la tension du système (12V-24V-48V) et on a calculé le courant de court-circuit total du champ PV.

Le courant de court-circuit total du champ solaire PV Icct est égal à :

$$Icct = 1,25 \times Icc \times Nbp$$

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Icct : Intensité du régulateur ;

Icc : Courant de court-circuit d'un module solaire PV ;

Npp : Nombre de panneaux en parallèle

L'intensité de court-circuit du panneau choisi est de : 8,75

Le régulateur doit supporter un courant de 5,03A en son fonctionnement. On pourra donc choisir un régulateur de 10A. Voir annexe

Soit le régulateur de charge Vario Track voir annexe pour les caractéristiques

NB : La configuration du champ solaire PV dépend du régulateur de charge choisi. Le choix régulateur de charge dépend de son coût et sa disponibilité sur le marché.

II.2.3 Choix et dimensionnement des onduleurs

$$\text{Puissance de l'onduleur} = \frac{k \times (P_{pt})}{\eta_{ond}}$$

$$\text{Avec } P_{do} \geq \frac{k \times (P_{pt})}{\eta_{ond}}$$

P_{pt} : Somme des puissances de pointes des charges

η_{ond} : rendement de l'onduleur

k : Coefficient de réserve ;

P_{do} : Puissance de démarrage de l'onduleur Voir annexe

II.2.4 Choix et dimensionnement de la section des câbles

La condition primordiale est que la chute de tension dans les câbles ne doit pas dépasser 3%, on obtient la chute de tension pour un réseau considéré bifilaire (02 fils) avec la formule suivante

Les trois principales lignes sont les suivant :

- Panneaux au régulateur ;
- Régulateur au parc de batterie
- Parc des batteries à l'onduleur.

Mais les sections dépendent de la distance entre chacun de ces éléments.

$$\Delta U(V) = \frac{2 \times L \times I_e \times \rho}{S}$$

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Avec $\Delta U(V)$: la chute de tension en Volt (V)

On obtient la chute de tension en pourcentage de la manière suivante pour un réseau considéré comme bifilaire (02 fils) :

$$\Delta U(\%) = \frac{2 \times L \times I_e \times \beta \times 100}{S \times U_{max}}$$

Avec $\Delta U(\%)$: la chute de tension en pourcentage

Alors la section (S) du câble est calculée avec la formule suivante :

$$S = \frac{2 \times L \times I_e \times \beta}{\Delta U(V)}$$

L : longueur du câble (m),

I_e : courant d'emploi du circuit (A),

β : résistivité du fil ($\Omega/m/mm^2$) ;

S : Section du câble (mm^2) ;

U_{max} : tension maximale du système appliquée aux câbles concernés (V).

La condition primordiale est que la chute de tension dans les câbles ne doit pas dépasser 3%.

On obtient la chute de tension pour un réseau considéré comme bifilaire (02 fils) avec la formule suivante :

$$\Delta U(V) = \frac{2 \times L \times I_e \times \beta}{s}, \text{ avec } \Delta U(V): \text{ la chute de tension en Volt (V)}$$

On obtient la chute de tension en pourcentage de la manière suivante pour un réseau considéré comme

$$\Delta U(\%) = \frac{2 \times L \times I_e \times \beta}{S \times U_{max}}$$

Avec $\Delta U(\%)$: la chute de tension en pourcentage

Alors la section (S) du câble est calculée avec la formule suivante :

$$S = \frac{2 \times L \times I_e \times \beta}{\Delta U(V)}$$

**« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

L : longueur du câble (m),

I_e : courant d'emploi du circuit (A),

β : résistivité du fil ($\Omega/m/mm^2$) ;

S : Section du câble (mm^2)

U_{max} : tension maximale du système appliquée aux câbles concernés (V)

Tableau III: Choix des câbles en fonction de l'intensité du courant

| Section des câbles (mm^2) CU | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 36 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Courant maximum (A) | 13 | 21 | 28 | 36 | 46 | 61 | 81 | 99 | 125 | 160 | 195 | 220 | 250 | 285 | 340 | 395 |

II.2.5 Choix des éléments de protection

II.2.6 Disjoncteurs DC

Deux paramètres déterminent le choix du disjoncteur CC : le calibre I_n et la tension d'emploi U_e . Le disjoncteur CC peut se placer entre le champ PV et le régulateur ou entre le parc batteries et le régulateur.

Cas 1 : Entre le champ PV et le régulateur

- **Calibre I_n :** $1,4 \times I_{cc} < I_n < 2 \times I_{cc}$.

I_{cc} : courant de court-circuit de la chaîne PV ;

En considérant un régulateur PWM

Tension d'emploi U_e

La tension d'emploi U_e doit être supérieure à la tension en circuit ouvert (U_{co_max}) de la chaîne PV.

$$U_e > U_{co_max}$$

Cas 2 Entre le parc batterie et le régulateur

Le régulateur à installer doit vérifier les conditions suivantes :

- **Calibre I_n :** $I_n > 1,1 \times I_{ch_max}$
- **Tension d'emploi U_e :** $U_e > 1,2 \times U_{parc_batterie}$

II.2.7 Disjoncteurs AC

Le choix du disjoncteur AC se fait à partir du calibre I_n et de la tension d'emploi U_e . Toutefois il faut tenir compte de la sensibilité si le disjoncteur présente une fonction différentielle.

➤ **Calibre I_n :**

$$1,1 \times \frac{1,5 \times P_{\text{convertisseur}}}{A \times U \times (1 - \Delta U)} < I_n$$

$A = 1$: si onduleur monophasé ;

$\Delta U = 0,05$: incertitude relative sur la tension ;

$A = 3$: si onduleur triphasé.

➤ **Tension d'emploi U_e : $U_e > U_o$**

U_o : tension à la sortie du convertisseur (220V)

$U_e > 220$ V

II.2.8 Parafoudres

Choix de parafoudre DC de type 2 : Recommandé pour les systèmes PV

➤ Choix de U_p : $U_p < 0,8 \times U_w$

U_w : Tension de tenue aux chocs. Elle se choisit dans le tableau ci-après

Le niveau de protection U_p doit être correcte pour les modules PV et le régulateur sur la même ligne.

Tableau IV: Tension de tenue aux chocs lorsque aucune information n'est connue

| Tension maximale du système (U_{oc_max}), inférieure ou égale à : (V) | U_w (V) | | |
|--|------------------------|------------------------|----------------|
| | Modules PV de classe A | Modules PV de classe B | Convertisseurs |
| 100 | 1500 | 800 | 2500 |
| 150 | 2500 | 1500 | |
| 300 | 4000 | 2500 | |
| 600 | 6000 | 4000 | 4000 |
| 1000 | 8000 | 6000 | 6000 |

➤ **Choix de U_{cpv} : $U_{cpv} > 1,2 \times N_s \times Voc_stc$**

N_s : nombre de modules en série ;

Voc_stc : tension en circuit ouvert du module PV.

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

➤ **Choix de I_n : $I_n > 5 \text{ kA}$.**

Si cette valeur est plus grande, alors la durée de vie du parafoudre sera plus longue

➤ **Choix de I_{scpv} : $I_{scpv} > I_{scmax}$**

Le parafoudre (et son déconnecteur interne ou externe) doit avoir un courant supérieur au courant I_{cc_max} du générateur

Exemple : Si I_{cc_max} (soit $1,25 I_{cc}$) est de 35 A, un parafoudre avec I_{scpv} de 60 A est convenable.

$$I_{scpv} > (3 \times 8,19) = 24,57 \text{ A}$$

II.2.9 Fusible

Le choix de fusible se fait selon le tableau suivant.

