



Conception d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : Cas du poste 2

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE**

Présenté et soutenu publiquement le 18 Juillet 2025 par

DANGO Ben Youssef Guieso (2018 0175)

Encadrant 2ie : Dr Mahaman Sani MOUSSA KADRI, Enseignant chercheur au département Génie Electrique et Energétique de 2iE

Maitre de stage : NIKIEMA Issa, conducteur des travaux à PPI (Projet de Production Internationale)

Structure d'accueil du stage : PPI (Projet de Production Internationale)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : **Dr. Sayon SIDIBE**

Membres et correcteurs : **ING Justin BASSOLE**

ING Ahmed ZONGO

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire,

A mes chers parents qui ont consenti à des sacrifices énormes pour ma formation, à mon frère et à ma sœur, votre amour et votre soutien inconditionnels tout au long de mon cursus ont été la force motrice derrière la réalisation de ce travail. Merci d'être mes piliers constants.

A mes camarades, amis et proches tous ceux qui m'ont toujours soutenu, prodigué des conseils et encouragé.

Avec tout mon amour et ma gratitude.

DANGO Ben Yussef Guieso

CITATION

« La persévérance est la clé de la réussite »

Victor Hugo (1802-1885)

Ecrivain, poète Français

REMERCIEMENTS

Avant tout propos je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu tout-puissant source infinie de sagesse et de force qui a éclairé mon petit bout de chemin depuis toujours. Gloire soit à Dieu.

J'adresse mes remerciements au directeur de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) ainsi qu'à l'ensemble de son personnel pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser mon projet de fin d'étude au sein de cette institution. Les ressources, le soutien pédagogique et l'environnement propice à l'apprentissage ont largement contribué à l'aboutissement de ce projet.

Je profite de l'occasion pour exprimer ma reconnaissance au Dr Mahaman Sani MOUSSA KADRI, pour les conseils et sa disponibilité malgré ses occupations ainsi que la patience dont il a fait preuve dans le suivi et l'encadrement de ce projet d'étude.

J'adresse également un grand merci à l'endroit de Monsieur Patrice CHEVALIER, administrateur général de PPI pour m'avoir accordé un stage au sein de son entreprise.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Amadou SORO et à Monsieur Issa NIKIEMA, pour leur encadrement exceptionnel et leur précieux mentorat tout au long de mon stage. Merci infiniment pour avoir partagé vos connaissances et pour avoir contribué significativement à mon développement professionnel.

Un grand merci à l'ensemble personnel de PPI pour l'accueil chaleureux, la collaboration fructueuse et le soutien constant tout au long de mon immersion dans la structure, un remerciement particulier à Madame KABORE Estelle la DRH ainsi qu'à tout le personnel du département lignes électriques pour cette expérience professionnelle enrichissante.

Je tenais également à remercier tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

RÉSUMÉ

Le quartier non loti de Nioko 2, situé dans la commune de Ouagadougou au Burkina Faso, fait face à un accès limité à l'électricité, freinant son développement socio-économique. Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du projet Dorsale Nord de la West African Power Pool (WAPP) et porte sur la conception et le dimensionnement d'un réseau de distribution électrique comprenant une ligne Haute Tension (HTA) 33 kV et une Basse Tension (BT). La démarche méthodologique s'articule autour de trois volets : (i) le dimensionnement électrique et mécanique, (ii) l'évaluation financière, et (iii) l'analyse environnementale. Le réseau HTA totalise 2 km, réalisé avec des conducteurs en Almelec de section $54,6 \text{ mm}^2$, et le réseau BT comprend 2 km de câble torsadé $3 \times 70 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$ et 8 km de câble $3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$. Les chutes de tension restent dans les limites normatives : inférieures à 5 % en HTA et 7 % en BT. Les supports utilisés sont des Poteaux Béton Armé (PBA), allant de PBA 12-400 à PBA 12-1250 pour la HTA et de PBA 9-200 à PBA 9-800 pour la BT. Le coût total du projet est estimé à **485 456 132 FCFA**. Ce projet contribue à l'Objectif de Développement Durable n°7 (ODD 7) en améliorant l'accès à une énergie propre et fiable pour les populations de Nioko 2, avec des retombées positives sur les foyers, les établissements scolaires et les centres de santé.

Mots clés :

- 1 Nioko 2
- 2 Dorsale Nord du WAPP
- 3 Dimensionnement électrique et mécanique
- 4 Réseau HTA/BT
- 5 Développement durable

ABSTRACT

The unplanned neighborhood of Nioko 2, located in the municipality of Ouagadougou in Burkina Faso, faces limited access to electricity, hindering its socioeconomic development. This thesis is part of the West African Power Pool (WAPP) North Backbone project and focuses on the design and sizing of an electricity distribution network comprising a 33 kV high-voltage (HV) line and a low-voltage (LV) line. The methodological approach is based on three components: (i) technical sizing, (ii) financial evaluation, and (iii) environmental analysis. The HV network totals 2 km, constructed with 54.6 mm² Almelec conductors, and the LV network comprises 2 km of 3×70 mm² + 54.6 mm² + 16 mm² twisted cable and 8 km of 3×35 mm² + 54.6 mm² + 16 mm² cable. Voltage drops remain within the standard limits: less than 5% in HV and 7% in LV. The supports used are reinforced concrete poles (PBA), ranging from PBA 12-400 to PBA 12-1250 for HV and from PBA 9-200 to PBA 9-800 for LV. The total cost of the project is estimated at 485,456,132 CFA francs. This project contributes to Sustainable Development Goal No. 7 (SDG 7) by improving access to clean and reliable energy for the people of Nioko 2, with positive impacts on households, schools, and health centers.

Keys words:

-
- 1 Nioko 2
 - 2 North Backbone project
 - 3 Electrical and Mechanical Sizing
 - 4 MV/LV Networks
 - 5 Sustainable development

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'assainissement

A : Ampère

AD : Arrêt Double

BAD : Banque Africaine de Développement

BTA : Basse Tension catégorie A

CEDEAO : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

DA : Double Ancrage

daN : Décanewton

DAO : Dossier d'Appel d'Offre

GEEI : Génie Electrique Energétique et Industriel

GPS : Global Positionning System

HSE : Hygiène Santé Environnement

HTA : Haute Tension catégorie A

IACM : Interrupteur Aérien à Commande Manuelle

IEC : International Electrichal Commission

MCOV : Maximum Continuous Operating Voltage

ODD : Objectif de Développement Durable

PBA : Poteau Béton Armé

PGES : Plan de Gestion environnemental et Social

PPI : Projet de Production Internationale

RMS: Root Mean Square

SF: Simple Fixation

SONABEL : Société Nationale Burkinabè d'Electricité

THT : Très Haute Tension

TTC : Toute Taxe Comprise

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée

WAPP: West African Power Pool

SOMMAIRE

Dédicace	2
Citation	3
Remerciements	4
Résumé	5
Abstract	6
LISTE DES ABREVIATIONS	7
Liste des tableaux	10
Liste des figures	11
Introduction	12
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET D'ETUDE ..	14
I.1 Présentation de la structure d'accueil	14
I.2 Présentation du projet	15
II. Généralités sur les Réseaux de Distribution Électrique	18
II.1 Niveaux de Tension	18
II.2 Fonctions des Réseaux Électriques	18
II.3 Architecture des réseaux de distribution	19
II.4 Composants des réseaux de distribution aériens	21
II.5 Le réseau souterrain	26
III. Conception et dimensionnement d'un réseau HTA/BT	28
III.1 Dimensionnement électrique	28
III.2 Dimensionnement mécanique	29
III.3 Présentation des logiciels utilisés	29
IV. Dimensionnement de la ligne HTA 33 kV	31
IV.1 Présentation de la ligne	31
IV.2 Dimensionnement électrique de la ligne HTA 33kV	31
IV.3 Etude mécanique du réseau électrique	43
IV.4 Etude et dimensionnement du réseau BT	54
V. Plan de gestion environnemental et social	57
V.1 Introduction	57
V.2 Etat des lieux environnemental et social	57
V.3 Identification des impacts environnementaux et sociaux du projet	58
V.4 Réponses et gestion des impacts du projet	59
VI. Résultats et analyses	64

VI.1	Rappels des objectifs et objectifs initiaux	64
VI.2	Résultats techniques issus de l'approche manuel	64
VI.3	Résultats techniques obtenus avec le logiciel CAMELIA	66
VI.4	Comparaison des résultats techniques et Conclusion	66
VI.5	Evaluation environnementale et sociale	67
VI.6	Résultats de l'estimation financière	68
VII.	Estimation financière de la réalisation du projet	63
	Conclusion	69
	Bibliographie et Webographie	70
	Liste des annexes	72
	Annexes	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Niveau d'isolement	17
Tableau 2: Classification des réseaux en fonction de tension	18
Tableau 3 : Différents Types de Réseaux, selon Schneider Electric.....	19
Tableau 4: Répartition des classes de branchements électriques selon la SONABEL	32
Tableau 5: Estimation des besoins de la localité.....	33
Tableau 6 : Intensités admissibles pour conducteur nu aérien	37
Tableau 7: Facteur « a » assigné aux différents types de conducteurs.....	38
Tableau 8: Valeur de courant de court-circuit max pour 1s et 3s.....	38
Tableau 9: Chute de tension de la ligne HTA	41
Tableau 10:Hypothèses climatiques utilisées au BF	44
Tableau 11: Hypothèses de retournement et inclinaison.....	44
Tableau 12: Profondeur d'implantation des supports	51
Tableau 13: Valeurs de k en BT.....	54
Tableau 14: Valeurs de chute de tension du réseau BT	55
Tableau 15: Identification des impacts potentiels du projet.....	58
Tableau 16: Mesures de gestion des impacts du projet.....	59
Tableau 17: Plan de suivi-évaluation	61
Tableau 18:Coût estimatif du projet.....	63
Tableau 19: Récapitulatif de la Configuration du canton.....	65
Tableau 20:Synthèse de choix issus du calcul manuel.....	65
Tableau 21: Résumé du calcul avec le logiciel CAMELIA	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Aperçu d'un réseau de distribution électrique	19
Figure 2: Un réseau arborescent	20
Figure 3: Un réseau bouclé.....	20
Figure 4: Un réseau maillé	20
Figure 5: Composantes d'une ligne électrique	21
Figure 6: Conducteur aluminium	22
Figure 7: Types d'armements des supports électriques.....	23
Figure 8: Isolateur en composite	24
Figure 9: Interrupteur Aérien à commande manuelle	25
Figure 10: Ensemble de suspension	26
Figure 11: Ensemble d'ancrage.....	26
Figure 12: Pose en tranchée sous chaussée d'un câble en terrain normal.....	27
Figure 13: présentation de la ligne HTA	31
Figure 14: aperçu de la configuration de la ligne HTA.....	41
Figure 15: Illustration d'une portée	45
Figure 16:Représentation de la flèche et de la portée	45
Figure 17: Représentation d'un canton	46
Figure 18: Illustration de la garde hors-sol D	46
Figure 19: Illustration du paramètre P.....	47
Figure 20: Représentation de l'angle de piquetage.....	48
Figure 21: Représentation de l'angle d'orientation	49
Figure 22: Représentation des différents efforts sur un support d'alignement en suspension..	49
Figure 23:Efforts exercés sur un support d'arrêt	51
Figure 24:Interface de saisie des données climatiques.....	52
Figure 25: Interface de saisie des supports.....	53
Figure 26: Interface de saisie des cantons	53
Figure 27: aperçu du réseau BT	54

INTRODUCTION

L'accès à une énergie fiable et abordable est un catalyseur essentiel pour le développement socio-économique. Il stimule la croissance économique, améliore les conditions de vie, renforce les systèmes de santé et d'éducation, et favorise l'innovation. En l'absence d'une infrastructure énergétique robuste, la réalisation des objectifs de développement durable demeure un défi majeur pour de nombreux pays notamment le Burkina Faso. En 2015, la population du Burkina Faso était de 18,7 millions d'habitants, et elle a augmenté pour atteindre 21,5 millions d'habitants en 2020 selon les données de l'Institut National de la Statistique et de la Démographie [2]. Malgré cette croissance démographique, le taux d'accès à l'électricité était de seulement 22,5% à la fin de l'année 2020. Les disparités sont nettes entre les zones urbaines, où 67,4% de la population a accès à l'électricité, et les zones rurales, où ce taux était beaucoup plus bas, s'élevant à 5,3%, comme le révèle le rapport d'évaluation du projet 'Desert to Power' de 2019. Les besoins en énergie de la population sont caractérisés par des demandes qui ne cessent d'augmenter d'année en année, notamment avec la naissance des quartiers communément appelés « non-lotis ». Conscient de son incapacité à satisfaire cette forte demande, le Burkina Faso s'est mis à la recherche de financement pour pallier à ce handicap. C'est à cet effet qu'il a obtenu un financement de l'Agence Française de Développement (AFD), issu de fonds délégués par l'Union Européenne (UE) pour financer le coût du projet d'électrification de localités rurales au Burkina Faso le long de la ligne 330 kV du projet dorsale Nord du WAPP. L'entreprise PPI ayant soumissionné à l'appel d'offre s'est vu attribué les lots 1, 3 et 8 et c'est dans cette optique que nous avons jugés de travailler sur « l'étude et la réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 » car les non-lotis sont un véritable casse-tête pour l'Etat Burkinabè qui a du mal à lotir ces quartiers et y transporter de l'énergie. Les populations de ces quartiers finissent par se sentir délaissées. Soucieux de leur bien-être nous souhaitons par notre étude contribuer aux efforts tournés vers la recherche de voies et moyens pour servir à ces populations une énergie de qualité. Cela implique une analyse approfondie des besoins énergétiques, la planification du réseau, la sélection des équipements appropriés, et finalement la mise en place d'une infrastructure électrique efficace pour répondre aux exigences de cette zone spécifique. L'objectif global est d'étendre l'accès à l'électricité dans la région, améliorant ainsi les conditions de vie et favorisant le développement économique. Soucieux de produire un travail de qualité, nous avons opter de l'articuler cinq 5 grands axes ; en premier lieu nous présenterons la structure d'accueil, ensuite nous parlerons de généralité des réseaux HTA/BT après nous procèderons au dimensionnement électrique et mécanique du réseau de

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

deux manières à savoir manuel et avec le logiciel CAMELIA ; nous refermerons notre travail avec une estimation du cout financier de la realisation ainsi qu'une notice d'impact environnemental et social du projet. La conclusion récapitule les résultats clés obtenus et formule des recommandations, appuyées par diverses annexes pour une information plus détaillée.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET D'ETUDE

I.1 Présentation de la structure d'accueil

I.1.1 Historique de l'entreprise

La société anonyme dénommée Projet Production Internationale du Burkina Faso (PPI-BF) a été fondée en 1988 sous la direction de M. Patrice CHEVALIER, l'Administrateur Général. Son siège social est établi à Ouagadougou, sur l'avenue du Temple (en face du siège de UBA) à Dapoya, secteur N°3. PPI-BF dispose de filiales dans plusieurs localités du pays, favorisant ainsi une réactivité accrue pour les interventions en cas de pannes, de travaux de maintenance ou de chantiers dans des zones éloignées. Ces filiales sont présentes à Bobo Dioulasso, Banfora, Dédougou, Gaoua, Boromo et Koupéla, assurant une couverture étendue du territoire. De plus, PPI-BF étend son rayonnement au plan international avec des représentations dans des pays de la sous-région tels que le Bénin, Mali et le Niger, où l'entreprise est également très active. L'effectif total de l'entreprise s'élève à environ 520 employés, en plus de recourir à des prestataires et à des partenaires pour la réalisation de ses projets.

I.1.2 Les services

Les services de l'entreprise se divisent en deux grandes catégories. Tout d'abord, les services techniques englobent les activités suivantes : la production d'énergie thermique Diesel, comprenant l'installation de groupes de forte puissance, la maintenance industrielle, le ravitaillement en carburant et les pièces de rechange ; les systèmes solaires, incluant les installations solaires et la production d'énergie solaire ; le transport et la distribution de l'énergie, couvrant les postes et lignes en basse tension et haute tension, l'électrification rurale décentralisée, ainsi que les études et la fourniture d'équipements ; l'hydraulique-pompage, comprenant les réseaux et adductions d'eau potable simplifiés, les solutions de pompage et de stockage ; enfin, la délégation de services publics ruraux pour l'eau et l'électricité. Les services administratifs englobent l'ensemble des activités administratives et financières. Le projet Production Internationale se concentre principalement sur la fourniture, l'installation et la maintenance de groupes électrogènes, d'équipements solaires photovoltaïques, d'équipements hydrauliques, d'équipements industriels, de matériel d'irrigation, de lignes et centrales électriques. Toutes ces activités sont réalisées par un personnel compétent, consciencieux, rigoureux et solidaire dans le travail.

I.1.3 Organisation

Le personnel est réparti en six (06) grands départements : le département énergie solaire, le département énergie (Électromécanique), le département hydraulique, le département ligne, le département logistique et transit, et le département finance et comptabilité.

I.1.4 Les partenaires

Pour l'acquisition de matériel, la formation du personnel et les échanges d'expérience, PPI-BF entretient des partenariats, tant au niveau national qu'international, regroupés comme suit : au Burkina Faso nous avons par exemple **Hage Matériaux** qui est un fournisseur de matériel de génie civil (tubes, IPN, ciment, fer à béton, tôles aciers, etc.), en Côte d'Ivoire nous avons **SICABLE** qui est un fabricant de câbles électriques, au Maroc nous avons **NEXANS** qui est fournisseur d'équipements électriques mondialement reconnu avec qui l'entreprise entretient des liens étroits En Allemagne nous **GEBRUDER STEFFEN** qui produit du matériel hydraulique, industriel, électromécanique, En Chine nous pouvons citer **Junwei Electric** qui est un fournisseur d'équipements de protection pour les réseaux électriques.

I.1.5 Politique HSE de l'entreprise

La vision de l'entreprise est d'atteindre les normes internationales en matière de HSE (Hygiène Santé Environnement), basées sur les référentiels ISO 9001. Pour concrétiser cette vision, PPI s'engage à respecter les exigences légales et réglementaires, prévenir les impacts environnementaux négatifs, assurer la santé et la sécurité du personnel, promouvoir l'amélioration continue de son système de management et au regard de cette vision l'entreprise a reçu la certification ISO 9001 en 2024 au regard de ses efforts. Les objectifs HSE 2025 comprennent l'obtention de zéro non-conformité sur les chantiers, l'augmentation de 30% du taux de remontée des anomalies, la réduction du taux de déversement des substances polluantes, une meilleure gestion des déchets, et la réalisation d'activités d'écocitoyenneté.

