REPUBLIQUE DU BENIN

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI (UAC)

ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY-CALAVI (EPAC)

CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT (CAP)

Rapport de fin d'Etude pour l'obtention du Diplôme de

Licence Professionnelle

Département : Génie Électrique

THÈME

ÉTUDE DE FAISABILITE TECHNICO-ECONOMIQUE DE L'INSTALLATION D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE POUR L'ALIMENTATION DES AUXILIAIRES DU POSTE DE TRANSFORMATION HTB/HTA DE LA CEB AVAKPA

Réalisé par : Christian HOUNGBADJI

Superviseur :

Monsieur Luc NASSARA
Enseignant à l'EPAC/UAC

Tuteur de Stage :

Jean Paul PADONOU
Chef Poste Vêdoko (CEB)

Année académique : 2017- 2018

SOMMAIRE

TABLE DES MATIERES 3
DEDICACES 6
REMERCIEMENTS 7
LISTE DES FIGURES 9
LISTE DES TABLEAUX 11
LISTE DES SIGLES 12
CAHIER DE CHARGE 13
RESUME 15
ABSTRACT 16
INTRODUCTION GÉNÉRALE 17
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET TRAVAUX EFFECTUÉS 18
CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE 32
2 Généralités sur les Énergies Renouvelables 33
CHAPITRE 3 : ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DU 67
SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE 67
CONCLUSION GÉNÉRALE 74
ANNEXE 76

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE 2
TABLE DES MATIERES 3
DEDICACES 6
REMERCIEMENTS 7
LISTE DES FIGURES 9
LISTE DES TABLEAUX 11
LISTE DES SIGLES 12
CAHIER DE CHARGE 13
RESUME 15
ABSTRACT 16
INTRODUCTION GÉNÉRALE 17
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET TRAVAUX EFFECTUÉS 18
1.1 Présentation de la structure d'accueil 19
1.1.1 Mission de la CEB 22
1.1.2 Les sources de la CEB 22
1.1.3 Structures administratives 23
1.2 Déroulement du stage 25
1.2.1 Présentation du poste CEB d'Avakpa 25
1.2.2 Travaux effectués 27
CONCLUSION 31
CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE 32
1.Introduction 33
2 Généralités sur les Énergies Renouvelables 33
2.1 Définition 33
2.1.1 Les types d'énergies 34
2.1.2 L'énergie solaire photovoltaïque 34

2.1.3 Principe de fonctionnement 36
2.1.4 Les types de panneaux photovoltaïques 36
2.1.5 Les composants principaux d'un système photovoltaïque 37
2.1.5.1 Les modules photovoltaïques 37
2.1.5.2 Les onduleurs photovoltaïques 39
2.1.5.3 Batterie 40
2.1.5.4 Les câbles électriques 41
2.1.5.5 Régulateur 41
2.2 Présentation de la salle de commande du poste d'Avakpa 42
2.3 Dimensionnement de la nouvelle source (solaire photovoltaïque) 45
2.3.1 Analyse des besoins énergétiques du poste 45
2.3.2 Évaluation de la consommation énergétique journalière 46
2.3.3 Potentiel solaire du site et disponibilité de l'espace 48
2.3.4 Données du site AVAKPA 48
2.3.5 Espace disponible pour l'installation du système photovoltaïque 50
2.4.1 Dimensionnement des câbles électriques du système photovoltaïque 59
2.4.2 Protections électriques 60
2.4.3 Choix du disjoncteur de protection 60
2.4.4 Sectionneur CA (AC) 61
2.4.5 Parafoudre CC (DC) 61
2.4.6 Relais de couplage/découplage 61
2.5 Intégration du système photovoltaïque 62
2.5.1 Schéma de câblage de l'installation 62
2.5.2 Le système de couplage automatique 63
2.5.2.1 Principe de fonctionnement 63
Conclusion 66
CHAPITRE 3 : ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DU 67
SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE 67
2. Consommation énergétique journalière du poste 68

3. Tableaux de l'étude technico-économique du système photovoltaïque 69
4. Étude comparative et justification du choix du système photovoltaïque 70
5. Avantages de l'intégration du système photovoltaïque 71
6. Temps de retour sur investissement (TRI) 71
Conclusion 73
CONCLUSION GÉNÉRALE 74
ANNEXE 76

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

- **À Dieu le Père**, compagnon fidèle en tout lieu et à tout moment.

Ô DIEU, ce n'est pas à nous, mais à Toi Seigneur, que revient la gloire ;

- **À toi, mon feu père, HOUNGBADJI Michel**,

Homme de valeur et de principes, bâtisseur infatigable dont l'ombre tutélaire m'accompagne. Ton nom reste gravé comme celui d'un homme accompli, et ton exemple demeure mon plus bel héritage ;

- **À toi, ma feue mère, DAN Agathe Ayaba,**

Femme de dignité et de tendresse, ton amour me précède encore et tes prières continuent de veiller sur moi depuis le Ciel. Ton absence est une blessure, ton souvenir est ma lumière ;

- **À toi, mon Oncle Oscar TCHIBOZO**,

Père de substitution et conseiller avisé, ta main tendue ne m'a jamais fait défaut.
Ta confiance, tes encouragements et ta sagesse ont façonné l'homme que je suis devenu. Reçois ici l'expression de ma reconnaissance éternelle ;

- **À toi, Milène POKOU** l'épouse de ma jeunesse et la gardienne de mon cœur, ton amour a été mon refuge, tes prières mon bouclier, ton sacrifice ma force.

Que le Seigneur te rende au centuple tout le bien que tu m'as fait ;

- **À vous, Brunelle, Divine et Marie-Vianney**, fruits de mes entrailles et lumière de mes jours,

Marchez avec foi, rêvez sans limites et n'abandonnez jamais.

Mon âme vous bénit et mon cœur vous portera toujours.

- **Aux familles HOUNGBADJI, DAN et TCHIBOZO**, racines de mon histoire.

Merci pour l'héritage, les valeurs et l'amour inconditionnel que vous m'avez transmis.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu, le Tout-Puissant, lui qui nous a protégé du début de cette formation et qui nous a accordé la sagesse nécessaire pour suivre les cours et effectuer un stage sans incident majeur. La réalisation du présent rapport n'a été possible que grâce au concours des personnes à qui nous témoignons toutes notre sincères reconnaissance.

Ainsi, nos sincères remerciements vont à l'endroit :

✓ Université d'Abomey-Calavi :

- **Professeur Victorien Tamègnon DOUGNON**, Maître de Conférences des Universités (CAMES), **Directeur** de l'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (D/EPAC) ;
- **Professeur Arikè Folakè Chakirath SALIFOU**, Maître de Conférences des Universités (CAMES),
- **Directrice Adjointe** de l'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (DA/EPAC) ; - **Professeur Fidèle Paul TCHOBO**, Professeur Titulaire des Universités (CAMES), **Chef** du Centre Autonome de Perfectionnement (C/CAP/EPAC).
- **Docteur Patrice Koffi TCHETANGNY**, Maître de Conférences des Universités (CAMES), **Chef du Département de Génie Électrique** de l'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (C/DGE/EPAC).

A tout le corps professoral du (CAP/EPAC) pour nous avoir offert une formation de qualité.

- **Monsieur Luc NASSARA,** Enseignant à l'EPAC qui, malgré ses multiples occupations, a accepté de diriger ce travail et pour tous ses multiples conseils.

Les membres du jury, pour avoir accepté de juger ce travail.

Communauté Electrique du Bénin :

- **Docteur Karimou CHABI SIKA**, Directeur Général de la **CEB** pour son engagement à encourager la persévérance ;
- Monsieur **Assakoua NADIO**, Directeur Régional du Bénin, pour son encouragement et sa disponibilité ;
- Monsieur **Jean-Paul PADONOU**, Chef Division Exploitation de la Région du Bénin, qui a accepté de parrainer ce rapport.
- Monsieur **Fulgencio Wilfried YEKE**, Chef Division du poste d'Avakpa pour ses conseils et son attention.
- Monsieur **Lazare DJOUGBENOU**, Chef Section Appareillage au poste d'Avakpa pour ses conseils, sa disponibilité et son attention

A tout le personnel du poste d'Avakpa.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte du réseau électrique de la CEB 18
Figure 2 : Organigramme Hiérarchique de la CEB 21
Figure 3 : Schéma unifilaire du Poste AVAKPA 23
Figure 4 : Champ électrique 25
Figure 5 : vue de profil du Transformateur T1 161/20kV 31,5 MVA. 25
Figure 6 : Transformateur des services auxiliaires TSA 26
Figure 7 : Contrôle Commande Numérique (CCN) 26
Figure 8 : Système raccordé au réseau 32
Figure 9 : système isolé 33
Figure 10 : Branchement série 35
Figure 11 : Branchement parallèle 35
Figure 12 : Branchement parallèle 36
Figure 13 : Onduleur photovoltaïque 37
Figure 14 : Batterie 37
Figure 15 : Câbles 38
Figure 16 : Régulateur.....38
Figure 17 : Salle de relayage 40
Figure 18 : Système d'installation auxiliaire sur le jeu de barre 40
Figure 19 : Système d'installation avec le dispositif photovoltaïque sur le jeu de barre 41
Figure 20 : Situation géographique du Poste D'AVAKPA 44
Figure 21 : Le diagramme de l'irradiation solaire et de l'ensoleillement quotidien moyen de la ville d'Allada 45
Figure 22 : Espace disponible pour l'installation 46
Figure 23 : Câblage du circuit de puissance 57
Figure 24 : Câblage du circuit de commande 57
Figure 25 : Système de fonctionnement automatique de l'intégration d'une installation

photovoltaïque dans le réseau de la CEB combiné au Groupe Électrogène 58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nouvelles valeurs à utiliser 54

Tableau 2 : Consommation journalière du poste 61

Tableau 3 : Coût initial de l'installation 62

Tableau 4 : Coût du système photovoltaïque 62

Tableau 5 : Coût de l'alimentation via le réseau CEB 63

LISTE DES SIGLES

CEB : Communauté **E**lectrique du **B**énin

kWc : Kilowatt crête

kWh : Kilowatt heure

HTB : Haute Tension B

HTA : Haute Tension A

SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE : Photovoltaïque

GWh : Gigawatt heure

MW : Mégawatt

DRB : Direction Régionale du Bénin

kV : Kilovolt

MVA : **Mégavoltampère**

m^2 : Millimètre carré

A : Ampère

V : Volt

mm^2 : Millimètre carré

AC : Alternating Current

DC : Direct Current

CAHIER DE CHARGE

Thème : Étude de faisabilité technico-économique de l'installation d'un système photovoltaïque pour l'alimentation des auxiliaires du poste de transformation HTB/HTA de la CEB Avakpa.

✞ Contexte et justification

Le poste de transformation HTB/HTA de la Communauté Electrique du Bénin (CEB) situé à Allada est un maillon stratégique dans la distribution de l'énergie électrique. Les équipements auxiliaires du poste (systèmes de contrôle, éclairage, ventilation, etc.) sont actuellement alimentés par le réseau principal (CEB), ce qui représente une charge continue et non négligeable. Dans un contexte de transition énergétique et d'optimisation des coûts, l'exploitation d'une surface inutilisée de 1944 m² pour l'installation de panneaux solaires photovoltaïques apparaît comme une alternative prometteuse.

✞ Problématiques techniques

La Vulnérabilité au " blackouts " (Perte de tension propre)

Maintenance sous tension, pouvant impacter les équipements sensibles ;

Besoin d'un dimensionnement précis du champ photovoltaïque pour garantir qu'il couvre entièrement les besoins du service auxiliaire en journée ;

✞ Objectif général

Réaliser une étude de faisabilité technico-économique de l'installation d'un système photovoltaïque pour l'injecter dans le réseau sur une surface de 1944m², en vue d'assurer l'alimentation énergétique des équipements auxiliaires du poste de transformation HTB/HTA de la CEB d'Avakpa, dans une perspective d'optimisation des coûts, de fiabilité énergétique et de transition vers des sources d'énergie renouvelables.

✞ Objectifs spécifiques

- Analyse de la consommation énergétique du service auxiliaire
- Dimensionnement du système photovoltaïque
- Mise en place d'un système d'injection de la source solaire dans le réseau CEB
- Etudier la compatibilité et la fiabilité du système installé
- Évaluation des bénéfices économiques et retour sur investissement

✞ Contraintes et limitations

Le système de basculement entre l'énergie solaires et CEB doit être rapide et fiable, sans interruption d'alimentation.

Le champ photovoltaïque doit être dimensionné pour couvrir les besoins journaliers sans recourir à un stockage important.

Le budget d'investissement doit être optimisé pour garantir un bon retour sur investissement.

L'étude doit démontrer que les économies réalisées justifient l'installation du système hybride.

✞ Résultats attendus

- Diminution des coûts énergétiques du poste grâce à l'utilisation du solaire en journée
- Optimisation de l'autonomie énergétique sans nécessiter un stockage
- Mise en place d'un système de basculement automatique fiable et efficace
- Amélioration de la durabilité du poste avec une intégration d'énergie renouvelable.

RESUME

Ce projet étudie la faisabilité technico-économique d'installer un système photovoltaïque pour alimenter les équipements auxiliaires du poste de transformation HTB/HTA de la CEB d'Avakpa, utilisant une surface inutilisée de 1944 m². L'objectif est de réduire la dépendance énergétique vis-à-vis du réseau électrique de la SBEE, optimiser les coûts et améliorer la fiabilité énergétique. Actuellement, les équipements auxiliaires sont alimentés par le réseau principal, entraînant des coûts élevés et une vulnérabilité aux coupures. Le système photovoltaïque permettrait de produire de l'énergie solaire sur place, injectée automatiquement dans le réseau de la CEB, réduisant la consommation d'électricité nationale. Le système photovoltaïque comprend des modules solaires Jinko Solar JKM585N-72HL4 et des onduleurs triphasés SIRIO K25, choisis pour leur efficacité et adaptabilité. Les contraintes techniques et économiques ont été prises en compte pour garantir un système fiable et rentable. Les résultats attendus incluent une diminution des coûts énergétiques, une optimisation de l'autonomie énergétique et une amélioration de la durabilité du poste grâce à l'intégration d'énergie renouvelable.

Mots-clés : système photovoltaïque, énergie solaire, optimisation énergétique, poste de transformation, CEB, faisabilité technico- économique.

ABSTRACT

This project studies the techno-economic feasibility of installing a photovoltaic system to power the auxiliary equipment of the HTB/HTA transformation station of the CEB in Avakpa, using an unused area of 1944 m². The goal is to reduce energy dependence on CEB, optimize costs, and improve energy reliability. Currently, the auxiliary equipment is powered by the main grid, resulting in high costs and vulnerability to outages. The photovoltaic system will produce solar energy on-site, automatically injected into the CEB network, reducing national electricity consumption. The system includes Jinko Solar JKM585N-72HL4 solar modules and SIRIO K25 three-phase inverters, chosen for their efficiency and adaptability. Technical and economic constraints have been considered to ensure a reliable and costeffective system. The expected results include a reduction in energy costs, an optimization of energy autonomy, and an improvement in the sustainability of the site through the integration of renewable energy.

Keywords: photovoltaic system, solar energy, energy optimization, transformation station, CEB, technical-economic feasibility.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans un contexte mondial marqué par l'urgence climatique, la transition vers des énergies propres s'impose comme une nécessité pour les opérateurs électriques. Au Bénin, la Communauté Électrique du Bénin (CEB) doit repenser ses infrastructures pour intégrer des solutions durables. Les postes de transformation HTB/HTA, qui abritent des systèmes auxiliaires essentiels, représentent un levier important pour cette transition. Actuellement alimentés par le réseau CEB, ces équipements entraînent des coûts élevés et une dépendance énergétique, appelant des solutions alternatives comme le solaire photovoltaïque.

