



ETUDE DE LA LIGNE D'EVACUATION HTA 33kV DE LA CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE DE NAGREONGO-ZINIARE AU RESEAU DE LA SONABEL

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

## MASTER SPECIALITE EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE

Présenté et soutenu publiquement le [26/01/2022] par

Wendyam Diane Narcelle KABORE (n° 20150083)

Encadreur 2iE: Ing. Ahmed ZONGO, Enseignant en Génie Energétique, froid et Climatisation.

Responsable de Labo pédagogique de Génie Energétique, froid et Climatisation.

Maître de stage : Karim KABORE, Chef du Service Etude Electrique (SEE)/ SONABEL

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Pr

Prénom NOM

Membres et correcteurs :

Prénom NOM Prénom NOM

Prénom NOM

**Promotion [2021/2022]** 

Institut International d'Ingénierie Rue de la science – 01 BP 594 – Ouagadougou 01 – BURKINA FASO

Tel: (+226) 50 49 28 00 - Fax: (+226) 50 49 28 01 - Mail: <u>2ie@2ie-edu.org</u> - www.2ie-edu.org

#### **DEDICACES**

## Je dédie ce travail à:

- ➤ Ma mère KINGUE Esther partie trop tôt, à mon cher et tendre papa KABORE Christophe Désiré pour sa confiance, son amour inconditionnel et indéfectible.
- > Ma famille pour leur soutien infaillible.
- > Mes amis qui ont toujours été présents.
- > Et à tous ceux que j'aime

## **CITATIONS**

La persévérance, c'est ce qui rend l'impossible possible, le possible probable et le probable réalisé.

Léon Trotsky

#### REMERCIEMENTS

Avant toute chose nous remercions infiniment le Dieu toutpuissant pour sa grâce et sa bonté dans nos vies.

- ❖ Je voudrais remercier le Directeur Général de l'institut 2iE, Pr. EL Hadj Bamba DIAW pour la qualité de la formation acquise durant mon parcours. Le chef de département M. Y. Moussa SORO et tout le corps professoral.
- ❖ Je tiens à remercier mon encadreur interne M. Ahmed ZONGO pour son encadrement, sa disponibilité et son soutien.
- ❖ Mes remerciements vont également à la SONABEL. Plus précisément a M. Wendpanga Roger Ouédraogo pour m'avoir permis d'effectuer notre stage au sein de sa direction (DEPI); à M. Abdoul-Karim BA chef du Département Ingénierie des Projets d'Investissement (DIPI) et à tout le personnel du DIPI pour leur courtoisie.
- ❖ Enfin toute ma gratitude à mon maître de stage M. Karim KABORE, qui n'a ménagé aucun effort dans mon accompagnement pour la réalisation du présent mémoire.

#### RESUME

La présente étude porte sur la conception d'une ligne électrique HTA de 33 kV pour l'évacuation de la puissance de la centrale solaire photovoltaïque de 30 MWc de Nagréongo vers un poste de la SONABEL à Ziniaré. Le logiciel Google Earth est l'outil utilisé pour la réalisation du tracé de la ligne afin d'obtenir les différents points d'angle. Dans le processus, c'est le dimensionnement électrique qui a d'abord été fait de façon manuelle avant que les résultats ne soient confirmés avec l'aide du logiciel Neplan. Il est à noter que la ligne est de type double terne, a une longueur de 21 km pour une chute de tension de 4,7%. Ainsi donc nous avons retenu comme conducteur, l'ASTER 228, avec un câble de garde muni de la fibre optique pour assurer une meilleure tenue de la ligne et une télécommunication entre la centrale et le poste. Les isolateurs utilisés seront en verre trempé avec une chaîne constituée de 2 assiettes standard. Chaque chaîne aura une tenue aux chocs de foudre de 140 kN avec une ligne de fuite de 640 mm. Pour le dimensionnement mécanique, nous avons procédé manuellement, ensuite nous avons utilisé une feuille Excel afin de déterminer le nombre de support nécessaire pour tenir la ligne. Puis nous avons utilisé le logiciel CAMELIA pour l'étude complète de la ligne. Nous avons obtenu 25 cantons pour une portée équivalente de 147m, 132 supports métallique tubulaire de 14m de hauteur. Enfin, nous avons abordé également l'identification et l'évaluation des impacts liés aux activités du projet. A cet effet, nous avons proposé des mesures utiles et nécessaire pour atténuer les impacts négatifs, des mesures de surveillance et de suivi ainsi qu'un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES). Le coût global est estimé à 1 183 629 **541 FCFA.** 

#### Mots Clés:

- 1 Ligne d'évacuation/ Raccordement
- 2 HTA
- 3 Nagréongo
- 4 Centrale photovoltaïque
- 5 SONABEL

#### **ABSTRACT**

Our work relates to the study of the design of a 33 Kv HTA power line for the evacuation of the power of the 30MWp photovoltaic solar power plant to a SONABEL station in Ziniaré. We used the Google Earth software to draw the line in order to obtain our different angle points. First, we did the electric sizing manually, then we used the Neplan software to confirm the results. The line is double circuit with a length of 21km for a voltage drop of 4.7%. So, we have chosen as conductor, the ASTER 228, with a guard cable fitted with optical fiber to ensure a better line performance and telecommunication between the station and the substation. For the mechanic sizing, we have used first an excel sheet in order to determine the number of supports needed to hold the line then, we have used the CAMELIA software for the complete study of the line. We obtained 25 cantons for an equivalent span of 147m, 132 tubular metal supports 14 m high. Finally, we also approached the identification and assessment of the impacts linked to the project activities. To this purpose, we have proposed useful and necessary measures to mitigate the negative impacts, monitoring and follow-up measures as well as an Environmental and Social Management Plan (ESMP). Our project has a whole amount of **1,183,629,541.00** FCFA.