I.2 Présentation du projet

I.2.1 Contexte du projet

Dans le cadre du Projet Dorsale Nord du WAPP, financé à hauteur de 692 millions USD, d'importantes infrastructures électriques sont mises en place pour renforcer l'intégration énergétique en Afrique de l'Ouest. Ce projet stratégique comprend notamment la construction

d'une ligne haute tension de 913 km reliant le Nigéria, le Niger et le Burkina Faso, visant à sécuriser et stabiliser l'approvisionnement en électricité dans la sous-région. En complément de cette infrastructure de transport, un vaste programme d'électrification rurale est déployé afin d'améliorer l'accès à l'énergie pour les populations situées le long du tracé. C'est dans cette dynamique que s'inscrit le projet d'étude et de réalisation du réseau HTA/BT pour l'alimentation des non-lotis de Nioko 2, qui vise à fournir une électricité fiable et sécurisée aux habitants de cette zone en pleine expansion. Ce projet, soutenu par le West African Power Pool (WAPP), s'aligne sur les objectifs de développement durable et d'intégration régionale de la CEDEAO, en garantissant une meilleure couverture électrique, en réduisant les disparités d'accès à l'énergie et en favorisant le développement socio-économique de la zone.

I.2.2 Justification du projet

Ce projet est crucial pour réduire la précarité énergétique, favoriser le développement local et améliorer les conditions de vie des habitants de Nioko 2. Il permettra d'assurer une alimentation électrique fiable, de prévenir les raccordements anarchiques et de garantir une meilleure sécurité des installations. De plus, il s'inscrit dans la stratégie nationale d'électrification visant à étendre le réseau aux zones périphériques.

I.2.3 Etat des lieux

Actuellement, Nioko 2 est partiellement électrifié avec des branchements informels, entraînant des risques de surcharge, d'accidents électriques et de mauvaises performances du réseau. L'absence d'une infrastructure HTA/BT bien dimensionnée limite l'accès à une énergie stable et sécurisée. Ce projet vise donc à concevoir et réaliser un réseau adapté aux besoins actuels et futurs de la zone.

I.2.4 Situation géographique du projet

Nioko 2 est un quartier situé dans l'arrondissement 10, secteur 42 à la périphérie Est de Ouagadougou dans la province du Kadiogo, région du Centre du Burkina Faso. Il se trouve dans une zone en forte expansion urbaine, caractérisée par un habitat non loti et un développement progressif des infrastructures.

I.2.5 Données de base

Les infrastructures liées au projet d'étude et de réalisation du réseau HTA/BT pour l'alimentation des non-lotis de Nioko 2 seront implantées dans la commune de Ouagadougou,

plus précisément dans le quartier Nioko 2. Ils seront conformes aux exigences imposées par les conditions climatiques suivantes :

I.2.6 Température

Les températures dans la zone du projet varient sensiblement au cours de l'année, avec des pics généralement enregistrés en mars et avril, et des températures les plus basses observées en décembre et janvier.

Les valeurs de conception des ouvrages sont établies comme suit conformément au DAO :

- température maximale annuelle moyenne : 35,3 °C Température minimale annuelle moyenne : 22,6 °C ,
- température moyenne annuelle : 28,6 °C

I.2.7 Vent

Au centre du Burkina Faso, les vents dominants varient selon les saisons : l'Harmattan souffle du nord-est en saison sèche, apportant un air sec et poussiéreux, tandis que la mousson venue du sud-ouest prévaut en saison pluvieuse avec un air humide. Nioko 2, situé à Ouagadougou, est soumis à ce même régime, avec une prédominance de vents modérés influencés par ces deux flux saisonniers. Ces vents jouent un rôle important dans le dimensionnement des structures extérieures comme les supports électriques. Pour les analyses, une vitesse moyenne des vents de 2 m/s est retenue, avec une vitesse maximale de 15 m/s.

I.2.8 Altitude

L'altitude de Nioko 2 est d'environ 300m au-dessus du niveau de la mer.

I.2.9 Niveau d'isolement

Les niveaux d'isolement externe respecteront la recommandation CEI 60071-1, comme le montre le tableau (1) ci-dessous. [4]

Tableau 1:Niveau d'isolement

Dénomination	Unité	Valeur
Tension nominale de service du réseau concerné	kV RMS	33
Tension la plus élevée du réseau - tension assignée	kV RMS	36
Tension nominale de tenue aux chocs de foudre	kV crête	170
Tension nominale de courte durée à fréquence industrielle	kV RMS	70

Après l'introduction de la structure d'accueil et la contextualisation du projet, nous analyserons les principes de base des architectures des réseaux électriques pour en maîtriser les mécanismes de conception et d'exploitation.

II. GENERALITES SUR LES RESEAUX DE DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE

II.1 Niveaux de Tension

Un réseau électrique est défini comme un ensemble d'appareils conçus pour acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les centres de consommation. La tension nominale attribuée à un réseau est classifiée selon la norme NF C 11-201[5], présentée dans le tableau suivant :

Tableau 2: Classification des réseaux en fonction de tension

Appellation actuelle	BTA	BTA	BTB	HTA	HTB
Appellation ancienne	TBT	BT	BT	MT	HT et THT
Alternatif (V)	$U \leq 50$	$50 < U \leq 500$	$500 < U \leq 1.000$	$1.000 < U \leq 50.000$	$U > 50.000$
Continu (V)	$U \leq 120$	$120 < U \leq 750$	$750 < U \leq 1.500$	$1.500 < U \leq 75.000$	$U > 75.000$

II.2 Fonctions des Réseaux Électriques

On distingue trois grandes catégories de réseaux correspondant à différents niveaux de tension :

- les réseaux de transport, opérant sous très haute tension, assurent le transport efficace du courant électrique sur des distances de centaines de kilomètres, minimisant les pertes d'énergie,
- les réseaux de répartition, sous haute ou moyenne tension, gèrent la distribution énergétique à une échelle locale,
- les réseaux de distribution, sous moyenne ou basse tension, alimentent directement les utilisateurs via des postes de transformation.

En outre, on distingue :

- les réseaux d'interconnexion, parmi les réseaux de transport, facilitant le partage d'énergie entre deux ou plusieurs pays,
- les réseaux d'utilisation, privés aux consommateurs, alimentent directement leurs appareils domestiques.

Tableau 3: Différents Types de Réseaux, selon Schneider Electric

Tension normalisées usuelles	Catégorie	Types de réseaux	Puissances de livraison (kVA)
230 V /400 V	BT	Réseau de distribution	$P \leq 250$
15/20/33 kV	MT	Réseau de distribution	$250 < P \leq 10.000$
63/90/110 kV	HT	Réseau de répartition	$10.000 < P \leq 40.000$
225 /380 kV	THT	Réseau de transport	$40.0 < P$

II.3 Architecture des réseaux de distribution

La figure ci-après représente l'architecture d'un réseau de distribution

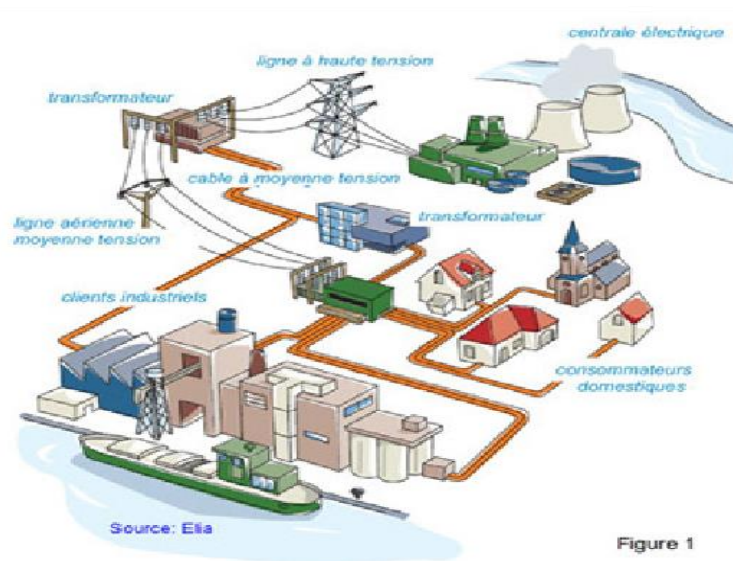


Figure 1: Aperçu d'un réseau de distribution électrique

L'élaboration d'un réseau électrique implique des décisions cruciales en termes de coûts et d'architecture afin d'assurer une desserte maximale en respectant rigoureusement les critères techniques et économiques, tout en garantissant la sécurité et la continuité du service électrique. Trois types d'architectures de réseau sont distingués :

1. **les réseaux arborescents ou en antenne** : Ces réseaux se composent de plusieurs artères se ramifiant sans converger vers un point commun. En cas de défaut, l'ensemble des clients en aval peuvent être affectés.

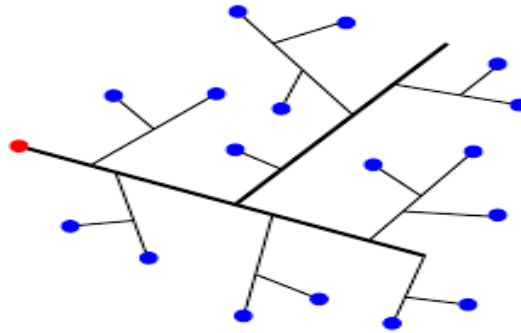


Figure 2: Un réseau arborescent

2. **Les réseaux bouclés ou en coupure d'artère** : Les charges sont alimentées par diverses sources qui peuvent agir immédiatement en tant que secours en cas d'indisponibilité d'une source. Cette configuration est principalement utilisée pour les réseaux de transport et de répartition.

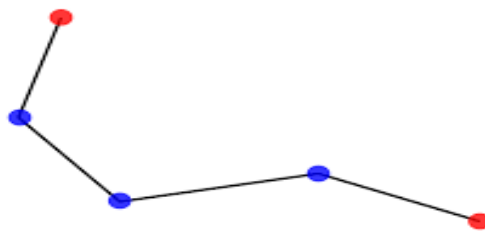


Figure 3: Un réseau bouclé

3. **Les réseaux maillés** : Les réseaux maillés présentent des boucles entre toutes les lignes, assurant une connectivité importante entre les postes et offrant ainsi une grande sécurité d'alimentation.

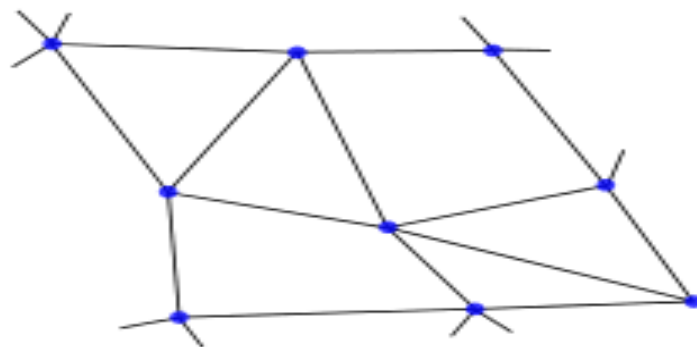


Figure 4: Un réseau maillé

Dans notre cas d'étude, où la continuité de service est limitée, une structure arborescente est considérée comme appropriée.

II.4 Composants des réseaux de distribution aériens

Les réseaux de distribution électrique se composent d'éléments essentiels qui sont soigneusement agencés et remplissent des fonctions spécifiques. Parmi les composants indispensables, on retrouve les conducteurs, les organes de coupure, les postes de transformation, les supports et les armements.

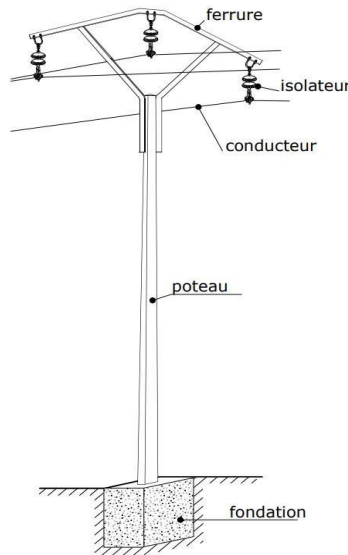


Figure5: Composantes d'une ligne électrique

II.4.1 Les supports

Les supports jouent un rôle crucial dans le réseau électrique en assumant le poids des conducteurs électriques (nus en HTA, mais isolés en BT). Leur caractérisation inclut des aspects tels que la hauteur, l'effort nominal et l'effort de déformation permanente. La diversité des supports dépend de leur utilisation, présentant les caractéristiques suivantes :

- les supports en bois, légers et flexibles, sont particulièrement accessibles mais affichent un effort de tête relativement faible. Ils sont employés dans les réseaux BT et HTA,
- les supports en béton, nécessitant peu d'entretien mais étant fragiles, lourds et peu flexibles, sont utilisés dans les réseaux HTA et BT,
- Les supports métalliques offrent une facilité de mise en œuvre et d'ascension, requérant toutefois des entretiens périodiques pour préserver la peinture. Ils trouvent leur application dans les réseaux HT et BT.

Historiquement, les supports métalliques sont les plus répandus au Burkina Faso, bien que les supports en béton gagnent en popularité de nos jours. Ces derniers présentent une variété de caractéristiques et ne nécessitent aucun entretien. De plus, leur fabrication locale mobilise la main-d'œuvre et les matières premières locales, ce qui réduit les coûts et la durée de production.

Pour notre étude, nous optons pour l'utilisation de poteaux en béton produits par l'entreprise PPI. En fonction de leurs rôles, nous distinguons différents types, tels que SF (Simple Fixation), DA (Double Ancrage), AS (Arrêt Simple), et AD (Arrêt Double). Conformément à la norme NFC 11-201, les supports en HTA utilisés en alignement ont une hauteur de 12 m, tandis que ceux traversant des routes peuvent aller jusqu'à 14 m. Le support se caractérise par sa hauteur, sa classe et son effort en tête. Pour un support de type 9 A 650, les composants sont les suivants :

9 = Hauteur totale du support (en mètres)

A = Classe du support

650 = Effort en tête du support (actuellement égal à 650 daN)

II.4.2 Types de conducteurs

Leur principale fonction est d'acheminer l'énergie électrique en assurant un transport efficace et sécurisé. Les conducteurs HTA et BT doivent être capables de supporter des charges élevées tout en limitant les pertes et en optimisant les coûts d'installation et d'exploitation. Ils sont exposés à divers facteurs tels que les variations de température, le vent, la foudre ou encore des risques de vandalisme. Pour garantir leur durabilité et leur maniabilité, ces conducteurs doivent être à la fois robustes, suffisamment flexibles et légers afin de faciliter leur installation et leur maintenance. C'est pourquoi ils sont fabriqués à partir de matériaux tels que l'aluminium, l'acier ou des alliages spécifiques comme l'almelec, qui offrent un bon compromis entre résistance mécanique, conductivité et longévité.

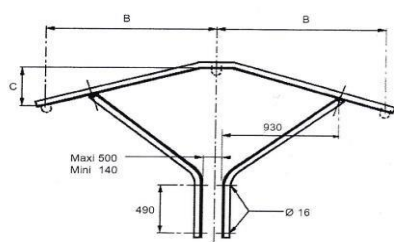


Figure 6: Conducteur aluminium

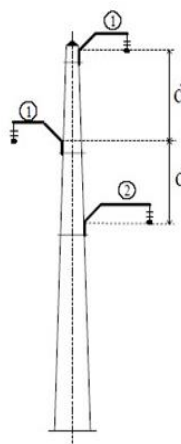
II.4.3 Les armements

Un dispositif d'armement regroupe divers accessoires assurant la fixation du conducteur sur un support. Il remplit une fonction électrique en évitant tout contact entre les conducteurs nus et le support, tout en assurant une fonction mécanique pour résister aux contraintes exercées par le câble (poids/pression du vent). Les ferrures, herses, dispositifs de fixation, etc., constituent autant d'éléments composant le dispositif d'armement. En général, plusieurs types de ferrures d'armement de formes et de dimensions diverses sont rencontrés. Ils se distinguent par leur fonction ou par l'écartement des conducteurs. On peut citer :

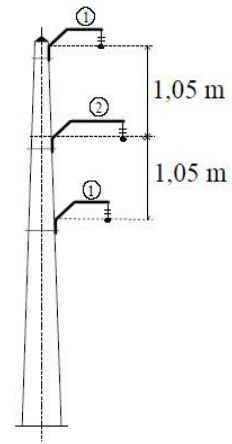
- Les dispositifs d'armement en **nappe-voûte** : NV1, NV2, NW. Ils servent d'armements pour les supports d'alignement ou d'angles faibles inférieurs à 10 degrés dans les zones offrant suffisamment d'espace, comme en rase campagne par exemple ;
- Les dispositifs d'armement en **alternés** : Généralement utilisés dans des zones urbaines en système suspendu ou rigide, ils permettent de limiter l'espace occupé par les conducteurs ;
- Les dispositifs d'armement en **drapeau** : Ils sont également employés dans des zones urbaines près des bâtiments, en système suspendu ou rigide, pour réduire l'encombrement des conducteurs.



Armement nappe-voûte



Armement en Alterné



Armement en drapeau

Figure 7: Types d'armements des supports électriques

II.4.4 Les isolateurs

Leur fonction principale est de fixer les conducteurs tout en assurant une isolation pour protéger contre les fuites de courant. Ces dispositifs peuvent être fabriqués en verre, en céramique (ou porcelaine), en composite. Ils adoptent généralement la forme d'un empilement d'assiettes, le nombre d'assiettes variant en fonction du niveau de tension :

- les dispositifs isolants rigides, composés d'assiettes collées, peuvent être utilisés en position verticale, horizontale ou oblique ;
- les dispositifs isolants suspendus ou chaînes d'isolateurs sont constitués d'assiettes emboîtées, offrant l'avantage d'établir une liaison souple entre les conducteurs et leurs supports, permettant ainsi une répartition plus efficace des contraintes sur les portées.



Figure 8: Isolateur en composite

II.4.5 Les postes de transformation

Les postes de transformation du réseau de distribution Les postes de transformation HTA/BTA du réseau de distribution permettent de convertir la tension de haute valeur à une valeur plus basse, adaptée à l'utilisation prévue. Selon leur dimension ou leur utilité, on distingue les postes en cabine maçonnée ou préfabriquée, codifiés H59 par la SONABEL, équipées de transformateurs de 160 kVA à 630 kVA, et les postes haut de poteau, codifiés H61 équipés de transformateurs de 50 kVA à 160 kVA. Tous les équipements et appareils électriques doivent répondre aux exigences électriques, mécaniques et environnementales du site d'implantation du poste de transformation.