Ce projet étudie la faisabilité d'un système photovoltaïque pour alimenter les auxiliaires du poste d'Avakpa de la CEB. La solution proposée combine une production solaire qui sera injectée automatiquement sur le réseau de la CEB. Cette approche pourrait présenter plusieurs avantages : réduction des coûts opérationnels, sécurisation de l'alimentation électrique et contribution aux objectifs nationaux de développement durable. Elle s'inscrit dans une logique d'optimisation des ressources existantes tout en modernisant les infrastructures. L'étude s'appuie sur une méthodologie complète en quatre étapes clés. Un audit énergétique précis permettra d'évaluer les besoins réels des auxiliaires. Le dimensionnement du système photovoltaïque sera optimisé pour couvrir ces besoins tout en garantissant la stabilité du réseau. Une analyse financière détaillée évaluera la rentabilité du projet, incluant les coûts d'investissement et les économies potentielles. Enfin, la modélisation technique assurera une intégration harmonieuse avec le réseau existant et un basculement automatique fiable.

Au-delà du cas spécifique du poste d'Avakpa, cette étude vise à établir un modèle reproductible pour d'autres infrastructures de la CEB.

Les résultats devraient permettre de juger de la pertinence technique et économique de cette solution, ouvrant la voie à une modernisation durable du réseau béninois. Si les résultats sont concluants, ce projet pilote pourrait inspirer des initiatives similaires, contribuant ainsi à la transition énergétique du pays tout en renforçant l'autonomie et la résilience du système électrique national.

CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET TRAVAUX EFFECTUÉS

1. Introduction

Le domaine des énergies renouvelables est au cœur de la transition énergétique mondiale, offrant des solutions durables pour répondre aux besoins croissants en énergie tout en préservant notre environnement. Les sources d'énergie renouvelable, telles que le solaire, l'éolien et l'hydroélectrique, jouent un rôle crucial dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la promotion d'un avenir plus vert.

En tant qu'étudiant au CAP/ EPAC, j'ai entamé notre formation en septembre 2014 en vue d'obtenir une Licence Professionnelle. Notre parcours nous a menés au poste de transformation HTB/HTA de la Communauté Électrique du Bénin (CEB) à Avakpa pour notre stage. Ce poste joue un rôle essentiel dans la distribution de l'électricité, offrant une opportunité privilégiée d'appliquer nos connaissances théoriques dans un cadre professionnel concret. Ce stage nous permet de comprendre les enjeux techniques et opérationnels liés à la gestion de l'énergie électrique, tout en développant des compétences pratiques précieuses dans ce domaine en pleine expansion.

1.1 Présentation de la structure d'accueil

Alimentés autrefois au moyen des centrales thermiques par la compagnie d'énergie électrique du Togo (CEET) et la société dahoméenne d'électricité et d'eau (SDEE), le Togo et le Bénin, face à l'augmentation des coûts du carburant, prirent la résolution de trouver d'autres sources d'approvisionnement en énergie électrique.

Ils choisirent donc d'importer cette ressource du Ghana où le barrage d'Akosombo venait d'être mis en service. C'est alors que dans leur politique de développement économique et social, le Bénin et le Togo constituèrent un organisme international à caractère public qu'est la Communauté Électrique du Bénin (CEB). Instituée par l'accord international et le code Bénino-Togolais de l'électricité du 27 juillet 1968 de Cotonou qui fut révisé le 23 décembre 2003, la Communauté Electrique du Bénin est le gestionnaire du réseau de transport des deux territoires et assure également

l'exploitation de ses moyens de production ainsi que les activités connexes. La réglementation, planification et le développement du secteur de l'électricité sont ainsi mis en œuvre par la CEB.

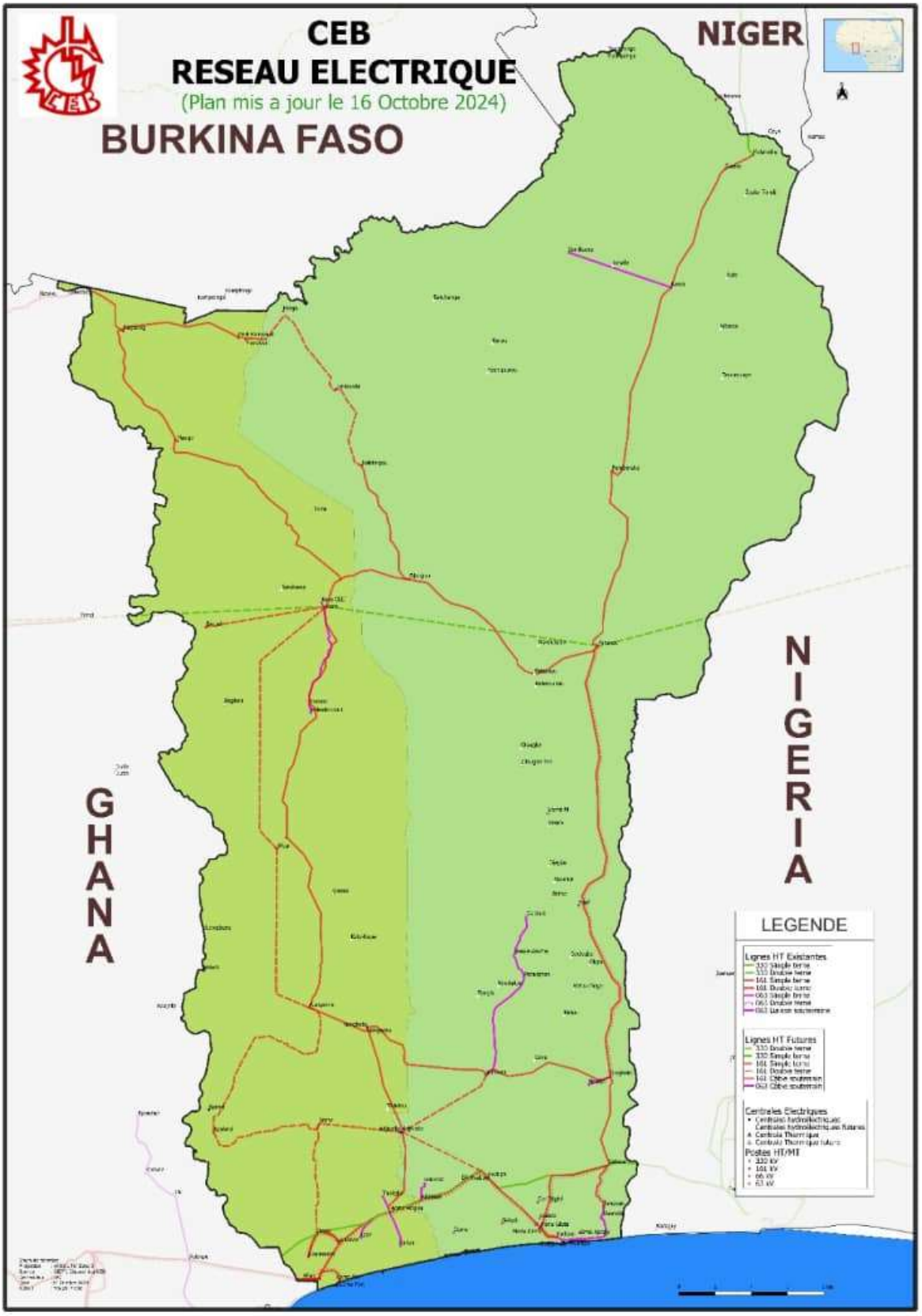


Figure 1 : Carte du réseau électrique de la CEB.

1.1.1 Mission de la CEB

La CEB est devenue depuis le 1er janvier 2019 gestionnaire du réseau de transport avec l'exploitation de ses propres moyens de production en activités connexes. Après avoir accompagné les distributeurs dans la mise en place des contrats d'importation d'énergie, il est devenu nécessaire pour la CEB de s'occuper de son réseau de transport en améliorant son savoir-faire et mieux satisfaction à ses clients. La Communauté Électrique du Bénin a pour mission principale :

Transporter l'énergie électrique sur l'ensemble des deux territoires ;

Conclure, en cas de nécessité, avec les pays voisins des deux États, des accords de transit de l'énergie électrique ;

Contribuer aux efforts d'électrification des collectivités, des entreprises publiques et privées ;

Assurer grâce à son Centre de Formation Professionnelle et de perfectionnement (CFPP), la formation au profit des agents des entreprises des deux pays.

1.1.2 Les sources de la CEB

La CEB dispose des sources de production propre à elle-même et des sources d'approvisionnement extérieures.

- **<u>Les sources de production de la CEB :</u>**

Concernant les sources de production de la CEB nous avons :

La centrale hydroélectrique de Nangbéto dont la construction a démarré en septembre 1984 et a pris fin en septembre 1987 qui fournit de l'énergie aux deux pays avec en moyenne 170 GWh par an ;

Deux (02) turbines à gaz qui fournissent 20 MW chacune, une à Maria-Gléta et l'autre à Lomé au TOGO. Elles produisent en moyenne 150 GWh par an.

✞ **Les sources d'approvisionnement extérieurs de la CEB :**

Afin de satisfaire la demande des deux pays dans la zone interconnectée, la CEB a recouru aux sources d'approvisionnement extérieures suivantes :

Volta River Authority (VRA) du **GHANA** pour une puissance garantie de 60 MW et une énergie annuelle garantie de 500 GWh jusqu'en 2012, 700 GWh de 2013 à 2014 et 1000 GWh de 2015 à 2017 ;

Transmission Company of Nigeria (TCN) du **NIGERIA** pour une puissance garantie de 350 MW.

1.1.3 Structures administratives

❖ **ORGANES DIRIGEANTS DE LA CEB**

- Un Haut Conseil Interétatique (HCIE) composé de huit (08) Ministères à raison de quatre (04) Ministères par État.
- Une Haute Autorité (HA) composée de dix (10) membres à raison de cinq (05) membres par État.
- Une Direction Générale composée d'un (01) Directeur Général (Béninois) et d'un (01) Directeur Général Adjoint (Togolais), assisté de trois services transversaux (Inspection technique, Juridique, Communication), le service juridique, le service de la communication. Puis de huit (08) Directions centrales comme l'illustre la Figure 2

ORGANIGRAMME HIÉRARCHIQUE DE LA CEB (Source CEB)

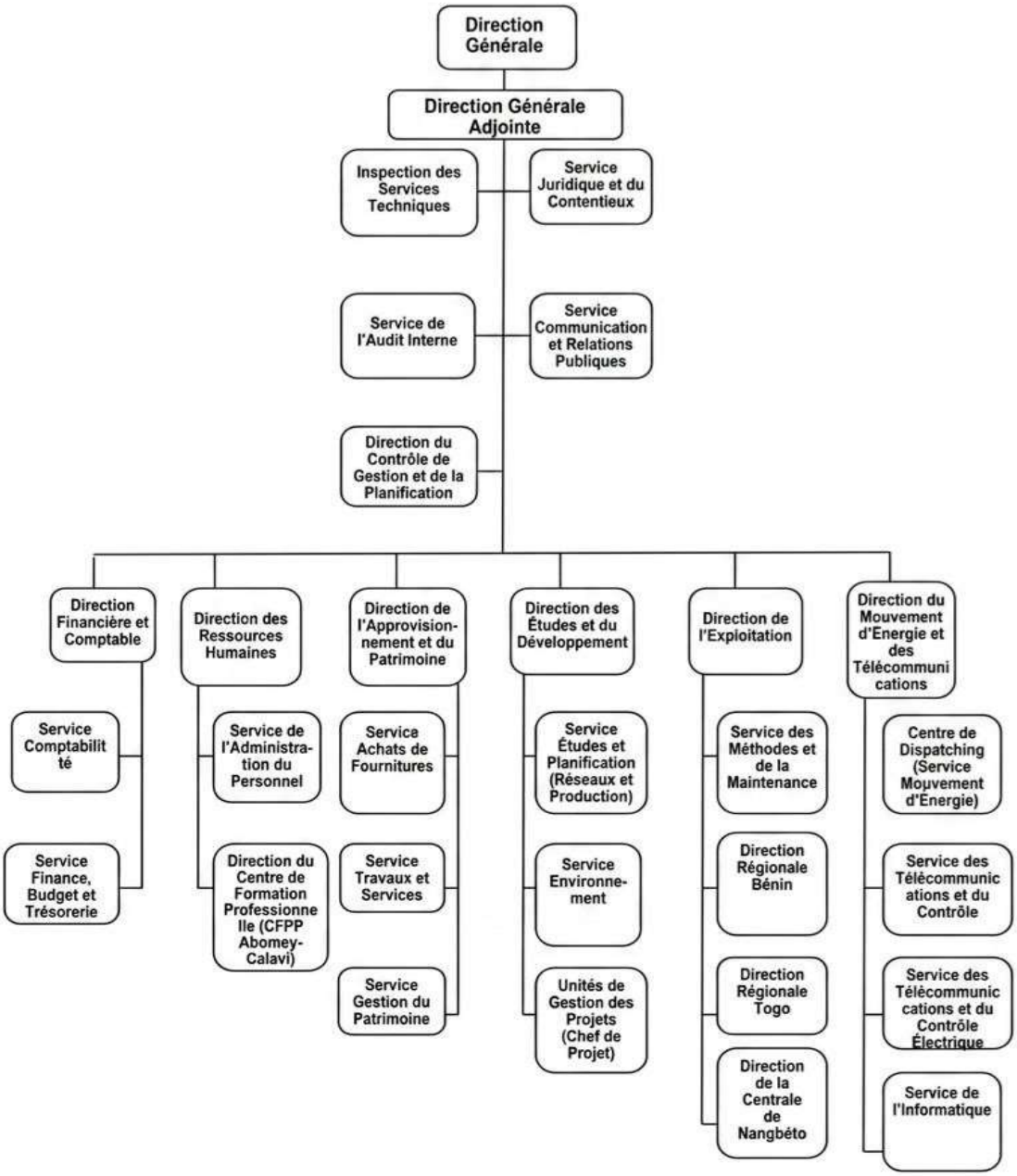


Figure 2 : Organigramme Hiérarchique de la CEB

1.2 Déroulement du stage

Cette section présente de la direction régionale Bénin et son organigramme avant de décrire les travaux effectués pendant notre stage.

1.2.1 Présentation du poste CEB d'Avakpa

La CEB, dans sa mission de transporter l'énergie électrique, dispose d'un vaste réseau interconnecté. Le **poste d'Avakpa** s'inscrit dans cette dynamique en assurant la transformation et la distribution de l'énergie vers les centres de consommation de sa zone. Contrairement à d'autres postes, Avakpa se distingue par sa structure hybride permettant de passer de la très haute tension à la moyenne tension pour une distribution directe.

Le poste CEB d'Avakpa est situé à **ALLADA**, jouant un rôle clé dans l'alimentation des réseaux de distribution **20 kV** de la région. Il dispose de deux niveaux de tension principaux : le **161 kV** pour le transport et le **20 kV** pour la distribution.

Il est alimenté en **161 kV** par un système de double jeu de barres (**JDB-1** et **JDB-2**) permettant une grande souplesse d'exploitation. Au niveau de tension 161 kV, le poste d'Avakpa est équipé comme suit :

Travées « départ de lignes aériennes » : Le schéma identifie notamment le départ **AVA-7GAK (GAKPE)** et une travée de mise à niveau **AVA-7-DSPL**. Une travée supplémentaire est notée en **Réserve Future** pour une extension du réseau.

Un couplage (AVA-7-COUPL) : Équipé d'un disjoncteur et de sectionneurs, il permet de lier les deux jeux de barres 161 kV.