#### **Key words:**

- 1 Evacuation line/ Connection
- 2 High tension class A
- 3 Nagréongo
- 4 Photovoltaic station
- 5 SONABEL

#### LISTE DES ABREVIATIONS

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

A : Ampère

**AFD** : Agence Française pour le Développement

**BUNEE** : Bureau National des Evaluations Environnementale

**DEPI** : Direction des Etudes, de la Planification et de l'Ingénierie

DIPI : Département d'Ingénierie des projets d'Investissement

**EIES** : Etude d'Impact Environnemental et Social

: Haute Tension catégorie A HTA

HTB : Haute Tension catégorie B

Ι : Intensité du courant

kA : Kilo Ampère

km : Kilomètre

kV : Kilo Volt

kVA : Kilo Volt Ampère

kWc : Kilo Watt Crete

kWh : Kilo Watt heure

: Ministère de l'Energie ME

**MEEVCC** : Ministère de l'Environnement, de l'Economie Verte et du Changement

climatique

MW: Mega-Watt

**MWh** : Mega Watt heure

**NIES** : Notice d'Impact Environnemental et Social

**PGES** : Plan de Gestion Environnementale et Sociale

PIE : Producteur Indépendant d'Electricité

**PNDES** : Plan National de Développement Economique et Social

: Société Nationale d'Electricité du Burkina **SONABEL** 

**SPES** : Société de Production d'énergie Solaire

#### TABLE DES MATIERES

DEDICACES	I
CITATIONS	II
REMERCIEMENTS	III
RESUME	IV
ABSTRACT	V
LISTE DES ABREVIATIONS	VI
TABLE DES MATIERES	VII
LISTE DES TABLEAUX	IX
LISTE DES FIGURES	X
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : CONTEXTE DU PROJET	3
I.1.Présentation de la structure d'accueil	3
I.2.Organigramme de la structure d'accueil	
I.3. Problématique du projet	
I.4. Objectif général	4
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE RESEAU ELECTRIQUE	5
II.1. Classification des réseaux en fonction de la tension	5
II.2. Les types de réseaux suivant la topologie, la sécurité d'alimentation	
II.3. Les types de réseaux suivant la fonction	
II.4. Les composantes de la ligne HTA	8
CHAPITRE III. DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE DE LA LIGNE HTA	18
III.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET TRACE DE LA LIGNE HTA 33KV NAGREONGO –	ZINIARE
	18
III.2. Dimensionnement de la ligne HTA 33kV	
III.2.1. Calcul du courant nominal	
III.2.2. Détermination du courant de court-circuit triphasé théorique	
111.2.3. Choix du type de caoles à atmiser confine conducteur de phase et caole d	_
III.2.4. Choix de la section de câble du conducteur	
III.2.5. Calcul de la chute de tension	
III.2.6. Les pertes en ligne annuelle	26
III.2.7. Résultats et discussion	
III.2.8. Analyse approfondie afin de déterminer la section optimale économique	(SOE)27
III.2.9. Présentation du logiciel NEPLAN et simulations	
III.2.10. Résultats et discussion	34

CHAPITRE IV. DIMENSIONNEMENT MECANIQUE DE LA LIGNE HTA	36
IV.1. Données de base et hypothèses de calculs	36
IV.1.1. Normes et standards	
IV.1.2. Conditions climatiques	36
IV.1.3. Hypothèses de calcul	37
IV.1.4. Conditions géométriques	38
IV.1.5. Détermination de la tension du câble	42
IV.2. Dimensionnement des isolateurs	45
IV.3. Détermination du poids linéique, de la force du vent, de la pression dynamic l'angle d'inclinaison ou de balancement de la chaîne d'isolateurs et du poids équi	valent
IV.4. Calcul des efforts sur les supports	
IV.5. Calcul des efforts de vent sur les supports d'alignement	
IV.6. Calcul des efforts de traction des conducteurs sur les supports	
IV.7. Calcul des efforts totaux sur le support d'arrêt ou d'angle > 30 Grade	
IV.8. Inclinaison et retournement des chaines	
IV.9. Dispositifs de coupure et de protections	
IV.10. Résultats et discussion de l'étude mécanique	
IV.11. Présentation et méthodologie du logiciel CAMELIA	
IV.12. Résultats et discussion	
CHAPITRE V. RESUME DE LA NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAI	∠ ET
SOCIAL	63
V.1. Cadres politiques, juridiques et institutionnel	63
V.2. Les impacts et risques du projet	63
V.3. Analyse et gestion des risques	69
V.4. Plan de Gestion Environnementale et Sociale	73
CHAPITRE VI. ESTIMATION FINANCIERE POUR LA LIGNE HTA 33 KV	76
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	77
BIBLIOGRAPHIE	78
ANNEXES	XI