II.4.6 Les dispositifs de protection du réseau de distribution

Afin d'assurer une continuité optimale du service électrique et la protection des équipements électriques, des dispositifs de coupure sont installés dans les postes de transformation ou le long des lignes électriques pour ouvrir une ligne en cas de défaut ou d'intervention. Sur les lignes électriques, on distingue les dispositifs de coupure et de protection suivants :

- les Interrupteurs Aériens à Commande Manuelle (IACM) et les Interrupteurs Aériens à Creux de tension (IACCT) assurent la coupure et l'isolement du réseau sans toutefois le protéger,
- les parafoudres, utilisés pour se prémunir contre les surtensions d'origine atmosphérique, sont positionnés sur chaque phase du transformateur ou support de transformateur, ainsi que sur chaque point de changement de nature de câble, comme dans le cas des descentes aériennes/souterraines,
- les mises à la terre (Neutre à la Terre et Masses métalliques à la Terre) dirigent les décharges vers la terre, assurant ainsi la protection des installations contre tout contact accidentel,
- les disjoncteurs haut de poteau équipés d'un déclencheur thermique protègent les transformateurs contre les courts-circuits BT et les surcharges en zone rurale,
- les fusibles HTA et BTA sont utilisés pour la protection du transformateur en zone urbaine, et parfois les fusibles éjectables pour les stations haut de poteau en zone rurale.

La coordination de ces différentes protections est assurée grâce à un choix judicieux des calibres afin de garantir une sélectivité efficace.

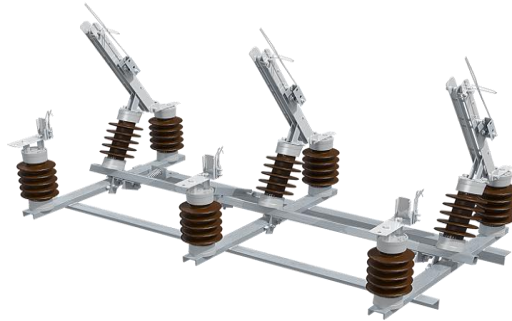


Figure 9: Interrupteur Aérien à commande manuelle

II.4.7 Les connecteurs

L'armement d'un support englobe une variété de matériels qui contribuent à la fixation et au maintien des conducteurs sur cet armement. Les éléments comprennent :

- l'étrier, qui facilite l'accrochage de la chaîne à l'armement,
- l'œillet à rotule, utilisé pour attacher l'isolateur,
- l'isolateur composite, qui établit la liaison entre l'œillet à rotule et le ball socket,
- le ball socket, permettant de connecter l'isolateur à la pince.
- La pince, qui a pour rôle de serrer le conducteur à l'isolateur.

II.4.7.1 Ensemble de suspension

Cet équipement est utilisé pour aligner les conducteurs dotés d'un neutre porteur isolé. Il s'agit d'un ensemble monobloc compatible avec le conducteur porteur et des sections pouvant aller jusqu'à 95 mm². Il se compose de deux éléments :

- la console : Fabriquée en alliage d'aluminium, elle permet la fixation sur le support à l'aide d'un boulon,
- la liaison mobile : Cette pièce assure la mobilité de la pince. Fabriquée dans un matériau isolant de haute résistance mécanique et résistant aux agents extérieurs et au vieillissement, elle offre une isolation supplémentaire importante entre le support et le conducteur.



Figure 10: Ensemble de suspension

II.4.7.2 Ensemble d'ancrage

Cet équipement est employé pour arrêter ou orienter la ligne, pouvant être utilisé en simple ou double ancrage pour les conducteurs équipés d'un neutre porteur isolé. Il comprend deux éléments :

- la console : Fabriquée en alliage d'aluminium, elle est conçue en monobloc pour permettre un ancrage simple ou double, ainsi que pour la fixation au support,
- la pince d'ancrage : Il s'agit d'une pince à coincement conique qui se fixe fermement sur le conducteur.



Figure 11: Ensemble d'ancrage

II.5 Le réseau souterrain

Les réseaux de liaisons souterraines sont principalement présents en milieu urbain, où la densité de la charge électrique justifie des investissements plus importants qu'en milieu rural. En ce qui concerne les tranchées, différents types sont utilisés en fonction des besoins et des contraintes environnementales :

- la tranchée ordinaire est construite dans des conditions peu contraignantes, avec des dimensions variables selon son utilisation,
- la tranchée busée, quant à elle, intègre un tube en PVC destiné à accueillir le conducteur. Ce type de tranchée est recommandé pour les traversées de voies et autres zones sensibles,

- le fonçage est utilisé lorsqu'il est difficile d'ouvrir une tranchée, permettant de creuser sous un ouvrage à l'aide d'une foreuse, puis de placer un tube PVC pour contenir le conducteur.

Plusieurs paramètres sont pris en compte lors de la création d'une tranchée :

- la largeur de la tranchée est déterminée en fonction du nombre et des dimensions des conducteurs, ainsi que de la présence éventuelle d'accessoires tels que des boîtes de dérivation ou de jonction. Un espacement minimum de 0,20 m entre deux conducteurs est recommandé,
- la profondeur de la tranchée varie de 0,80 m minimum pour les accotements à 1,20 m minimum pour les traversées de voies.

Lors de la fermeture des tranchées, une couche de sable fin de 10 cm d'épaisseur est répandue sur le fond avant la pose du conducteur. Ensuite, la terre est remise en place après la pose du conducteur, et un grillage avertisseur de couleur rouge est placé le long de la tranchée à quelques centimètres de la surface. Des bornes de direction sont également placées pour indiquer l'orientation de la tranchée.

Les boîtes de jonction permettent de connecter deux conducteurs du même réseau et du même type, tandis que les extrémités sont utilisées en bout de ligne pour effectuer des raccordements dans un poste ou sur un support.

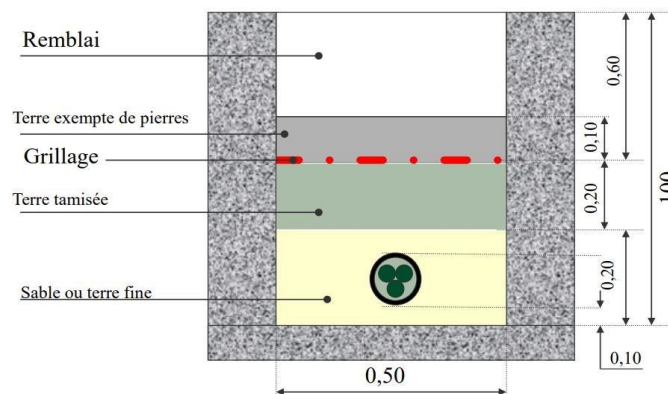


Figure 12: Pose en tranchée sous chaussée d'un câble en terrain normal

III. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU HTA/BT

La conception d'un réseau HTA/BTA pour l'électrification des localités périphériques doit prendre en compte plusieurs aspects technico-économiques afin de garantir un service fiable et durable. Le processus de dimensionnement inclut les étapes suivantes :

- **Analyse des besoins en énergie** : Cette étape consiste à évaluer la consommation électrique actuelle et future des non-lotis de Nioko 2. Elle prend en compte les infrastructures existantes, les besoins des habitants et le potentiel de développement économique afin d'adapter la capacité du réseau aux exigences locales.
- **Modélisation du réseau** : Une simulation du réseau est réalisée pour analyser différentes configurations et optimiser la distribution de l'énergie. Cette phase inclut l'évaluation des pertes techniques, l'analyse des contraintes de charge et la vérification de la stabilité du réseau afin d'assurer une alimentation fiable et efficace.
- **Choix des composants** : Le dimensionnement des lignes HTA/BT, des transformateurs et des équipements de protection est effectué en tenant compte des normes de sécurité et de performance. Les recommandations de la **Commission Électrotechnique Internationale (IEC)** sont suivies afin de garantir la fiabilité, l'efficacité et la durabilité du réseau électrique.

Le dimensionnement a pour objectif d'optimiser les coûts d'investissement tout en garantissant une fiabilité maximale du réseau, notamment dans les zones à faible densité de population. Il repose sur deux étapes essentielles : d'abord le **dimensionnement électrique**, qui constitue la phase initiale de l'étude, suivi du **dimensionnement mécanique**, indispensable pour valider la conception et assurer la robustesse des infrastructures.

III.1 Dimensionnement électrique

Le dimensionnement électrique est le processus de calcul et de sélection des composants nécessaires pour concevoir le système électrique capable de fonctionner de manière sûre, efficace et fiable. Les étapes sont :

- ✓ recueil des données ;
- ✓ schéma unifilaire ;
- ✓ étude technique et validation ;
- ✓ choix du matériel ;
- ✓ protection du réseau ;
- ✓ système de contrôle-commande.

III.2 Dimensionnement mécanique

Le dimensionnement mécanique est le processus de conception et de calcul visant à déterminer les dimensions, les matériaux, et les configurations des composants mécaniques afin qu'ils puissent supporter les charges et conditions d'utilisation prévues, tout en assurant sécurité, durabilité et performance. Les étapes sont :

- ✓ choix du tracé du réseau ;
- ✓ élaboration du profil en long de la ligne ;
- ✓ pose des hypothèses de calculs ;
- ✓ choix des portées ;
- ✓ détermination de la hauteur des supports ;
- ✓ positionnement des supports ;
- ✓ calcul des écartements des conducteurs et les efforts sur les armements ;
- ✓ calcul des efforts exercés sur les supports ;
- ✓ calcul des efforts exercés sur les armements ;
- ✓ élaboration du carnet de piquetage.

III.3 Présentation des logiciels utilisés

III.3.1 Google earth pro

Google Earth Pro, la version avancée du logiciel de cartographie de Google, propose des fonctionnalités professionnelles adaptées à la planification et à l'ingénierie. Pour notre étude, il a été utilisé pour cartographier la zone d'étude et concevoir le réseau électrique. Parmi ses principales caractéristiques, on retrouve la visualisation en haute résolution, la création et l'édition de tracés, la mesure des distances et des surfaces, ainsi que la possibilité d'exporter des cartes. Ces fonctionnalités ont considérablement facilité l'analyse spatiale, la compréhension du terrain et la validation des tracés, faisant de Google Earth Pro un outil indispensable pour une planification précise et efficace.

III.3.2 GPS TRACKMAKER

Il s'agit d'un logiciel dédié à la gestion, l'importation et l'analyse des données issues du Global Positioning System (GPS). Il est couramment utilisé pour le traitement des relevés topographiques et cartographiques, notamment dans les domaines de l'ingénierie, de la géodésie et de l'aménagement du territoire. Dans le cadre de ce mémoire, ce logiciel a été essentiel pour l'importation des levés de terrain ainsi que pour l'analyse et le traitement des données du Dossier d'Appel d'Offre (DAO).

III.3.3 CAMELIA

CAMELIA est un logiciel dédié à l'analyse et au dimensionnement mécanique des lignes électriques aériennes, particulièrement dans le domaine des lignes haute tension et basse tension. Il est conçu pour effectuer des calculs précis en tenant compte des contraintes mécaniques, des charges climatiques et des spécifications techniques des équipements.

Dans le cadre de ce mémoire, il a été utilisé pour le dimensionnement mécanique des lignes.

III.3.4 Autocad

AutoCAD est un logiciel aidant dans la conception et la modélisation des plans techniques du réseau HTA/BT. Ce logiciel est utilisé pour créer des dessins précis et détaillés des installations électriques, y compris les plans des lignes, des postes de transformation, et des infrastructures associées. Dans le cadre de notre étude il nous a permis de représenter fidèlement la zone d'étude ainsi que le tracé des lignes HTA/BT

Une fois les approches de dimensionnement définies, passons à l'étude détaillée et au dimensionnement de la ligne HTA 33 kV pour la desserte de la zone d'étude concernée.

IV. DIMENSIONNEMENT DE LA LIGNE HTA 33 kV

IV.1 Présentation de la ligne

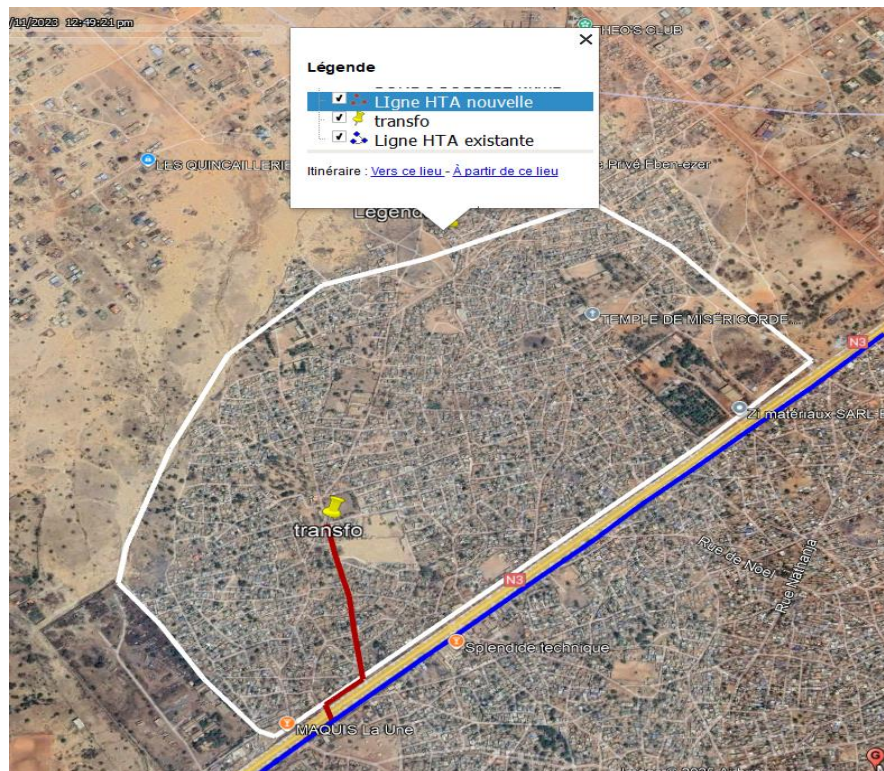


Figure 14: présentation de la ligne HTA


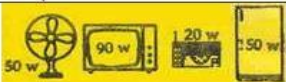


IV.2 Dimensionnement électrique de la ligne HTA 33kV

Le dimensionnement électrique d'une ligne HTA vise à déterminer les principales caractéristiques électriques nécessaires pour assurer une distribution efficace de l'énergie, tout en réduisant au maximum les pertes en ligne.

IV.2.1 Puissance transitée par la ligne

L'estimation de la puissance à transiter dans ce projet repose sur les données collectées lors d'un sondage de terrain mené dans la localité à électrifier. Plutôt que d'utiliser la méthode des surfaces, une approche fondée sur l'analyse des informations recueillies sur place a été adoptée afin d'évaluer précisément les besoins énergétiques de chaque ménage.

Tableau 4: Répartition des classes de branchements électriques selon la SONABEL

<div><div></div><div><h1>SOCIETE NATIONALE D'ELECTRICITE DU BURKINA</h1><h2>QUELLE PUISSANCE VOUS EST NEECESSAIRE ?</h2></div></div>									
Tarif social ménage	Eclairage Ampoules (Watts)	60W x 6	<p>La tarification prend en compte et votre consommation et votre puissance souscrite (prime fixe). Le montant de votre facture augmente avec la puissance mise à votre disposition. Vous avez donc intérêt à déterminer de façon juste la puissance dont vous avez réellement besoin.</p> <p>VOS BESOINS (exemple)</p>	Somme des puissances de l'ensemble de vos appareils et de votre éclairage	Réglage du disjoncteur si tous vos appareils étaient utilisés en même temps et à pleine puissance	Puissance à souscrire		<p>La puissance qui vous est nécessaire n'est pas forcément la somme des puissances de chacun de vos appareils (car vous ne les utilisez pas tous en même temps et à pleine puissance) mais seulement la puissance réellement utilisée par les appareils que vous souhaitez faire fonctionner en même temps.</p>	
						Branchement 2 fils			
						KW	Réglage disjonct. (Ampère)		
			<p>En plus de l'éclairage, vous pouvez utiliser quelques appareils</p> 	670W	5A	0,66 KW 660 W	3 Ampères (A)		<p>Aussi, pour obtenir la puissance à souscrire, il est nécessaire d'appliquer à la somme des puissances un coefficient d'utilisation spécifique au comportement de chaque abonné, dans ce domaine.</p>
Ménage	60W x 5		<p>En plus de l'éclairage, vous pouvez utiliser les appareils électroménagers courants</p> 	1450W	10A	1,1 KW 1100 W	5 A		<p>L'expérience montre ce coefficient décroît lorsque le nombre des appareils augmente.</p>
Confort	60W x 20		<p>En plus de l'éclairage, et les appareils électroménagers courants, vous souhaitez faire fonctionner un appareil important: Climatiseur et fer à repasser</p> 	2740W	15A	2,2 KW 2200 W	10 A		<p>Nous retenons ici un coefficient d'utilisation moyen de 0,7</p>

Les données ont ainsi permis de donner une estimation des besoins spécifiques de la localité et une estimation de la charge électrique à transiter sur la ligne HTA. Les formules de calculs utilisées pour la détermination de puissance sont :

$$S_{monophasé} = U \times I \quad (1)$$

$$S_{triphase} = \sqrt{3} \times U \times I \quad (2)$$

$$P = S \times \cos \varphi \quad (3)$$

Avec :

$S_{monophasé}$: Puissance apparente en monophasé en kVA

$S_{triphase}$: Puissance apparente en triphasé en kVA

P : Puissance active en kW

U : Tension électrique en V

I : Intensité du courant en A

$\cos \varphi$: Facteur de puissance

Tableau5: Estimation des besoins de la localité

Type de souscripteur	Branchement suggéré	Nombre	Tension (V)	Puissance apparente(VA)	Coeff de pondération	Puissance par type de consommateur (KVA)
Menages modeste	3A monophasé	195	230	134550	0,4	53,82
Menages moyens	5A monophasé	53	230	60950	0,4	24,38
Menages aisés	10A monophasé	14	230	32200	0,53	17,066
boutiques d'alimentation	10A monophasé	4	230	9200	1	9,2
kiosques	3A monophasé	5	230	3450	0,78	2,691
Salon de coiffure	5A monophasé	2	230	2300	1	2,3
Atelier de soudure	10A triphasé	2	400	8000	1	8
Ecoles	10A triphasé	2	400	8000	1	8
Lieux de cultes	10A triphasé	2	400	8000	1	8
S(kVA)						133,457
cos φ						0,9
P(kW)						120,11

S(kVA)=133,457 en rajoutant une marge de 20% pour des extensions futures on obtient :

$$S(kVA)= 133,457*1,2$$

$$S(kVA)=159,6$$

Au regard de la valeur de la puissance apparente trouvée nous optons pour un transformateur haut de poteau de **160kVA** pour notre zone d'étude ce qui est conforme à la recommandation du DAO.