Tableau V:: Choix de fusibles en fonction du nombre de chaîne de modules

| Nombres de chaînes | Courant inverse Susceptible de survenir dans une chaîne | Courant assigné I_n du fusible de la chaîne | Courant admissible I_z dans le câble de la chaîne PV |
|---|---|---|--|
| 1 à 2 | $1,25 I_{ccSTC}$ | Sans objet | $\geq 1,25 I_{ccSTC}$ |
| 3 | $2 \times 1,25 I_{ccSTC}$ | Sans objet | $\geq 2 \times 1,25 I_{ccSTC}$ |
| $n > 3$ | $(n - 1) \times 1,25 I_{ccSTC}$ | $1,25 I_{ccSTC} \leq I_n \leq 2 I_{ccSTC}$ | $\geq 2 I_n$ |
| $I_{cc STC}$ Courant d'une chaîne de panneaux | | | |
| n Nombre totale de chaînes du générateur PV | | | |

II.3. Sectionneurs

L'interrupteur sectionneur DC entre le champ PV et le régulateur respecte les caractéristiques suivantes :

➤ **Calibre**

In: $I_n > N_p \times 1,25 \times I_{sc_stc}$

N_p : représente le nombre de branches ou de chaînes PV mises en parallèle et I_{sc_stc} est le courant de court-circuit d'un module PV.

Nous avons : $I_n > (3 \times 1,25 \times 8,19) = 30,71 \text{ A}$

➤ **Tension d'emploi U_e :** $U_e > 1,2 \times N_s \times V_{oc_stc}$

N_s : représente le nombre de modules PV en série dans une chaîne et V_{oc_stc} la tension en circuit ouvert du module PV dans les conditions STC.

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

$$AN: Ue > 1,2 \times 2 \times 23,3 = 55,92$$

On choisit donc un sectionneur DC de 35 A, 60 V

NOTE : La méthode de dimensionnement de l'interrupteur sectionneur DC est applicable au sectionneur DC.

II.3.1 Prise de terre

En application du paragraphe 542.2 de NF C 15-100, la résistance de la prise de terre doit avoir une valeur qui satisfait aux conditions de fonctionnement et de protection de l'installation électrique ;

Le sous paragraphe 411.5.3 précise, en courant alternatif et en schéma TT, la condition $RA \times I\Delta n \leq 50V$ que doit satisfaire la valeur de la prise de terre (RA représente la résistance de prise de masse et $I\Delta n$ le courant de DDR).

Tableau VI:Données des rayonnement solaire et températures [7]

| Mois | Rayonnement solaire (kWh /m ² /j) | Températures (°C) |
|---------------|--|-------------------|
| Janvier | 5,47 | 33,4 |
| Février | 6,36 | 35,5 |
| Mars | 6,44 | 39,4 |
| Avril | 6,39 | 41,6 |
| Mai | 6,28 | 39,9 |
| Juin | 6,11 | 39,9 |
| Juillet | 5,72 | 34,6 |
| Août | 5,36 | 30,9 |
| Septembre | 5,78 | 33,7 |
| Octobre | 5,89 | 36,7 |
| Novembre | 5,69 | 36,5 |
| Décembre | 5,36 | 33,4 |
| Annuel | 5,90 | 36,3 |

II.4.2 Résultats du dimensionnement

Composition du champ photovoltaïque

Tableau VII: Composition du champ photovoltaïque

| Désignation | Nombre |
|---|----------|
| Nombre de modules en série (N_{MS}) | 2 |
| Nombre de modules en parallèle (N_{MP}) | 73 |
| Nombre total de Modules (N_{TM}) | 146 |
| Tension totale maximale : $V_{T_{mp}} = V_{mp} * 2$ | 59,4V |
| Intensité totale maximale : $I_{T_{mp}} = I_{mp} *$ | 596,41A |
| Puissance totale maximale : $P_{T_{max}} = 240 * 146$ | 35040 WC |

Dimensionnement des batteries

Tableau VIII: : Composition des batteries

| Désignation | Nombre |
|---|--------|
| Nombre de batteries en série (N_{bs}) | 2 |
| Nombre total des batteries (N_{Tb}) | 52 |

Récapitulatif des dispositifs installés pour l'alimentation

**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

Tableau IX: Récapitulatif des dispositifs installés

| Désignation | Nombre | Capacité unitaire |
|--|--------|-------------------|
| Modules PV REC-24OPE Q2 | 146 | 240Wc |
| Batteries HOPPECKE 24 OPzS2V/3000Ah/10hr | 52 | 3000 Ah |
| Onduleur XTH6000-48 | 6 | 6000 A |
| Régulateur Vario Track | 12 | 48 A |
| Boitier de jonction | 24 | |

II.3.4.7 Orientation et inclinaison des panneaux installés

Toutes ces cent quarante-six (146) panneaux sont installés en hauteur sur des châssis.



Figure 7:: Des panneaux installés en hauteur sur des châssis

CHAPITRE III

**ETUDE ECONOMIQUE ET
FINANCIERE DE CETTE
INSTALLATION SOLAIRE**

III.1 Détermination le retour sur investissement

Pour déterminer le retour sur investissement (ROI), plusieurs facteur et formules doivent être pris en compte. Le ROI est généralement calculé en examinant les coûts initiaux de l'installation, les économies générées, et les revenus potentiels sur une période donnée, suivant sur la durée de vie estimée de l'installation.

Voici les principaux étapes et formules à considérer

III.1.1 Détermination des coûts initiaux

Il s'agit de la somme totale dépensée pour l'installation de la centrale solaire, cela inclut les coûts des panneaux solaires, des onduleurs, des batteries du système de montage du câblage, de l'installation et de tous les frais divers (études, permis, raccordement au réseau, etc. ...)

III.1.2 Calcul des économies et revenus annuels

Les économies et revenus annuels peuvent provenir des diverses sources, telles que la vente d'électricité au réseau, les économies sur la facture d'électricité (dans le cas d'une installation en autoconsommation avec excédent vendu au réseau) et les subventions aux crédits d'impôt disponibles, cette valeur peut être calculées à l'aide de la formule

$$\text{Revenus ou économies annuels} = \text{Production d'énergie annuelle} * \text{tarif de vente}$$

III.1.3 Prise en compte des coûts opérationnels annuels

Cela inclut la maintenance, l'assurance et éventuellement le financement. Ces coûts doivent être soustraits des revenus annuels pour obtenir le bénéfice net annuel.

III.1.4 Calcul de retour sur investissement ROI

Une fois que vous avez les coûts initiaux et le bénéfice net annuel, nous allons calculer le ROI à l'aide de cette formule :

$$\text{ROI} = \left(\frac{\text{Gain net de l'investissement} - \text{Coût de l'investissement}}{\text{coût de l'investissement}} \right) * 100$$

Où

Gain net de l'investissement, correspond aux bénéfices générés par l'investissement, après déduction des coûts. Coût de l'investissement inclut tous les coûts initiaux pour démarrer le projet.

$$ROI = \left(\frac{\text{benefice net annuel}}{\text{coût initiaux}} \right) * 100$$

III.1.5 Calcul du temps de retour sur investissement (Pay back)

Le temps de retour sur investissement est le temps nécessaire pour que les économies et revenus générés remboursent le coût initial de l'installation. Il peut être calculé comme suit :

$$\text{Temps de retour} = \left(\frac{\text{Coût initiaux}}{\text{Bénéfice net annuel}} \right)$$

Autres considérations

III.1.6 Dépréciation et augmentation des coûts énergétiques

La production d'énergie peut diminuer avec le temps en raison de la dégradation des panneaux solaires. Par ailleurs, les prix de l'électricité peuvent augmenter, influençant ainsi les économies futures.

III.1.7 La durée de vie de l'installation

La durée de vie estimée de l'installation solaire (généralement 25 à 30 ans) qui est cruciale pour calculer le retour total sur investissement

III.1.8 Inflation et taux d'intérêt

L'inflation et les taux d'intérêt affectant la valeur actuelle nette des investissements futurs et doivent être pris en compte dans une analyse plus détaillée.

NB : Il est également recommandé de réaliser une analyse de la valeur actuelle nette (VAN) et du taux de rentabilité interne (TRI) pour une évaluation financière complétée de l'investissement dans les centrales solaires

III.1.9 Estimation de la production énergétique annuelle

La première étape consistée à estimer que la quantité d'électricité que la centrale solaire produira en une année. Cette estimation dépend de plusieurs facteurs, tels que la capacité de la centrale (MW). Le nombre d'heures d'ensoleillement par an dans la région, l'efficacité des panneaux solaires et les pertes du système. La formule de base

$$\text{production énergétique annuelle} = \text{Capacité de la centrale (kW)} * \text{heures d'ensoleillement par an}$$

III.2. Taux de performance

Le taux de performance tient compte de l'efficacité du système et des pertes potentielles. Il est souvent compris entre 0,75 et 0,85 pour des installations bien conçues.