Transformateurs de puissance : Le poste dispose de deux transformateurs principaux:

T1 (AVA-7-TR1) : 161/20 kV (Puissance : 31,5 MVA)

T2 (AVA-7-TR2) : 161/20 kV (Puissance : 31,5 MVA)

Ces unités sont équipées de changeurs de prises en charge pour réguler la tension de sortie.

Le poste d'Avakpa dispose d'un échelon de tension **20 kV** (représenté par le jeu de barres **AVA-3-JDB-SS**). Ce niveau de tension assure la distribution finale via plusieurs travées :

Arrivées Transfo : Deux arrivées (**AVA-3-ARR1** et **AVA-3-ARR2**) provenant des transformateurs de puissance.

Départs de lignes 20 kV : Le poste alimente les départs **AVA-3-DEP1** et **AVA-3-DEP2**.

Services auxiliaires : Deux transformateurs de services auxiliaires (**TSA1** et **TSA2**) assurent l'alimentation des équipements internes du poste (commande, protection, éclairage).

L'ensemble de l'installation est supervisé par un système numérique permettant la surveillance en temps réel des paramètres électriques (tension, courant, fréquence et puissances) afin de garantir la stabilité du réseau face à l'accroissement de la demande en énergie.

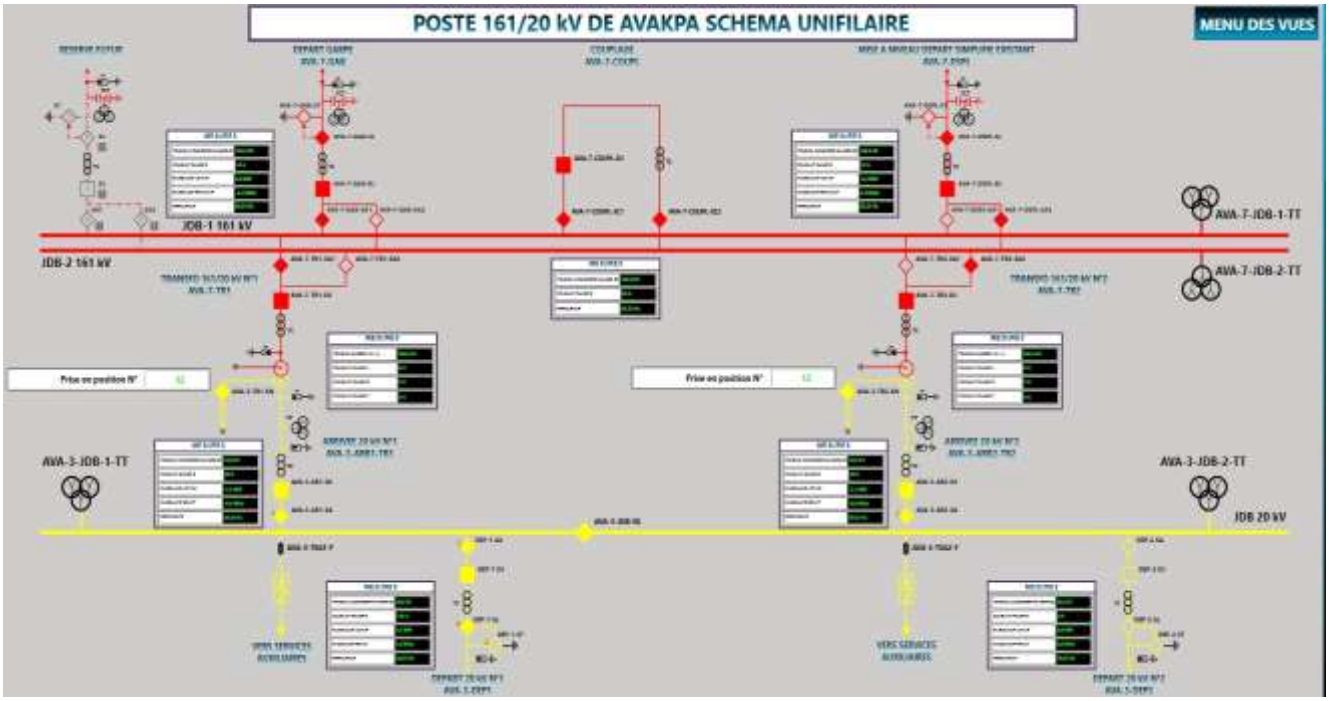


Figure 3 : Schéma unifilaire du Poste AVAKPA

1.2.2 Travaux effectués

Pendant notre stage au service exploitation du poste d'Avakpa, nous avons effectué une visite guidée assurée par les opérateurs du quart afin de prendre connaissance des équipements installés dans le champ électrique et de comprendre l'architecture des travées. Sur ce poste, nous avons observé les travées de lignes, notamment le **Départ GAKPE (AVA7-GAK)** et le **Départ AVA-7-DSPL**, où sont installés des dispositifs de couplage haute fréquence tels que les circuits-bouchons, placés sur les phases, servant de filtres pour la télécommunication par Courant Porteur en Ligne (CPL). Ces arrivées comportent également des **Transformateurs Capacitifs de Tension (TCT)** qui abaissent la tension de 161 kV à une tension image de 100 V ou 110 V pour la mesure et la protection en toute sécurité. En suivant le cheminement électrique, nous avons étudié les organes de manœuvre composés de sectionneurs de ligne et de terre, protégés par un verrouillage interdisant toute manœuvre intempestive, ainsi que des disjoncteurs (**DJ**) capables d'interrompre les courants de défaut. À la différence d'une architecture en boucle, le poste d'Avakpa utilise un système à **double jeu de barres** (**JDB-1 et JDB-2**) permettant, via des sectionneurs d'aiguillage (**SA1 et SA2**), de connecter chaque travée à l'une ou l'autre des barres. Cette flexibilité est complétée par la travée de **couplage (AVA-7-COUPL)** qui assure le transfert de charge sans interruption. Enfin, l'énergie est dirigée vers les transformateurs de puissance **AVA-7-TR1** et **AVA-7-TR2** pour alimenter le tableau 20 kV, tandis que des **Transformateurs de Courant (TC)** surveillent les flux pour le système de Contrôle-Commande Numérique.

Figure 4 : Champ électrique

Figure 5 : Vue de profil du transformateur T1 161/20 kV 31,5 MVA.

Les TSA qui sont des Transformateurs de Sources Auxiliaires sont aussi eux-mêmes protégés de la même façon à la différence qu'on les exploite pour l'alimentation interne du Poste.

Figure 6 : Transformateurs de Services Auxiliaires TSA

Dans la salle de commande, pour un bon contrôle et une bonne surveillance, nous procédons à chaque quart d'heure, à des relevés des valeurs des puissances actives et réactives des transformateurs et de tous les départs.

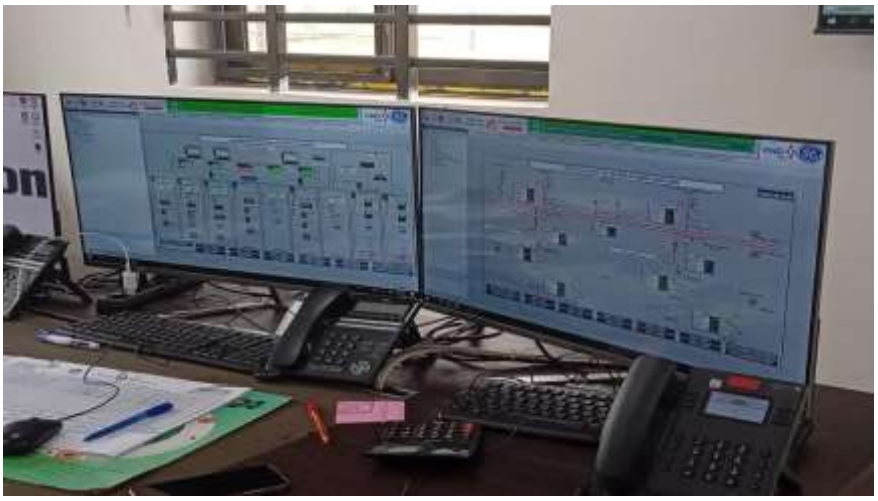


Figure 7 : Contrôle-Commande Numérique (CCN)

- **Familiarisation avec les mesures de sécurité avant interventions**

Un bon technicien doit respecter les mesures de sécurité avant de procéder aux interventions. Le respect strict des mesures de sécurité à la CEB est primordial ; le non-respect de ces mesures peut créer des dégâts irréparables. Alors il est nécessaire de se familiariser avec les mesures de sécurité avant toute intervention. Parmi ces mesures de sécurité, nous pouvons citer :

- **Les Équipements de Protection Individuelle (EPI)**

Le port du casque ;

Le port d'une blouse ;

Le port des chaussures de sécurité ;

Le port de lunettes ;

Le port des gants isolants.

- Les Équipements de Protection Collective (EPC)

Utiliser le DMT (Dispositif de Mise à la Terre) pour éviter les décharges ;

Vérifier l'absence de tension (VAT) pour être sûr que la zone de travail a bien été isolée;

Mise en place des chaînes de balisage, pancartes de sécurité pour délimiter la zone de travail et signaler l'état des organes ;

Toutes les heures, nous prenons les valeurs (intensité, tension, puissance active, puissance réactive et les prises) dans les armoires électriques des transformateurs et des départs.

Chaque jour à 00 h 00, nous prenons les valeurs des consommations des départs et des transformateurs.

CONCLUSION

Ce stage réalisé au sein de la CEB Avakpa du 5 janvier au 9 mars 2026 nous a permis d'enrichir nos connaissances dans le domaine de l'énergie plus précisément sur le transport, la distribution et la transformation de l'électricité. C'est aussi une opportunité de découvrir le déroulement du travail au sein d'une entreprise. Malgré quelques difficultés techniques, cette immersion nous a été très formatrice et a consolidé notre intérêt pour les métiers liés à l'énergie.

Nous remercions tout le personnel pour son accueil, son encadrement et la confiance accordée.

CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE

1. Introduction

À Allada au Bénin, le poste de transformation HTB/HTA d'Avakpa, opérant avec un niveau de tension **161 kV** et une distribution en **20 kV**, fait face à des besoins énergé tiques internes constants pour assurer le fonctionnement de ses équipements de commande, de signalisation et de surveillance SCADA. Actuellement, l'alimentation des services auxiliaires est assurée par deux transformateurs (**TSA1 et TSA2**) visibles sur le schéma, complétés par un système de secours par batteries de **127 V et 48 V**, une organisation reposant sur l'alimentation par le réseau mais dont la consommation annuelle s'élève à environ **30659,25 kWh**. Afin d'optimiser cette gestion et de réduire la dépendance vis-à-vis du réseau électrique de la SBEE, le projet envisage d'exploiter une surface libre de 1944 **m²** disponible sur le site d'Allada-Avakpa pour l'installation d'un champ photovoltaïque en autoconsommation directe. En utilisant des équipements sélectionnés tel que les modules **Jinko Solar JKM585N-72HL4** et des onduleurs adaptés, cette initiative vise à produire une énergie solaire locale pour couvrir une partie des besoins propres du poste sans recours au stockage. L'objectif de cette étude est donc de vérifier la faisabilité technique et économique d'une telle installation sur le site d'Avakpa, en répondant à la problématique centrale : comment valoriser l'espace foncier disponible du poste pour optimiser sa facture énergétique grâce à une production solaire décentralisée ?

2 Généralités sur les Énergies Renouvelables

2.1 Définition

Une énergie est considérée comme renouvelable lorsqu'elle provient d'une source que la nature remplace constamment, contrairement aux énergies qui dépendent de ressources qui s'épuisent. Leur rôle est crucial. Elles permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Elles diversifient les sources d'énergie et renforcent la sécurité énergétique. Leur utilisation s'impose aujourd'hui comme une priorité mondiale.

2.1.1 Les types d'énergies

Plusieurs formes d'énergies renouvelables existent. Nous pouvons citer :

L'énergie solaire : elle capte la lumière du soleil pour produire de l'électricité ou de la chaleur. Elle est silencieuse, propre, et bien adaptée aux pays très ensoleillés ;

L'énergie éolienne : elle transforme le vent en électricité. Elle est intermittente, mais très efficace sur les zones côtières ou dégagées ;

L'énergie hydraulique : elle utilise l'eau en mouvement. C'est la source renouvelable la plus installée dans le monde ;

La géothermie : elle exploite la chaleur souterraine de la Terre. Elle fonctionne en continu, mais nécessite des sites spécifiques ;

La biomasse : elle valorise la matière organique pour produire de l'énergie. Elle repose sur le recyclage et peut être locale.

Ces énergies participent ensemble à une transition énergétique juste et responsable. Elles remplacent peu à peu les sources polluantes et centralisées. Elles sont au cœur d'un modèle plus durable. Pour la présente étude, nous nous intéressons à l'énergie solaire.

2.1.2 L'énergie solaire photovoltaïque

Les différents domaines d'application du photovoltaïque

Les applications de l'énergie obtenue à l'aide de générateurs photovoltaïques sont très variées. D'une manière générale, elles peuvent être présenter sous forme de puces cohérentes :

Les systèmes raccordés au réseau

Les installations photovoltaïques connectées au réseau sont l'une des applications les plus récentes et les plus innovantes des systèmes photovoltaïques. Cette application consiste en l'installation de panneaux photovoltaïques et d'un onduleur capable de

transformer l'énergie fournie par les panneaux solaires photovoltaïques et de l'injecter dans le réseau électrique.
L'investisseur dans ce type d'installation constitue l'élément central du système.

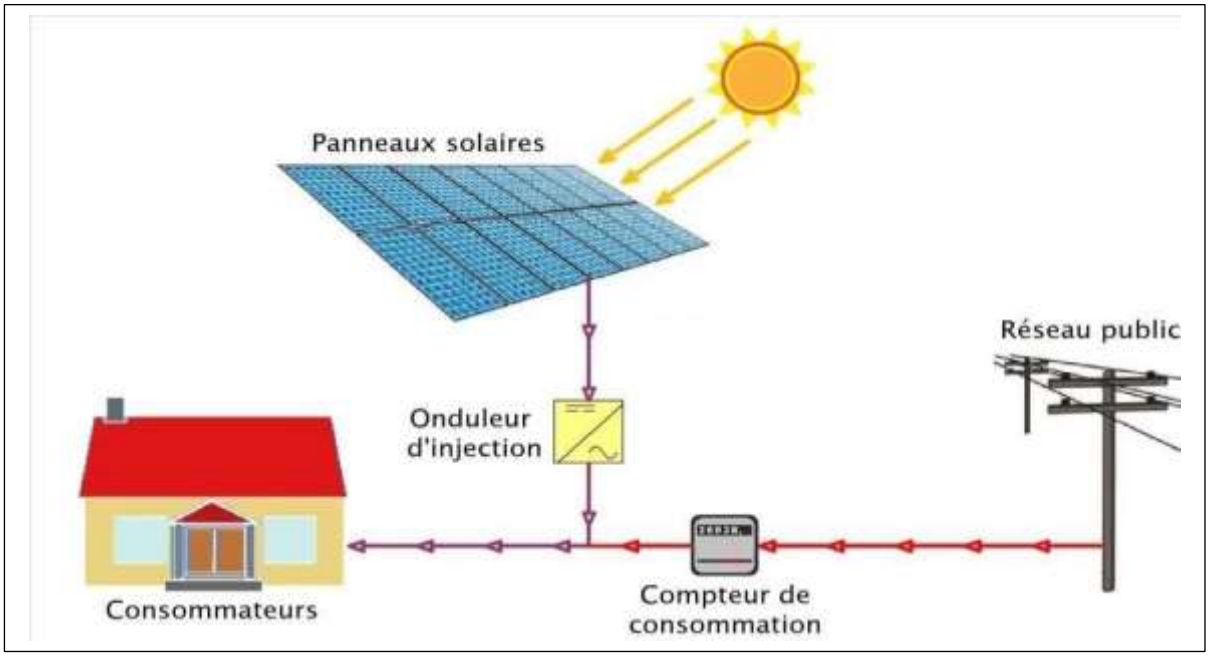


Figure 8: Système raccordé au réseau

Les systèmes isolés

Un système photovoltaïque isolé, également appelé système autonome ou « off-grid », est une installation solaire qui fonctionne indépendamment du réseau électrique public. Ce type de système est particulièrement utilisé dans les zones rurales ou isolées, où l'accès au réseau est absent. Il comprend plusieurs composants essentiels : les panneaux solaires pour la production d'énergie, un régulateur de charge pour gérer l'alimentation des batteries, un parc de batteries pour le stockage de l'électricité, un onduleur pour convertir le courant continu en courant alternatif, et les charges électriques à alimenter. Dans certains cas, un groupe électrogène de secours peut être ajouté en tant que solution de secours.