Dans la suite de notre travail nous utiliserons la valeur de 160 kVA soit une puissance de 144kW pour nos calculs.

Le tableau pour le choix des coefficients de pondération est donné en **(ANNEXE1)**

IV.2.2 Calcul de la section du conducteur aérien

Le choix des conducteurs d'une ligne électrique aérienne dépend de plusieurs critères, qui varient en fonction du type de ligne. Pour une ligne de distribution HTA, comme celle du projet, les principaux paramètres à prendre en compte sont le courant admissible, les contraintes liées aux chutes de tension et la résistance au courant de court-circuit.

IV.2.2.1 La puissance P_n

Le dimensionnement de la ligne est prévu pour une durée de vie de 15 ans, afin d'accompagner la croissance démographique et le développement socio-économique de la localité desservie. Cette approche permet d'anticiper l'augmentation de la demande énergétique tout en évitant une saturation précoce de la capacité de la ligne, garantissant ainsi une alimentation fiable et adaptée aux besoins futurs. De plus, un horizon de 15 ans assure une stabilité opérationnelle et optimise les investissements initiaux en limitant les besoins de renforcement prématuré et coûteux.

La puissance électrique P₁₅ projetée à l'horizon de 15 ans se détermine à l'aide de la formule suivante :

$$P_{15}=P_1*(1+g)^{15}(4)$$

Avec :

P₁₅= Puissance à l'année 15 du projet

P₁= Puissance à l'année 1 du projet

g= Taux de croissance de la demande en énergie, avec $g = E \times i$

15= durée du projet

Dans le cadre du dimensionnement du réseau HTA/BT pour l'électrification de Nioko 2, la croissance de la demande énergétique $\ll g \gg$ n'est pas strictement proportionnelle à celle de la population $\ll i \gg$. En effet, l'accès à l'électricité entraîne généralement une augmentation progressive de la consommation par habitant, due à l'acquisition d'équipements électriques supplémentaires et à l'évolution des habitudes de vie. Pour mieux ajuster cette relation, un

facteur d'élasticité $\ll E \gg$ est introduit afin d'établir un lien entre l'évolution démographique et la hausse de la demande énergétique. Dans cette étude, nous avons retenu l'hypothèse d'un taux de croissance constant pour simplifier les projections futures. Le taux maximal observé dans la zone, estimé à **3%**, a été déterminé à partir de l'évolution de la population entre 2013 et 2020. Ce choix garantit une capacité suffisante du réseau pour répondre à la demande la plus élevée anticipée. Par ailleurs, le coefficient d'élasticité **E**, généralement compris entre 1 et 1,5, a été fixé à **1,2**, afin de tenir compte d'une augmentation modérée de la consommation par habitant au fil du temps. Ainsi, en appliquant la formule de projection, la demande énergétique prévue à l'année **15** est déterminée comme suit :

$$P_{15} = 144 * [1 + (1,2 * 0,03)]^{15}$$

$$P_{15} \approx 244,78 \text{ kW}$$

IV.2.2.2 Section minimale admissible

La section minimale **S** est calculée théoriquement à l'aide de la formule suivante :

$$S = \frac{S_0 \times r_0}{r} \quad (5)$$

Avec :

- S_0 : section de référence prise égale à 100 mm² ;
- r_0 : résistivité linéique à 20 °C en $\Omega/\text{km}/100 \text{ mm}$;
- r : résistance linéique du conducteur en Ω/km .

Une tolérance de chute de tension de **5 %** pour le réseau HTA 33 kV est justifiée dans ce contexte de quartier périphérique en raison des longues distances entre les sources d'alimentation et les localités à desservir, ce qui entraîne inévitablement une chute de tension plus importante. Cette marge permet d'éviter un surdimensionnement excessif et coûteux des conducteurs tout en garantissant une alimentation électrique fiable. Dans le cadre du dimensionnement, il est nécessaire de déterminer la valeur de « **r** » telle que :

$$\frac{\Delta U}{U} = (r + x \tan \varphi) \times \frac{P \times L}{U^2} = 5\%$$

D'où :

$$r = 5\% \times \frac{U^2}{P \times L} - x \tan \varphi \quad (6)$$

Avec :

- L : Distance de la ligne en km
- U : Tension de la ligne en kV
- P : Puissance transitée dans la ligne en MW

- x : réactance linéique du conducteur en Ω/km compris entre [0.3 et 0.35]

En considérant les données pour ce projet, la valeur de r est la suivante : La valeur de réactance a été considérée égale à $0.35 \Omega/\text{km}$ et la longueur de la ligne est de $2,061 \text{ km}$:

$$r = 151,46 \Omega/\text{km}$$

On peut déduire aisément la section S :

$$S = 0,31 \text{ mm}^2$$

La section théorique calculée de $0,31 \text{ mm}^2$ peut paraître très faible, mais elle s'explique par la conjonction de plusieurs paramètres techniques spécifiques au projet. Tout d'abord, le niveau de tension de la ligne a été défini à partir de la relation : $U = k \times \sqrt{P \times L}$, où P est la puissance active en MW, L la longueur en km, et k un coefficient dépendant des critères de régulation du réseau. L'analyse par abaque a initialement suggéré une tension de 15 kV comme valeur optimale. Toutefois, en raison de la présence à proximité d'une ligne existante en 33 kV , il a été plus judicieux, du point de vue économique et d'exploitation, de s'aligner sur ce niveau de tension supérieur. Ce choix a un impact direct sur le courant à transporter, qui devient plus faible pour une même puissance, réduisant ainsi la section théorique requise. D'autres éléments viennent renforcer cette tendance :

- La courte distance de la ligne HTA ($2,061 \text{ km}$) limite naturellement les pertes par effet Joule et les chutes de tension, ce qui diminue encore les contraintes électriques sur la section.
- La faible puissance à transmettre ($0,144 \text{ MW}$) implique des intensités réduites, ce qui justifie techniquement l'utilisation d'un conducteur de faible section.

Ainsi, la combinaison d'une tension élevée, d'une distance modérée et d'une puissance relativement faible mène logiquement à une valeur de section théorique très basse.

Cependant, dans le cadre de la normalisation appliquée par la SONABEL, seules certaines sections standardisées sont utilisées pour les lignes HTA, à savoir $54,6 \text{ mm}^2$, $75,5 \text{ mm}^2$ et 148 mm^2 . En plus le DAO impose de s'aligner sur la section $54,6 \text{ mm}^2$ donc c'est cette section qui a été retenue pour garantir la robustesse, la durabilité, ainsi que la compatibilité avec les standards du réseau national.

IV.2.2.3 Vérification du courant admissible max dans le conducteur choisi

La vérification de l'intensité admissible consiste à s'assurer que l'intensité du courant liée à la charge ne dépasse pas la capacité de transport du câble choisi. Pour cela, on compare l'intensité calculée avec l'intensité admissible maximale correspondant à la section du conducteur. Ces

valeurs de référence sont fournies dans le tableau (6), qui présente un abaque[6] des intensités admissibles selon les sections normalisées.

$$I_n = \frac{P^{15}}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} \quad (7)$$

Tableau 6: Intensités admissibles pour conducteur nu aérien

Conducteur	1	2	3	4	5	$\Delta \theta$	Jour	Nuit
Almelec 34,4	110	130	150	165	180	15	1	2
Almelec 54,6	145	175	195	220	240	20	2	3
Almelec 117	235	280	320	355	390	25	3	4
Almelec 148	270	320	370	410	455	30	4	5
Almelec 228	350	420	485	540	595	35	5	
Al/Ac 116	225	265	305	340	375			
Al/Ac 147	260	310	355	395	435			
Al/Ac 228	340	405	465	520	570			
Cu 29,3	135	160	180	200	220			
Cu 48,3	185	215	245	275	300			
Cu 116,2	315	375	430	480	525			

En tenant compte d'une variation moyenne de température de 20 °C entre le jour et la nuit, la valeur maximale de l'intensité admissible retenue dans le tableau 6 pour un conducteur de 54,6 mm² est de 175 A. Cette intensité admissible demeure largement supérieure au courant nominal du projet, estimé à 7,5 A, garantissant ainsi un fonctionnement sûr et sans surcharge du câble.

IV.2.2.4 Vérification de la tenue au courant de court-circuit

Cette vérification s'effectue en deux étapes essentielles. La première consiste à déterminer le courant maximal que le conducteur peut supporter en cas de court-circuit, en s'appuyant sur ses caractéristiques techniques (section, matériau, etc.). La seconde étape consiste à calculer le courant de court-circuit théorique dans le réseau, puis à le comparer à la capacité admissible du conducteur. Cette démarche permet de s'assurer que le conducteur sélectionné offre un niveau de sécurité et de fiabilité conforme aux exigences du réseau.

IV.2.2.4.1 Courant de court-circuit maximal

$$I_{\max} = \frac{S \times a}{\sqrt{t_{cc}}} \quad (8)$$

Avec :

- S : Section du conducteur en mm²
- a : Facteur relatif au matériau
- t_{cc} : Temps de tenue au court-circuit

Le tableau (7) suivant fourni les valeurs du facteur a en fonction de la nature du conducteur

Tableau 7: Facteur « a » assigné aux différents types de conducteurs

Type de matériau	a
Cuivre	105,3
Aluminium	55,07
AMS	61,98
Almélec	76,4

La nature du conducteur choisi dans cette étude est l'almelec et dont le paramètre a est égale à 76,4. Il sera émis l'hypothèse de calculer le courant de court-circuit pour 1s et pour 3s et les résultats sont présentés dans le tableau (8) :

$$I_{\max} = \frac{54.6 \times 76,4}{\sqrt{t_{cc}}}$$

Tableau 8: Valeur de courant de court-circuit max pour 1s et 3s

t_{cc}	I_{\max}
1s	4.18 kA
3s	2.4 kA

IV.2.2.4.2 Courant de court-circuit du réseau

Ce calcul est basé sur la méthode des impédances, conformément aux exigences de la norme IEC 60909, qui régit le dimensionnement des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés. Cette norme offre un cadre méthodologique rigoureux, permettant une évaluation fiable et précise des grandeurs électriques en situation de défaut.

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{cc}} \quad (9)$$

Avec :

- I_{cc} : courant de court-circuit (A).
- U : tension nominale au point de défaut (V).
- Z_{cc} : impédance équivalente totale du réseau jusqu'au point de défaut (Ω).

Le paramètre central de ce calcul est l'impédance équivalente de court-circuit Z_{cc} , qui intègre à la fois la contribution du réseau amont et celle de la nouvelle ligne à créer. Ces deux composantes doivent être déterminées séparément afin d'assurer une évaluation précise du courant de défaut.

Impédance du réseau amont

L'impédance du réseau amont, qui reflète les caractéristiques électriques de la source d'alimentation, est déterminée à partir de la relation suivante :

$$Z_{\text{amont}} = \frac{U_{\text{amont}}^2}{S_{\text{cc,amont}}} \quad (10)$$

Où :

- U_{amont} : tension nominale du réseau amont (V).
- $S_{\text{cc,amont}}$: puissance de court-circuit disponible au niveau amont (VA).

La formule utilisée pour estimer l'impédance équivalente de la source est directement issue de la norme IEC 60909, qui établit le lien entre cette impédance et les caractéristiques du réseau amont. Dans notre cas, la SONABEL, gestionnaire du réseau électrique national, fournit la valeur de la puissance de court-circuit au niveau 33 kV, fixée à 500 MVA.

$$Z_{\text{amont}} = \frac{33000^2}{500 \times 10^6}$$

$$Z_{\text{amont}} = 2,178 \Omega$$

La valeur de l'impédance amont permet d'en déduire ses deux composantes : la résistance R_a et la réactance X_a . Pour effectuer cette décomposition, il est courant de formuler une hypothèse sur le rapport R_a/X_a , fondée sur les recommandations techniques et les normes en vigueur. Ce rapport est généralement exprimé comme suit :

$$\frac{R_a}{X_a} = 0,2$$

On déduit

$$R_a = 0,2 * X_a \quad (11)$$

De plus on sait que :

$$Z_a = \sqrt{R_a^2 + X_a^2} \quad (12)$$

Par substitution (11) dans (12), l'équation à résoudre est la suivante :

$$Z_a = \sqrt{R_a^2 + X_a^2} = \sqrt{(0,2 * X_a)^2 + X_a^2}$$

En simplifiant on obtient :

$$X_a = \frac{Z_a}{\sqrt{1+0,2^2}} \quad (13)$$

D'où :

$$X_a = 2,136 \Omega \quad \text{et} \quad R_a = 0,427 \Omega$$

Impédance de la nouvelle ligne

L'impédance de la nouvelle ligne, qui inclut celle du câble **Almelec**, est calculée comme suit :

$$Z_l = R + jX \quad (14)$$

Avec

$$R = r \cdot L \quad \text{et} \quad X = x \cdot L$$

- R : résistance de la ligne (Ω)
- r : résistance linéique (Ω/km)
- X : réactance de la ligne (Ω)
- x : réactance linéique (Ω/km)

La réactance de la ligne a été fixé au préalable à $x=0.35 \Omega/\text{km}$

Le calcul de la résistance linéique du câble suit la formule suivante :

$$r = 100 \times \frac{\rho}{S} \quad (15)$$

Selon les résultats issus du calcul de section des conducteurs, la résistivité linéique de l'almelec est de $0,330 \Omega/\text{km}/100 \text{ mm}^2$ à 20°C . Pour tenir compte d'une température de fonctionnement de 60°C , cette valeur est corrigée à l'aide de la relation suivante :

$$\rho_{60^\circ\text{C}} = k \times \rho_{20^\circ\text{C}} \quad (16)$$

$$\text{Avec } k = [1 + \alpha(\Theta - \Theta_0)]$$

Les valeurs suivantes ont été obtenu

$$k = [1 + 0.004(60 - 20)] = 1.16$$

$$\rho_{60^\circ\text{C}} = 1.16 \times 0.330 = 0.3828 \Omega/\text{km}/100\text{mm}^2$$

D'où d'après la formule (15)

$$r = 100 \times \frac{0,3828}{54,6}$$

$$r = 0,70\text{mm}^2$$

Au regard de la valeur de la résistance linéique du câble trouvé nous pouvons aisément calculer maintenant la résistance de la ligne et la réactance de la ligne

$$R = 0,7 \cdot 2,025$$

$$X = 0,35 \cdot 2,025$$

$$R = 1,417\Omega$$

$$X = 0,709\Omega$$

Impédance équivalente totale

La détermination de l'impédance totale Z_{cc} repose sur la sommation des impédances issues du réseau amont et de la ligne étudiée.

$$Z_{cc} = \sqrt{(R_a + R_l)^2 + (X_a + X_l)^2} \quad (17)$$

$$Z_{cc} = 5,747\Omega$$

D'après la formule (8) on peut aisément calculer I_{cc} connaissant maintenant Z_{cc}

$$I_{cc} = \frac{33000}{\sqrt{3} \times 5,747}$$

$$I_{cc} = 3,315 \text{ kA}$$

IV.2.2.5 Vérification de la chute de tension dans le réseau

En HTA, la chute de tension ne doit pas dépasser **5 %** de la tension nominale, selon la NF C 11-201. La figure 14 suivante donne un aperçu de la configuration de la ligne et servira de schéma de base pour le calcul de la chute de tension.

❖ Chute de tension

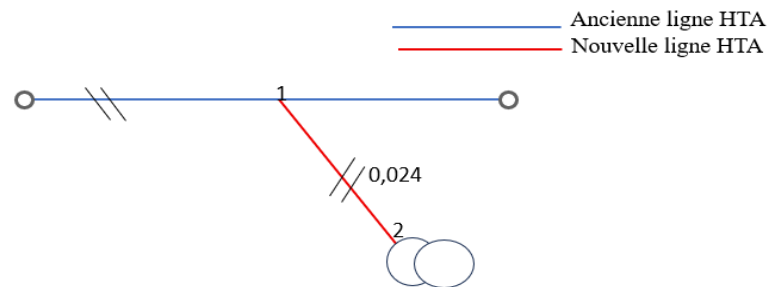


Figure 15: aperçu de la configuration de la ligne HTA

$$\Delta U = \sqrt{3} \times (R I \cos \varphi + X I \sin \varphi) \quad (18)$$

$$\text{De plus } P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

D'où :

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)\% = P \times D \times \frac{R_0 + X_0 \tan \varphi}{U^2} \times 100 \quad (19)$$

Avec :

- P : puissance transitée dans le tronçon (MW)
- D : Longueur du tronçon (km)
- R_0 : résistance linéique du tronçon (Ω/km)
- X_0 : réactance linéique du tronçon (Ω/km)
- U : Tension du tronçon (kV)

Tableau 9: Chute de tension de la ligne HTA

Tronçon	S (mm ²)	P (MW)	D (km)	U (kV)	R0 (Ω/km)	X0 (Ω/km)	Tan φ	ΔU (%)
1 -- 2	54,6	0,144	2,061	33	0,7	0,35	0,48	0,024

IV.2.2.6 Choix des isolateurs

Dans le contexte d'un réseau 33 kV soumis à un fort niveau de pollution, il est primordial d'utiliser des isolateurs conformes à la norme CEI 60815. Cette norme préconise une longueur de ligne de fuite minimale, en fonction du degré de pollution, afin de prévenir les risques de contournement électrique (flashovers). Le DAO mis à disposition précise le niveau de pollution concerné et recommande une ligne de fuite minimale de 25 mm/kV.

IV.2.2.6.1 Calcul de la ligne de fuite

$$L_{fuite} = U \times P_{pollution} \quad (20)$$

Avec :

- L_{fuite} : la ligne de fuite (mm)
- U : la tension assignée du réseau
- $P_{pollution}$: la ligne de fuite par kV (25 mm/kV)

$$L_{fuite} = 33 \times 25$$

$$L_{fuite} = 825 \text{ mm}$$

Chaque isolateur du réseau doit présenter une ligne de fuite minimale de 825 mm afin de garantir une protection efficace contre les phénomènes de contournement en conditions polluées. Le choix d'isolateurs en matériau composite offre plusieurs avantages : ils sont plus légers que ceux en verre ou en porcelaine, et disposent d'une meilleure tenue à la pollution, notamment grâce à leurs propriétés hydrophobes, qui limitent la formation de chemins conducteurs en surface.

IV.2.2.7 Choix des parafoudres

Cette approche s'appuie sur des critères techniques prenant en compte les caractéristiques du réseau, les conditions environnementales ainsi que les recommandations des normes internationales, en particulier les CEI 60099-4 et CEI 60815.

IV.2.2.7.1 La tension maximale permanente U_m

$$U_m = 1.1 \times U_n \quad (21)$$

$$U_m = 1.1 \times 33 \text{ kV} = 36 \text{ kV}$$

Cette valeur correspond à la tension maximale que le parafoudre peut supporter en fonctionnement continu sans se dégrader.