III.2.1 Calcul des revenus de la vente d'électricité

Si nous vendons l'électricité produite au client, les revenus peuvent être calculés avec :

$$\text{Revenus annuels} = \text{Production energetique annuelle} * \text{tarif de vente par kWh}$$

Le tarif de vente dépend des accords ou les politiques de rachat d'électricité en place dans notre pays. Mais pour cette centrale solaire photovoltaïque (voir annexe 6), nous avons décidé de n'est pas respecter le prix de l'électricité fixe par les pays, raison pour laquelle nos prix sont différents de celui de la société nationale de l'électricité (SNE).

III.2.2 Calcul des économies sur la consommation de l'électricité

Nous utilisons l'énergie produite pour compenser votre propre consommation d'électricité. Les économies peuvent être calculées comme suit :

$$\text{Economies annuels} = \text{Electricité produite utilisée annuelle}$$

III.2.3 Ajustement et considérations additionnelles

- Tarif de rachat garanti (Feed-in Tarriff, Fit), si un FiT est en place, il garantit un certain prix pour l'électricité vendue au réseau sur une période définie ;
- Net metering : Permet de compenser votre consommation avec votre production dépasse la consommation

III.2.4 L'analyse de la valeur actuelle nette (VAN)

La VAN est la différence entre la valeur actuelle des flux de trésorière entrants (revenues ou économies) générés par le projet au fil du temps et la valeur actuelle des flux de trésorières sortants investissement initial et coûts opérationnels. Elle est calculée avec la formule :

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Rt}{(1+i)^t} - Co$$

ou

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

- (R-t) est le flux de trésorerie net (revenus moins coûts opérationnels) à la période (t).
- (i) Est le taux d'actualisation (reflétant le coût du capital ou le taux de rendement attendu)
- (t) est la période de temps (année, mois, etc...)
- (C₀) est l'investissement initial ;
- (n) est le nombre total de période ;

NB : Risques et incertitudes : Les projections de revenus et de coûts peuvent varier en fonction de nombreux facteurs, incluant les changements de politique énergétique, fluctuations des prix de l'électricité, et les performances techniques de la centrale.

- Durée de vie du projet : La durée de vie estimée de la centrale solaire et l'évolution des coûts opérationnels au fil du temps doivent être prises en compte.
- Impact fiscal : Les avantages fiscaux, tels que les amortissements et les crédits d'impôt, peuvent influencer significativement les résultats du financier du projet.

Une analyse financière approfondie, incluant la VAN et le TRI, fournira une base solide pour évaluer la faisabilité.

Pour évaluer la faisabilité et la rentabilité d'une centrale solaire connecté au réseau électrique, outre la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rentabilité interne (TRI) mentionnés.

III.2.5 Période de récupération

La période de récupération représente le temps nécessaire pour que les flux de trésorerie cumulent du projet également l'investissement initial. C'est une mesure intuitive de la rapidité avec laquelle un investisseur peut récupérer son investissement initial, sans tenir compte de la valeur temporelle de l'argent. Pour les projets solaire une période de récupération de 5 à 10 ans est souvent considéré comme acceptable, bien cela dépend fortement du contexte économique et des coûts d'électricité locaux

III.2.6 Ratio bénéfice/coût

Le ratio bénéfice/ coût compare la valeur actuelle des flux de trésorerie générés par le projet (bénéfices) à la valeur actuelle des coûts du projet. Un ratio B/C supérieur à 1 indique que le projet est économiquement viable, lorsqu'on tient compte de la valeur temporelle de l'argent.

III.2.7 Rentabilité sur Investissement (ROI)

La rentabilité sur investissement est une mesure simple de la rentabilité qui divise la bénéfice net (les revenus moins les coûts) total de l'investissement. Elle est souvent exprimée en pourcentage. Le ROI ne tient pas compte de la durée du projet ou de la valeur temporelle de l'argent, mais il fournit un aperçu rapide de l'efficacité d'un investissement.

III.2.8 Valeur Actuelle Nette Ajustée (VANA)

La Valeur Actuelle Nette Ajustée est une variation de la VAN qui inclut le coût d'opportunité du capital investi dans le projet. Elle est particulièrement utile lorsque le capital disponible est limité et que l'investissement doit choisir entre plusieurs projets concurrents.

III.2.9 Sensibilité et Analyse des scénarios

Ces analyses examinent comment les variations des hypothèses clés (telles que les coûts d'investissement, les taux d'intérêt, les prix de l'électricité, et les performances des panneaux solaires) affectent la rentabilité peut montrer quelles variables ont le plus grand impact sur la VAN où le TRI, tandis que l'analyse des scénarios sous différents ensembles l'hypothèses (optimistes, pessimistes et les plus probables).

III.3 Résultats et analyses financière des installations solaires

Dans ce tableau ci-dessous que nous allons présenter les résultats en prennent en compte les installations dans cette centrale solaire. Nous avons choisi les onduleurs de **3000W** chacun qui sont au nombre de 4 ; le régulateur au nombre de 12 ;

La puissance minimale de l'onduleur sera donc supérieure ou égale à 24000 kVA.

Les intensités de court-circuit du générateur et des charges sont :

- $I_{Gen} = 145 * 8,5A = 1232,5A$
- $I_R = 145 * 8,17A = 1184,65A$
- $I_{nr} \geq \text{Max } 1232,5A ; 1184,65A$

Le régulateur de charge et de décharge doit donc être basé sur les caractéristiques suivantes :

- Courant nominal $\geq 1232,5A$
- Tension de service : 48V

En ce qui concerne les ratios, ils sont tous vérifient avec comme valeurs du degré de décharge
 $Ddq =$

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Le dimensionnement établi dans le chapitre précède nous a fourni des résultats qui sont présentés dans le tableau. Ces résultats sont comparés à ceux du système existant d'où, on fait ressortir des valeurs avant et après dimensionnement.

Tableau X: Coût estimatif de financement des installations de la centrale solaire de Douguiya

| Matériel | Marque | Quantité | Prix unitaire | Prix total |
|-------------------------------------|---|-----------------|----------------------|------------------------|
| ModulesPV | REC-24OPE Q2 | 146 | 450 US \$ | 65 700 \$ |
| Onduleur | XTH6000-48 | 6 | 9000 US \$ | 54 000 \$ |
| Régulateur chargeur | Vario Track | 12 | 2500 US \$ | 30 000 \$ |
| Batteries | HOPPECKE 24 OPzS 2V/ 3000Ah/ 10hr | 52 | 4500 US \$ | 234 000 \$ |
| Accessoires des installation | Câble, fusible, disjoncteurs, mise à la terre, paratonnerre ; coffre de jonction, dérivation, lampadaire dans la ville, travaux génie civil | | 1 550 000 US \$ | 1 550 000 US \$ |
| Main d'œuvre et expertise technique | Main d'œuvre locaux et expatrie, bureau de contrôle, ANDER | | 350 000 US \$ | 350 000 US \$ |
| TOTAL | | | | 2 283 700 US \$ |

III .3.1 : Production énergétique annuelle

Pour faire, nous allons considérer l'irradiation (voir annexe 1) issue de chaque mois et nous allons faire la sommation pour avoir l'année.

$$E_A = PR * H_I * P_C * N_j$$

Avec

E_A = Énergie annuelle produite par cette installation (kWh)

PR = Ratio de performance (%)

« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

H_i = Irradiation moyenne journalière reçue sur le plan incliné ($\text{kWh.m}^2 / \text{J}$)

N_j = Nombre de jour du mois considéré

Ratio de performance (PR) [cours sur le dimensionnement PV 2IE moussa soro]