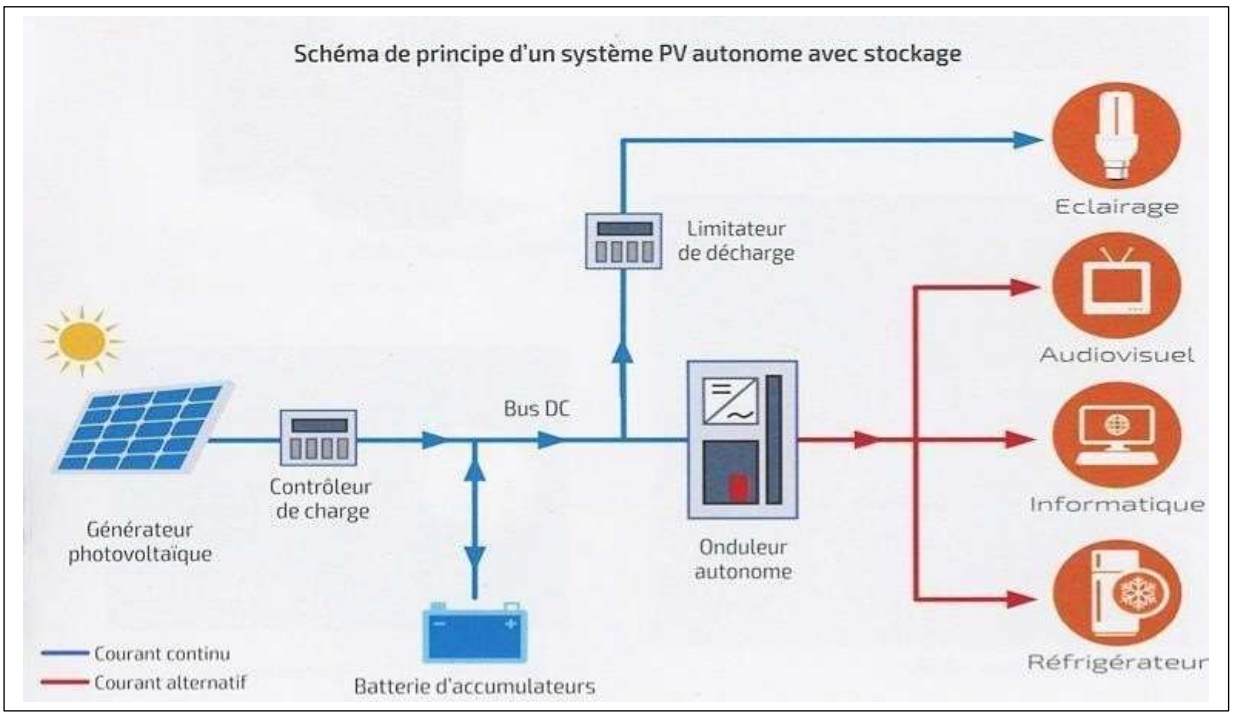


Figure 9: Système isolé

2.1.3 Principe de fonctionnement

La fonction principale d'un générateur photovoltaïque est la capacité à produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire. Pour bien comprendre le fonctionnement d'un système photovoltaïque, il est utile d'analyser ces principaux composants. Les éléments d'un système photovoltaïque dépendent de l'application considérée.

Il existe plusieurs composants d'un système photovoltaïque :

Les panneaux photovoltaïques ; Régulateurs de charge ; Convertisseurs ;

Batteries (pour le stockage) ;

2.1.4 Les types de panneaux photovoltaïques

Monocristallins : issus d'un seul cristal de silicium, ils ont un rendement élevé. Leur performance est stable même avec un faible ensoleillement. Mais leur coût est plus élevé ;

Polycristallins : formés de plusieurs cristaux, ils sont moins chers à produire. Leur rendement est un peu plus bas, surtout par forte chaleur ;

À couche mince : plus légers, plus flexibles, ils utilisent des matériaux alternatifs.

Ils s'adaptent à des surfaces variées, mais avec un rendement plus faible.

Chaque technologie présente des avantages et des limites. Le choix dépend du budget, de l'espace disponible, et du climat local.

2.1.5 Les composants principaux d'un système photovoltaïque

2.1.5.1 Les modules photovoltaïques

Les modules photovoltaïques sont composés de cellules en silicium cristallin. La production électrique d'un module est caractérisée par sa puissance crête, une caractéristique fournie par le fabricant.

• Les cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques capables de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, grâce à l'effet photovoltaïque. Ce phénomène est basé sur le comportement des matériaux semi-conducteurs lorsqu'ils reçoivent un rayonnement solaire.

- Montage des panneaux photovoltaïques :
- **<u>Le montage en série</u> :**

Ce branchement permet d'additionner les tensions en Volts, l'intensité en Ampères ne change pas. Dans cette configuration la borne (+) du panneau solaire est branchée sur la borne (-) du panneau suivant etc. L'inconvénient du branchement en série est qu'il existe une perte de puissance si un seul des panneaux est ombragé (Arbre, bâtiment, cheminée...)

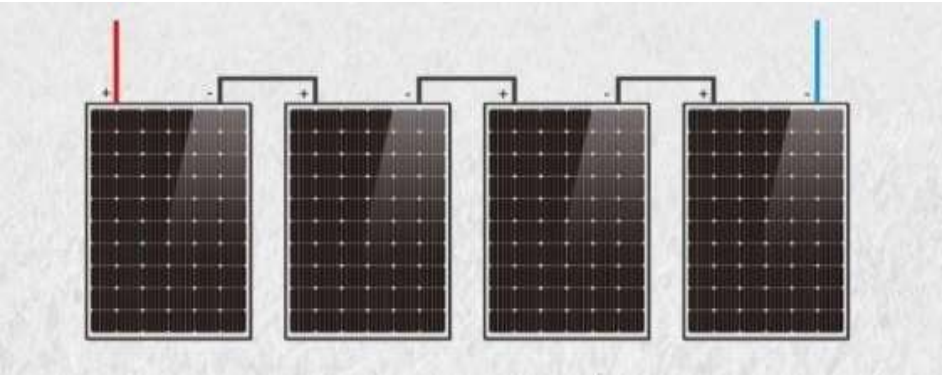


Figure 10 : Montage série

❖ **<u>Le montage en parallèle</u> :**

Ce branchement permet d'additionner les intensités en Ampères, la tension en Volts ne change pas. Dans cette configuration toutes les bornes (+) de tous les panneaux solaires sont reliées entre elles, et toutes les bornes (-) entre elles. C'est le montage le plus adapté lorsqu'un ombrage est susceptible de se produire

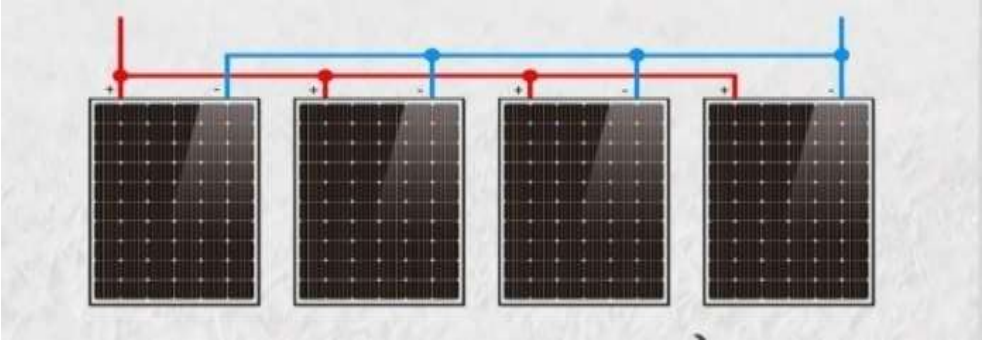


Figure 11 : Montage parallèle

❖ **Le montage mixte, en série et en parallèle :**

C'est le branchement qui s'impose lorsque l'on a besoin d'une certaine puissance à une tension voulue, les règles du montage en série et celles du montage en parallèle s'appliquent dans le cas du montage mixte.

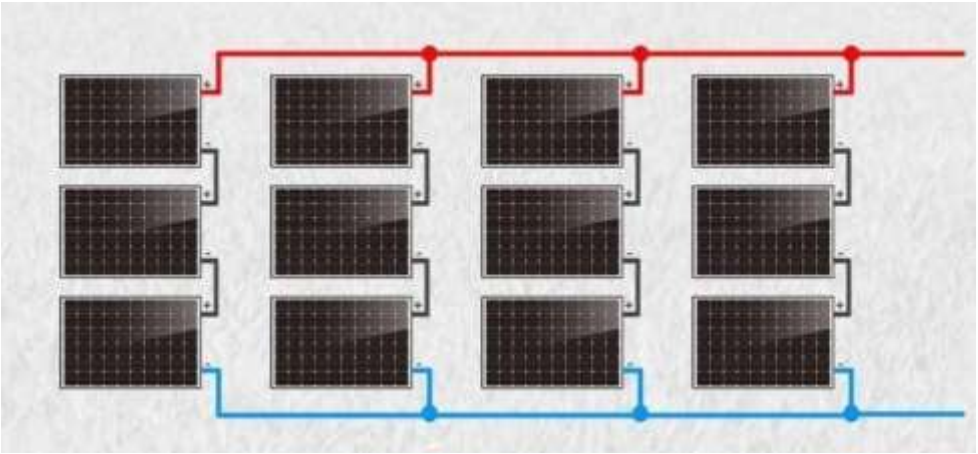


Figure 12 : **Montage mixte (sérieparallèle).**

2.1.5.2 Les onduleurs photovoltaïques

Un onduleur photovoltaïque est un appareil électronique permettant de convertir le courant continu en courant alternatif (générateur photovoltaïque) à une tension et courant alternatif compatible avec les normes de réseau électrique. Il calcule en permanence le point de fonctionnement (tension-courant) qui produit la puissance maximale à injecter au réseau : c'est la Maximum Power Point Tracking (MPPT).

Figure 13 : Onduleur photovoltaïque

2.1.5.3 Batterie

Une batterie est un ensemble d'accumulateurs raccordés en série et réunis dans un même boîtier afin de fournir une tension bien précise. L'objectif principal d'une batterie est de stocker l'énergie produite par les modules photovoltaïques, sa capacité s'exprime en ampère-heure (Ah). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires. Au moment où le prix des panneaux photovoltaïques diminue régulièrement et continue de diminuer, le choix et le bon dimensionnement du parc de batteries solaires devient encore plus important que par le passé, car leur prix a plutôt tendance à augmenter.

Figure 14 : Batterie

2.1.5.4 Les câbles électriques

Les câbles relient électriquement tous les composants du système SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE. Le câblage constitue un élément critique de toute installation SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE. Il est très important de bien dimensionner les conducteurs afin d'éviter la circulation d'un courant élevé dans les câbles même pour de petites puissances dans le cas d'utilisation de faibles tensions. Le choix des câbles dont l'enveloppe est adaptée aux conditions d'utilisation est nécessaire.

Figure 15 : Câbles

2.1.5.5 Régulateur

Le rôle du régulateur solaire est d'assurer la régulation de la charge des batteries. Il optimise la puissance des panneaux et il empêche les décharges profondes et les surcharges nuisibles à la bonne durée de vie des batteries.

Figure 16 : Régulateur

2.2 Présentation de la salle de commande du poste d'Avakpa

La salle de commande d'Avakpa est alimentée par un système robuste s'appuyant sur le réseau de la CEB. Cette alimentation dédiée garantit la continuité des fonctions de protection et de supervision, éléments essentiels à la sécurité du réseau. Contrairement à des structures plus complexes, le système repose sur un niveau de tension principal de **161 kV** et une distribution en **20 kV**, comme l'illustre l'interface SCADA du site. L'alimentation des auxiliaires en courant alternatif (Alternative Current) est assurée par deux transformateurs de services auxiliaires, **TSA1** et **TSA2**, d'une puissance de **250 kVA** chacun. Ces derniers abaissent la tension pour alimenter le **JDB 400 VAC** (Réseau Normal), tandis qu'un groupe électrogène (**GE**) de **150 kVA** constitue le Réseau Secours, garantissant la continuité de service en cas de perte des sources principales. Cette organisation, bien que fiable, engendre une consommation annuelle estimée à environ **30659,25 kWh**, ce qui motive l'étude d'un champ photovoltaïque en autoconsommation pour réduire la dépendance au réseau national.

Pour garantir le fonctionnement des systèmes de contrôle-commande et de signalisation même en cas de coupure totale du secteur, le poste d'Avakpa dispose de deux chaînes de secours en courant continu (Direct Current) hautement redondantes. La première, dédiée aux équipements de puissance et de protection, s'appuie sur le **JDB 127 VCC**, alimenté par deux redresseurs de **60 A** et deux bancs de batteries de **390 Ah**

chacun. La seconde chaîne, opérant sur le **JDB 48 VCC**, est destinée aux systèmes de télécommunication et aux équipements de supervision électronique ; elle est soutenue par deux redresseurs de **40 A** et deux batteries de **240 Ah**. L'utilisation de coupleurs (disjoncteurs **DJ3**) sur ces deux tableaux permet de maintenir l'alimentation de l'ensemble du poste même si l'un des redresseurs ou l'une des batteries est mis hors service pour maintenance. L'objectif de cette étude est donc de mettre à profit l'espace disponible à Allada-Avakpa pour intégrer une production solaire locale capable de soulager ces systèmes auxiliaires et d'optimiser la facture énergétique globale du site.