IV.2.2.7.2 MCOV (Maximum Continuous Operating Voltage)

Le MCOV représente la tension maximale que peut supporter un parafoudre en régime permanent sans se détériorer ni laisser passer un courant de fuite excessif. En d'autres termes,

tant que la tension reste inférieure à cette valeur, le parafoudre reste inactif (non conducteur). Lors d'une surtension transitoire (comme un coup de foudre) il devient momentanément conducteur, canalise l'énergie vers la terre, puis reprend son état initial non conducteur une fois la surtension dissipée. Le MCOV doit être au moins égal ou légèrement supérieur à la tension maximale permanente du réseau (tension phase-neutre). Dans le cas du réseau 33 kV, dont la tension maximale permanente est de 36 kV

$$MCOV_{\min} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \quad (22)$$

$$MCOV_{\min} = \frac{36}{\sqrt{3}}$$

$$MCOV_{\min} = 20,784 \text{ kV}$$

En tenant compte d'un coefficient de sécurité de 1.3, la valeur retenue est de :

$$MCOV_{\min} = 27,014 \text{ kV}$$

IV.2.2.8 Choix de l'IACM

Le choix de l'IACM (Interrupteur Aérien à commande Manuelle) se base principalement sur son pouvoir de coupure. Dans le cadre de ce projet, deux modèles sont disponibles : l'un avec un pouvoir de coupure de 50 A, l'autre de 100 A. Compte tenu des caractéristiques du réseau notamment la charge qui est inférieure à 50A, l'IACM de 50 A a été retenu.

IV.3 Etude mécanique du réseau électrique

L'équation de changement d'état permet de modéliser les efforts mécaniques ainsi que les déformations que subissent les conducteurs sous l'effet des conditions climatiques. Cette section présente en détail l'application de cette équation dans le cadre du dimensionnement des lignes électriques, ainsi que l'utilisation du logiciel CAMELIA Calcul, dont les fonctionnalités permettent d'optimiser les simulations et les calculs mécaniques.

IV.3.1 Utilisation de l'équation du changement d'état

IV.3.1.1 Introduction

Le calcul mécanique vise à déterminer la tension des conducteurs en fonction des différentes hypothèses liées aux conditions climatiques locales. Cette étape permet ensuite de définir la tension de pose, qui influence plusieurs paramètres clés, notamment : la hauteur des conducteurs par rapport au sol, la tension sous différentes conditions, la hauteur des supports, les efforts appliqués aux supports d'arrêt, d'angle et d'alignement, les forces sur les armements, ainsi que les distances entre conducteurs. L'équation de changement d'état constitue une

méthode essentielle pour décrire les relations entre les diverses contraintes auxquelles les conducteurs sont soumis, telles que les variations de température, les forces mécaniques et les conditions climatiques. En prenant en compte les déformations élastiques et plastiques, cette équation permet une modélisation précise du comportement des câbles.

IV.3.1.2 Hypothèses climatiques

Les tableaux ci-dessous présentent les hypothèses climatiques considérées au Burkina Faso fournies par le DAO pour les calculs mécaniques ainsi que les hypothèses de retournement et inclinaison.

Tableau 10: Hypothèses climatiques utilisées au BF

Hypothèses	Température	Pression du vent sur les conducteurs	Pression du vent sur les supports	Autres charges
A1	25 °C	200 Pa	505 Pa	0 Pa
B1	15 °C	30 Pa	90 Pa	0 Pa
A2	25°C	585 Pa	1450 Pa	0 Pa

Tableau 11: Hypothèses de retournement et inclinaison

Hypothèse	Température [°C]	Effort du vent [Pa]
Retournement	15	30
Inclinaison	25	200

IV.3.1.3 Données géométriques de la ligne

IV.3.1.3.1 La portée et la portée équivalente

La portée, notée a , correspond à la distance horizontale séparant deux supports consécutifs. Elle dépend de plusieurs facteurs, notamment la zone d'implantation (en agglomération ou en zone rurale) ainsi que la nature des supports utilisés (béton, métallique ou bois). Cette grandeur constitue une donnée d'entrée essentielle pour le dimensionnement mécanique des lignes. La figure (15) illustre ce concept de portée. Pour simplifier les calculs, on utilise souvent la portée équivalente, notée a_e , qui représente une moyenne pondérée des différentes portées du canton, en prenant en compte leur longueur et leurs caractéristiques spécifiques. Cette valeur est déterminée selon la formule suivante :

$$a_e = \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum a}} \quad (23)$$

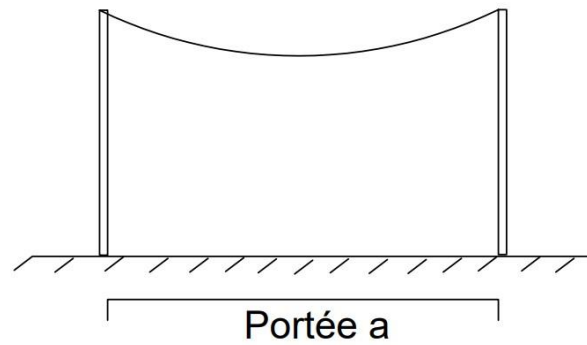


Figure 16: Illustration d'une portée

IV.3.1.3.2 La flèche

La flèche, notée f , représente la distance verticale maximale entre le point le plus bas du conducteur suspendu et la ligne droite imaginaire reliant les points de fixation du conducteur sur deux supports successifs. Elle se calcule à l'aide de la formule suivante et est représentée schématiquement dans la figure ci-après :

$$f = \frac{a^2}{8P} \quad (24)$$

- f : la flèche en (m)
- P : le paramètre en (m)

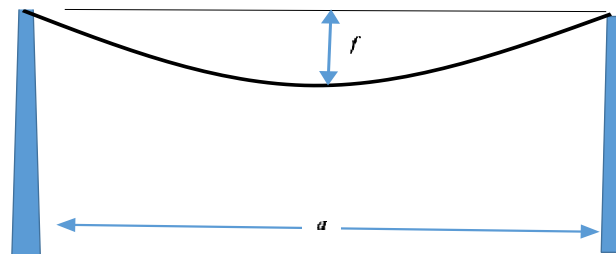


Figure 17: Représentation de la flèche et de la portée

IV.3.1.3.3 Le canton

Le canton désigne une section de ligne comprise entre deux poteaux d'arrêt, ces derniers constituant des points fixes où les conducteurs sont ancrés de manière rigide aux isolateurs. La figure (15) ci-dessous en donne une représentation illustrative.

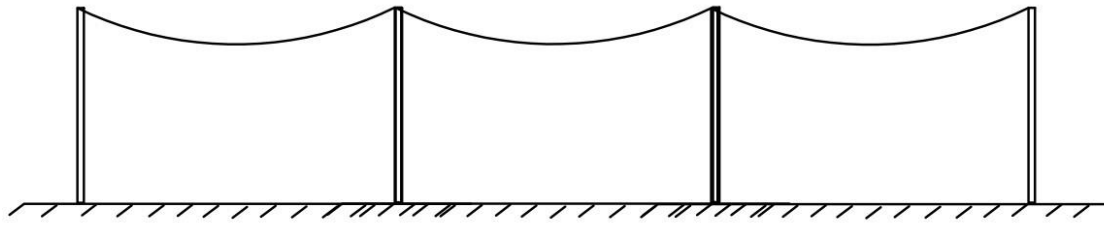


Figure 18: Représentation d'un canton

IV.3.1.3.4 La garde hors-sol

La garde hors sol correspond à la hauteur minimale séparant le point le plus bas du conducteur de la ligne du niveau du sol. Cette distance revêt une importance capitale pour assurer la sécurité des personnes et des biens, en prévenant tout risque de contact avec les conducteurs sous tension.

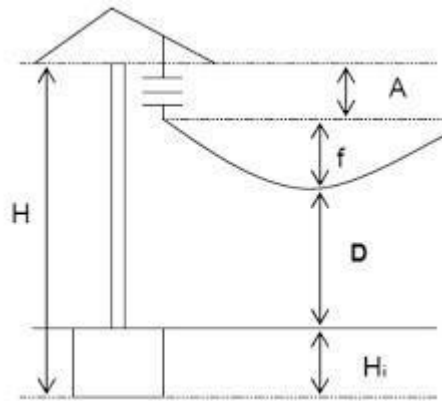


Figure 19: Illustration de la garde hors-sol D

- H : hauteur totale du support en (m)
- A : hauteur entre le sommet du support et la ball socket en (m)
- D : garde hors sol en (m)
- H_i : profondeur d'implantation du support en (m)
- f : flèche entre deux supports-en (m)

La garde hors sol est calculée avec la formule suivante :

$$D = H - (H_i + f + A) \quad (25)$$

IV.3.1.4 Données mécaniques de la ligne

IV.3.1.4.1 Tension unitaire de la ligne

La tension unitaire de ligne, ou tension mécanique unitaire, désigne la force exercée sur le conducteur rapportée à une unité de longueur. Elle s'exprime en newtons par mètre (N/m) et permet d'évaluer l'effort mécanique supporté par le câble le long de la ligne.

IV.3.1.4.2 Poids linéique du conducteur

Cette grandeur correspond au poids par unité de longueur. Elle joue un rôle fondamental dans les calculs mécaniques, car elle permet d'évaluer les forces gravitationnelles exercées sur le câble. Son unité d'expression est le newton par mètre (N/m).

IV.3.1.4.3 Paramètre P

Le paramètre P représente le rayon d'un cercle fictif associé au conducteur dans le cadre de l'étude mécanique des lignes HTA. Ce cercle sert de référence pour modéliser certaines caractéristiques physiques du conducteur, notamment les efforts de traction, la flèche et les effets de torsion. La figure (17) illustre la représentation de ce paramètre.

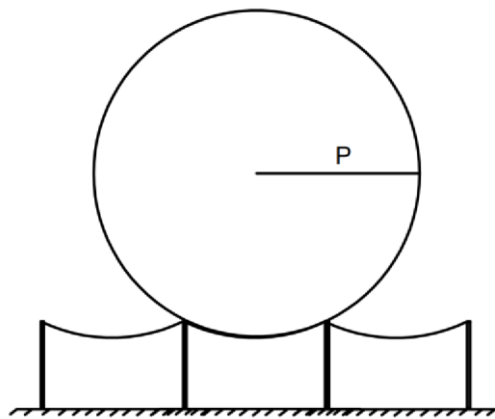


Figure 20: Illustration du paramètre P

IV.3.1.4.4 Ecartement minimal entre conducteurs

Étant donné que le choix s'est orienté vers une construction de ligne aérienne en technique suspendue, la détermination des écartements entre conducteurs s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$e_{\min} = k_c \times \left(\frac{U}{150} + k_z \times \sqrt{f + L} \right) \quad (26)$$

Avec :

- e_{\min} : écartement minimale en conducteur en [m]
- f : flèche à 40°C sans vent en [m]
- L : longueur libre de la chaîne en [m]
 - ✓ $L = 0$ m pour deux ancrages successifs
 - ✓ $L = 0.5$ m pour deux alignements successifs
- U : tension de service de la ligne en [kV]
- k_c : coefficient prenant en compte la disposition des conducteurs
 - ✓ $k_c = 1$ pour les armements alternés, triangle ou en drapeau

✓ $k_c = 0,8$ pour les armements en nappe horizontale (NA) ou nappe voûte (NV)

• k_z : coefficient tenant compte de la zone (vent normal ou fort)

✓ $k_z = 0,9$ dans les zones à vent normal

✓ $k_z = 1$ dans les zones à vent fort

En posant $f = \frac{a^2}{8P}$ et en l'intégrant dans l'équation (26) on obtient :

$$a_{\max} = \sqrt{8P \times \left(\frac{e - \frac{U}{k_c}}{\frac{k_z - 150}{k_c}} \right)^2 - L} \quad (27)$$

La formule (27) présente l'avantage de fournir la portée maximale admissible en fonction du type d'armement sélectionné, tout en prenant en compte les conditions climatiques, notamment en situation de vent fort ou normal.

IV.3.1.4.5 Angle de piquetage

L'angle de piquetage, ou angle de déflexion noté α , correspond à l'angle formé entre deux tronçons de ligne situés de part et d'autre d'un point de changement de direction. Il est mesuré dans le plan horizontal et traduit la déviation de l'axe de la ligne lorsqu'elle change d'orientation au niveau d'un support. La figure (20) illustre cette déflexion.

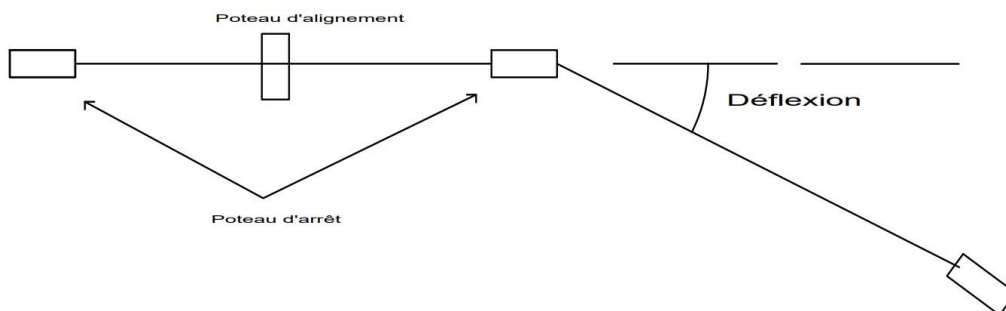


Figure 21: Représentation de l'angle de piquetage

IV.3.1.4.6 Angle d'orientation

L'angle d'orientation, noté Ω , correspond à l'angle formé entre la projection de l'axe de grande inertie du support sur le plan horizontal et une direction de référence définie par la bissectrice de l'angle de déflexion. La figure (19) ci-après en donne une illustration.

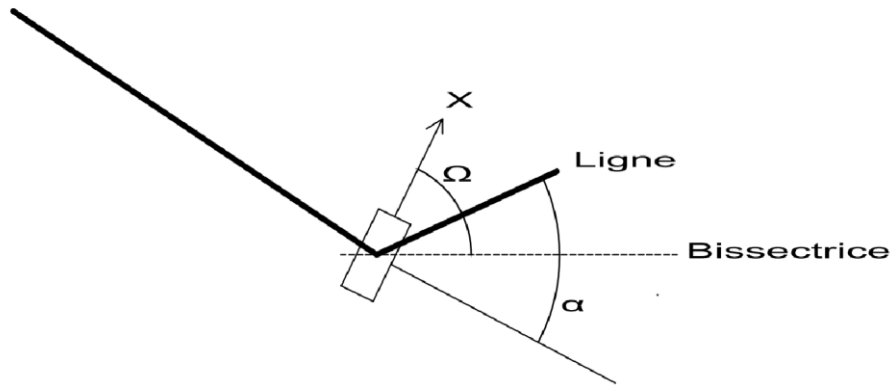


Figure 22: Représentation de l'angle d'orientation

IV.3.1.5 Calculs des efforts mécaniques exercés sur les supports

Dans le cadre de cette étude, le calcul des efforts appliqués sur les supports vise à déterminer les caractéristiques mécaniques nécessaires pour assurer leur stabilité face aux contraintes exercées. Il s'agit pour le cas étudié de déterminer :

- les efforts exercés par le vent sur les supports, déjà définie par le fabricant pour déduire l'effort nominal,
- les efforts exercés par les conducteurs sur le support dus à l'action du vent sur les conducteurs,
- les efforts exercés par les conducteurs sur le support due à la tension mécanique des conducteurs.

IV.3.1.5.1 Les supports d'alignement en suspension

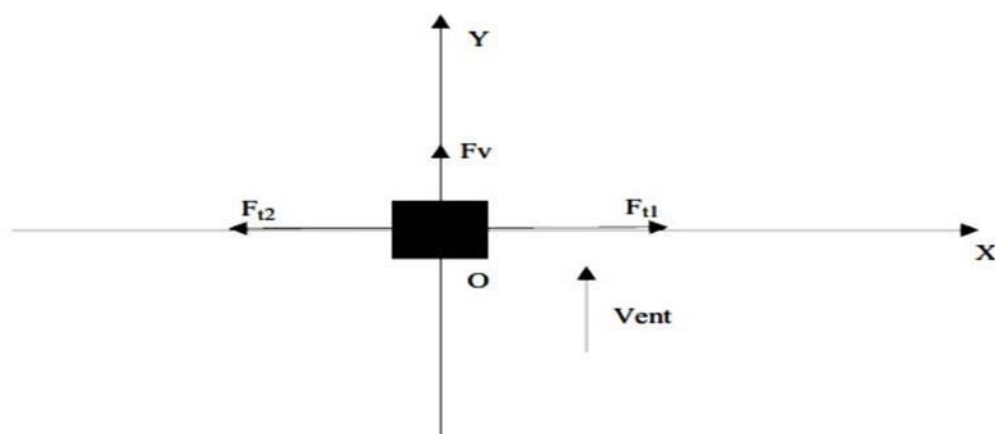


Figure 23: Représentation des différents efforts sur un support d'alignement en suspension

Le support d'alignement, également appelé Simple Fixation (SF), est soumis à trois forces principales : F_{t1} et F_{t2} , qui représentent les efforts exercés par les deux demi-portées situées de part et d'autre du support, ainsi qu'à la force F_v , qui correspond à l'action du vent sur

l'armement soutenu par le support. Dans le cas présent, les forces F_{t1} et F_{t2} s'équilibrent mutuellement, laissant uniquement la force F_v .

- L'effort du vent sur les armements.