1. : Température (9%)
2. Onduleur, on peut considérer 6 %,
3. Câble : CA, CC et autres composant : < 2%
4. Tolérance module : Il ne devrait pas être >3% :
5. Pollution, réflexion et réflectance,
 - a. Système fixe : approximative 3%
 - b. Système avec tracking : 2%
 - c. En zone urbain il doit être augmenté à 2%
6. Ombrage : Il doit être moins de 4% ;
7. Autre pertes (incidents, etc...)
 - a. Système fixe : 2%
 - b. Système avec tracking : 4%

NB : Nous allons considérer un ratio de 75%

**« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

Tableau XI: Calcul de la production énergétique annuelle

| Mois | PR | Hi (kWh.m ⁻² . J ⁻¹) | Puissance crête (kW) | N _J | Energie produite (kWh) |
|-------------------------|------|---|----------------------|----------------|-------------------------------|
| Janvier | 0,75 | 5,47 | 20900 | 31 | 2 658 009,75 |
| Février | 0,75 | 6,36 | 20900 | 29 | 2 891 097 |
| Mars | 0,75 | 6,44 | 20900 | 31 | 3 129 357 |
| Avril | 0,75 | 6,39 | 20900 | 30 | 3 004 897,5 |
| Mai | 0,75 | 6,28 | 20900 | 31 | 3 051 609 |
| Juin | 0,75 | 6,11 | 20900 | 30 | 2 873 227,5 |
| Juillet | 0,75 | 5,72 | 20900 | 31 | 2 779 491 |
| Aout | 0,75 | 5,36 | 20900 | 31 | 2 604 558 |
| Septembre | 0,75 | 5,78 | 20900 | 30 | 2 718 045 |
| Octobre | 0,75 | 5,89 | 20900 | 31 | 2 862 098,25 |
| Novembre | 0,75 | 5,69 | 20900 | 30 | 2 675 722,5 |
| Décembre | 0,75 | 5,36 | 20900 | 31 | 2 604 558 |
| Energie annuelle | | | | | 33 852 670,5 f CFA |

CONCLUSION & RECOMMANDATION

CONCLUSION

Le projet de cette micro réseau solaire photovoltaïque de Douguiya s'inscrit dans le cadre de la politique de l'électrification rurale développement socio-économique du Tchad (ERDET), qui favorise le désenclavement des zones rurales, par l'apport de l'électricité, et l'amélioration des conditions de vie des populations. Il correspond à un besoin réel d'une majorité de la population vivant en zones rurales et n'ayant pas accès à l'électricité. Compte tenu du potentiel de développement disponible.

Ce projet est réalisé par les cofinancements par le ministère du pétrole de mine et de l'énergie du Tchad et l'organisation des nations-unis pour le développement industriel (OUNDI) et le fonds d'environnement mondiale (FEM) / (GEF) que pour le pays, un vecteur de choix pour lutter contre la pauvreté et pour donner une impulsion au développement socio-économique des zones concernées et environnantes.

Si la réalisation des extrants du projet et leur qualité sont jugées satisfaisantes, l'amélioration de l'accès à l'électricité pour les populations des centres ruraux électrifiés, quoique satisfaisante, pouvait l'être davantage. Cette relative sous-utilisation du potentiel de développement mis à disposition par le projet est essentiellement due :

- Au démarrage tardif des travaux de branchements réalisés en régie par l'entreprise,
- Aux difficultés rencontrées par l'entreprise pour faire face à la demande d'abonnements, de sorte que plusieurs clients ayant fait la demande et payé pour un nouveau branchement restent en attente de leur compteur pendant plusieurs mois,
- Au coût de branchement hors de portée des populations rurales,
- Aux procédures de facturation.

L'électrification rurale par le réseau ou par microcentrale, présente un avantage considérable par rapport à d'autres solutions alternatives notamment individuelles comme les systèmes photovoltaïques, et permet d'accroître l'impact de développement lié à ce type de projet.

RECOMMANDATION

- Mettre en exécution la recommandation, faite dans l'élaboration du schéma directeur de l'électrification ; le gouvernement du Tchad devrait prendre en compte les critères de choix des localités, de hiérarchiser et de programmer les différents projets de l'électrification rurale élaborée dans le schéma directeur de l'électrification rurale ;
- Le gouvernement et ses partenaires au développement devrait maximiser les efforts indirects de l'électrification en améliorant son accès tant quantitatif que qualitatif aussi bien que son utilisation, pour impulser tous les secteurs de développement économique et social ainsi que de toutes les activités humaines afin d'améliorer des conditions de vie des populations rurales ;
- Le gouvernement devrait prendre en charge les investissements de développement de l'électrification rurale dans le cadre de projet d'électrification rurale pour le développement économique au Tchad (ERDET) ;
- Le gouvernement devrait envisager un partage adéquat des coûts récurrents entre les différents partenaires dans le cadre des projets d'électrification rurale. A cet effet, le gouvernement devrait réaliser une étude afin d'identifier le mode de financement des coûts récurrents de l'électrification dans les communes à faibles revenus

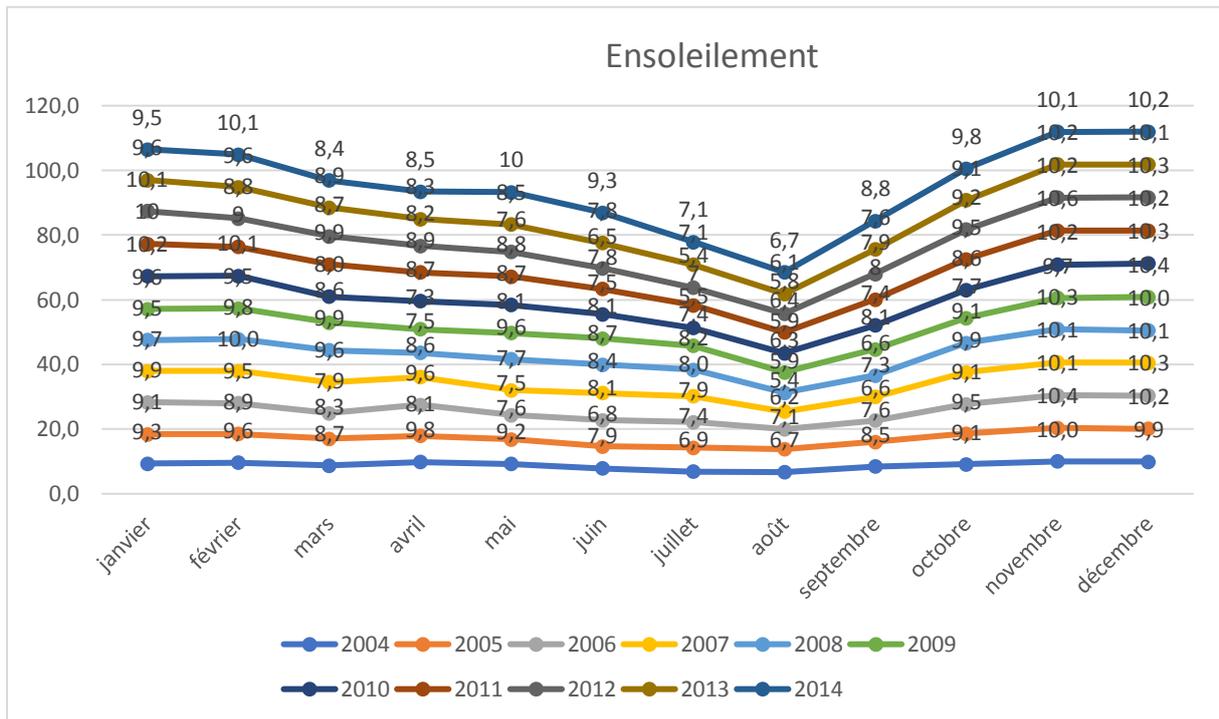
BIBLIOGRAPHIE

- [1] Division de la climatologie/Direction générale de la météorologie nationale/direction d'exploitation et d'application météorologique /Juillet /2015
- [2] Schéma Directeur pour le développement des énergies renouvelables au Tchad, version finale Août 2018 ;
- [3]. N'TKOUTI « optimisation des systèmes PV au réseau par la logique floue », mémoire de magister, Université de Biskra 2004 ;
- [4] Faut-il développer les installations PV au sol » synthèse de la réunion du 29 Juin 2010, Page 4 ;
- [5] K Amara « Contribution à l'étude de conception d'une centrale PV de puissance de 1MW interconnecté au réseau de distribution électrique moyenne tension » mémoire de magister, Université de Tizi-Ouzou 2014/2015 ? P56-59 » ;
- [6] Direction Générale de la Météorologie Nationale Tchad (DGMN)/Juin/2016 ;
- [7] Hadj Belkacemi Mohammed, Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé, thèse de master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, le 06 juillet 2011 ;
- [8] Horma Autmen, Calcul d'irradiation solaire globale sur un collecteur solaire incliné au site de Béchar, Université Tahri Mohammed, Béchar ,2015/2016 ;
- [9] Ch.P. De, Brichabaut, Ch. Yauge « le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique », Technique et documentation Lavoisier 1982 ;
- [10] Benmahrez, B., F. Oudihat. Etude et dimensionnement d'une alimentation solaire pour les locaux administratifs de la société IFRI. Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, (2010) ;