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Nature du réseau en fonction du niveau de la tension	5
Tableau II : Caractéristiques d'une ligne de distribution	7
Tableau III : Caractéristiques d'un réseau de répartition	7
Tableau IV : Caractéristique d'un réseau de transport	7
Tableau V : Les propriétés physiques des matériaux	9
Tableau VI : Avantages et inconvénients des matériaux	
Tableau VII : Les coordonnées GPS selon le système UTM des points d'angle du tracé	
Tableau VIII : Valeurs de puissances de court-circuit en fonction de la tension (Norme NFC	7
100-15)	. 21
Tableau IX : Les câbles almélec les plus utilisés en HT	. 22
Tableau X : Association des câbles de garde en fonction de la tension	. 23
Tableau XI : Caractéristiques du câble de garde thym 107	. 23
Tableau XII : Câbles ALMELEC selon : NFEN 50182	
Tableau XIII : Tableau des résultats de l'étude électrique de la ligne 33kV	
Tableau XIV : Paramètres de calculs pour la détermination de la SOE	. 28
Tableau XV : Hypothèses utilisées pour la détermination de la SOE	. 28
Tableau XVI : Récapitulatifs des résultats des calculs des paramètres relatifs à la	
détermination de la SOE	. 29
Tableau XVII: Résultats et discussion sur Neplan	. 35
Tableau XVIII : Les hypothèses climatiques de calcul au Burkina Faso	. 37
Tableau XIX : Profondeur d'implantation des fondations de supports aériens de lignes BT e	t
HTA	. 39
Tableau XX : Tableau des résultats de force de traction par hypothèse	. 45
Tableau XXI Tension de contournement en fonction du degré de pollution	. 46
Tableau XXII : Tension la plus élevée du matériel Um en fonction du BIL	. 47
Tableau XXIII : Caractéristiques d'assiettes standard Le BIL est déterminé en fonction de la	ı
tension la plus élevée pour le matériel.	. 48
Tableau XXIV : Tableaux des différents résultats pour chaque hypothèse	. 51
Tableau XXV : Tableau récapitulatif des résultats de l'étude mécanique	. 54
Tableau XXVI : Flèches médianes (m)	. 61
Tableau XXVII : Tension en kN	. 61
Tableau XXVIII : Longueur chainette	. 61
Tableau XXIX : Les impacts environnementaux négatifs	. 65
Tableau XXX: Les principaux impacts techniques négatifs	. 67
Tableau XXXI : Identifications des risques professionnels	. 70
Tableau XXXII : Mesure de préventions édictées par l'organisation Mondiale de la Santé	
(OMS)	. 72
Tableau XXXIII : Plan de gestion environnemental et social	. 74
Tableau XXXIV : Tableau récapitulatif de l'estimation financière	.76

## LISTE DES FIGURES

Figure 1:Organigramme de la SONABEL	4
Figure 2: Réseau arborescent	6
Figure 3: Réseau maillée	6
Figure 4: Réseau bouclé	6
Figure 5: Composants d'une ligne	8
Figure 6: Conducteurs en aluminium	9
Figure 7: Cable de garde avec fibre optique	11
Figure 8: Types d'armements des supports électriques	12
Figure 9 : Isolateurs en a) composite b) céramique c) verre d) porcelaine	13
Figure 10 : Représentation de la flèche et de la portée	15
Figure 11 : Angle de piquetage et angle d'orientation	16
Figure 12 : Tracé de la ligne HTA 33 kV	19
Figure 13 : Exemple d'un réseau unifilaire	30
Figure 14 : Calcul de répartition de puissance	31
Figure 15 : Affichage des résultats de répartition de puissance sur le graphique	32
Figure 16 : Affichage des différents résult	33
Figure 17 : Affichage des résultats option 1	33
Figure 18 : Affichage des résultats option 2	34
Figure 19 : Affichage des résultats option 3	34
Figure 20 : Les différents éléments géométrique	38
Figure 21 : Illustration d'un support métallique tubulaire double terne	40
Figure 22 : Illustration de changement d'état du conducteur	42
Figure 23 : Représentation des portées et les différents types d'efforts	52
Figure 24 : Interface de CAMELIA	56
Figure 25 : Saisie des hypothèses de calcul	57
Figure 26 : Saisie des supports	58
Figure 27 : Saisie des données cantons	59
Figure 28 : Vérification hauteur des supports	60

## **INTRODUCTION**

Selon l'Agence Internationale pour les Energies Renouvelables (IRENA), la capacité de production solaire du Burkina Faso, en fin 2020, était estimée à seulement 62 MW quand bien même il possède un fort potentiel énergétique. Le pays reçoit en effet en moyenne 5,5kWh/m²/jour avec un ensoleillement direct qui couvre plus de 3000 heure/an. La problématique de l'énergie se pose comme une question fondamentale qu'il faudrait aborder pour le développement du pays. L'énergie est un important facteur de production qui joue un rôle moteur dans le développement socio-économique des Etats. Ce secteur dans ces différentes composantes (électricité, hydrocarbures, thermique, hydraulique...) est indispensable au développement durable. A travers le Plan National de Développement Economique et Sociale PNDES (2021-2025) le gouvernement prévoit de combler le gap énergétique. En effet, ce dernier souligne son ambition à accroitre la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique afin de promouvoir l'autosuffisance du pays. L'accès à une énergie propre et peu couteuse est une priorité du Ministère de l'énergie du Burkina Faso qui ambitionne l'augmentation du taux d'électrification national et rural à 45% et à 19% respectivement d'ici à 2025. A cet effet, le gouvernement a procédé en Avril 2019 à la signature de contrats avec des Producteurs Indépendants d'Electricité (PIE) pour la construction de six (06) centrales solaires d'une capacité cumulée de 176 MW. En effet l'énergie solaire est économique et compétitive par rapport aux autres réserves d'énergie non-renouvelables. Cette tendance est principalement due à l'amélioration constante du secteur de l'énergie notamment la baisse des coûts des centrales solaires photovoltaïques. Ceci en fait l'une des sources d'énergie les moins chères au monde. Conformément donc au plan du gouvernement, un Partenariat Public Privé (PPP) entre le Ministère de l'énergie et la société Green Yellow a été signé. Ce projet porte alors sur la construction d'une centrale solaire photovoltaïque de 30MWc. Les travaux ont été lancé le 29 octobre 2020, la centrale s'étend sur une superficie 52 ha dans le quartier Tibin de la localité de Sinoghin dans la commune rurale de Nagréongo. Dans le cadre de la production de l'énergie électrique, plusieurs centrales solaires sont prévues pour être injectées dans le réseau électrique national. Pour l'injection, les centrales doivent être raccordées au réseau à partir des postes via une ligne de transport. C'est dans cette logique que la centrale solaire de Nagréongo de 30MWc sera raccordée au poste de la SONABEL de Ziniaré pour évacuer la production de la centrale par une ligne aérienne HTA de 33kV. Notre travail porte sur l'étude de la ligne de raccordement de cette centrale au poste de Ziniaré. Le travail est subdivisé en Etude de la ligne de raccordement de la centrale solaire de Nagréongo au réseau de la SONABEL