L'effort du vent appliqué sur la grande et la petite face du support est généralement intégré par le fabricant lors de sa conception. L'effort du vent sur les conducteurs se calcule comme suit :

$$F_v = n \times \vartheta \times a = n \times \vartheta \times \left[\frac{a_1 + a_2}{2} \right] \quad (28)$$

Avec :

F_v = effort du vent sur les conducteurs (daN)

n = nombre de conducteurs

a = portée entre deux supports (m)

ϑ = effort linéique du vent sur les conducteurs (daN/m)

L'effort total du vent sur un support est :

$$F_{tv} = \frac{1}{k} (F_v + F_{armement}) \quad (29)$$

Avec :

$k = 0,9$ pour les armements de types nappe voûte (NV)

$k = 1$ pour les nappes d'angle ou d'arrêt (NA)

IV.3.1.5.2 Supports d'angle de portées inégales

- Effort dû au vent sur le conducteur

$$F = F_v \times \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (30)$$

- Effort dû à la traction

$$F = 2 \times T \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (31)$$

Et $T = n \times t \times S$

Avec :

t = tension mécanique dans le conducteur (daN.mm²)

S : section du conducteur (mm²)

α : angle de piquetage (en grades)

IV.3.1.5.3 Supports d'arrêt

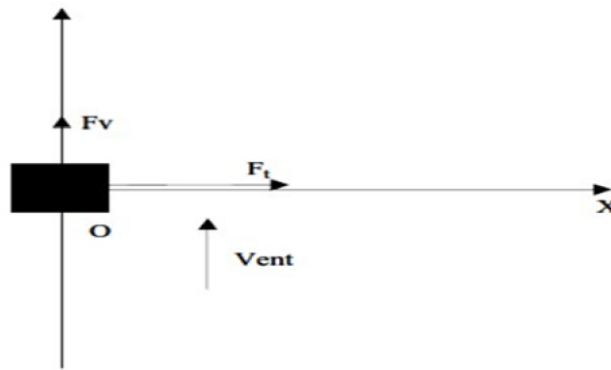


Figure 24 : Efforts exercés sur un support d'arrêt

- Effort du vent

$$F = F_v \times \left(\frac{a}{2}\right) \quad (32)$$

- Effort dû à la traction

$$F = n \times S \times T \quad (33)$$

IV.3.1.5.4 Calcul des efforts sur les armements d'ancrage

Ces efforts se calculent comme suit :

$$NAX = \frac{F_t + (0,5 \times F_v) + (0,3 \times F_h)}{3} \quad (34)$$

Avec :

- F_t : effort de traction des conducteurs
- F_h : effort horizontal
- F_v : effort vertical

IV.3.1.5.5 Dimensions et profondeur d'implantation des supports

IV.3.1.5.5.1 Profondeur d'implantation

Les profondeurs d'implantation sont définies en fonction de la hauteur des supports et du coefficient de stabilité retenus par la norme NF C 11-201 de mai 1978 :

- $K=1,2$ pour les poteaux simples
- $K=1,75$ pour les croisements par-dessus des autoroutes, voies ferrées ainsi que les supports importants des lignes principaux : arrêt simple, arrêt double, semi-arrêt, origine des dérivations et angles importants.

Tableau 12: Profondeur d'implantation des supports

Effort sur le support	Profondeur d'implantation << d >>	
	K = 1,2	K = 1,75

Béton	$F \leq 6,5 \text{ KN}$	$d = \frac{H}{10} + 0,5 \text{ (m)}$	$d = \frac{H}{10} + 0,7 \text{ (m)}$
Métal	$F > 6,5 \text{ KN}$	$d = \frac{H}{20} + 1,3 \text{ (m)}$	$d = \frac{H}{20} + 1,5 \text{ (m)}$

IV.3.1.5.2 Fondation des supports

$$V_f = L_f \times l_f \times p \quad (35)$$

Avec :

$$L_f = p + (l_s \times K_s) l_f$$

$$= p + K_s$$

- V_f : volume de la fondation en $[m^3]$
- L_f : Longueur de la fouille en $[m]$
- l_f : largeur de la fouille en $[m]$
- p : profondeur de fouille en $[m]$
- l_s : diamètre du support en $[m]$

IV.3.2 Utilisation du logiciel CAMELIA

Cette méthode permet une modélisation plus précise des contraintes mécaniques.

IV.3.2.1 Saisie des hypothèses climatiques

La figure (25) ci-dessous présente la fenêtre de saisie des données climatiques dans le logiciel CAMELIA Calcul. Elle constitue la première étape du processus.

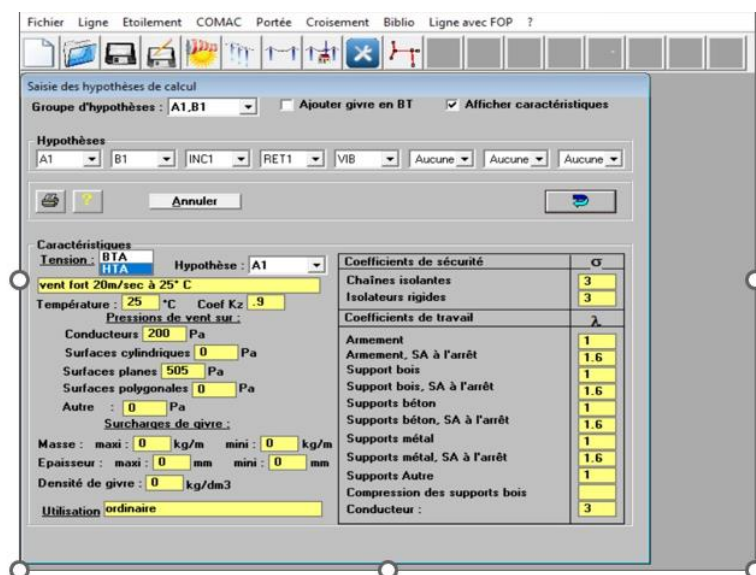


Figure 25: Interface de saisie des données climatiques

IV.3.2.2 Saisie des supports

Cette interface a été utilisée pour renseigner les données relatives aux supports composant la ligne, notamment leurs caractéristiques, les portées entre supports ainsi que les angles de piquetage. Le premier support, désigné par 'EXI', correspond au support de la ligne existante. Cette désignation permet de l'identifier dans le logiciel afin qu'il soit exclu de la simulation. La figure (26) illustre cette interface.

Figure 26: Interface de saisie des supports

IV.3.2.3 Saisie des cantons

La figure ci-dessous présente l'interface pour la saisie d'un canton.

Figure 27: Interface de saisie des cantons

IV.4 Etude et dimensionnement du réseau BT

IV.4.1 Présentation du réseau BT



Figure 28: aperçu du réseau BT

IV.4.2 Calculs des chutes de tension

On sait que l'expression de la chute de tension est donnée par la formule ci-dessous :

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right) \% = P \times D \times \frac{R_0 + X_0 \tan \varphi}{U^2} \times 100 \quad (34)$$

En posant les 03 relations suivantes :

$$R = R_0 \times D$$

$$X = X_0 \times D$$

$$k = \frac{R_0 \times X_0 \tan \varphi}{U^2} \times 100$$

On obtient :

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right) \% = k \times P \times D \quad (35)$$

Avec :

- P : Puissance transitée en kW
- D : Distance du tronçon en km

Les valeurs du coefficients k sont données par le Tableau (13) [2] suivant :

Tableau II: Valeurs de k en BT

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

Nature	Section en mm ²	Intensité admissible « A »	k en (kW.km) ⁻¹ réseau 230/400 V	k en (kW.km) ⁻¹ réseau 130/230 V
Câbles faisceau de distribution aérienne (autoporté)	3x25 + NP	112 A à 30 °C	0,99	2,97
	3 x 35 + NP	138 A à 30 °C	0,72	2,16
	3 x 50 + NP	168 A à 30 °C	0,54	1,62
	3 x 70 + NP	213 A à 30 °C	0,42	1,26
	3 x 150 + NP	344 A à 30 °C	0,23	0,69
Câbles souterrains norme UTE.NFC 33-210 (âme aluminium, isolant PR) PR) HN33.S.33	3 x 35 + N35	120 A à 20 °C	0,72	2,16
	3 x 50 + N50	140 A à 20 °C	0,54	1,62
	3 x 95 + N50	210 A à 20 °C	0,28	0,84
	3 x 150 + N70	280 A à 20 °C	0,20	0,60
	3 x 240 + N95	370 A à 20 °C	0,13	0,39
Aérien nu en cuivre	4 x 7	70 A	1,89	5,67
	4 x 10	80 A	1,35	4,05
	4 x 16	100 A	0,89	2,67
	4 x 25	130 A	0,62	1,86
	4 x 35	180 A	0,48	1,44
	4 x 38	200 A	0,45	1,35

Les valeurs de chute de tension sont données dans le tableau ci-après

Tableau 14: Valeurs de chute de tension du réseau BT

Tronçons	P (kW)	D (m)	Section (mm ²)	k (kW/km)-1	Delta U (%)
T4-1	4,8	192,14	3x70mm ² + 54,6mm ² + 16 mm ²	0,42	3,87
T4-2	1,8	107,18	3x35mm ² + 54,6mm ² + 16 mm ²	0,72	1,39
T3-1	3,6	162,86	3x35mm ² +54,6mm ² + 16 mm ²	0,72	4,22
T3-2	1,8	86,57	3x35mm ² +54,6mm ² + 16 mm ²	0,72	1,12
T2-1	4,6	205,75	3x35mm ² + 54,6mm ² + 16 mm ²	0,72	6,81
T2-2	4,4	212,37	3x35mm ² + 54,6mm ² +16 mm ²	0,72	6,73
T1-1	5	208,75	3x35mm ² + 54,6mm ² + 16 mm ²	0,42	4,38
T1-2	1,98	258,52	3x70mm ² + 54,6mm ² + 16 mm ²	0,42	2,15
T1-3	2,64	67,30	3x35mm ² + 54,6mm ² + 16 mm ²	0,72	1,28
T1-5	3,3	104,75	3x35mm ² + 54,6mm ² +16 mm ²	0,72	2,49
T1-6	2,64	106,89	3x35mm ² + 54,6mm ² +16 mm ²	0,72	2,03
T5-1	3,3	150,42	3x35mm ² + 54,6mm ² + 16 mm ²	0,72	3,57
T6-1	1,98	73,45	3x35mm ² + 54,6mm ² +16 mm ²	0,72	1,05

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

T6-2	1,32	51,83	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	0,49
T6-3	2,64	97,36	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	1,85
T6-4	3,96	207,55	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	5,92
T7-1	3,3	120,00	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	2,85
T7-2	3,96	227,40	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	6,48
T8-1	2,64	128,32	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	2,44
T9-1	2,64	120,00	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	2,28
T9-4	2,64	186,34	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	3,54
T9-5	3,3	190,34	$3 \times 35 \text{ mm}^2 + 54,6 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$	0,72	4,52

V. PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

V.1 Introduction

Dans le cadre du projet d'électrification des non-lotis de Nioko 2, il est indispensable d'anticiper et de maîtriser les impacts potentiels de la réalisation du réseau HTA/BT sur l'environnement et les populations locales. Le Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES) constitue un outil essentiel permettant d'intégrer les préoccupations environnementales et sociales dès la phase de conception du projet, jusqu'à sa mise en œuvre. Ce document vise à identifier, évaluer et proposer des mesures d'atténuation pour les impacts négatifs susceptibles de résulter des différentes étapes du projet (études, travaux, exploitation), tout en renforçant les retombées positives. Il s'inscrit dans une démarche de développement durable, en conformité avec les exigences réglementaires nationales et les bonnes pratiques en matière de gestion environnementale et sociale. Ainsi, le PGES du projet d'électrification de Nioko 2 présente les risques environnementaux et sociaux identifiés, les actions à entreprendre pour les prévenir ou les limiter, les mécanismes de suivi-évaluation, ainsi que les responsabilités des différents acteurs impliqués.

V.2 Etat des lieux environnemental et social

V.2.1 Aspect environnemental

La zone d'étude de Nioko 2 se situe en périphérie de la ville de Ouagadougou, dans une zone en cours d'urbanisation. Le milieu naturel est caractérisé par un climat de type soudano-sahélien, avec une saison sèche marquée et une végétation de type savane arbustive, largement dégradée par les activités humaines. Les sols sont en majorité sablo-argileux et relativement pauvres, ce qui les rend sensibles à l'érosion en cas de perturbation. La zone ne présente pas de reliefs accidentés ni de zones à forte sensibilité écologique (zones humides, forêts classées, réserves naturelles), ce qui limite les contraintes environnementales majeures. Cependant, la présence de déchets solides non gérés, notamment dans certains terrains vagues, témoigne d'une gestion encore limitée de l'environnement urbain. De plus, le développement rapide du quartier expose le site à des risques de déforestation localisée, d'émissions de poussière et de nuisances sonores lors des travaux.

V.2.2 Aspect social

Le quartier de Nioko 2 est un non-loti accueillant une population croissante, composée en majorité de ménages à faibles revenus. L'accès aux infrastructures de base (eau potable, électricité, assainissement) reste insuffisant, ce qui limite les conditions de vie et freine le

développement local. La population est globalement favorable à l'extension du réseau électrique, perçue comme une amélioration attendue de leur qualité de vie. Toutefois, certains enjeux sociaux doivent être pris en compte, notamment :

- la cohabitation avec les installations existantes (habitations, commerces informels, lieux de culte, etc.) ;
- le respect des servitudes de passage et les éventuels empiètements sur les terrains occupés ;
- la sécurité des riverains pendant les travaux ;
- la concertation avec les populations concernées afin de garantir leur adhésion au projet.

V.3 Identification des impacts environnementaux et sociaux du projet

Cette section a pour objectif d'identifier les impacts potentiels, qu'ils soient positifs ou négatifs, liés à la mise en œuvre du projet. Le tableau (13) ci-après présente les principales activités sources d'impact ainsi que les risques environnementaux et sociaux associés.

Tableau 15: Identification des impacts potentiels du projet

Activité du projet	Risques environnementaux associés	Risques sociaux associés
Études topographiques et piquetage	- Perturbation de la végétation - Déchets plastiques (piquets, ficelles)	- Intrusion sur des terrains occupés - Mécontentement des riverains
Déboisement et préparation du tracé	- Perte de couverture végétale - Érosion des sols	- Réduction des espaces utilisés par les habitants
Transport et manutention des matériels	- Émissions de poussière et de gaz d'échappement	- Accidents de la circulation
Terrassement et fouilles	- Dégradation du sol - Rejets de déblais non maîtrisés	- Risques de chutes ou blessures - Gêne à la circulation locale
Pose de supports et câblage	- Pollution sonore - Production de déchets (câbles, emballages)	- Risques d'accidents pour les ouvriers et les riverains
Raccordement au réseau	- Risque de fuites électriques - Perturbation temporaire du sol	- Danger d'électrocution - Incompréhensions liées aux branchements

Activité du projet	Risques environnementaux associés	Risques sociaux associés
Phase d'exploitation	- Risques liés aux intempéries (chutes de poteaux, câbles nus)	- Accidents domestiques - Vandalisme ou vol d'équipements

V.4 Réponses et gestion des impacts du projet

Les mesures d'atténuation et de valorisation proposées ont pour but de réduire les effets négatifs du projet et de renforcer ses impacts positifs, dans une logique de gestion environnementale et sociale responsable. Le tableau (14) ci-dessous récapitule les activités sources d'impact, la nature de ces impacts, ainsi que les actions spécifiques à entreprendre pour y répondre de manière efficace.

Tableau 16: Mesures de gestion des impacts du projet

Impact potentiel	Phase du projet	Nature de l'impact	Mesures d'atténuation proposées
Non-prise en compte des servitudes de passage	Études techniques	Social	Impliquer les autorités locales et la population dans le choix du tracé
Mécontentement de la population	Études techniques	Social	Organiser des réunions d'information et de sensibilisation
Déboisement localisé et destruction de la végétation	Travaux	Environnemental	Limiter les coupes aux zones strictement nécessaires ; reboisement en fin de chantier
Génération de poussière et pollution de l'air	Travaux	Environnemental	Arroser les pistes en période sèche, limiter la vitesse des engins

Impact potentiel	Phase du projet	Nature de l'impact	Mesures d'atténuation proposées
Risques d'accidents pour les riverains	Travaux	Social	Baliser les zones de travaux, installer une signalisation claire, interdire l'accès aux chantiers
Nuisances sonores dues aux engins	Travaux	Environnemental	Planifier les travaux en journée et entretenir régulièrement les machines
Déchets de chantier (câbles, emballages, etc.)	Travaux	Environnemental	Mettre en place une gestion des déchets (collecte, tri, évacuation)
Risques de conflits sociaux (expropriations, empiètements)	Travaux	Social	Recensement préalable, compensation ou négociation avec les personnes affectées
Risque d'électrocution ou d'accident sur les installations	Exploitation	Social	Mettre en place une signalisation de sécurité, sensibiliser la population à l'utilisation sécurisée
Perturbation de la biodiversité aviaire (lignes HTA)	Exploitation	Environnemental	Installer des dispositifs anticollisions si nécessaire
Dégradations accidentelles (poteaux, câbles)	Exploitation	Social/Environnemental	Prévoir un plan d'entretien régulier et d'intervention rapide

Pour s'assurer de l'efficacité des mesures d'atténuation un plan de suivi-évaluation est proposé au tableau (17) ci-dessous

Tableau 17: Plan de suivi-évaluation

Activité ou impact à suivre	Indicateurs de suivi	Fréquence	Responsable du suivi	Partenaires impliqués
Déboisement et nettoyage du tracé	- Surface déboisée (m²)- Respect du tracé défini	Avant et pendant travaux	Bureau de contrôle Entreprise	Services de l'environnement
Gestion des déchets de chantier	- Quantité de déchets collectés- Mode d'évacuation	Hebdomadaire	Chef de chantier	Mairie / société de collecte
Pollution sonore et poussières	- Niveau sonore (dB)- Fréquence d'arrosage	Quotidienne	Superviseur environnemental	Entreprise / bureau de contrôle
Sécurité des riverains et des travailleurs	- Nombre d'incidents ou accidents- Panneaux de signalisation	Hebdomadaire / en continu	Entreprise / Coordonnateur du projet	Services de sécurité locale
Sensibilisation des populations	- Nombre de réunions tenues- Taux de participation	Mensuelle	Chargé social du projet	Associations locales / Mairie
Respect des servitudes et empiètements	- Nombre de plaintes enregistrées- Mesures prises	Selon besoin	Bureau d'études / Mairie	Populations riveraines
Mise en service du réseau	- Taux de couverture électrique- Nombre de	Une fois, en fin de projet	SONABEL / Mairie	Communauté / entreprises techniques

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

Activité ou impact à suivre	Indicateurs de suivi	Fréquence	Responsable du suivi	Partenaires impliqués
	branchements réalisés			
Suivi post-projet (durabilité)	- Fonctionnement des installations- Réparations effectuées	Trimestrielle (1 an)	SONABEL / comité de quartier	Services techniques municipaux

VI. ESTIMATION FINANCIERE DE LA REALISATION DU PROJET

Dans le cadre de la réponse à un appel d'offres, les soumissionnaires contactent les fournisseurs afin d'obtenir les prix des équipements nécessaires à l'élaboration de leurs devis. Toutefois, une estimation basée sur des coûts récents issus de précédents dossiers d'appel d'offres (DAO) proposés par l'entreprise peut s'avérer suffisante. C'est sur cette base que l'estimation présentée en (ANNEXE 5) a été réalisée. La synthèse de cette estimation est présentée ci-après :

Tableau 18: Coût estimatif du projet

N°	Désignation	Prix (FCFA)
I.	Réseau HTA	37 721 255
II.	Réseau BTA	370 119 249
III.	Réseau d'éclairage public	3 563 000
	Total	485 456 156

Ce coût estimatif tient compte des taxes qui peuvent constituer un montant non négligeable (notamment la TVA qui est de 18%)

VII. RESULTATS ET ANALYSES

Cette phase d'évaluation croisée permet de quantifier l'écart entre les performances atteintes et les attentes théoriques, en intégrant une triple approche : technique, économique et environnementale.