Figure 17 : Salle de relayage

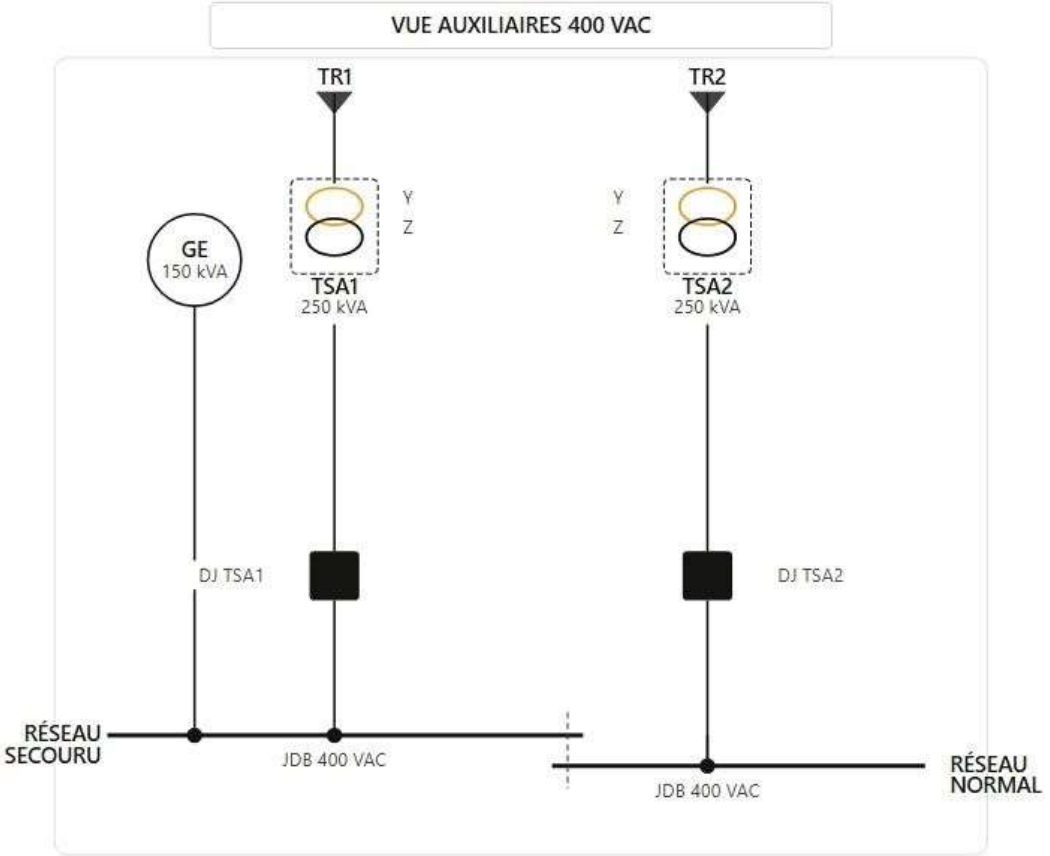


Figure 18 : Schéma de l'installation existante des salles de relayage sur le jeu de barres.

Pour accroître l'autonomie énergétique et la durabilité du site d'Allada-Avakpa, nouvelle source d'énergie solaire photovoltaïque sera injectée au niveau du **JDB 400 VAC**. Cette production solaire deviendra la source prioritaire pour alimenter les services auxiliaires tant que l'ensoleillement le permettra. En priorité, l'énergie photovoltaïque soutiendra le **Réseau Normal** (via les transformateurs **TSA1 et TSA2**) et le **Réseau Secouru**, réduisant ainsi directement la sollicitation du réseau national et du groupe électrogène de **150 kVA**. Cette injection contribuera également à stabiliser l'alimentation des redresseurs pour le maintien des batteries de **127 VCC** et **48 VCC**, améliorant ainsi la résilience globale des systèmes de protection et de supervision SCADA du poste tout en optimisant ses coûts d'exploitation.

Schéma d'installation des salles de relayage sur le jeu de barre avec injection du système photovoltaïque

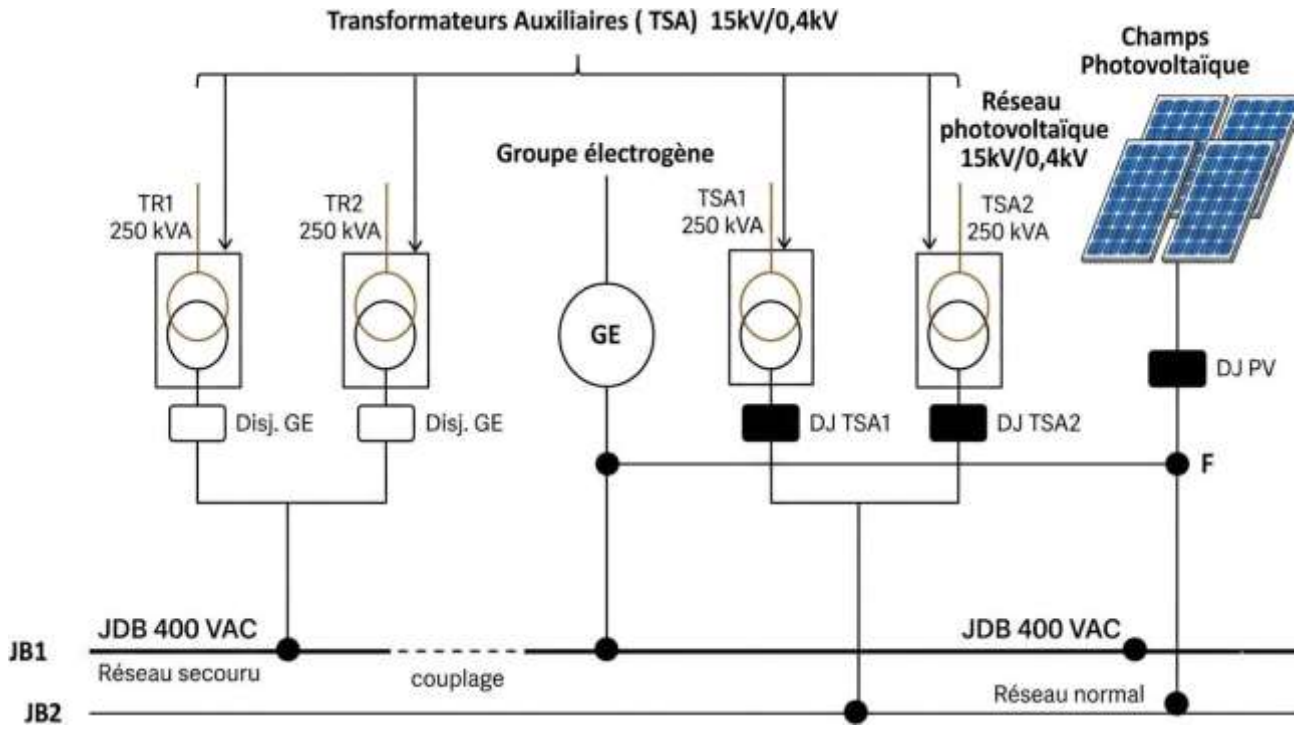


Figure 19 : Système d'installation avec le dispositif photovoltaïque sur le jeu de barre.

2.3 Dimensionnement de la nouvelle source (solaire photovoltaïque)

2.3.1 Analyse des besoins énergétiques du poste

Selon les données techniques du poste d'Allada-Avakpa, les besoins énergétiques pour le maintien opérationnel des services auxiliaires (400 VAC, 127 VCC et 48 VCC) sont significatifs. Bien que les valeurs exactes de consommation pour ce site soient estimées à **110249, 8 kWh** pour l'Auxiliaire 1 et **19674, 2 kWh** pour l'Auxiliaire 2, l'objectif est de couvrir une part majeure de cette demande annuelle, qui s'élève globalement à **129924 kWh**. Pour notre étude, nous prévoyons d'alimenter les auxiliaires du poste en priorité via le système photovoltaïque durant la journée, de 8h à 18h, soit une période d'utilisation de 10 heures. Ce mode de fonctionnement permettra de soulager les transformateurs **TSA1 et TSA2** ainsi que le groupe électrogène de **150 kVA** avec un basculement automatique sur le réseau de la CEB en soirée.

2.3.2 Évaluation de la consommation énergétique journalière

$$\text{(1.0)}\quad \text{Energie journalière} = \frac{\text{Energie annuelle}}{365\ \text{jrs}}$$

Auxiliaire 1 : 110 249, 8 kWh

$$Ej1 = \frac{110\ 249{,}8}{365}$$

Ej1 = 302,05 kWh/jour

- Auxiliaire 2 : 19 674, 2 kWh

$$Ej2 = \frac{19\ 674{,}2}{365}$$

Ej2 = 53, 90 kWh/jour

- Total : 129 924 kWh

$$Ej = \frac{129\ 924}{365}$$

Ej = 355, 95 kWh/jour

Évaluation de la consommation énergétique en 10 heures

$$\text{(1.1)}\quad \mathbf{E_{j10}} = \frac{Ej \times 10}{24}$$

Avec :

E_{j10} : Énergie consommée journalière en 10 heures

: Énergie journalière

- Auxiliaire 1 : Ej1 = 302, 05 kWh/jour

$$\mathbf{E_{j1}} = \frac{302{,}05 \text{ x } 10}{\mathbf{24}}$$

$$\mathbf{Ej1 = 125, 85\ kWh}$$

- Auxiliaire 2 : Ej2 = 53, 90 kWh/jour

$$\mathbf{Ej2} = \frac{53{,}90 \text{ x } 10}{24}$$

$$\mathbf{Ej2} = \frac{53\ 9{,}0}{24}$$

- Total : Ej = 355, 95 kWh/jour

$$\mathrm{Ej} = \frac{355{,}95 \text{ x } 10}{24}$$

$$\mathrm{Ej} = \frac{355\ 9{,}5}{24}$$

Ej10 = 148, 31 kWh

Donc en moyenne, les auxiliaires consomment environ **148, 31 kWh** en 10 heures de temps par jour.

2.3.3 Potentiel solaire du site et disponibilité de l'espace

Figure 20 : Situation géographique du poste d'Avakpa

2.3.4 Données du site AVAKPA

Emplacement : Poste de transformation HTB/HTA de la CEB à Allada-Avakpa ;

Surface exploitable : Une surface de 1944 m² (54m x 36m) ;

Disponibilité solaire : Irradiation solaire moyen journalier du site Allada-Avakpa est de 4,8 kWh /m²/ jrs

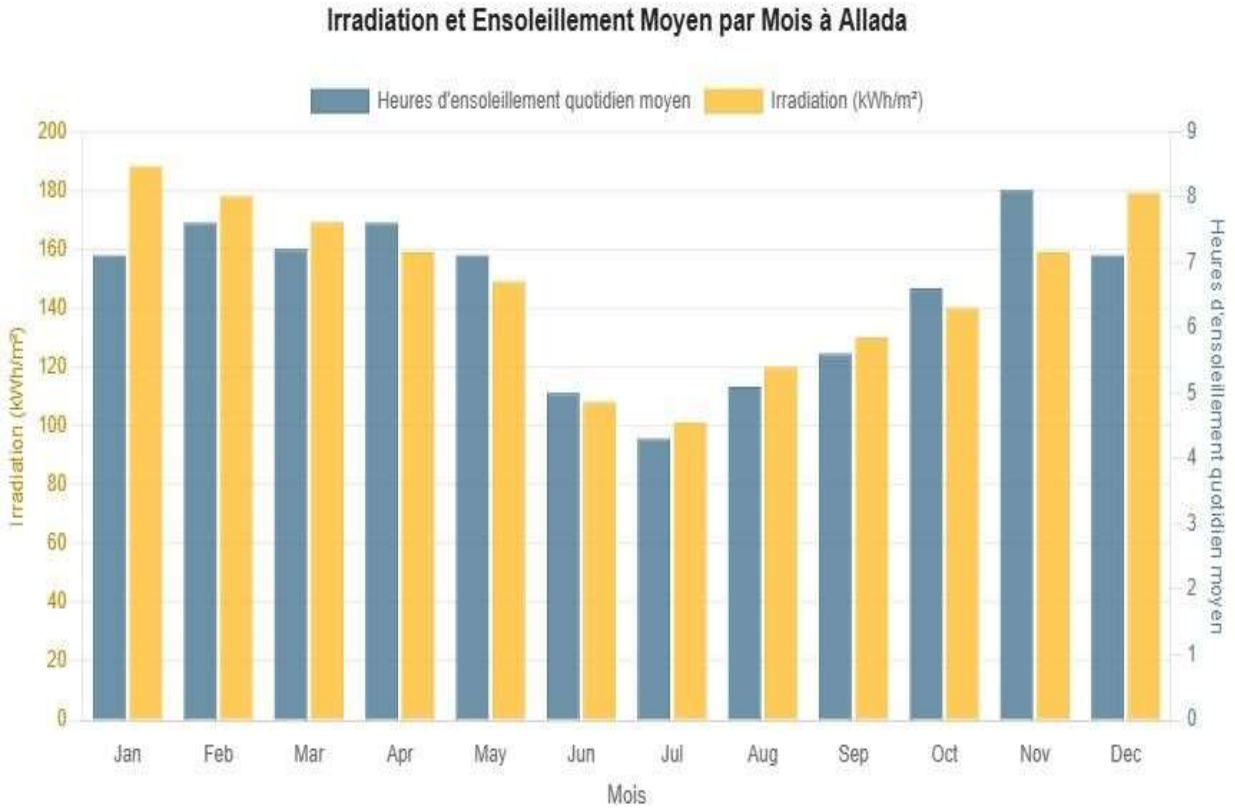


Figure 21 : Diagramme de l'irradiation solaire et de l'ensoleillement quotidien moyen à Allada

Le diagramme illustre l'évolution mensuelle de l'irradiation solaire (en kWh/m²) et de l'ensoleillement quotidien moyen (en heures) à Allada. On constate que l'irradiation est particulièrement élevée de novembre à avril, avec un pic marqué en janvier, où elle dépasse les 180 kWh/m². Cette forte irradiation s'accompagne d'une durée d'ensoleillement quotidienne moyenne significative, atteignant plus de 7 heures par jour. En revanche, pendant les mois de juin et juillet, l'irradiation diminue considérablement, tombant en dessous de 120 kWh/m², tandis que l'ensoleillement moyen chute sous les 5 heures par jour, indiquant une période de production solaire réduite, probablement due à la saison des pluies. L'analyse révèle ainsi une bonne disponibilité solaire pour une grande partie de l'année, soulignant la pertinence de l'installation d'un champ photovoltaïque à Allada, notamment pour une production optimale entre novembre et avril.

2.3.5 Espace disponible pour l'installation du système photovoltaïque

Figure 22 : Espace disponible pour l'installation

L'analyse du site a permis d'identifier un espace libre de 1944 m² au sein du poste, qui peut être entièrement dédié à l'installation de panneau solaire. Cet espace est crucial car il détermine la puissance maximale installable.

2.4 Dimensionnement des appareils

L'analyse du site a permis d'identifier un espace libre de 1944 m² au sein du poste, qui peut être entièrement dédié à l'installation de panneaux solaires. Cet espace est crucial car il détermine la puissance maximale installable.

Pour notre étude, la CEB nous a demandé d'utiliser le panneau JKM585N-72HL4V qui fait partie de la série Tiger Neo, une gamme de panneaux solaires monocristallins ultraperformants, conçue pour améliorer la fiabilité, réduire la dégradation et augmenter la captation de lumière.

✞ **Nombre de panneaux sans espacement**

Dimensions de l'espace disponible :

- Le = 54 m (Longueur)
- le = 36 m (Largeur)

Surface de l'espace :

Se = Le x le

(1.2)

Se = 54 x 36 = 1944 *m²*

Dimensions d'un panneau :

- Lp = 2, 278 m (Longueur)
- lp = 1, 134 m (Largeur)

Surface occupée par un panneau :

Sps = Lp x lp

Sps = 2, 278 x 1, 134 = 2, 58 m²

Nombre de panneaux sans espacement :

$$\boxed{Nps = \frac{Se}{Sps}}$$

Avec :

Nps : Le nombre de panneaux sans espacement

Se : La surface totale disponible = 1944 m²

Sps : La surface d'un panneau = 2, 58 m²

$$\text{Nps} = \frac{1944}{2{,}58}$$

Nps = 753, 48 ≈ 753 panneaux

Donc sans espacement, notre surface peut contenir environ 753 panneaux. Mais en réalité, on ne peut pas les coller bord à bord ; il faut prévoir des espaces pour la maintenance et l'aération.