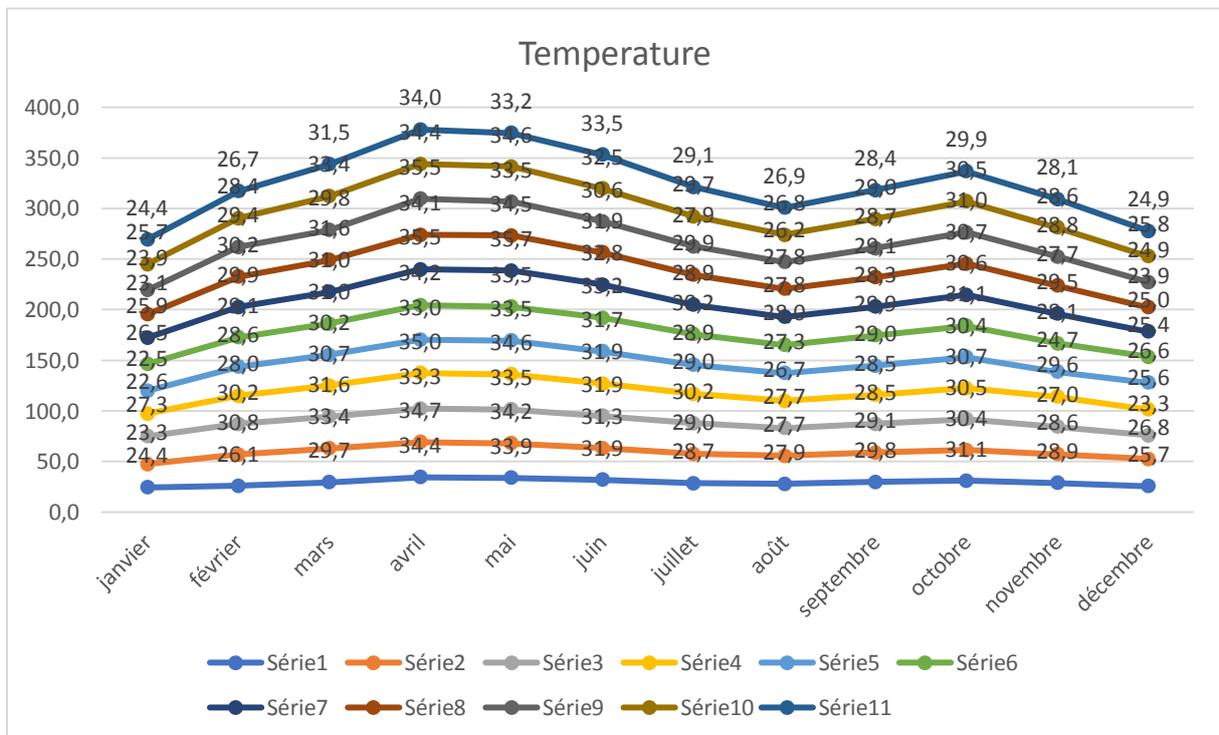
ANNEXE

« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Annexe 1 : L'ensoleillement au Tchad

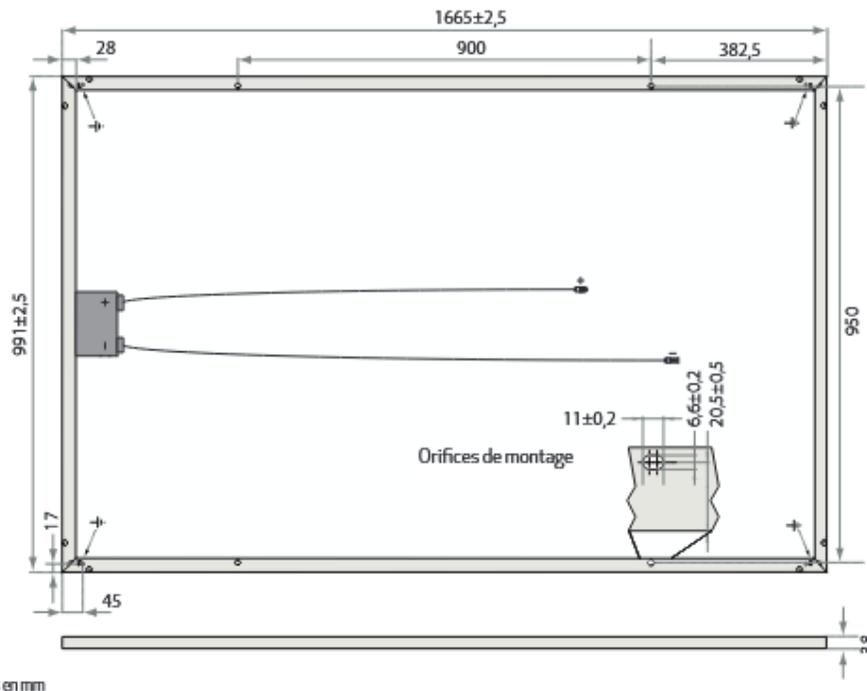


Annexe 2: Température au Tchad



Annexe 3: Caractéristique technique du panneau REC PEAK ENERGY SERIES

REC PEAK ENERGY SERIES



Dimensions en mm

SPECIFICATIONS ELECTRIQUES @ STC

| | REC235PE | REC240PE | REC245PE | REC250PE | REC255PE | REC260PE |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Puissance nominale - P_{MPP} (Wp) | 235 | 240 | 245 | 250 | 255 | 260 |
| Tolérance de puissance - (W) | 0/+5 | 0/+5 | 0/+5 | 0/+5 | 0/+5 | 0/+5 |

15,8% D'EFFICACITÉ

10 ANS DE GARANTIE PRODUIT

25 ANS DE GARANTIE LINÉAIRE RELATIVE À LA PRODUCTION

COEFFICIENTS DE TEMPÉRATURE

| | |
|--|--------------|
| Température fonctionnelle de la cellule ($NOCT$) | 45,7°C(±2°C) |
| Coefficient de température de P_{MPP} | -0,40%/°C |
| Coefficient de température de V_{OC} | -0,27%/°C |
| Coefficient de température de I_{SC} | 0,024%/°C |

DONNÉES GÉNÉRALES

| | |
|------------------|--|
| Type de cellules | 60 REC PE cellules polycristallines |
| | 3 lignes de 20 cellules avec diodes de by-pass |

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

| | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Tension à puissance nominale - V_{MPP} (V) | 29,5 | 29,7 | 30,1 | 30,2 | 30,5 | 30,7 |
| Courant à puissance nominale - I_{MPP} (A) | 8,06 | 8,17 | 8,23 | 8,30 | 8,42 | 8,50 |
| Tension en circuit ouvert - V_{OC} (V) | 36,6 | 36,8 | 37,1 | 37,4 | 37,6 | 37,8 |
| Courant de court-circuit - I_{SC} (A) | 8,66 | 8,75 | 8,80 | 8,86 | 8,95 | 9,01 |
| Rendement de module (%) | 14,2 | 14,5 | 14,8 | 15,1 | 15,5 | 15,8 |