VII.1 Rappels des objectifs et objectifs initiaux

Objectifs initiaux :

1. Concevoir les réseaux HTA et BT pour une alimentation électrique fiable des deux localités.
2. Dimensionner de manière optimale les composantes du système (câbles, transformateurs, protections).
3. Évaluer la faisabilité financière du projet (coûts d'investissement et d'exploitation).
4. Réaliser une analyse environnementale afin d'identifier et de réduire les impacts négatifs.

Livrables attendus :

- Plans détaillés de conception des réseaux.
- Études techniques (calculs de puissance, chute de tension, courants de court-circuit).
- Carnet de piquetage pour le repérage des infrastructures.
- Rapport final synthétisant les résultats et proposant des recommandations.

VII.2 Résultats techniques issus de l'approche manuel

VII.2.1 Dimensionnement électrique

- ✓ Les chutes de tension restent acceptables : $<5\%$ (HTA 33 kV) et $<8\%$ (BT interne à Nioko 2).
- ✓ Sections retenues : HTA : $54,6\text{ mm}^2$ (Almélec) et BT Nioko 2 : $3 \times 70 + 54,6 + 16\text{ mm}^2$ (lignes principales) et $3 \times 35 + 54,6 + 16\text{ mm}^2$ (dérivations). Ces sections couvrent les besoins énergétiques à horizon 15 ans."
- ✓ L'étude des courants de court-circuit, réalisée selon la méthode des impédances, révèle une valeur maximale de **3,3 kA** (durée : 1 seconde). Comparativement, les câbles en Almélec de **$54,6\text{ mm}^2$** présentent une capacité de **4,18 kA** pour la même durée. Cette analyse démontre une marge de sécurité effective de **21%** et une conformité du dimensionnement avec les exigences de protection

VII.2.2 Dimensionnement mécanique

VII.2.2.1 Limites des cantons

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif de la configuration du canton obtenu par le calcul manuel :

Tableau 19: Récapitulatif de la Configuration du canton

Canton	Limites du Canton	Longueur du Canton	Conducteurs (mm ²)
Canton 1	EXI-B7	2061,21	Almelec 54,6

VII.2.2.2 Flèches implantations gardes hors sol et écartement entre conducteurs de phase

Les résultats obtenus à partir des calculs manuels des flèches entre supports, des hauteurs de garde au sol, des dimensions de fouilles ainsi que des écartements entre conducteurs de phase sont récapitulés dans le tableau présenté en (ANNEXE 2) du présent document.

VII.2.2.3 Efforts mécaniques exercés sur les supports

Les résultats des calculs manuels des efforts appliqués sur les différents supports sont présentés dans le tableau figurant en (ANNEXE 3) de ce document.

VII.2.2.4 Efforts mécaniques exercés sur les armements

Les efforts calculés sur les armements des supports sont présentés en (ANNEXE 4).

VII.2.2.5 Résumé des choix issus du calcul manuel

Ce tableau résume les sélections des poteaux (selon leur effort en tête) et des armements (alignement/arrêt), validés par le calcul mécanique manuel.

Tableau 20 : Synthèse de choix issus du calcul manuel

Synthèse des choix des supports et armements						
Canton	Support d'alignement	Support d'ancrage	Support d'arrêt	Armement d'alignement	Armement d'encrage	Armement d'arrêt
Canton 1	PBA 12A400	PBA12A800	PBA 12A800	S20	DTS20	DSS20

Dans la suite nous poursuivrons les analyses liées aux résultats avec la méthode manuelle :

- Le tracé présente une succession de points angulaires résultant des impératifs d'évitement des contraintes du terrain.
- La norme NF C 11-201 recommande au maximum 15 supports par canton ce qui est acceptable vu que le nombre de supports maximum du canton est de 13.
- La portée la plus grande des cantons est de 62,60. ce qui respecte la norme NF C 11-201 qui impose une portée maximale de 180m.
- Les flèches des conducteurs varient entre 0,11 et 0,42m. Quant aux gardes hors sol ou surplomb, les plus défavorables varient entre 9,30 à 10,40m. Ces valeurs sont satisfaisantes car la norme NF C 11-201 impose un minimum de 6 m
- Les flèches les plus faibles sont constatées au niveau de portées les plus faibles
- L'effort calculé sur le support équipé de l'IACM s'élève à 690,19 daN. Les efforts maximaux observés sur les supports AS atteignent également 487,56 daN, tandis que ceux des supports SF s'élèvent à 243,89 daN. Ces valeurs ont orienté le choix vers des supports PBA 12A800 pour les arrêts et PBA 12A400 pour les SF.

VII.3 Résultats techniques obtenus avec le logiciel CAMELIA

Résumé du calcul avec CAMELIA

Tableau 21: Résumé du calcul avec le logiciel CAMELIA

Synthèse des choix des supports et armements						
Canton	Support d'alignement	Support d'ancrage	Support d'arrêt	Armement d'alignement	Armement d'ancrage	Armement D'arrêt
Canton 1	12A300	12A800	12A1250	S20	DTS21	DSS21

Dans la suite nous analyserons les résultats obtenus avec CAMELIA

- CAMELIA nous préconise pour les supports d'alignement de choisir des efforts de tête de 300 daN, pour les supports d'ancrage des efforts de tête de 800 daN et pour les supports d'arrêt des efforts de tête de 1250 daN.
- CAMELIA a aussi fait un choix optimal des portées pour limiter le nombre de supports.

VII.4 Comparaison des résultats techniques et Conclusion

- ✓ L'analyse menée selon deux approches distinctes (calcul manuel et modélisation logicielle) a abouti à des résultats techniquement cohérents tant pour la sélection des supports que celle des armements.

- ✓ Le logiciel Camélia a choisi des poteaux d'alignement avec des efforts de tête de 300 daN tandis que le calcul manuel a abouti au choix de supports avec des efforts de 400 daN. Compte tenu de la disponibilité des supports de 400 daN ils ont été retenus pour l'exécution des travaux
- ✓ Le logiciel à proposer des supports de 800 daN pour les supports d'ancrage, tandis que le calcul manuel présente aussi des supports de 800 daN. Il a donc été retenu des supports de 800 daN pour les armements en double ancrage sur la ligne.
- ✓ Le logiciel Camélia a donné des supports de 1250 daN pour les supports d'arrêt tandis que les calculs manuels en ont proposé des supports de 800 daN. Il a donc été retenu des supports de 1250 pour les supports d'arrêts au regard de leur robustesse qui offre une grosse marge de sécurité que ceux de 800.
- ✓ Les deux méthodes (manuelle et assistée par Camélia Calcul) ont indépendamment sélectionné le même armement S20 pour les supports d'alignement, confirmant la pertinence de ce choix technique.
- ✓ Les armements choisis pour les supports d'arrêts avec la méthode manuelle sont des DSS20, tandis que le logiciel Camélia Calcul a proposé des DSS21 à la place.
- ✓ Pour l'élaboration du carnet de piquetage de la ligne, les résultats issus du logiciel ont été retenus, conformément aux exigences du DAO qui préconise l'utilisation d'un outil de calcul mécanique fiable et reconnu.
- ✓ Le réseau BTA a été conçu intégralement depuis le plan de masse, visant à optimiser les tracés et minimiser les pertes de câbles.
- ✓ Contrairement au réseau HTA, où les choix des supports ont été déterminés par des calculs mécaniques précis, ceux du réseau BTA ont été sélectionnés selon les standards d'usage courant. Bien que ces choix ne reposent pas sur des calculs mécaniques, ils respectent les normes habituelles, ce qui assure un réseau globalement sûr et adapté aux exigences locales. Les supports sont des PBA 9-200, PBA 9-500, PBA 9-650 et PBA 9-800. A cet effet un carnet de piquetage est fourni ([ANNEXE 6](#)).
- ✓ Les valeurs les plus grandes des portées entre les supports des réseaux BTA s'élèvent à 50m.

VII.5 Evaluation environnementale et sociale

- Accès à l'électricité pour des centaines de ménages améliorant ainsi leurs conditions de vie
- Réduction de la déforestation (moins de dépendance au bois)

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

- Création d'emplois (temporaires pendant la construction)
- Développement économique (commerce, artisanat, entrepreneuriat local)

VII.6 Résultats de l'estimation financière

- Le coût global du projet se lève à hauteur de 485 456 132 FCFA TTC, incluant les matériaux, la main d'œuvre, et les frais d'étude intégrant la mise en œuvre du PGES

CONCLUSION

-
- ✓ Le réseau **HTA 33 kV**, totalisant **2,061 km de ligne en Almelec de section 54,6 mm²** et le réseau **BTA**, constitué de **2,01 km de câbles torsadés 3*70+54,6+16 mm²** et **8,15 km 3*35+54,6+16 mm²**;
 - ✓ Les chutes de tension calculées restent conformes aux normes admises, avec **5 %** pour la HTA et **7 %** pour la BTA;
 - ✓ Les supports sélectionnés sont des **PBA** en tenant compte des efforts en tête exercés, validés par CAMELIA Calcul;
 - ✓ L'évaluation financière a révélé un coût d'investissement initial de **485 456 132 FCFA**;
 - ✓ Sur le plan social, nous avons mis en évidence que des centaines de ménages bénéficieront d'un **accès à l'électricité**, favorisant **l'amélioration des conditions de vie et le développement économique local**.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] Appel d'offres N°49/2021/DMP
- [2] INSD (2020), Institut National de la Statistique et de la Démographie
- [3] Schneider Electric (2004), Cahier Technique n°213 : les calculs sur les réseaux électriques HT et BT. P40
- [4] IEC 60364 (2018). Low-voltage electrical installations. *International Electrotechnical Commission*. Norme internationale pour les installations BT. Page :50-55
- [5] NF C 13-100 (2020). Réseaux de distribution publique HTA. AFNOR.
- [6] NF C 15-100 (2022). Installations électriques basse tension. AFNOR Base réglementaire pour les réseaux BT. P15-20
- [7] UIC 712 (2019). Règles de construction des lignes aériennes HTA. Page70-75
- [8] Besson, J. (2017). *Réseaux électriques urbains : Conception et exploitation*. Dunod.P25-30
- [9] Hadj-Said, N., & Tuan, L.A. (2019). *Smart Grids et réseaux de distribution*. Hermès-Lavoisier. P130-140
- [10] Lacombe, P. (2021). *Électrification rurale en Afrique : Enjeux et solutions*. Éditions Technip. P100-105
- [11] Diallo, A.K., & Diop, S. (2022). "Optimisation des réseaux HTA/BT en zones non loties : Cas de Dakar". *Revue IEEE Transactions on Power Systems*, 37(3), 45-56. P75-85
- [12] Ndiaye, B., & coll. (2021). "Impact socio-économique de l'électrification des quartiers informels". *Energy for Sustainable Development*, 25, 78-89.
- [13] Sow, M., & coll. (2020). "Solutions techniques pour les réseaux HTA en zones densément peuplées". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 112, 105-118.
- [14] BAD (2021). *Électrification des zones périurbaines en Afrique de l'Ouest*. Banque Africaine de Développement. P35-40
- [15] CIE (2019). *Guide de conception des réseaux HTA/BT en Côte d'Ivoire*. Compagnie Ivoirienne d'Electricité. P18-22
- [16] PNUD (2020). *Accès à l'énergie durable en milieu urbain informel*. Programme des Nations Unies pour le Développement. P55-60

- [17] Kouamé, F. (2021). *Étude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour les non-lotis d'Abidjan*. Thèse, INP-HB Yamoussoukro. P85-96
- [18] Touré, S. (2022). *Optimisation des coûts dans les projets d'électrification rurale*. Mémoire de master, ESP Dakar. P45-55

Webographie

- [1] IEC 60364 - Installations électriques à basse tension. (2021). Consulté le 10 février 2024 sur <https://www.iec.ch> (12 p.).
- [2] Règlement n°02/2009/CM/UEMOA - Normes de construction des réseaux électriques. (2009). Consulté le 12 Mars 2024 sur <https://www.uemoa.int> (8 p.).
- [3] Cahier des charges technique pour les réseaux HTA/BT. (2020). Consulté le 4 Avril 2024 sur <https://www.sonabel.bf> (20 p.).
- [4] Guide de conception des postes de transformation HTA/BT. (2022). Consulté le 19 juin 2024 sur <https://www.se.com> (15 p.).
- [5] Stratégie nationale d'électrification rurale et périurbaine. (2021). Consulté le 4 Aout 2024 sur <https://www.energie.gov.bf> (30 p.).
- [6] Projet d'accès à l'électricité (PACTE) – Rapport final. (2023). Consulté le 7 Décembre 2024 sur <https://www.worldbank.org> (45 p.).
- [7] Données géographiques de Nioko 2, Ouagadougou. (Mise à jour : 2024). Consulté le 12 Mars 2025 sur <https://www.openstreetmap.org> (5 p.).
- [8] Cartes topographiques et cadastrales de la région du Kadiogo. (2020). Consulté le 18 Avril 2025 sur <https://www.igb.bf> (7 p.)

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Coefficient de pondération	73
Annexe 2 : Paramètres géométriques de la ligne HTA	74
Annexe 3: Calculs manuels des efforts de tête des supports HTA.....	75
Annexe 4 : Calculs manuels des efforts des armements	76
Annexe 5 : Devis estimatif du projet.....	77
Annexe 6 : Carnet de piquetage BT	82

ANNEXES

Annexe 1: Coefficient de pondération

COEFFICIENT DE PONDERATION

Nombre d'utilisateurs domestiques situés en aval de la section considérée	Coefficient	Valeurs utilisées avant révision C14.100
2 à 4	1	1
5 à 9	0,75	0,78
10 à 14	0,56	0,48
15 à 19	0,48	0,53
20 à 24	0,43	0,49
25 à 29	0,40	0,46
30 à 34	0,38	0,44
35 à 39	0,37	0,42
40 à 49	0,36	0,41
50 et au-dessus	0,34	0,40

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

Annexe 2: Paramètres géométriques de la ligne HTA

Numéro	Nom	Fonction	Portée (m)	Fleche (m)	Implantation (m)	Lf (m)	If (m)	Garde hors sol (m)	Ecartement Vent normal (m)	Ecartement Vent fort (m)
0	EXI	N/A			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			36,00	0,16						
1	B1 - Prise	AS			2,70	3,23	2,05			
			36,28	0,16				8,14	0,32	0,34
2		SF			1,60	2,13	2,05			
			32,25	0,13				9,27	0,36	0,38
3		SF			1,60	2,13	2,05			
			32,19	0,13				9,27	0,36	0,38
4		DA			1,60	2,13	2,05			
			51,85	0,34				9,06	0,47	0,50
5		DA			1,60	2,13	2,05			
			30,15	0,11				9,29	0,35	0,37
6		SF			1,60	2,13	2,05			
			33,99	0,14				9,38	0,26	0,26
7		DA			1,60	2,13	2,05			
			62,60	0,49				8,91	0,43	0,46
8		DA			2,70	3,23	2,05			
			41,71	0,22				8,08	0,51	0,55
9		SF			2,70	3,23	2,05			
			49,26	0,30				8,00	0,37	0,40
10		SF			1,60	2,13	2,05			
			47,99	0,29				9,11	0,45	0,48
11		SF			1,60	2,13	2,05			
			47,97	0,29				9,11	0,37	0,39
12		AD			2,70	3,23	2,05			
			47,97	0,29				8,01	0,37	0,39
13		AD			1,60	2,13	2,05			

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

Annexe 3: Calculs manuels des efforts de tête des supports HTA

Numéro	Nom	Fonction	Portée (m)	Fleche (m)	Hauteur hors sol (m)	Effort de traction (daN)	Déflexion (gr)	Fv conducteur (daN)	Ftotal support (daN)	Ftotal ancrage (daN)	Choix supports
0	EXI	N/A			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			36,28	0,16							
1	B1 - Prise	AS			9,30	141,53		163,2	304,73	487,56	PBA 12A 800
			36,28	0,16							
2		SF			10,40			230,45	230,45		PBA 12A 400
			32,25	0,13							
3		SF			10,40			227,34	227,34		PBA 12A 400
			32,19	0,13							
4		DA			10,40	181,3	24,4	176,12	357,42	571,87	PBA 12A 800
			51,85	0,34							
5		DA			10,40	177,8	35,3	169,32	347,12	555,39	PBA 12A 800
			30,15	0,11							
6		SF			10,40			243,89	243,89		PBA 12A 400
			33,99	0,14							
7		SF			10,40			204,23	204,23		PBA 12A 400
			62,60	0,49							
8		DA			9,30	178,49	-86,87	234,8	413,28	661,26	PBA 12A 800
			41,71	0,22							
9		DA			9,30	155,90	53,71	227,67	385,57	613,71	PBA 12A 800
			49,26	0,30							
10		SF			10,40			207,98	207,98		PBA 12A 400
			47,99	0,29							
11		SF			10,40			205,77	205,77		PBA 12A 400
			47,99	0,29							
12		DA			9,30	187,56	13,55	243,81	431,37	690,19	PBA 12A 800
			47,99	0,29							
13		DA			10,40	190,56	44,2	244,15	434,71	695,54	PBA 12A 800

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

Annexe 4: Calculs manuels des efforts des armements

Numéro	Nom	Fonction	Efforts verticaux	Efforts horizontaux
0	EXI	N/A		
1	B1 - Prise	AS	10,34586	10,568796
2		SF	17,578939	16,987584
3		SF	17,34598	16,77593
4	B2	DA	16,45686	17,24456
5	B3	DA	16,34566	17,87583
6		SF	17,34567	16,98584
7		SF	17,34566	16,34356
8	B4	DA	16,489325	17,880975
9	B5	DA	8,685785	8,820709
10		SF	12,65655	12,02343
11		SF	12,54542	12,12345
12	B6	DA	12,22345	13,34562
13	B7	DA	13,69345	13,83345

Annexe 5: Devis estimatif du projet

DEVIS POUR FOURNITURE ET POSE DE LA LOCALITE DE NIOKO 2							
Numéro d'ordre	Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire Fourniture	Prix total Fourniture	Prix Unitaire Pose	Prix total Pose
1	Etude (piquetage + réalisation des plans + étude S	Ens	1		0	100 000	100 000
2	Etude environnementale et élaboration du PGES	Ens	1		0	100 000	100 000
I. RESEAU HTA							
3	Raccordement sur le Support existant compo	sEns	1	150 000	150 000	45 000	45 000
4	Support béton d'ancrage 12-800 équipé de :	Ens	4	850 000	3 400 000	75 000	300 000
5	Support béton d'ancrage 12-800 équipé de:	Ens	7	850 000	5 950 000	75 000	525 000
6	Support béton d'ancrage 12-1250	Ens	2	1 000 000	2 000 000	95 000	190 000
7	Support d'alignement 12-	Ens	7	600 000	4 200 000	50 000	350 000