✞ **<u>Nombre de panneaux avec espacement</u>**

Dimensions utiles de l'espace (bordure de 2 m de chaque côté) :

Bordure : 2 m

- Lu = Le = 54 m (Longueur utile)
- lu = le - 2 - 2 = 36 - 2 - 2 = 32 m (Largeur utile)

(1.5)

Surface utile :

Su = Lu x lu

Su = 54 x 32 = 1728 *m²*

Dimensions effectives d'un panneau avec espacement entre rangées (Eg = 2 m) :

LPV = Lp = 2, 278 m lPV = lp = 1, 134 m

Eg = 2 m (espacement entre rangées)

Surface occupée par un panneau avec espacement :

Spu = (Eg x L système photovoltaïque) x l système photovoltaïque

(1.7)

Spu = (2 x 2,278) x 1, 134 = 5, 16 m²

- **Nombre de panneaux avec espacement :**

$$Np = \frac{Su}{Spu}$$

(1.8)

Avec :

Np : Le nombre de panneaux avec espacement

Su : La surface utile = 1728 m²

Spu : La surface d'un panneau avec espacement = 5, 16 m²

$$Np = \frac{1728}{5{,}16}$$

Np = 334, 88 ≈ 335 panneaux

Donc avec espacement, notre surface peut contenir environ 335 panneaux pour une installation durable. Cette valeur représente la capacité maximale du site.

- **<u>Puissance crête maximale installable</u>**

Pc max = Np x Pu

(1.9)

Avec :

Pc max : La puissance crête maximale installable sur le site

Np : Le nombre de panneaux avec espacement = 335

Pu : La puissance unitaire d'un panneau = 585 WC

Pc max = *335* x 585 = 195 975 *WC*

Pc max = 196 KWc

Cette puissance maximale de 196 KWc représente la capacité totale du site. Cependant, le dimensionnement réel est déterminé par l'énergie effectivement à couvrir.

- **Détermination du nombre de panneaux nécessaires**

Le système photovoltaïque doit couvrir les besoins des auxiliaires du poste sur la plage 8h – 18h. D'après nos calculs de consommation, l'énergie à couvrir sur 10 heures est :

Ej10 = 148, 31 kWh

On détermine la puissance crête nécessaire à partir de cette énergie :

$$Pc = \frac{Ej10}{K \ x \ Ir}$$

(2.0)

Avec :

Pc : Puissance crête nécessaire (KWc)

Ej10 : Énergie journalière à couvrir sur 10 heures = 148, 31 kWh

K : Coefficient correcteur (rendement du système SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE) = 0,80

Ir : Irradiation journalière moyenne = 4, 85 kWh/m².j

$$Pc = \frac{148,31}{0,80 \ x \ 4,85}$$

$$Pc = \frac{148,31}{3,88}$$

Pc = 38, 22 KWc

Le nombre de panneaux nécessaires pour atteindre cette puissance crête :

$$Np = \frac{Pc \times 1000}{Pu}$$

(2.1) Avec :

Np : Le nombre de panneaux nécessaires

Pc : La puissance crête nécessaire = 38, 22 KWc

Pu : La puissance unitaire d'un panneau = 585 WC

$$Np = \frac{3822}{585}$$

Np = 65, 33 panneaux ≈ 66 panneaux

Np = 66 panneaux

Le nombre de panneaux nécessaires pour couvrir le besoin de 148,31 kWh est de 66 panneaux, largement en dessous de la capacité maximale du site (335 panneaux). Le site offre donc une réserve d'extension confortable.

- **Puissance crête réelle installée**

Avec 66 panneaux de 585 WC chacun, la puissance crête réellement installée est :

Pc = Np x Pu

(2.2)

Pc = 66 x 585 = 38 610 WC

Pc = 38, 61 KWc

- **Calcul de la production journalière**

Pour notre étude, nous allons alimenter les auxiliaires avec le système photovoltaïque si ce dernier dispose d'une tension suffisante ; dans le cas contraire, les auxiliaires seront directement alimentés par le réseau de la CEB.

L'énergie produite par le champ SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE :

Econs = Pc x K x Ir

(2.3)

Avec :

Pc : Puissance crête du champ photovoltaïque = 38, 61 KWc

Econs : L'énergie produite journalière

K : Coefficient correcteur = 0, 80

Ir : Irradiation journalière moyenne = 4, 85 kWh/m².j

Econs = 38, 61 x 0, 80 x 4, 85

Econs = 149, 81 kWh > 148, 31 kWh (besoin couvert)

L'énergie produite (149, 81 kWh) est supérieure à l'énergie à couvrir (148, 31 kWh). Le dimensionnement est validé.

✞ **<u>Couplage des panneaux sur un onduleur SIRIO K25</u>**

Pour notre installation, nous utilisons l'onduleur SIRIO K25. Le SIRIO K25 est un onduleur triphasé haute performance utilisé pour convertir l'énergie CC produite par les panneaux solaires en courant alternatif. Il est adapté à un usage industriel et offre une grande fiabilité.

Puissance nominale en sortie : 25 kW

Tension d'entrée CC max : 800 V

Courant CC entrée max : 80 A

Courant sortie max : 46 A

Plage MPPT : 330 - 700 V

Puissance maximale injectée au réseau :

La puissance maximale générée par le champ SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE est de 38, 61 kWc. Le rendement de conversion de l'onduleur étant de 98 %, la puissance maximale obtenue après conversion est :

Pmax (AC) = 38, 61 x 0, 98

Pmax (AC) = 37, 84 kW

Le nombre de panneaux en série :

$$Ns = \frac{UEcc}{Up}$$

(2.4)

Avec :

Ns : Le nombre de panneaux en série

UEcc : La tension d'entrée CC utilisée = 700 V (borne haute MPPT)

Up : La tension unitaire d'un panneau = 56 V

$$Ns = \frac{700}{56}$$

Ns = 12,5 ≈ 12 panneaux en série

Ns = 12 panneaux en série

Le nombre de strings (chaînes en parallèle) par onduleur :

$$Npa = \frac{P\ onduleur}{Pu\ x\ Ns}$$

(2.5)

Avec :

Npa : Le nombre de strings en parallèle

Ponduleur : Puissance nominale de l'onduleur = 25 000 W

Pu : Puissance unitaire d'un panneau = 585 WC

Ns : Nombre de panneaux en série = 12

$$Npa = \frac{25\,000}{585\ x12\ Npa}$$

$= 3,57 \approx 3\ strings$

Npa = 3 strings par onduleur

Donc on aura trois (03) chaînes de panneaux par onduleur.

Le nombre total de panneaux par onduleur :

$NT = Ns\ x\ Npa$

(2.6)

Avec :

NT : Le nombre total de panneaux par onduleur

Ns : 12 panneaux en série

Npa : 3 strings

$NT = 12\ x\ 3 = 36\ panneaux$

NT = 36 panneaux par onduleur

Pour 66 panneaux, avec 36 panneaux maximum par onduleur :

$66 \div 36 = 1,83 \approx 2\ \ Onduleurs$

Nombre d'onduleurs = 2

Répartition des panneaux sur les onduleurs :

$66 = 36 + 30$

Onduleur 1 : 3 strings de 12 panneaux = 36 panneaux

Onduleur 2 : 30 panneaux → 30 ÷ 12 = 2, 5 ≈ 3 strings de 10 panneaux = 30 panneaux

En somme, nous avons 66 panneaux répartis en 6 strings sur 2 onduleurs SIRIO K25.

Pour la suite de l'étude, les nouvelles valeurs à utiliser sont les suivantes :

Tableau 1 : Nouvelles valeurs à utiliser

Appareils	Nombre	Puissance totale
Panneaux JKM585N-72HL4V	66	38 610 Wc
Onduleurs SIRIO K25	2	50 kW
Énergie produite journalière	149, 81 kWh	—
Besoin à couvrir (10h)	148, 31 kWh	Couvert

2.4.1 Dimensionnement des câbles électriques du système photovoltaïque

Les câbles électriques sont cruciaux dans tout système électrique car ils assurent le transport de l'énergie entre les différents composants. Dans le cadre de ce projet, il est crucial de choisir des câbles de qualité, adaptés aux conditions environnementales et aux spécificités de chaque installation. Nous utilisons des câbles en cuivre.

<u>SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE - Onduleur</u>

$$S = \frac{2 \times L \times I}{y\, x \Delta U}$$

(2.7)

Avec :

S : Section du câble (mm²)

L : Longueur du câble (m)

I : Intensité du courant (A)
ΔU : Chute de tension admissible (1 % à 2 % de la tension du champ SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE) γ : Conductivité électrique du cuivre = 56 m/Ω.mm²

Calcul de l'intensité :

$I = Icc \ x \ Npa$
(2.8) Avec :
Icc : Intensité de court-circuit d'un panneau = 15 A
Npa : Nombre de strings = 3

$I = 15 \ x \ 3 = 45 \ A$
I = 45 A

Chute de tension maximale tolérée :

$\Delta U = 1\% \ x \ 700 \ V = 7 \ V$

$$S = \frac{2 \times L \times 45}{56 \ x 7}$$

S = 16 mm² (section normalisée favorable)

2.4.2 Protections électriques

Le système devra être équipé de :

- Choix du disjoncteur de protection
- Sectionneur CA (AC)
- Parafoudre CC (DC)
- Relais de couplage/découplage

2.4.3 Choix du disjoncteur de protection

Il faut choisir un disjoncteur avec un courant nominal supérieur au courant de sortie maximal des onduleurs, avec un facteur de sécurité de 1, 25 :

$Idisj = Imax_ond \times 1,25$

(2.9)

Avec :

I_{disjo} : L'intensité nominale du disjoncteur (A)

Imax_ond : L'intensité nominale à la sortie des onduleurs (A)

Les deux (02) onduleurs sont installés en parallèle pour conserver la tension de 400 V:

$Imax_{ondul} = 46 \times 2 = 92\ A$

$I_{disjo} = 92 \times 1,25 = 115\ A$

Disjoncteur choisi : 125 A

2.4.4 Sectionneur CA (AC)

Nous aurons besoin d'un sectionneur AC triphasé de :

Tension : 400 V AC Courant

: > = 125 A

Pôles : 3P ou 4P

Type : interrupteur-sectionneur avec poignée de manœuvre externe

2.4.5 Parafoudre CC (DC)

La protection des installations photovoltaïques contre les surtensions d'origine atmosphérique est assurée par des parafoudres DC. Pour la protection contre la surtension d'origine atmosphérique de notre installation, nous avons choisi le parafoudre DS50SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE-800G/51.

2.4.6 Relais de couplage/découplage

Le relais de couplage permet de coupler la centrale du système photovoltaïque au réseau. Il autorise la fermeture du disjoncteur lorsque la tension générée par la centrale du système photovoltaïque est identique à celle du réseau.

Le relais de découplage permet quant à lui de déconnecter la centrale du système photovoltaïque du réseau en cas de défaut sur ce dernier.

2.5 Intégration du système photovoltaïque

Dans le cadre de l'optimisation énergétique du poste d'Allada-Avakpa, la source solaire sera injectée au niveau du JDB 400 VAC, servant de source prioritaire dès que la production atteint un seuil suffisant. Cette configuration relègue le réseau de la SBEE au rang de source de secours pour l'ensemble des services auxiliaires.

En cas de défaillance simultanée du solaire et du réseau principal, le groupe électrogène de secours 150 kVA prendra automatiquement le relais pour assurer la continuité de service. Ce processus d'automatisation garantit une alimentation ininterrompue des systèmes de protection et de supervision SCADA, tout en réduisant la dépendance énergétique et l'empreinte carbone du site sans nécessiter d'intervention humaine.

2.5.1 Schéma de câblage de l'installation

2.5.1.1 Schéma de câblage du circuit de puissance

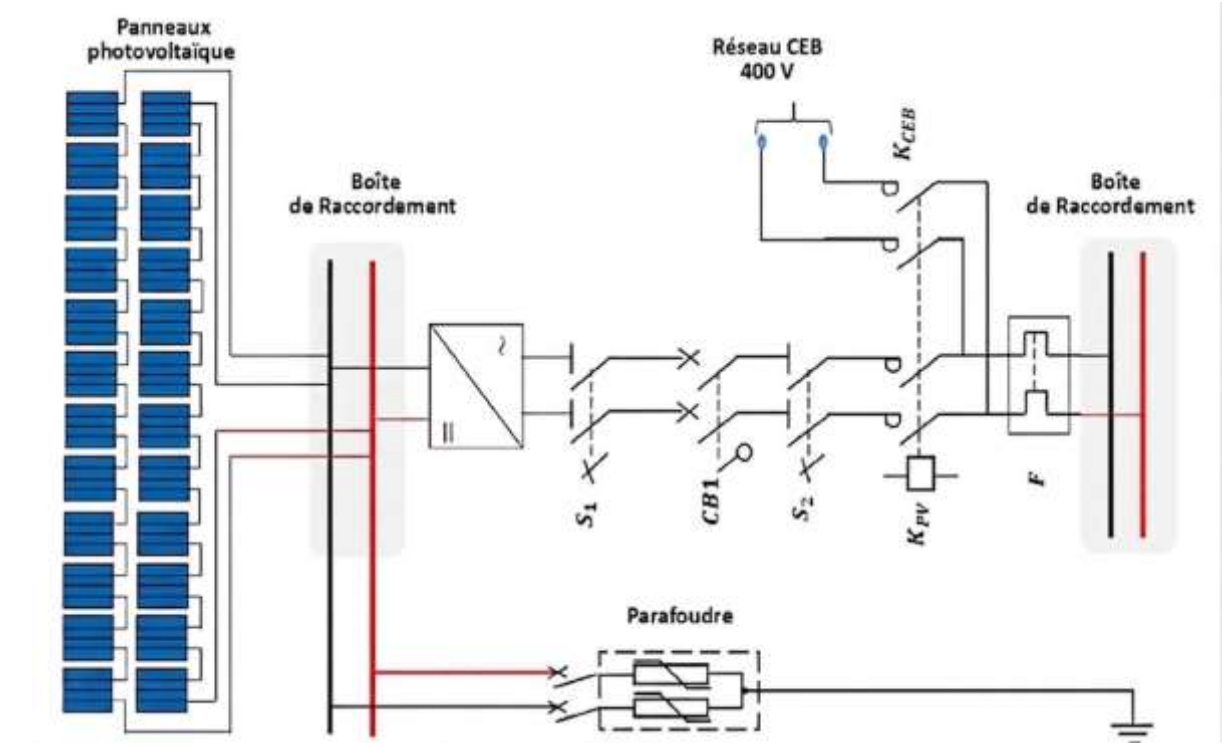


Figure 23 : Câblage du circuit de puissance

2.5.1.2 Schéma de câblage du circuit de commande

Circuit de puissance de l'installation du système photovoltaïque

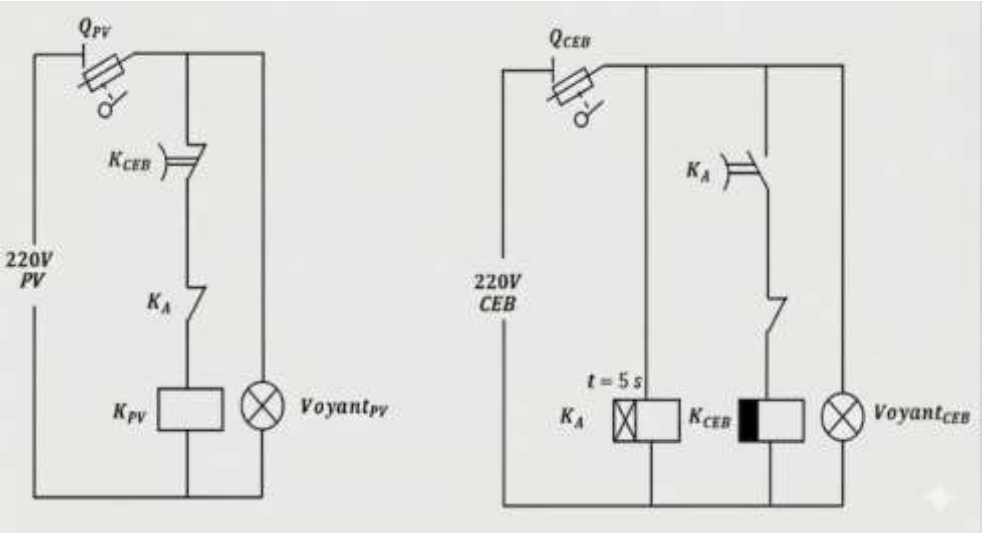


Figure 24 : Câblage du circuit de commande

2.5.2 Le système de couplage automatique

2.5.2.1 Principe de fonctionnement

Afin d'assurer la continuité de service des auxiliaires du poste 161/20kV d'Avakpa tout en maximisant l'autoconsommation de l'énergie solaire, un système de gestion automatique à trois sources a été conçu. Ce système, implémenté sous forme de GRAFCET, assure la permutation sélective et sécurisée entre la source photovoltaïque, le réseau HTA de la CEB et le groupe électrogène de secours.