trois (03) principaux axes à savoir : l'étude électrique de la ligne, l'étude mécanique de la ligne et enfin un résume de l'étude d'impact environnemental.

## **CHAPITRE I: CONTEXTE DU PROJET**

#### I.1. Présentation de la structure d'accueil

La SONABEL (Société Nationale d'Electricité du Burkina Faso) est une société d'Etat au capital de 63,3 milliards de francs CFA depuis le 14 avril 1995. La SONABEL a connu de nombreuses transformations tant au niveau de sa structure financière que de sa dénomination. Elle fut appelée successivement Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), ensuite Energie de l'Afrique Occidentale française (ENERGIE AOF). Puis Société Africaine d'Electricité (SAFELEC) et pour terminer Société Voltaïque d'Electricité (VOLTELEC). Elle a pour mission de produire, transporter, distribuer et commercialiser l'électricité au Burkina Faso. Conformément à cette mission, elle se doit de mettre à la disposition de la population Burkinabè une électricité de qualité et à moindre coût sur l'ensemble du territoire national. La SONABEL détient le monopole du transport de l'énergie. Les marchés de la production et de la distribution ont été libéralisés depuis 1998. Face à une demande toujours croissante et un taux de couverture toujours faible, la SONABEL a des vues panoramiques sur le futur. Ces perspectives sont entre autres, le renforcement des capacités de productions thermiques et de transport, le projet de la (Dorsale Nord 330 kV) qui concerne la construction d'une ligne de 330 kV reliant les pays de la sous-région tels que : le Nigéria, le Bénin, le Niger, le Burkina Faso et le Mali. Nous notons également le projet de renforcement de la centrale de Kossodo (PRCK) de 50 MW et du Réseau National Interconnecté (PR-RNI). Il y'a également la construction de centrales solaires projetées à Kaya, Pâ, Koudougou et Dédougou, qui sont relatives au Projet d'Appui du Secteur de l'Electricité (PASEL) et au Projet d'Extension et de Renforcement des Réseaux Electriques (PERREL).

Notre stage s'est effectué au Département Ingénierie des Projets d'Investissement (DIPI) qui est l'un des départements de la Direction des Etudes, de la Planification et de l'Ingénierie (DEPI) de la SONABEL.

La DIPI est composé des services suivants :

- ✓ Le Service Etude Electrique (SEE)
- ✓ Le Service Etude Mécanique et Hydraulique (SEMH)
- ✓ Le Service Etude des Energies Renouvelables (SEER)

#### Conseil d'Administration Direction Générale Conseillers Techniques Assistante de Direction Département Juridique Département Normalisation Département Audit Interne Département Communication et Relations publiques Secrétariat Général Direction des Direction des Direction du Direction de la Direction Direction de la ommerciale et Ressources Finances et de la production Transport Distribution Humaines Clientèle Comptabilité Direction des Marchés et du Direction des Direction des Direction de la Direction des Patrimoine Archives et de la **Projets** Planification et des Systèmes d'Information **Etudes Documentation**

#### I.2.Organigramme de la structure d'accueil

Figure 1:Organigramme de la SONABEL

#### I.3. Présentation du projet

Notre projet consiste en la construction d'une ligne d'évacuation HTA de 33 kV de Nagréongo à Ziniaré. La problématique du projet s'analyse à travers la question de recherche suivante : comment réaliser des infrastructures solides et fiables pour une fourniture continue et optimale de l'énergie du site de production vers le site de consommation tout en limitant au maximum les pertes en lignes.

#### I.4. Objectif général

L'objectif général de l'étude est de déterminer tous les moyens à mettre en œuvre pour assurer l'évacuation de la production de la centrale solaire photovoltaïque de Nagréongo dans le réseau SONABEL afin d'augmenter le taux national d'électrification (la fourniture aux populations d'une énergie fiable et peu couteuse) tout en tenant compte des contraintes techniques, économiques, sociales et environnementales.

Plus spécifiquement il s'agite de :

- Définition le tracé de la ligne de raccordement de la centrale
- Dimensionnement électrique de la ligne de la ligne

• Dimensionne mécanique de la ligne

## CHAPITRE II: GENERALITES SUR LE RESEAU ELECTRIQUE

#### II.1. Classification des réseaux en fonction de la tension

La norme française NF C 11-201 classe les réseaux électriques en 5 catégories suivant le niveau de tension : réseau haute tension B, réseau haute tension A, réseau basse tension B, réseau basse tension A, réseau très basse tension.

Le Tableau ci-après nous montre la nature des réseaux en fonction de la tension.