Une analyse statistique des données techniques a démontré que 99.7% de nos modules ont une tolérance maximale de +/-3% des valeurs nominales en tension et en courant.
 Valeurs aux conditions standards (STC) (AM1,5, irradiation 1000 W/m², température de la cellule 25°C).
 A la faible irradiance de 200W/m² (AM1,5 et température de cellule de 25°C) au moins 97% du rendement du module seront atteints en conditions STC

SPECIFICATIONS ELECTRIQUES @ NOCT REC235PE REC240PE REC245PE REC250PE REC255PE REC260PE

| | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Puissance nominale - P_{MPP} (Wp) | 179 | 183 | 187 | 189 | 193 | 197 |
| Tension à puissance nominale - V_{MPP} (V) | 27,5 | 27,7 | 28,1 | 28,3 | 28,5 | 29,0 |
| Courant à puissance nominale - I_{MPP} (A) | 6,51 | 6,58 | 6,64 | 6,68 | 6,77 | 6,81 |
| Tension en circuit ouvert - V_{OC} (V) | 34,2 | 34,4 | 34,7 | 35,0 | 35,3 | 35,7 |
| Courant de court-circuit - I_{SC} (A) | 6,96 | 7,03 | 7,08 | 7,12 | 7,21 | 7,24 |

Température fonctionnelle de la cellule NOCT (800 W/m², AM1,5, vitesse du vent 1 m/s, température ambiante 20°C).

CERTIFICATIONS/STANDARDS



GARANTIE

10 ans de garantie produit.
 25 ans de garantie linéaire relative à la production d'électricité.
 (Dégression maximale de puissance de 0.7%/an).

| | |
|-------------------------|--|
| Verre | Temple transparent 3,2 mm avec traitement anti-reflet |
| Back Sheet | Double couche de polyester à haute résistance |
| Cadre | Aluminium anodisé |
| Boîtier de raccordement | Certifié IP67 câble solaire 4 mm ² , 0,90 m +1,20 m |
| Connecteurs | MC4 (4 mm ²) MC4 connectable (4 mm ²) Radox verrouillage par rotation (4 mm ²) |

VALEURS LIMITES

| | |
|--|---------------------------------|
| Température de fonctionnement | -40 °C ... +80 °C |
| Tension maximale du système | 1000V |
| Charge mécanique max. admissible neige | 550 kg/m ² (5400 Pa) |
| Charge mécanique max. admissible vent | 244 kg/m ² (2400 Pa) |
| Puissance nominale maximale des fusibles | 25A |
| Courant inverse maximal | 25A |

DONNÉES MÉCANIQUES

| | |
|------------|---------------------|
| Dimensions | 1665 x 991 x 38 mm |
| Surface | 1.65 m ² |
| Poids | 18 kg |

Note! Les spécifications sont soumises à des changements sans préavis.

Rev P - 01.2013. Cette fiche technique conforme à la norme EN 50380.

Annexe 4:Caractéristique technique régulateur VARIO TRACK

| 17.2 SORTIE (BATTERIE) | VarioTrack VT-40 | VarioTrack VT-65 | VarioTrack VT-80 |
|---|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Tension nominale de batterie | 12V/24V/48V (Réglage automatique ou manuel) | | |
| Plage de tension d'entrée Batterie | 7 - 68V | | |
| Courant de charge max. de la batterie à 25/40°C | 40/35A | 65/60A | 80/75A |
| Consommation en mode "nuit" 12V-24V-48V | 0,5W – 0,8W – 1,2W | | |
| Etapas de charge : (seuils et temps réglables) | Charge de masse, absorption, maintien, égalisation périodique ou manuelle | | |
| Compensation de température de batterie | -3mV/°C/cellule (réf. à 25°C) | | |

| 17.1 ENTREE (GENERATEUR PV) | VarioTrack VT-40 | VarioTrack VT-65 | VarioTrack VT-80 |
|--|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Courant max du générateur Solaire | 35A | 60A | 75A |
| Tension max. du générateur solaire avec batterie 12V | 75V | | |
| Tension ouverte max. du générateur solaire avec batteries 24V et 48V | 150V | | |
| Tension max. de fonctionnement du générateur solaire avec batteries 24V et 48V | 145V | | |
| Puissance max. du générateur solaire | 625/1250/2500W ⁽¹⁾ | 1000/2000/4000W ⁽¹⁾ | 1250/2500/5000W ⁽¹⁾ |
| Rendement max. | >99% | | |
| P. autoconsommation : En fonction / Nuit | <5W/<1W | | |

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

| 17.3 ENVIRONNEMENT | VarioTrack VT-40 | VarioTrack VT-65 | VarioTrack VT-80 |
|---|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Dimension (hors presse-étoupe) | 120x220x310 mm | 120x220x310 mm | 120x220x350 mm |
| Poids | 3.8 Kg | 5.2 Kg | 5.5 Kg |
| Indice de protection | IP 54, IEC/EN 60529:2001 | | |
| Plage de fonctionnement / Humidité relative | -20°C à 55°C / 95% non condensé | | |
| Lieu de montage | Intérieur | | |
| Conformité UE | Directive CEM. : 2014/30/UE : EN 61000-6-1:2007, EN 61000-6-2:2005, EN 61000-6-4:2007/A1:2011 Directive basse tension : 2014/35/UE : EN 50178:1997 Directive RoHS : 2011/65/UE | | |
| Communication | Bus et protocole propriétaire STUDER. Commande à distance et module de programmation RCC-02/03 RS 232 isolé avec accessoire Xcom-232i. | | |
| 17.4 PROTECTION ELECTRONIQUE | | | |
| Inversion de polarité du générateur PV | Jusqu'à moins 150V | | |
| Inversion de polarité côté batterie | Jusqu'à moins 150V | | |
| Courant inverse (de nuit) | Déconnexion par relais | | |
| Surtension côté batterie | Jusqu'à 150V | | |
| Sur-température | Max 70°C Limitation de puissance/arrêt | | |

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Annexe 5: Caractéristique technique de l'onduleurs Xtender XTH 6000-48