L'architecture de commande repose sur trois contacteurs de puissance tripolaires KM1, KM2 et KM3, respectivement dédiés au couplage du champ photovoltaïque, du réseau CEB et du groupe électrogène. L'acquisition de l'état des sources est réalisée par trois relais de contrôle de présence tension H1, H2 et H3. Un temporisateur T1 réglé à 10

secondes est intégré en tête de cycle afin d'assurer une fonction anti-pompage et de garantir la stabilité des grandeurs électriques avant toute décision de basculement.

La logique de commande applique une priorité statique de type PV > CEB > Groupe. Après la temporisation initiale, l'automate analyse l'état des entrées. Si la présence de la source PV est détectée H1 = 1, le contacteur KM1 est enclenché et le jeu de barres auxiliaires est alimenté par les onduleurs. À défaut de PV, si le réseau CEB est disponible H2 = 1, le système commande la fermeture de KM2 pour une réalimentation par les transformateurs de services auxiliaires TSA/TSB. En dernier recours, en l'absence des deux premières sources H1 = 0 et H2 = 0, et si le groupe électrogène est opérationnel H3 = 1, le contacteur KM3 est activé suite à l'ordre de démarrage du groupe.

Pour des raisons de sécurité, un inter verrouillage électrique et mécanique est implémenté entre les trois contacteurs via leurs contacts auxiliaires NF. Cette disposition a pour but d'interdire formellement tout couplage parallèle intempestif entre deux sources, et ainsi de préserver l'intégrité des équipements et la sécurité des personnels d'exploitation. Le retour vers une source prioritaire se fait de manière automatique dès que les conditions de présence tension sont à nouveau réunies. - Verrouillage : /KM1 /KM2.

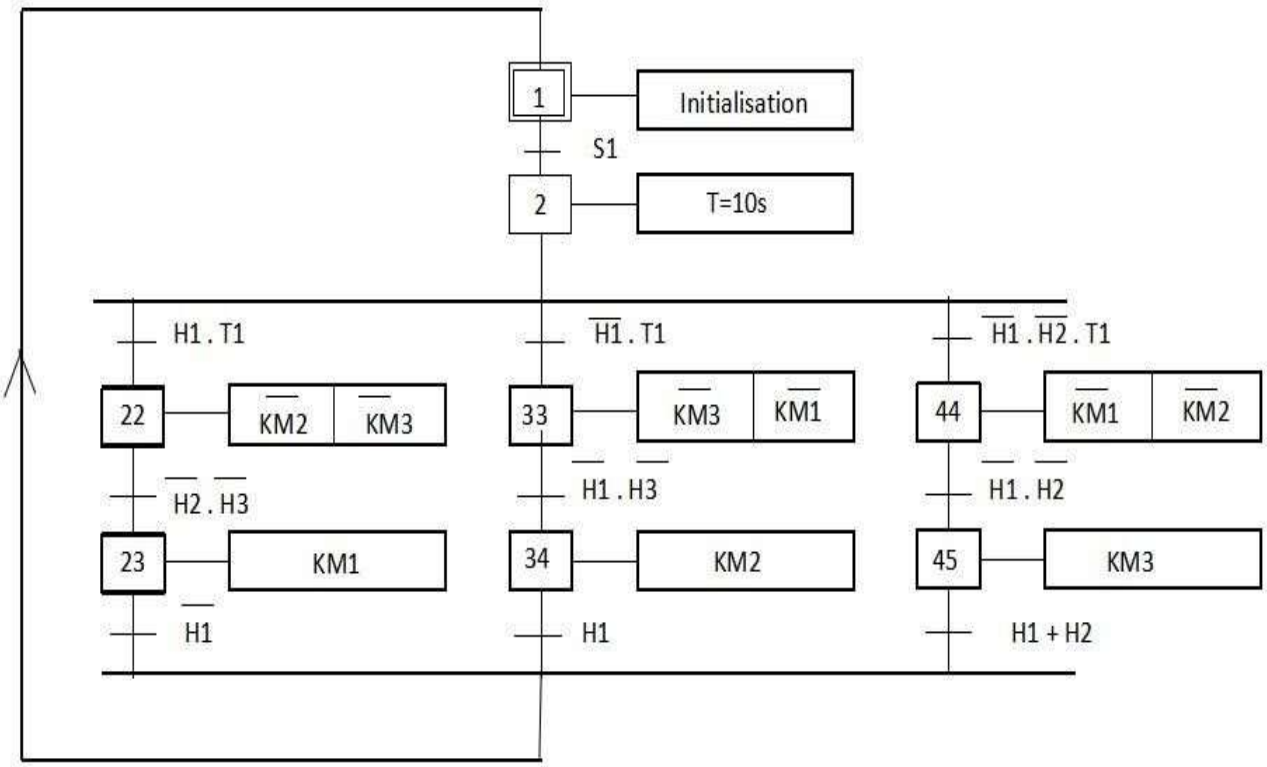


Figure 25 : Système de fonctionnement automatique de l'intégration d'une installation photovoltaïque dans le réseau de la CEB combiné au groupe électrogène

Conclusion

L'énergie solaire représente une source d'énergie renouvelable et propre en constante évolution. Elle offre de nombreux avantages stratégiques, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre et une diminution significative de la dépendance aux énergies fossiles. Bien que sa production dépende de l'ensoleillement, les avancées technologiques actuelles lui permettent de jouer un rôle crucial dans la transition énergétique des infrastructures critiques.

Le dimensionnement de l'nous a permis de poser les bases techniques essentielles à l'étude de faisabilité de ce projet pour le site d'**Allada-Avakpa**. À travers une analyse rigoureuse de la consommation électrique des **services auxiliaires** (400 VAC, 127 VCC et 48 VCC), des capacités de production solaire locales et des exigences de sécurité du réseau, nous avons pu établir un dimensionnement précis des composants. Les calculs ont été réalisés en tenant compte des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement dans la région de l'Atlantique, garantissant ainsi une solution capable de soutenir efficacement les dispositifs de **protection** et de **supervision SCADA**.

CHAPITRE 3 : ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DU SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE

1. Introduction

Tout projet d'étude ne prend effectivement forme que si le coût d'investissement est clairement défini. Ce chapitre est consacré à l'analyse de faisabilité, l'élaboration du devis du projet et aux observations générales. Nous présenterons en annexe les résultats de simulation du logiciel système photovoltaïque

2. Consommation énergétique journalière du poste

Tableau 2 : Consommation énergétique journalière du poste

AUXILIAIRES	Econs/an	Econs/jrs	Econs/10h
AUXILIAIRE 1	110 249, 8 **kWh**	302, 05 **kWh**	125, 85 **kWh**
AUXILIAIRE 2	19 674,2 **kWh**	53, 90 **kWh**	22, 46 **kWh**
TOTAL	129 924 **kWh**	355, 95 **kWh**	148, 31 **kWh**

Le tableau 2 nous montre que le poste de transformation HTB/HTA d'Avakpa consomme en moyenne pour ses services auxiliaires 355, 95 kWh par jour et 148, 31 kWh sur la plage de 10 heures (8 h – 18 h).

Le site inexploité de ce poste de transformation, d'une surface de 1944 m², nous a permis de faire un dimensionnement précis. Étant donné que nous ne pouvons pas exploiter tout cet espace pour l'installation du système photovoltaïque, en raison des espaces nécessaires pour la maintenance et pour minimiser l'ombrage, nous avons finalement retenu une surface utile de 1728 m², ce qui nous a permis de déterminer que 66 panneaux suffisent pour couvrir notre besoin.

D'après les résultats du dimensionnement, nous avons obtenu une puissance crête de 38, 61 kWc, ce qui nous a permis d'avoir 149, 81 kWh d'énergie produite journalière.

$149,81\ kWh > 148,31\ kWh$

$$Econs\text{ - }produite > Econs-auxiliaires-10h$$

En général, nous pouvons dire que l'étude de faisabilité est vérifiée, car l'énergie que va produire l'énergie solaire après installation sera supérieure à la consommation en 10 heures des auxiliaires du poste HTB/HTA d'Avakpa.

3. Tableaux de l'étude technico-économique du système photovoltaïque

Tableau 3 : Coût initial de l'installation

Désignation	Caractéristiques	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Montant (FCFA)
Module monocristallin	JKM585N-72HL4-V	66	100 000	6 600 000
Support pour les modules			1 000 000	1 000 000
Enclos pour les modules (Grillage + poteaux + fil barbelé)			2 000 000	2 000 000
Armoire de commande			400 000	400 000
Câble et divers accessoires	16 mm²	500 m	2 500	1 250 000
Parafoudre	DS50SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE-800G/51	1	55 000	55 000
Onduleur	SIRIO K25 25kW	2	500 000	1 000 000
Main d'œuvre et maintenance			18 000 000	18 000 000
Total estimé				30 305 000
Marge pour les imprévus (10% du total estimé)				3 030 500
Coût total de l'installation				33 335 500

Tableau 4 : Coût du système photovoltaïque

Energie produite (kWh/jour)	Durée de vie (ans)	Temps d'utilisation (h/j)	Coût total (FCFA)
149,81	25	10	33 335 500

Tableau 5 : Coût de l'alimentation via le réseau CEB

Secteur CEB	Energie consommée (kWh)	Prix du kWh (FCFA)	Coût total (FCFA)
10 h	148,31	100	14 831
1 an (10h)	54 133,15	100	5 413 315
25 ans (10h)	1 353 328,75	100	135 332 875

4. Étude comparative et justification du choix du système photovoltaïque

Face à la problématique de réduction des coûts d'alimentation des services auxiliaires, nous avons trouvé une solution énergétique durable et rentable.

Le réseau électrique de la SBEE : une option très couteuse ;

L'analyse montre que si la CEB continue à alimenter ses services auxiliaires en journée (10 h) via le réseau électrique de la SBEE, le coût sur 25 ans atteindra 135 332 875 FCFA. En dehors de ce prix élevé, les services auxiliaires du poste sont souvent confrontés à des coupures par suite de blackouts ou de déclenchements. Ces perturbations entraînent le fonctionnement du groupe électrogène de secours, qui constitue à son tour une charge financière (carburant) et contribue à la pollution de l'atmosphère.

Le système photovoltaïque : la meilleure option

L'installation de solution solaire représente une solution performante regroupant rentabilité, durabilité et fiabilité. Ce dispositif combine l'énergie solaire en journée (10 h) et le secteur CEB dans la soirée, en parallèle avec un groupe électrogène de secours.

L'estimation du coût de son installation est de 30 305 000 F CFA hors imprévus. En tenant compte d'une marge de 10 % pour les aléas techniques et économiques, le coût total est de 33 335 500 F CFA sur 25 ans.

5. Avantages de l'intégration du système photovoltaïque

Réduction massive des frais mensuels : le coût moyen du kWh produit par notre système photovoltaïque est nettement inférieur au tarif du réseau.

Indépendance partielle au réseau : le dispositif permet à la CEB de réduire sa dépendance au réseau électrique de la SBEE, de valoriser la migration vers les énergies vertes et de contribuer à la réduction de la pollution de l'environnement.

Retour sur investissement : indicateur financier permettant d'évaluer la rentabilité du projet en mesurant combien d'argent le projet a rapporté par rapport à ce qu'il a coûté.

6. Temps de retour sur investissement (TRI)

- **Hypothèses de base**

Consommation journalière (10h) : 148, 31 kWh/jour

Coût unitaire de l'électricité CEB : 100 FCFA/kWh

Investissement total : 33 335 500 F CFA

Production solaire journalière : 149, 81 kWh/jour

Le système photovoltaïque couvre entièrement la consommation (148, 31 kWh/jour).

Consommation annuelle couverte :

148, 31 x 365 = 54 133, 15 kWh/an

Économies annuelles :

54 133, 15 x 100 = 5 413 315 FCFA/an Calcul

du TRI :

$$TRI = \frac{Coût\ global\ d'installation}{Gain\ annuel\ global}$$

(2.7)

$$TRI = \frac{33\ 335\ 500}{5\ 413\ 315\ \text{TRI}}$$

TRI = 6,16 ans

Le système photovoltaïque est rentabilisé en environ 6 ans et 2 mois.

3.6 Bénéfice net du projet

Bénéfice net = Économies totales sur 25 ans - Coût total de l'installation

(2.8)

- **Hypothèses de base**

Production annuelle : 38, 61 x 365 x 0, 80 = 11 282 kWh/an (basée sur Pc x 365 j x K)

Coût unitaire kWh : 100 FCFA/kWh

Économies annuelles : 54 133, 15 x 100 = 5 413 315 FCFA/an

Investissement : 33 335 500 F CFA

Durée de vie : 25 ans

Économies totales : 5 413 315 x 25 = 135 332 875 F CFA

Bénéfice net = 135 332 875 - 33 335 500

Bénéfice net = 101 997 375 F CFA

Ce bénéfice net de 101 997 375 F CFA sur 25 ans correspond à la somme que la CEB ne paiera plus au réseau électrique de la SBEE pour le fonctionnement de ses services auxiliaires en journée, une fois le coût de l'installation amorti.

Conclusion

L'étude montre une bonne rentabilité du projet. L'investissement est récupéré en environ 6 ans, et un bénéfice net de 101 997 375 F CFA est réalisé sur 25 ans. Ces résultats confirment la pertinence technique et économique du recours à une solution solaire pour l'alimentation des services auxiliaires du poste d'Allada-Avakpa, tout en contribuant à la transition énergétique de la CEB vers une approche plus verte et durable.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le stage de fin de formation effectué nous a été d'une importance capitale. En effet, nous avons pu enrichir nos connaissances dans le domaine de la transformation et de la conduite de l'énergie électrique. Ce travail de fin d'études a porté sur l'étude de faisabilité technico-économique de l'installation d'un système photovoltaïque pour l'alimentation des services auxiliaires du poste de transformation HTB/HTA de la **CEB Allada-Avakpa** afin de réduire les coûts d'électricité et d'assurer une alimentation électrique fiable et durable des systèmes de protection et de supervision.

Dans un premier temps, nous nous sommes familiarisés avec les énergies renouvelables, spécialement l'énergie solaire photovoltaïque. Ensuite, nous avons fait l'optimisation du système grâce aux données recueillies au niveau du poste (notamment sur les chaînes **400 VAC, 127 VCC et 48 VCC**). Les résultats de cette optimisation ont été utilisés pour le dimensionnement de notre installation. En ce qui concerne les résultats techniques, l'électricité moyenne annuelle produite par le dispositif solaire est d'environ **54 133,15 kWh/an**. Pendant les saisons sèches, la production de l'énergie scolaire est maximale et minimale pendant les saisons pluvieuses. Pour ce qui est des résultats économiques, le coût total du système est de **33 335 500 F CFA** avec une durée d'amortissement de **25 ans**.

En conclusion, les résultats montrent la faisabilité technique et économique de notre installation et fourni une feuille de route claire pour la mise en œuvre du projet à Avakpa. Les résultats obtenus soulignent l'importance d'une intégration harmonieuse entre les sources d'énergie renouvelable et le réseau existant (**TSA1, TSA2 et Groupe Électrogène**), afin de maximiser l'efficacité énergétique et d'éliminer les interruptions de service. Les recommandations formulées serviront de guide pour les phases ultérieures de conception détaillée et d'installation, garantissant ainsi une infrastructure fiable et économique pour la CEB.