Tableau I : Nature du réseau en fonction du niveau de la tension

		En courant	En courant
		alternatif	continu lissé
Très Basse Tens	ion (BT)	U ≤ 50 V	U ≤ 120 V
Basse Tension (	BT)	50 V < U ≤ 1000	$120 \text{ V} < \text{U} \le 1500$
		V	V
Haute Tension	HTA	1000 V < U ≤ 50	1 500 V < U ≤ 75
(HT)		000 V	000 V
	НТВ	U > 50 000 V	U > 75 000 V

Source: Norme NF C 11-201

#### II.2. Les types de réseaux suivant la topologie, la sécurité d'alimentation.

❖ Réseau en Radial ou Antenne ou arborescent : Constitué de plusieurs artères à partir d'un poste d'alimentation. La sécurité d'alimentation est faible puisqu'un défaut sur la ligne ou sur le poste coupe l'ensemble des clients en aval.

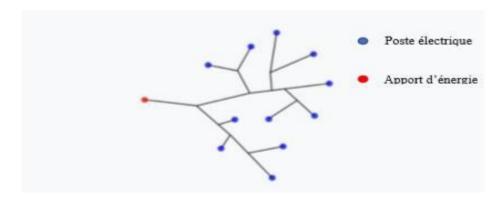


Figure 2: Réseau arborescent

\* Réseau maillé: Les postes électriques sont reliés entre eux par de nombreuses lignes électriques ce qui permet d'apporter une grande sécurité d'alimentation.

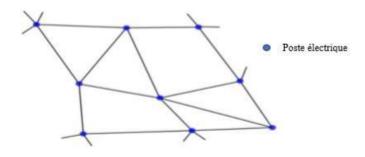


Figure 3: Réseau maillée

\* Réseau bouclé : L'énergie transportée par un réseau vers un client y parvient par plusieurs parcours. La sécurité d'alimentation, bien qu'inférieure à celle de la structure maillée, reste élevée.

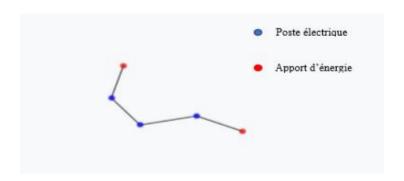


Figure 4: Réseau bouclé

#### II.3. Les types de réseaux suivant la fonction

- \* Réseau d'utilisation : un réseau domestique qui alimente les différents appareils.
- \* Réseau industriel : un réseau interne à une usine.
- \* Réseau de Distribution : un réseau qui achemine l'énergie d'un réseau de transport ou de répartition vers l'ensemble des consommateurs.

Tableau II : Caractéristiques d'une ligne de distribution

Tensions	Catégorie	Types de réseaux	Puissance maximale de
			la ligne
230/400 V	BTA	Distribution	Environ 250 kW
15/20/33 kV	НТА	Distribution	De 10 à 15 MW

Réseau de répartition : un réseau HTA ayant pour but d'assurer, à l'échelle régionale, la fourniture d'électricité et cette dernière y est injectée par le réseau de transport via des transformateurs ou par des centrales électriques de moyenne puissance.

Tableau III : Caractéristiques d'un réseau de répartition

Tensions	Catégorie	Types de réseaux	Puissance maximale de
			la ligne
63/90 /110 kV	HTA	Répartition	De 100 à 150MW

❖ Réseau de transport : un réseau HTB ayant pour but de transporter de l'énergie électrique des centres de production vers les régions consommatrices d'électricité.

Tableau IV : Caractéristique d'un réseau de transport

Tension	Catégorie	Types de réseaux	Puissance maximale de
			la ligne
225/330/400 V	НТВ	Transport	De 500 à 1500MW

\* Réseau d'interconnexion : un réseau qui permet à l'énergie de circuler entre les réseaux des différents gestionnaires.

#### II.4. Les composantes de la ligne HTA

Les lignes électriques aériennes sont constituées essentiellement des conducteurs, des armements (composés d'isolateurs et ferrures), des supports et les accessoires (OCR, manchons, parafoudres, ...).

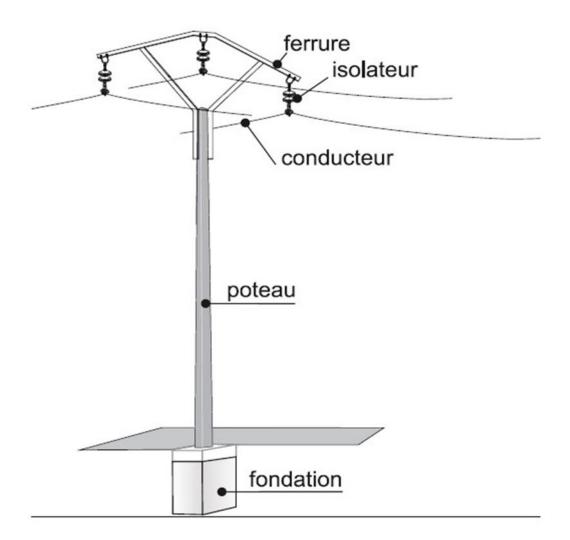


Figure 5: Composants d'une ligne

#### **!** Les conducteurs



Figure 6: Conducteurs en aluminium

Le Tableau 5 nous donne les propriétés physiques des matériaux les plus utilisés.