| Modèle Onduleur | XTS 900-12 | XTS 1200-24 | XTS 1400-48 | XTM 1500-12 | XTM 2000-12 | XTM 2400-24 | XTM 2600-48 | XTM 3500-24 | XTM 4000-48 | XTH 3000-12 | XTH 5000-24 | XTH 6000-48 | XTH 8000-48 |
|--|--|--------------------|--------------------|---|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Tension nominale de la batterie | 12Vdc | 24Vdc | 48Vdc | 12Vdc | | 24Vdc | 48Vdc | 24Vdc | 48Vdc | 12Vdc | 24Vdc | 48Vdc | |
| Plage des tensions d'entrée | 9.5-17Vdc | 19-34Vdc | 38-68Vdc | 9.5-17Vdc | | 19-34Vdc | 38 - 68Vdc | 19-34Vdc | 38-68Vdc | 9.5-17Vdc | 19-34Vdc | 38-68Vdc | |
| Puissance continue @ 25°C | 650**/500 VA | 800**/650VA | 900**/750VA | 1500VA | 2000VA | | 2000VA | 3000VA | 3500VA | 2500VA | 4500VA | 5000VA | 7000VA |
| Puissance 30 min. @ 25°C | 900**/700 VA | 1200**/1000 VA | 1400**/1200 VA | 1500VA | 2000VA | 2400VA | 2600VA | 3500VA | 4000VA | 3000VA | 5000VA | 6000VA | 8000VA |
| Puissance 3 sec. @25°C | 2.3kVA | 2.5kVA | 2.8kVA | 3.4kVA | 4.8kVA | 6kVA | 6.5kVA | 9kVA | 10.5kVA | 7.5kVA | 12kVA | 15kVA | 21kVA |
| Charge maximale | Jusqu'au court-circuit | | | | | | | | | | | | |
| Charge asymétrique max. | Jusqu'à Pcont | | | | | | | | | | | | |
| * Détection de charge (Stand-by) | 2 à 25W | | | | | | | | | | | | |
| Cos φ | 0.1-1 | | | | | | | | | | | | |
| Rendement max. | 93% | 93% | 93% | 93% | | 94% | 96% | 94% | 96% | 93% | 94% | 96% | |
| Puissance à vide OFF/Stand-by/ON | 1.1W/1.4W/7 W | 1.2W/1.5W/8W | 1.3W/1.6W/8W | 1.2W/1.4W/8W | 1.2W/1.4W/10W | 1.4W/1.6W/9W | 1.8W/2W/10W | 1.4W/1.6W/12W | 1.8W/2.1W/14W | 1.2W/1.4W/14W | 1.4W/1.8W/18W | 1.8W/2.2W/22W | 1.8W/2.4W/30W |
| * Tension de sortie | Sinus pur 230Vac (+/- 2%) / 120Vac(1) | | | | | | | | | | | | |
| * Fréquence de sortie | 50Hz / 60Hz(1) +/- 0.05% (contrôlée par quartz) | | | | | | | | | | | | |
| Distorsion harmonique | <2% | | | | | | | | | | | | |
| Protection de surcharge et de court-circuit | Déconnexion automatique puis 3 essais de démarrage | | | | | | | | | | | | |
| Protection de surchauffe | Alarme avant coupure et redémarrage autom. | | | | | | | | | | | | |
| Chargeur de batterie | | | | | | | | | | | | | |
| * Caractéristique de charge | 6 étapes Bulk - Absorption - Maintien -Egalisation - Maintien réduit - Absorption périodique | | | | | | | | | | | | |
| * Courant de charge maximum | 35A | 25A | 12A | 70A | 100A | 55A | 30A | 90A | 50A | 160A | 140A | 100A | 120A |
| * Compensation de la température | Avec BTS-01 ou BSP 500/1200 | | | | | | | | | | | | |
| Correction du facteur de puissance (PFC) | EN 61000-3-2 | | | | | | | | | | | | |
| Données générales | XTS 900-12 | XTS 1200-24 | XTS 1400-48 | XTM 1500-12 | XTM 2000-12 | XTM 2400-24 | XTM 2600-48 | XTM 3500-24 | XTM 4000-48 | XTH 3000-12 | XTH 5000-24 | XTH 6000-48 | XTH 8000-48 |
| * Plage des tensions d'entrée | 150 à 265Vac / 50 à 140Vac(1) | | | | | | | | | | | | |
| Fréquence d'entrée | 45 à 65Hz | | | | | | | | | | | | |
| Courant max. d'entrée (relais de transfert) / Courant max. de sortie | 16Aac/20Aac | | | 50Aac/56Aac | | | | | | 50Aac/80Aac | | | |
| Temps de transfert (UPS) | <15ms | | | | | | | | | | | | |
| Contacts multifonctionnels | Module ARM-02 à 2 contacts en option | | | Deux contacts inverseurs indépendants et libres de potentiel (16A-250 Vac / 3A-50Vdc) | | | | | | | | | |
| Poids | 8.2 kg | 9kg | 9.3 kg | 15 kg | 18.5 kg | 16.2 kg | 21.2 kg | 22.9 kg | 34 kg | 40 kg | 42 kg | 46 kg | |
| Dimension h x l x L [mm] | 110x210x310 | 110x210x310 | 110x210x310 | 133x322x466 | | | 133x322x466 | | 230x300x500 | 230x300x500 | 230x300x500 | | |
| Indice de protection | IP54 | | | IP20 | | | | | | | | | |
| Conformité | Directive CEM 2004/108/CE : EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 55014, EN 55022, EN 61000-3-2, 62040-2 Directive basse tension 2006/95/CE : EN 50178, EN 62040-1, EN 60950-1, EN 62109-1 | | | | | | | | | | | | |
| Plage des températures de travail | -20 à 55°C | | | | | | | | | | | | |
| Humidité relative de fonctionnement | 100% | | | | | | 95% sans condensation | | | | | | |
| Ventilation | Module de ventilation ECF-01 en option | | | Forcée dès 55°C | | | | | | | | | |
| Niveau acoustique | <40dB / <45dB (sans / avec ventilation) | | | | | | | | | | | | |

« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Annexe 6 Caractéristique technique de la batterie OPzS2-3000 (2V3000Ah) :

OPzS2-3000 (2V3000Ah)

OPzS series is flooded Lead Acid battery that adopts Tubular Plate technology to offer high reliability and performance. The Battery is designed and manufactured according to standards and with DIN40736/IEC60896 positive spine and patent formula of die-casting active material. The OPzS series batteries offer 400% more cyclic life than the standby series. It is suitable for solar and wind renewable energy storage, traction etc. The OPzS series is the best choice of energy storage system in high altitude area.

Specification

| | |
|------------------------------------|---|
| Cells Per Unit | 1 |
| Voltage Per Unit | 2 |
| Nominal Capacity | 3000Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C |
| Weight | Without Electrolyte 166.7 kg/With Electrolyte 226.8kg |
| Internal Resistance | Approx. 0.11 mΩ |
| Terminal | F10(M8) |
| Max. Discharge Current | 10000A (5 sec) |
| Design Life | 20 years (floating charge) |
| Max. Charging Current | 300 A |
| Reference Capacity | C3 2439.3AH C5 2715.5AH C10 3000.0AH C20 3632.0AH |
| Float Charging Voltage | 2.23 V~2.25 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/°C/Cell |
| Cycle Use Voltage | 2.40 V~2.45 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/°C/Cell |
| Operating Temperature Range | Discharge: -15°C~50°C Charge: 0°C~40°C Storage: -15°C~50°C |
| Normal Operating Temperature Range | 25°C ±5°C |
| Self Discharge | OPzS series is flooded Lead Acid battery . It can be stored for up to 2 years before filling acid. Monthly Self-discharge ratio is less than 3.5% at 20°C. Please charged batteries before using. |
| Container Material | SAN UL94-HB, UL94-V0 Optional. |

Dimensions

Unit: mm

| | |
|--------------|-----------------------|
| Length | 576±2mm (22.7 inches) |
| Width | 212±2mm (8.35 inches) |
| Height | 770±2mm (30.3 inches) |
| Total Height | 827±2mm (32.6 inches) |
| Torque Value | 10~12 N·m |

Constant Current Discharge Characteristics : A(25°C)

| F.V/ Time | 30min | 1h | 2h | 3h | 4h | 5h | 6h | 8h | 10h | 20h |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.60V | 3166 | 2042 | 1209 | 880.4 | 678.8 | 569.2 | 496.0 | 390.2 | 328.4 | 188.9 |
| 1.65V | 3069 | 1922 | 1170 | 859.0 | 669.3 | 561.5 | 489.7 | 387.1 | 325.3 | 187.1 |
| 1.70V | 2834 | 1861 | 1137 | 839.1 | 657.8 | 552.9 | 483.4 | 384.0 | 322.1 | 185.2 |
| 1.75V | 2544 | 1738 | 1088 | 813.1 | 647.1 | 543.1 | 473.9 | 377.7 | 315.8 | 181.6 |
| 1.80V | 2297 | 1550 | 1008 | 764.2 | 618.5 | 519.4 | 453.4 | 360.4 | 300.0 | 172.5 |
| 1.85V | 1916 | 1329 | 901.2 | 693.7 | 571.0 | 480.2 | 420.2 | 336.7 | 281.1 | 161.6 |

Constant Power Discharge Characteristics : WPC(25°C)

| F.V/ Time | 30min | 1h | 2h | 3h | 4h | 5h | 6h | 8h | 10h | 20h |
|-----------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.60V | 5355 | 3483 | 2210 | 1650 | 1312 | 1102 | 963.6 | 764.8 | 652.4 | 375.2 |
| 1.65V | 5265 | 3335 | 2151 | 1617 | 1295 | 1090 | 954.2 | 758.5 | 649.4 | 373.4 |
| 1.70V | 5000 | 3301 | 2098 | 1584 | 1275 | 1076 | 944.7 | 752.2 | 643.3 | 369.8 |
| 1.75V | 4609 | 3160 | 2032 | 1547 | 1258 | 1060 | 928.9 | 742.7 | 634.1 | 364.6 |
| 1.80V | 4277 | 2895 | 1907 | 1467 | 1206 | 1017 | 892.5 | 714.4 | 608.0 | 349.6 |
| 1.85V | 3666 | 2551 | 1742 | 1349 | 1117 | 944.0 | 830.9 | 673.5 | 572.8 | 329.4 |