WEBOGRAPHIE

Aros SIRIO K12 Manuel De L'utilisateur (Page 27 de 40) | ManualsLib visité le Mardi 10/05/2025 à 12 : 45 jinkosolar.com/uploads/JKM565-585N-72HL4-(V)-F3-EN.pdf visité le Mardi

10/05/2025 à 12 : 50

Marwen PFE Copie Finale | PDF | Énergie solaire photovoltaïque | Cellule photovoltaïque visité le 15/05/2025 à

18 : 26 doc_num.php Visité le 15/05/2025 à 21 : 16 documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=3237 Visité le 16/05/2025 à 13 :25 steg.com.tn/dwl/prosol/Referentiel_technique_des_installation système photovoltaïque.pdf visité le 17/05/2025 à 18 : 26

système photovoltaïque | Photovoltaic software, Design and simulate photovoltaic systems visité le 22/05/2025 à 11 : 56

ANNEXE

Fiche technique de panneau

CARACTÉRISTIQUES										
Type de module	JKM565N-72HL4 JKM565N-72HL4-V		JKM570N-72HL4 JKM570N-72HL4-V		JKM575N-72HL4 JKM575N-72HL4-V		JKM580N-72HL4 JKM580N-72HL4-V		JKM585N-72HL4 JKM585N-72HL4-V	
	STC	NUIT	STC	NUIT	STC	NUIT	STC	NUIT	STC	NUIT
Puissance maximale (Pmax)	565 Wc	425 Wc	570 Wc	429 Wp	575 Wc	432 Wc	580 Wc	436 Wc	585 Wc	440 Wc
Tension d'alimentation maximale (Vmp)	41,92 V	39,38 V	42,07 V	39,51 V	42,22 V	39,60 V	42,37 V	39,69 V	42,52 V	39,81 V
Courant de puissance maximal (Imp)	13,48A	10,79A	13,55A	10,85 A	13,62A	10,92A	13,69A	10,99A	13,76A	11,05A
Tension en circuit ouvert (Voc)	50,60 V	48,06 V	50,74 V	48,20 V	50,88 V	48,33 V	51,02 V	48,46 V	51,16 V	48,60 V
Courant de court-circuit (Isc)	14,23A	11,49A	14,31A	11,55A	14,39A	11,62A	14,47A	11,68A	14,55A	11,75A
Efficacité du module STC (%)	21,87%		22,07%		22,26%		22,45%		22,65%	
Température de fonctionnement ( )	-40 ~+85									
Tension maximale du système	1000/1500 VCC (CEI)									
Valeur nominale maximale des fusibles en série	25A									
Tolérance de puissance	0~+3%									
Coefficients de température de Pmax	-0,29%/									
Coefficients de température de Voc	-0,25%/									
Coefficients de température de Isc	0,045 %/									
Température nominale de fonctionnement de la cellule (NOCT)	45±2									

Fiche de l'onduleur

SIRIO				
Modèle		K25	K33	K40
Entrée				
Puissance PV maxi	Pmax	30 Kwp	40Kwp	50Kwp
Puissance minimale PV conseillée	Pmin	20 Kwp	30Kwp	36Kwp
Tension Vo@STC conseillée	Vo		540-640V	
Plage de tension cc, MPPT	Vcc		330-700 V	
Tension cc maximale	Vcc,max		800 V	
Tension de démarrage	Vstart-up		390 V	
Courant cc maximal	Icc,max	80A	105A	130A
Ondulation de tension sur les modules			< 2 %	
Entrées cc			1	
Sortie				
Puissance ca nominale	Pca	25KW	33KW	40KW
Puissance ca maximale	Pca 1h	28KW	36KW	44KW
Tension nominale	Vca	400 V triphasée (+/-15%)		
Courant nominal	Ica	36A	48A	58A
Courant maximal	Ica	46A	60A	73A
Fréquence nominale	Fca	50 Hz (+2/-3Hz)		
Système de distribution		TT, TN-S, TN-C		
Distorsion harmonique du courant de réseau	THD%	< 3 % avec puissance nominale		
Facteur de puissance	cos φ	> 0,99 (adj. ± 0,9)		
Contribution au courant de court-circuit	Icc	68A	90A	110A

Fiche du parafoudre

PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES | PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES | NORMES | DÉCONNECTEURS ASSOCIÉS | SC

Type de parafoudre	IEC	2
Réseau		Réseau PV 800 Vdc
Tension nominale réseau PV	Uocstc	800 Vdc
Tension max. PV de fonctionnement	Ucpv	960 Vdc
Courant résiduel Courant de fuite à la Terre	Ipe	Aucun
Courant de fonct. permanent PV Courant de consommation à Ucpv	Icpv	< 0.1 mA
Courant de suite	If	Aucun
Courant de décharge nominal 15 chocs en onde 8/20 µs	In	15 kA
Courant de décharge maximal Tenue max. en onde 8/20 µs par pole	Imax	40 kA
Courant de décharge maximal total Tenue max. totale en onde 8/20 µs	Imax Total	60 kA
Tenue au courant de court-circuit PV	Iscpv	15 000 A
Mode(s) de connexion		+/-/PE
Mode(s) de protection		Mode Commun / Mode Différentiel
Niveau de protection +/- @ In (8/20µs)	Up	3.6 kV
Niveau de protection +/PE (-/PE)	Up	2 kV

Fiche simulation SYSTÈME

PVsyst V8.0.12
VC0, Simulé le :
02/06/25 13:09
avec V8.0.12

PVsyst EVALUATION

Résumé du projet

Site géographique
Vedoko
Bénin

Situation
Latitude 6.38 °(N)
Longitude 2.39 °(E)
Altitude 12 m
Fus. horaire UTC+1

Paramètres du projet
Albédo 0.20

Données météo
Vedoko
NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Synthétique

Résumé du système

Système couplé au réseau

Pas de scène 3D, pas d'ombrages

Orientation #1
Plan fixe
Inclinaison/Azimut 15 / 0 °

Ombrages proches
sans ombrages

Besoins de l'utilisateur
Charge illimitée (réseau)

Information système

Champ PV
Nb. de modules 336 unités
Pnom total 197 kWc

Onduleurs
Nombre d'unités 7 unités
Puissance totale 175 kWac
Rapport Pnom 1.12

Résumé des résultats

Energie produite 298.98 MWh/an | Productible 1521 kWh/kWc/an | Indice perf. PR 83.92 %

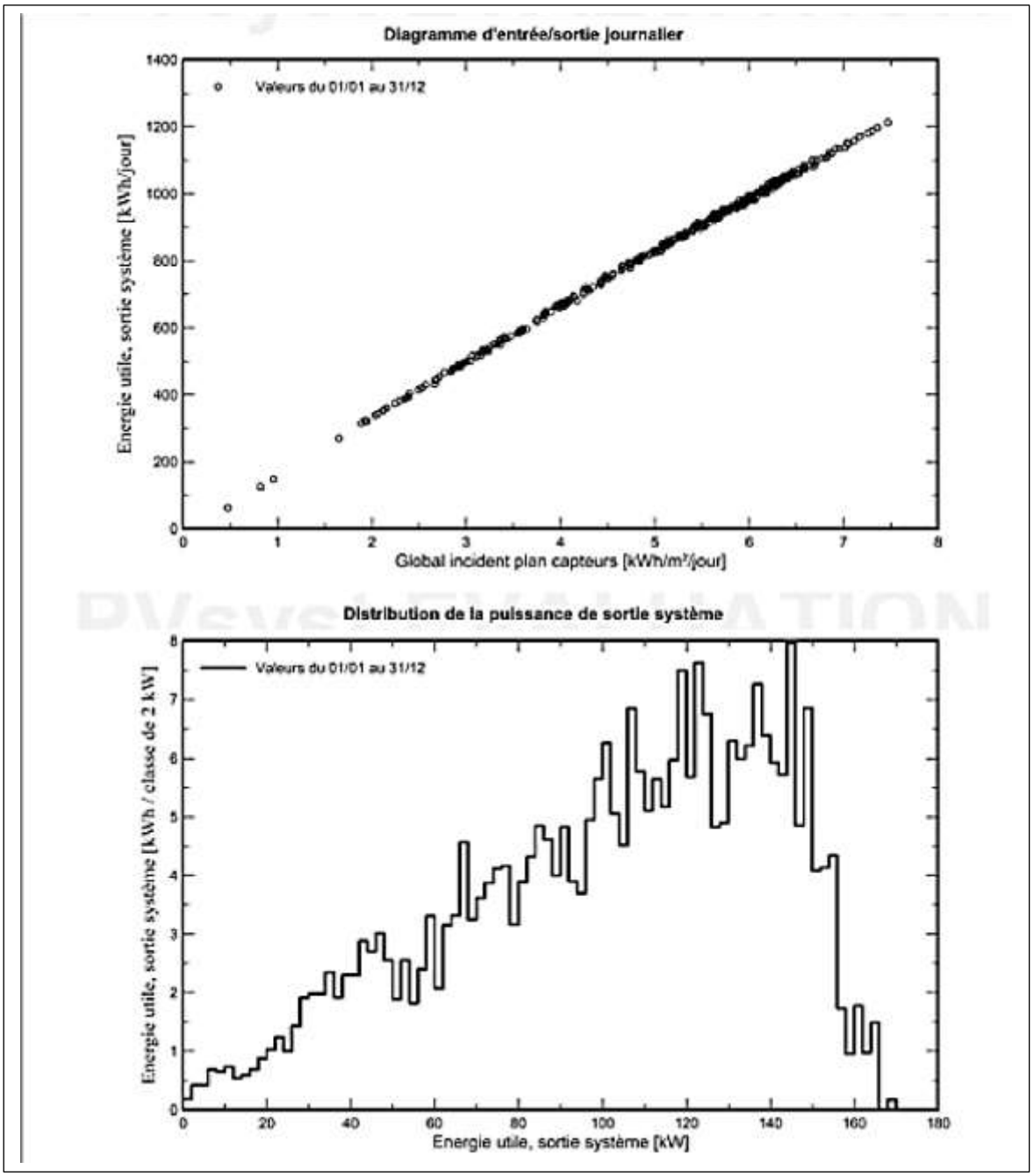
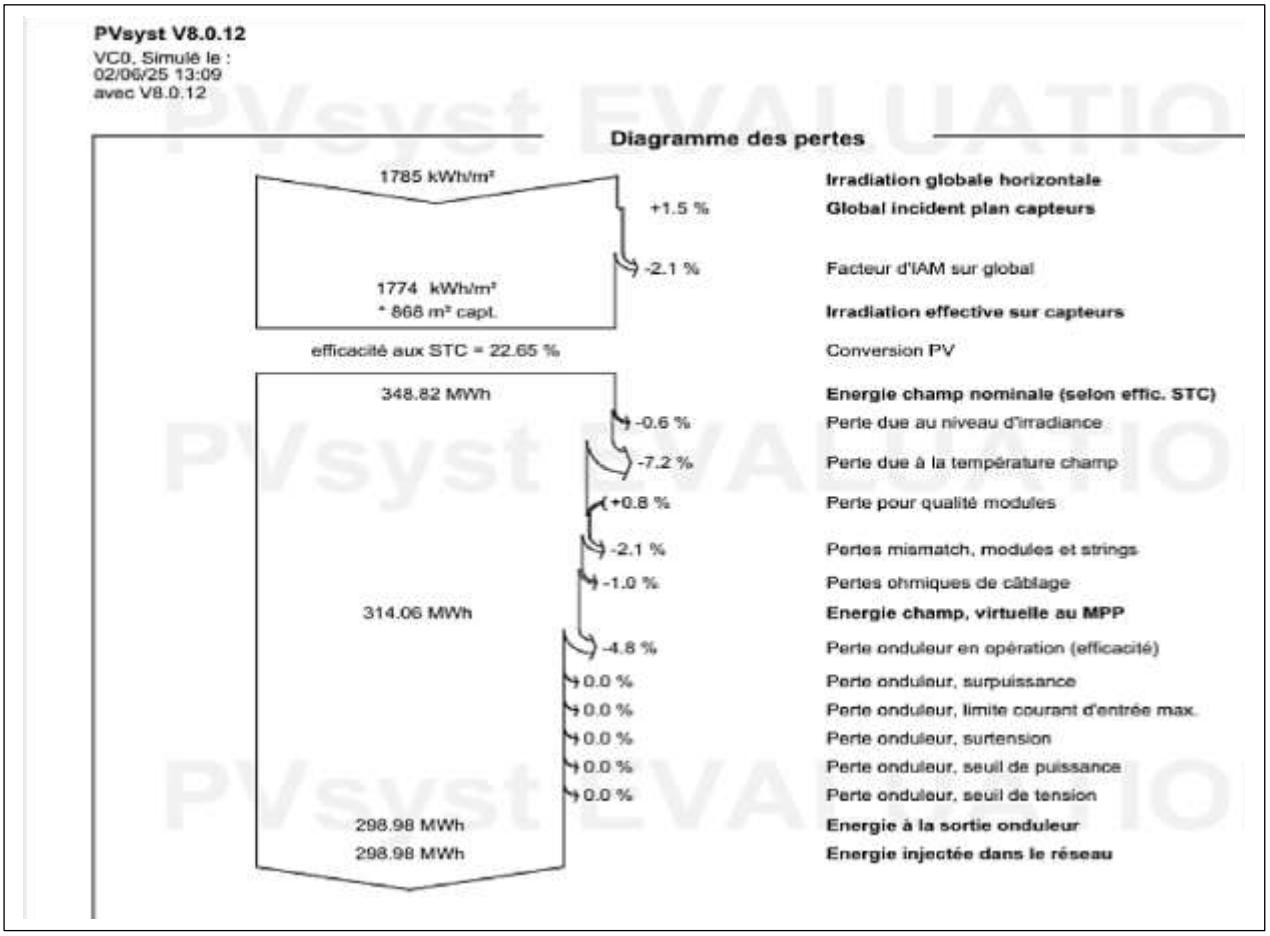


Diagramme d'entrée/sortie journalier
Valeurs du 01/01 au 31/12
Energie utile, sortie système [kWh/jour]
Global incident plan capteurs [kWh/m²/jour]
Distribution de la puissance de sortie système
Valeurs du 01/01 au 31/12
Energie utile, sortie système [kWh / classe de 2 kW]
Energie utile, sortie système [kW]


PVsyst V8.0.12
VC0, Simulé le :
02/06/25 13:09
avec V8.0.12
Diagramme des pertes
1785 kWh/m²
Irradiation globale horizontale
+1.5 %
Global incident plan capteurs
-2.1 %
Facteur d'IAM sur global
1774 kWh/m²
* 868 m² capt.
Irradiation effective sur capteurs
efficacité aux STC = 22.65 %
Conversion PV
348.82 MWh
Energie champ nominale (selon effic. STC)
-0.6 %
Perte due au niveau d'irradiance
-7.2 %
Perte due à la température champ
+0.8 %
Perte pour qualité modules
-2.1 %
Pertes mismatch, modules et strings
-1.0 %
Pertes ohmiques de câblage
314.06 MWh
Energie champ, virtuelle au MPP
-4.8 %
Perte onduleur en opération (efficacité)
0.0 %
Perte onduleur, surpuissance
0.0 %
Perte onduleur, limite courant d'entrée max.
0.0 %
Perte onduleur, surtension
0.0 %
Perte onduleur, seuil de puissance
0.0 %
Perte onduleur, seuil de tension
298.98 MWh
Energie à la sortie onduleur
298.98 MWh
Energie injectée dans le réseau

Fin