Tableau V : Les propriétés physiques des matériaux

Matériau	Cuivre	Aluminium	Acier
Propriétés			
Résistivité à 20°C (10 <sup>-8</sup> Ω.m)	1,72	2,82	~15
Coef. de température ( $10^{-3} \text{ K}^-$ )	4,1	4	_
Masse volumique (kg.m <sup>-3</sup> )	8890	2700	2700
Contrainte à la rupture en traction (MPa)	380 à 450	150 à 190	1410 à 1450
Module d'élasticité (MPa)	Câble : 105000	Câble : 60000	Câble :185000
	Fil: 120000	Fil: 65000	Fil: 200000
Coefficient de dilatation linéique (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	17	23	11,5

Source : André CHANAL et Jean-Pierre LEVEQUE « Conducteurs et câbles de garde »

Les avantages et inconvénients de ces conducteurs sont donnés dans le Tableau 6 ci-dessous

Tableau VI : Avantages et inconvénients des matériaux

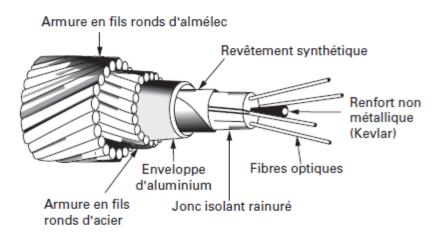
Matériaux	Avantages	Inconvénient
Acier	- Supporte l'attraction (bonne tenue mécanique); - Bon prix	- Très mauvaise conductivité
Cuivre	- Bonne résistivité ; - Bonne tenue mécanique	- Prix élevé
Aluminium	- Bonne conductivité ; - Prix abordable	<ul><li> Mauvaise tenue mécanique ;</li><li> Faible charge de rupture ;</li><li> Utilisé pour de petites portées.</li></ul>
Almelec	<ul><li>Bonne tenue Mécanique ;</li><li>Bon Prix ;</li><li>Bonne résistivité.</li></ul>	-
ACSR	<ul> <li>- Une haute conductivité électrique ;</li> <li>- Une haute résistance mécanique ;</li> <li>- Une haute résistance à la tension.</li> </ul>	-

#### **\*** Les câbles de garde

- Les câbles de garde sont installés au-dessus des conducteurs de phase. On rencontre principalement deux technologies de câbles de garde suivant le matériau utilisé. Il s'agit des câbles de garde almélec-acier (AACSR) et des câbles de garde à circuits de télécommunication.
- Les câbles de garde almélec-acier (AACSR) sont les mêmes que ceux vus précédemment. On note souvent leur utilisation comme conducteurs de phases pour les lignes électriques HTA.

Cependant, la deuxième technologie de câble de garde permet d'établir une télécommunication de données et d'ordres entre des postes HT. Leurs circuits de télécommunication sont situés dans un conduit en aluminium, le tout recouvert par les conducteurs d'almélec-acier. De nos jours, deux types de circuits de télécommunication sont utilisés en fonction de l'application; ce sont : les circuits à fibres optiques et les

circuits à cartes téléphoniques. Pour la télécommunication des données, les câbles de garde à fibres optiques (CGFO) sont ceux qui sont les plus utilisés.



36 fibres optiques pour le Thym 107, 48 et plus pour les autres câbles.

Figure 7: Cable de garde avec fibre optique

#### **!** Les armements

Un armement est un ensemble d'accessoires permettant la fixation du conducteur sur un support. Il a une fonction électrique, empêchant le contact entre les conducteurs nus et le support et une fonction mécanique, lui permettant de résister à l'effort du câble (poids / pression du vent). Ferrures, herses, matériels de fixation, etc., sont autant d'éléments qui composent l'armement. D'une manière générale, on rencontre plusieurs types de ferrures d'armement de différentes formes et dimensions. Ils se caractérisent par leur fonction ou par l'écartement des conducteurs. On peut en citer :

• Les armements **en nappe-voûte :** NV1, NV2, NW. Ils sont utilisés comme armements des supports d'alignement ou d'angles faibles d'inférieur à 10 gr dans les zones avec assez d'espace, en rase campagne par exemple ;

- Les armements **en alternés** : Ils sont généralement utilisés dans des agglomérations en système suspendu ou rigide, et permettent de restreindre l'espace qu'occupent les conducteurs ;
- Les armements **en drapeau** : Ils sont également utilisés dans des agglomérations près des bâtiments, en système suspendu ou rigide, et permettent de réduire l'espace qu'occupent les conducteurs.

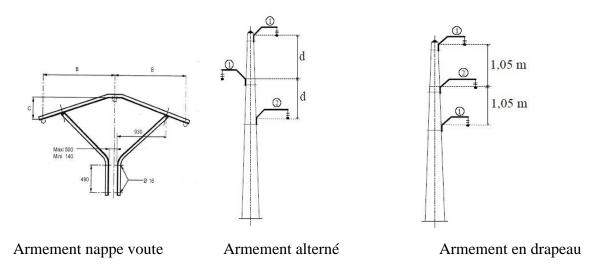


Figure 8: Types d'armements des supports électriques

#### **!** Les isolateurs

Les isolateurs permettent d'isoler les conducteurs des masses métalliques des pylônes. On rencontre principalement deux types d'isolateurs que sont : les éléments de chaines et les isolateurs rigides. Les isolateurs peuvent aussi être classés selon le matériau de fabrication. Dans ce cas de figure, nous rencontrons les isolateurs en matériaux synthétiques ou composites, les isolateurs en verres (en verre trempé et en verre écroui).et les isolateurs en céramique.

- Les isolateurs composites ou en matériaux synthétiques : ils ont une tension de traction mécanique satisfaisante et une tenue mécanique moyenne. Leur utilisation est répandue dans les zones polluées, car ils sont de masses faibles. Ils sont durables et peu onéreux. Il est également facile de détecter des pannes à leur niveau à l'aide d'appareils de détection de défauts.
- Les isolateurs en verre trempé: Ils ne sont pas déformables et résistent aux variations brusques de températures. Ils présentent ainsi une bonne résistance mécanique en traction (05 à 06 fois plus grande que le verre écrouit) et sont peu onéreux.