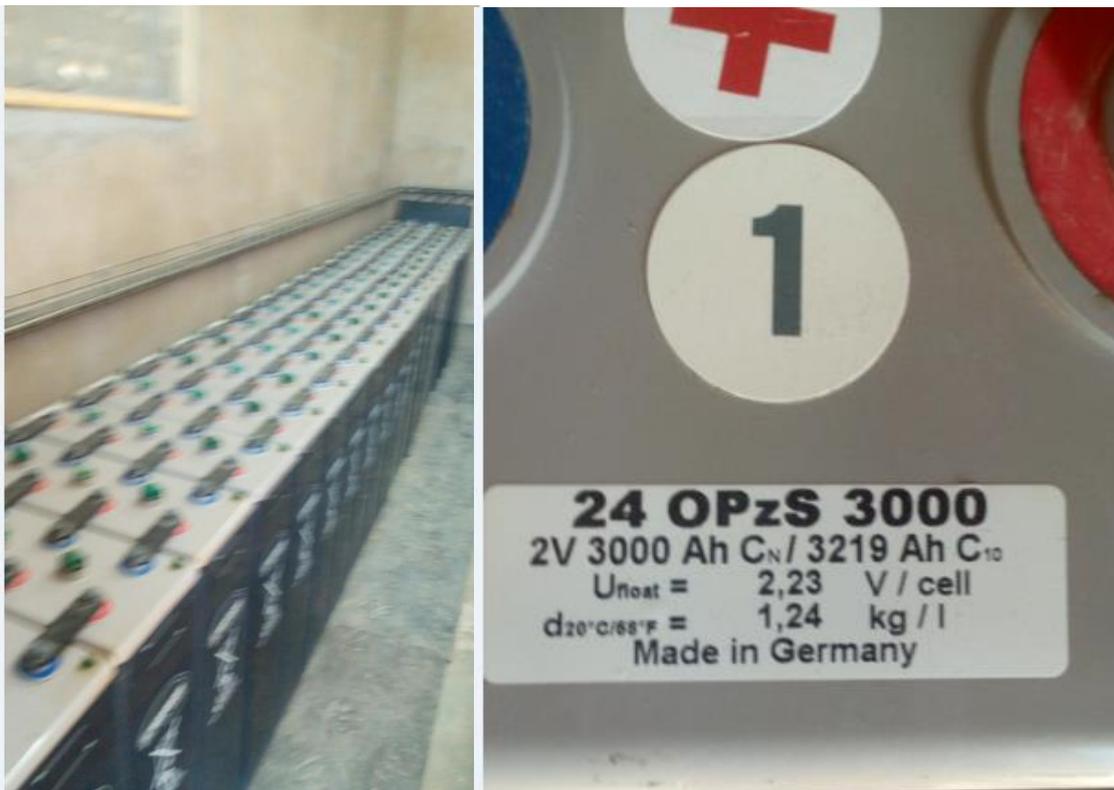
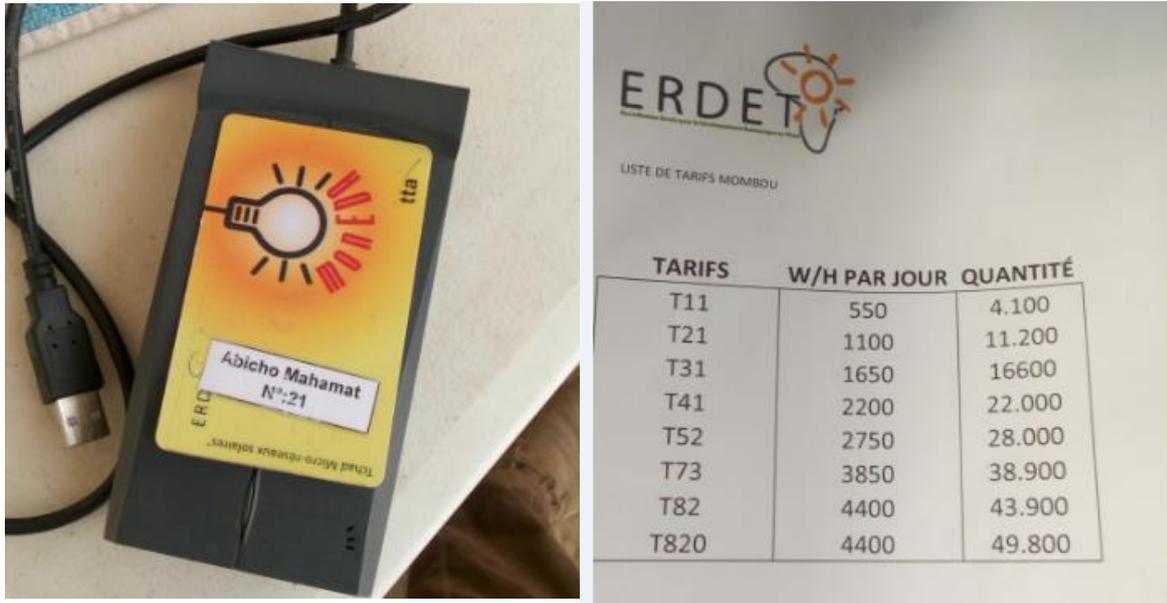
(Note) The above characteristics data are average values obtained within three charge/discharge cycle not the minimum values. The battery must be fully charged before the capacity test. The C10 should reach 95% after the first cycle and 100% after the third cycle.

Annexe 7: Le groupe d'électrogène pour secours



**« L'ETUDE TECHNIO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE
PHOVOLTAIQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »**

Annexe 10: Carte des abonnements avec son chargeur et grille de prix de vente



« L'ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE D'UNE INSTALLATION MICRO-RESEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR UN SITE ISOLE CAS DE DOUGIYA AU TCHAD »

Annexe 11: Les onduleurs et les régulateurs pour cette centrale solaire



Annexe 12 : Dimensionnement du générateur

| | |
|---|--------|
| Besoin journalière (Wh) | 47 910 |
| Rendement batterie | 0,8 |
| Rendement onduleur | 0,95 |
| Rendement régulateur | 0,8 |
| Rendement générateur | 0,8 |
| Ej (kWh/m ² /j) | 5,36 |
| Pc (W _C) | 39 360 |
| Tension générateur (V) | 48 |
| Tension module (V) | 29,7 |
| Puissance d'un module (W _C) | 240 |
| Nombre Série | 2 |
| Nombre Parallèle | 82 |
| PC installée (W _C) | 39 360 |
| Nombre de panneaux | 146 |

Annexe 13 : Dimensionnement du parc des batteries

| | |
|----------------------------|--------|
| Besoins journaliers (Wh) | 47 910 |
| Rendement batterie | 0,8 |
| Tension batterie (gén) (V) | 48 |
| Autonomie (jours) | 1 |
| DM | 75% |
| Capacité unitaire (Ah) | 3 000 |
| Tension accumulateur (V) | 2 |
| Capacité min (Ah) | 334,93 |
| Nombre série | 26 |
| Nombre parallèle | 2 |
| Nombre accumulateur | 52 |

Annexe 14 : Ratios de vérification

| | | |
|-----------------------------------|--------------------------|------|
| Degré de décharge quotidien (Ddq) | | |
| Ddq | 0,01 | |
| | 0,75 | |
| | $0,0170 < 0,75$ | Bien |
| Ratio 1 | | |
| Ratio 1 | 3,89 | |
| | 1=1 | Bien |
| Ratio 2 | | |
| Ratio 2 | 19,87 | |
| | 19,87 est entre [20 ;40] | Bien |