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

	400 équipé de NV5						
8	Conducteur Almélec 54,6 mm ²	m	2 061	1 200	2 473 452	250	515 303
9	Câble U1000 4 x70 mm ² pour liaison transfo-DHP	m	5	22 500	112 500	1 000	5 000
10	Mise à la terre des masses	Ens	2	150 000	300 000	45 000	90 000
11	Transformateur 160 kVA-33/0,41 kV + potence	u	1	6 500 000	6 500 000	85 000	85 000
12	Transformateur 160 kVA-33/0,41 kV + potence	u	1	8 500 000	8 500 000	35 000	35 000
13	IACM 36 kV-50A + accessoire de fixation	u	1	1 250 000	1 250 000	25 000	25 000
14	Jeu de 3 parafoudres 36 kV	Ens	1	165 000	165 000	10 000	10 000
15	Disjoncteur Haut de poteau (DHP) type 6	Ens	1	600 000	600 000	10 000	10 000
16	Plateforme de manœuvre	u	1	10 000	10 000	10 000	10 000
	TOTAL 1				35 610 952		2 110 303

II. RESEAU BTA							
16	Etudes d'exécution et ouverture de couloir BT	u	1		0	250 000	250 000
17	Poteau béton armé 9/200	u	147	95 000	13965000	25 000	3 675 000
18	Support Béton Armé 9/500	u	7	125 000	875000	25 000	175 000
19	Support Béton Armé 9/650	u	36	125 000	4500000	30 000	1 080 000
20	Support Béton Armé 9/800	u	21	145 000	3045000	14 500 000	304 500 000
21	Support Béton Armé 9/1000	u	0	0	0		0
22	Support Béton Armé 12/400	u	5	200 000	1000000	75 000	375 000
23	Support Béton Armé 12/800	u	3	375 000	1125000	75 000	225 000
24	Support Béton Armé 12/1250	u	1	750 000	750000	95 000	95 000
25	Câble Alu Torsadé 3 x 35 + 54,6 mm ²	m	8 143	2 500	20358725	250	2 035 873
26	Câble Alu Torsadé 3 x 70 + 54,6 + 16 mm ²	m	2 008	3 700	7429600	300	602 400
27	Ensemble de suspension ES 54-14	Ens	102	2 750	280500	200	20 400

28	Ensemble d'ancrage simple EAS 54-10	Ens	30	5 500	165000	250	7 500
29	Ensemble d'ancrage double EAD 54-10	Ens	69	3 000	207000	250	17 250
30	Dispositif réglementaire de MALT	Ens	28	80 000	2240000	40 000	1 120 000
	Total 2				55 940 825		314 178 423
	III. RESEAU D'ECLAIRAGE PUBLIC						
31	Lanterne LED 50 W + luminaire	Ens	7	130 000	910 000	25 000	175 000
32	Crosse EP 1,2 m	u	7	35 000	245 000	10 000	70 000
33	Cellule photoélectrique	u	7	55 000	385 000	10 000	70 000
34	Coffret EP triphasé suivant les spécifications techniques du DAO y compris tous les accessoires de	u	2	800 000	1 600 000	54 000	108 000
Total fourniture HTHD (Fourniture Total 1+2+3)	94 691 777	FCFA					423 000
Total Pose HTHD	316 711 725	FCFA					

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

(Pose Total 1+2+3)							
Total HTHD	411 403 502	FCFA					
TVA (18%)	74 052 630	FCFA					
TOTAL GENERAL	485 456 132	FCFA					

Annexe 6: Carnet de piquetage BT

PPI														
<u>CARNET DE PIQUETAGE BT</u>		-		-	-	-	-			DATE	21.05. 2025			
Marché N°049/2021/DMP/WAPP											-			
LOCALITE DE NIOKO 2											-	-		
					Supports PBA			Accessoires			Câbles			

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

N° Support	X	Y	Nature de sol	Portée BT (m)	PBA 9/ 800	PBA 9/ 650	PBA 9/200	Ens.Suspension	Ens.d'ancrage	Connecteur 35- 70	Câble 3x35+54,6 +16	Câble 3x70+54,6 +16	EP	TN
TOTAL POSTE 2														
LOCALITE DE NIOKO 2														
02/1001	667313.4562	1374814.7510	C3	30,50	1		1					30,50		
02/1002	667295.8038	1374862.5289	C3	28,49			1	1				28,49	1	
02/1003	667286.9516	1374893.5016	C3	35,94	1				1			35,94		
02/1004	667278.0995	1374924.4743	C3	47,50			1	1				47,50		
02/1005	667264.6940	1374970.0418	C3	47,50	1				1	2		47,50		
02/1006	667251.2885	1375015.6093	C3	27,14			1	1				27,14		1
02/1007	667244.0630	1375053.2585	C3	32,99			1	1		3		32,99		
02/1008	667237.3072	1375079.5462	C3	49,44	1				1			49,44		
02/1009	667225.0919	1375110.1946	C3	39,20			1	1				39,20		
02/1010	667201.0478	1375153.3983	C3	29,03			1		1	2		29,03		
02/1011	667182.2726	1375187.8111	C3	38,35			1		1			38,35		
02/1012	667172.1560	1375215.0242	C3	38,35			1		1			38,35		

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

02/1013	667165.4987	1375251.6701	C3	34,20		1						34,20		
02/1014	667158.4483	1375290.4800	C3	27,40	1							27,40		1
02/1015	667146.7468	1375313.3640	C3	22,76			1		1		22,76			
02/1015'	667147.9554	1375273.4483	C3	32,34			1	1			32,34			
02/1016	667110.4650	1375260.4023	C3	42,30			1	1		5	42,30			
02/1017	667072.9746	1375247.3562	C3	24,70			1	1			24,70			1
02/1018	667077.9222	1375213.1454	C3	30,40			1	1		3	30,40			
02/1019	667080.5682	1375194.8494	C3	30,40			1	1			30,40			
02/1020	667247.2897	1375115.2109	C3	30,56		1			1		30,56			
02/1021	667289.7840	1375112.4323	C3	34,98			1				34,98			
02/1022	667332.2783	1375109.6536	C3	26,78		1		1			26,78			1
02/1023	667289.9552	1375030.3351	C3	32,14			1	1			32,14			
02/1024	667330.2944	1375048.1098	C3	33,18			1	1			33,18			1
02/1025	667359.4517	1375049.5603	C3	32,45		1			1		32,45			
02/1026	667388.6034	1375051.0005	C3	32,70			1	1			32,70			
02/1027	667433.4655	1375057.6752	C3	34,90			1		1		34,90			
02/1028	667475.6876	1375064.4264	C3	43,34			1	1			43,34		1	
02/1029	667509.3246	1375074.8159	C3	37,87		1			1		37,87			
02/1030	667454.4132	1375105.2511	C3	42,70			1	1			42,70			1
02/1031	667444.2763	1375133.9224	C3	42,60			1	1			42,60			
02/1032	667434.1395	1375162.5936	C3	32,67		1					32,67			

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

02/1033	667418.6976	1375101.4475	C3	46,56			1	1			46,56			1
02/1034	667404.2290	1375142.7153	C3	34,34			1	1			34,34			
02/1035	667343.3557	1375078.4865	C3	34,34			1	1			34,34			1
02/1036	667357.3466	1375108.6067	C3	34,34			1	1			34,34			
02/1037	667359.5289	1375141.1247	C3	39,50			1	1			39,50			
02/1038	667367.9417	1375183.2937	C3	39,40			1	1		3	39,40			
02/1039	667376.3546	1375225.4627	C3	39,45		1			1		39,45			
02/1040	667384.7674	1375267.6317	C3	40,34			1	1			40,34			
02/1041	667388.1120	1375311.4041	C3	34,90			1	1			34,90			
02/1042	667391.4566	1375355.1765	C3	34,80			1	1			34,80			
02/1043	667394.8013	1375398.9489	C3	34,80		1			1	2	34,80			
02/1044	667404.1559	1375430.2789	C3	37,77			1		1		37,77			1
02/1045	667406.8021	1375475.6498	C3	32,56			1	1			32,56			
02/1046	667409.4483	1375521.0206	C3	32,56			1	1			32,56			
02/1047	667218.5431	1375028.6364	C3	45,45		1			1		45,45			
02/1048	667185.7977	1375041.6635	C3	43,09			1	1			43,09			
02/1049	667162.7779	1375062.1290	C3	43,09			1	1			43,09			1
02/1050	667151.5702	1375099.1321	C3	32,98			1	1			32,98			
02/1051	667140.3493	1375136.1691	C3	46,45	1				1		46,45			
02/1052	667298.4321	1374955.8511	C3	44,78			1	1			44,78			
02/1053	667318.7646	1374987.2278	C3	34,78			1	1			34,78			

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

02/1054	667360.5326	1374999.9070	C3	37,98			1	1			37,98			
02/1055	667402.3005	1375012.5861	C3	43,67			1	1			43,67			1
02/1056	667444.0685	1375025.2653	C3	35,45			1	1			35,45			
02/1057	667317.1955	1374945.9783	C3	34,78		1			1		34,78			
02/1058	667356.4899	1374960.5236	C3	34,78			1	1		5	34,78			
02/1059	667395.7842	1374975.0689	C3	34,80			1	1			34,80			
02/1060	667435.0785	1374989.6142	C3	34,50			1	1			34,50			1
02/1061	667474.5165	1375004.2127	C3	43,34			1	1				43,34		
02/1062	667329.1382	1374871.8238	C3	34,67			1	1				34,67		
02/1063	667362.4726	1374881.1187	C3	46,78		1				5		46,78		
02/1064	667401.8491	1374891.6512	C3	45,78			1	1				45,78	1	
02/1065	667442.5021	1374902.5251	C3	45,78			1	1				45,78		
02/1066	667470.4659	1374907.1743	C3	34,09			1		1			34,09		
02/1067	667498.4297	1374911.8235	C3	34,09			1	1				34,09		
02/1068	667507.7031	1374885.0556	C3	34,09			1	1		5		34,09	1	
02/1069	667542.9335	1374849.7687	C3	36,09			1		1			36,09		
02/1070	667561.4289	1374819.5475	C3	45,87		1			1			45,87		
02/1071	667567.6333	1374778.5408	C3	34,98			1	1				34,98		
02/1072	667580.3320	1374739.1691	C3	34,90			1	1			34,90			
02/1073	667575.9215	1374831.4984	C3	34,98			1	1			34,98			
02/1074	667595.3384	1374876.7962	C3	35,78			1		1		35,78			

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

02/1075	667613.5439	1374890.9922	C3	34,56			1	1			34,56			
02/1076	667605.7601	1374925.8333	C3	34,98			1	1			34,98			
02/1077	667597.8561	1374960.6474	C3	45,90		1			1		45,90			1
02/1078	667590.0792	1374994.4870	C3	45,76			1	1		3	45,76			
02/1079	667602.1814	1375016.9816	C3	34,98			1	1			34,98		1	
02/1080	667593.7463	1375060.1853	C3	42,87			1	1			42,87			
02/1081	667585.3113	1375103.3891	C3	45,76			1	1			45,76			
02/1082	667576.0191	1375130.6742	C3	42,78			1	1		5	42,78			1
02/1083	667566.7270	1375157.9592	C3	46,78		1		1			46,78			
02/1084	667523.4536	1375161.8617	C3	40,09			1	1			40,09			
02/1085	667489.6832	1375164.9072	C3	40,09			1	1			40,09			
02/1086	667477.4501	1375183.4814	C3	40,09			1	1			40,09			
02/1087	667479.1660	1375225.0360	C3	34,76			1	1			34,76			
02/1088	667481.9067	1375265.1425	C3	45,78			1	1			45,78			
02/1089	667484.6676	1375305.5436	C3	45,78		1			1	5	45,78			
02/1090	667641.9010	1375021.7091	C3	44,78			1	1			44,78		1	1
02/1091	667681.6207	1375026.4366	C3	44,68			1	1			44,68			
02/1092	667723.6875	1375031.4435	C3	44,53			1	1			44,53			
02/1093	667730.0397	1375001.9723	C3	39,98			1	1			39,98			
02/1094	667738.9000	1374969.9305	C3	38,79			1	1			38,79			
02/1095	667751.6850	1374952.0151	C3	45,45		1			1		45,45			1

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

02/1096	667747.5293	1374904.8560	C3	45,45			1	1			45,45			
02/1097	667746.8814	1374870.7890	C3	44,89			1	1			44,89			
02/1098	667746.2334	1374836.7220	C3	44,89			1	1		5	44,89			
02/1099	667745.1670	1374798.6306	C3	44,89			1	1			44,89			
02/1100	667758.0491	1374978.4947	C3	32,89			1	1			32,89			1
02/1101	667764.4132	1375004.9742	C3	32,89			1	1			32,89		1	
02/1102	667779.4412	1375027.2252	C3	40,09		1		1	1		40,09			
02/1103	667794.4692	1375049.4762	C3	40,09			1	1			40,09			
02/1104	667797.2499	1375093.1500	C3	43,78		1			1	5	43,78			
02/1105	667800.0305	1375136.8238	C3	34,78			1		1		34,78			
02/1106	667805.9256	1375167.6808	C3	34,78			1		1		34,78			
02/1107	667811.8207	1375198.5377	C3	43,43			1		1		43,43			
02/1108	667721.2149	1375080.0558	C3	34,89			1	1			34,89			1
02/1109	667719.3499	1375107.6040	C3	35,89			1	1			35,89		1	
02/1110	667706.1034	1375155.3712	C3	34,89			1	1			34,89			
02/1111	667681.9503	1375196.1436	C3	39,09			1	1			39,09			
02/1112	667673.8423	1375234.2830	C3	43,89			1	1			43,89			
02/1113	667657.7170	1375270.5165	C3	40,76		1			1	5	40,76			
02/1114	667629.9274	1375301.6976	C3	40,78			1	1			40,78			
02/1115	667620.0456	1375318.7004	C3	29,98			1	1			29,98			
02/1116	667587.1091	1375341.8364	C3	29,98			1	1			29,98			

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

02/1117	667602.7554	1374832.1450	C3	32,56			1	1			32,56			1
02/1118	667642.4450	1374837.1189	C3	34,78			1		1		34,78			
02/1119	667672.9418	1374841.0141	C3	45,78			1	1			45,78			
02/1120	667703.4386	1374844.9094	C3	36,78			1	1			36,78			
02/1121	667490.1577	1374941.3204	C3	40,76		1		1	11			40,76		
02/1122	667481.8857	1374970.8172	C3	39,87			1		1	3		39,87		
02/1123	667277.8164	1374854.2269	C3	39,67			1	1				39,67		
02/1124	667266.4602	1374805.4277	C3	45,78		1			1			45,78		
02/1125	667255.1041	1374756.6284	C3	45,78			1	1				45,78		
02/1126	667263.7110	1374712.1632	C3	34,80			1	1				34,80		
02/1127	667263.4695	1374676.5991	C3	36,90			1	1		3		36,90	1	
02/1128	667263.3138	1374653.6869	C3	45,78			1	1				45,78		
02/1129	667248.4504	1374619.1475	C3	44,78		1		1	1			44,78		
02/1130	667240.1815	1374581.2301	C3	44,89			1	1	1			44,89		
02/1131	667238.8175	1374562.3651	C3	45,67		1			1			45,67		
02/1132	667238.6274	1374516.3689	C3	45,87			1	1			45,87			
02/1133	667189.9431	1374558.7976	C3	45,98		1			1	2	45,98			
02/1134	667163.4042	1374547.2623	C3	45,77			1	1			45,77			
02/1135	667136.8653	1374535.7270	C3	45,76			1	1			45,76			
02/1136	667108.0687	1374519.9503	C3	43,45		1					43,45			
02/1137	667079.2722	1374504.1736	C3	39,26			1	1			39,26			

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

02/1138	667064.1374	1374521.5008	C3	38,20			1	1			38,20			
02/1139	667049.0027	1374538.8280	C3	24,24			1		1		24,24			
02/1140	667029.0885	1374579.3190	C3	27,67			1	1			27,67			
02/1141	667011.2262	1374612.6467	C3	28,42			1		1	3	28,42			
02/1142	666993.3639	1374645.9744	C3	28,56		1		1			28,56			
02/1143	666978.7275	1374672.5620	C3	29,45			1	1			29,45			
02/1144	666964.0912	1374699.1496	C3	39,50			1	1			39,50			1
02/1145	667116.1862	1374551.5182	C3	35,67		1			1		35,67			
02/1146	667095.5071	1374567.3094	C3	34,45			1		1		34,45		1	
02/1147	667072.4207	1374592.2385	C3	36,76			1		1	3	36,76			
02/1148	667049.3343	1374617.1676	C3	36,78			1	1			36,78			1
02/1149	667220.6464	1374664.3117	C3	34,98			1	1			34,98			
02/1150	667185.6132	1374658.6145	C3	32,33			1	1			32,33			
02/1151	667135.6292	1374659.8769	C3	33,76		1			1		33,76			
02/1152	667085.7551	1374656.3304	C3	35,67			1	1			35,67			
02/1153	667055.8789	1374661.7905	C3	36,45			1	1			36,45			
02/1154	667026.0027	1374667.2506	C3	29,45			1	1			29,45			
02/1155	667242.9967	1374765.2761	C3	28,78			1		1	5	28,78			
02/1156	667233.6979	1374797.7121	C3	29,56			1	1			29,56			
02/1157	667224.3979	1374830.1490	C3	29,67			1	1			29,67			
02/1158	667213.1698	1374865.1314	C3	35,67		1			1		35,67			1

Etude et réalisation d'un réseau HTA/BT pour la desserte des non-lotis de Nioko 2 : cas du poste 2

02/1159	667198.0876	1374897.3313	C3	36,65			1		1		36,65		1	1
02/1160	667169.0772	1374918.9832	C3	34,56			1	1			34,56			
02/1161	667149.6960	1374938.4115	C3	30,78			1	1			30,78			
02/1162	667130.3148	1374957.8399	C3	30,78			1	1		3	30,78			
02/1163	667118.0898	1375002.4132	C3	30,78			1	1			30,78			
02/1164	667107.0045	1375031.0368	C3	34,65			1	1			34,65			
02/1165	667095.9192	1375059.6604	C3	27,67			1	1			27,67			
02/1166	667245.6220	1374854.8526	C3	27,65		1			1		27,65		1	