- Les isolateurs en verre écroui : Ils sont généralement affectés par des variations brusques de températures et ne peuvent être utilisés en suspension. Leur coût est relativement peu onéreux.
- Les isolateurs en céramiques: Ils ont des propriétés chimiques proches de celles de la stéatite ou de la porcelaine et offrent une bonne tenue mécanique et électrique. Le matériau a la possibilité de prendre des formes géométriques complexes.

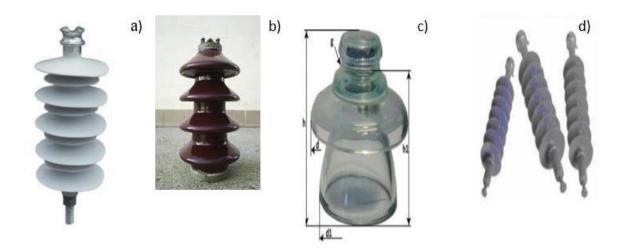


Figure 9 : Isolateurs en a) composite b) céramique c) verre d) porcelaine

#### Les supports

Les supports ont le rôle de maintenir l'équilibre du système, supporter les conducteurs et tous les efforts qui s'appliquent sur le réseau.

Les supports existent sous différentes natures : bois, en béton, en métalliques à profil H (HEA et HEB), métallique à profil orthogonal ou conique (ex : petits jean, Treillis), métalliques tubulaires.

Ils sont caractérisés par la hauteur (en m), l'effort nominal (en daN ou kN), profil et classe, l'assemblage (jumelage, portique, jumelage par plaque, etc.).

Les organes de commandes et de coupures

Afin de veiller à une bonne continuité du service électrique et de protection des équipements électriques, on utilise des appareils de coupures installés dans les postes de transformation

ou le long les lignes électriques de sorte à ouvrir une ligne en cas de défaut ou d'intervention. Sur les lignes électriques, on distingue les appareils de coupure et de protection suivants :

- Les Interrupteurs Aériens à Commande Manuelle (IACM), les Interrupteurs Aérien Télécommandés (IAT) et Interrupteurs Aériens à Creux de tension (IACT) assure la coupure et l'isolement du réseau mais ne protège pas le réseau.
- DAC: le DAC est le Dispositif à Allongement Contrôlé destinés à protéger les supports d'arrêt suite à des surcharges climatiques ou des chutes d'arbres. Le DAC est installé sur chaque phase, après l'isolateur d'un support en arrêt. Après un certain effort de déclenchement, le DAC s'ouvre de sa longueur de détente, diminuant ainsi la tension mécanique du conducteur.
- Les parafoudres, utilisés pour la protection contre les surtensions d'origine atmosphériques, sont placés sur chaque phase de transformateur ou support de transformateur, ainsi que sur chaque point de changement de nature de câble à l'exemple des descentes aérien/souterrain;
- Les **mises à la terre** (Neutre à la Terre et Masses métalliques à la Terre) écoulent les décharges vers la terre et protègent les installations contre les contacts malencontreux ;
- Les **disjoncteurs** compacts / électromagnétiques / modulaires limitent le courant qui peut être appelé dans les postes ou dans les installations des consommateurs et protègent contre les surintensités de courant ;
- Les disjoncteurs haut de poteau équipés d'un déclencheur thermique protègent les transformateurs contre le court-circuit BT et les surcharges en zone rurale. ;
- Les **fusibles HTA** et **BTA** sont pour la protection du transformateur en zone urbaine, ou parfois les fusibles éjectables pour les postes haut de poteau en zone rurale

La coordination de ces différentes protections est assurée au moyen d'un choix judicieux des calibres afin de respecter une bonne sélectivité.

#### II.5. Définitions des éléments géométriques et mécaniques de la ligne.

❖ Portée (a) : La portée représente la distance horizontale "a" comprise entre deux supports consécutifs. Elle est fonction du type de ligne (écarts, agglomérations, ...). La

portée est une donnée du problème car le calcul mécanique se conduit pour chaque portée. Elle est exprimée en mètres.

❖ Flèche (f): C'est la distance verticale maximale entre la droite joignant les deux attaches et les conducteurs. La flèche dépend de la tension de réglage de la ligne à la pose, elle varie ensuite en fonction de la température et sous l'influence des surcharges (la température à considérer est celle du métal et non la température ambiante). Le réglage de la flèche peut se faire soit par mesure géométrique ou par mesure de la tension mécanique avec un dynamomètre de tension.

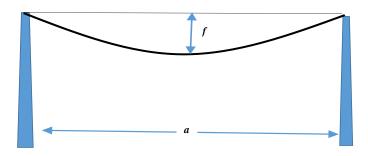


Figure 10 : Représentation de la flèche et de la portée

- ❖ Le canton : Un canton est une succession de portées, tant que les armements sont en alignement ou en double ancrage. Une limite de canton permet d'éviter une rupture en cascade de toute la ligne en cas d'incident.
- \* Poids spécifique (ou linéique) du conducteur (θ): Rapport entre le poids de 1 m de conducteur et la section du conducteur. Il est donc différent selon la nature et la constitution du conducteur (dans les câbles, variation due au tournage des brins). Il est donc apparemment influencé par les surcharges. Il est exprimé en daN / m.mm².
- ❖ Tension unitaire (t): A l'origine, elle dépend du réglage de la ligne. La tension varie ensuite en fonction de la température et sous influence des surcharges. Elle est exprimée en daN / mm².

- ❖ Le paramètre : On appelle paramètre le rapport entre tension unitaire du conducteur
  (t) et le poids linéique du conducteur. Il s'exprime en mètre.
- Angle d'orientation : C'est l'angle Ω que fait l'axe de grande inertie du support (axe X) avec la bissectrice de l'angle de piquetage, en grades. En général, cet angle vaut 0 grade en arrêt, et 100 grades en alignement.

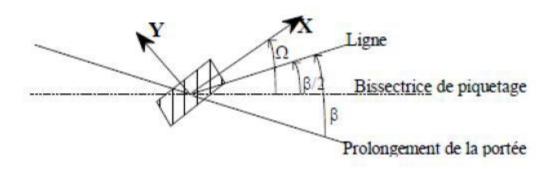


Figure 11 : Angle de piquetage et angle d'orientation

- Calcul de la garde hors sol ou surplomb : C'est la distance entre le point le plus bas du conducteur et le sol. Elle est imposée par l'Arrêté Technique Française et dépend de la flèche maximale des conducteurs et du type d'armement.
- ✓ L'armement : C'est l'ensemble des éléments permettant d'isoler et de maintenir le câble à une certaine distance entre eux et au sol par l'intermédiaire de la poutrelle métallique. Il a une double fonction :
  - Électrique : il empêche que les conducteurs nus soient en contact avec les supports ou entre eux, évitant ainsi des défauts graves de fonctionnement ou de pertes exagérées.
  - Mécanique : il doit résister aux efforts transmis par les câbles (poids propre, vent) et aux réactions des supports. Il permet d'éviter parfois les chutes de câbles.

On désigne aussi sous le nom d'armement la disposition particulière de ces accessoires sur les supports. Ces accessoires comprennent essentiellement des isolateurs et des ferrures.

✓ Les supports : Les supports sont des métalliques, permettant de maintenir le câble à une certaine, hauteur par rapport au sol. Il existe des supports d'alignements (supports se trouvant sur la ligne droite ou d'angle <10gr), des supports d'arrêts (supports se trouvant en fin de canton ou de ligne) et des supports d'ancrages ou d'angles (supports se trouvant sur des angles supérieurs ou égaux à 10gr).

Les supports peuvent remplir les fonctions suivantes :

- AS : Arrêt-Simple ;
- DA : Double-Ancrage (tenue de la résultante des efforts uniquement) ;
- AD : Arrêt-Double (tenue de l'arrêt de chacun des cantons de part et d'autre du support ainsi que de la résultante des efforts) ;
- SA : Semi-Arrêt (tenue de la résultante des efforts, tenue de l'arrêt des cantons à la limite élastique, pas de tenue à l'arrêt pour le givre) ;
- SF : Simple-Fixation (tenue de la résultante des efforts) ;

## CHAPITRE III. DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE DE LA LIGNE HTA

Dans cette partie, nous allons déterminer tous les paramètres électriques nécessaires à la conception de notre ligne. L'étude électrique est très importante, car les autres études (mécanique et financière) en dépendent. Elle doit être précise et complète pour minimiser les risques d'apparitions de défauts électriques pendant la phase d'exploitation de la ligne et éviter le vieillissement prématuré des matériaux, les coûts élevés de maintenance, etc.

# III.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET TRACE DE LA LIGNE HTA 33KV NAGREONGO – ZINIARE

Dans le cadre du Projet de construction de la centrale solaire photovoltaïque de la commune de Nagréongo située à 35 km de Ouagadougou, une ligne de 21 km est à réaliser pour acheminer la production en 33 kV de la centrale au poste électrique de la SONABEL de Ziniaré. En général, le tracé des lignes de transport d'énergie est adopté à la suite d'une analyse de variantes en tenant compte des contraintes sur l'environnement et sur les aspects sociaux. Ces contraintes sont principalement la présence d'agglomérations et de sites écologiquement sensibles, les biens culturels des communautés tels que les bois sacrés ou par exemple les cimetières. Il existe une relation étroite entre le choix du tracé, la conception technique et la notice d'impact environnemental. Les contraintes physiques, tels que des rivières, montagnes, etc. ont également un impact sur la sélection du tracé de la ligne. Le tracé préliminaire de la ligne a été établi à partir d'un examen de la cartographie existante et d'une enquête de terrain basée sur les études antérieures. Les points de départ et d'aboutissement de la ligne ayant été définis avec précision, il s'agit de choisir un tracé. Ce tracé doit être le plus court possible tout en prenant en compte les paramètres économiques, sociaux et environnementaux associés aux critères suivants :

- Liviter les zones de réserves protégées
- Rester à une distance minimale des agglomérations
- ♣ Tenir compte des sites et surtout de ceux qui sont classés ou inscrits au répertoire des sites et monuments historiques, d'une façon générale, éviter de défigurer le paysage
- **♣** Eviter les lieux de rassemblement public
- ♣ Se préoccuper de l'accessibilité aussi bien pour la construction de l'ouvrage que pour son exploitation

- **★** Etudier soigneusement les positions d'angles
- ♣ Réaliser les alignements aussi longs que possible pour les lignes principales



Figure 12 : Tracé de la ligne HTA 33 kV

#### Légende :

- Tracé de la ligne en
- Poste de Ziniaré en
- Centrale photovoltaïque en

Tableau VII: Les coordonnées GPS selon le système UTM des points d'angle du tracé

N <sup>0</sup> POINTS	Latitude X	Longitude Y	DISTANCES(m)
P01	691 689,00	1 377 953,00	527,62
P02	692 711,00	1 378 803,00	2 147,76
P03	692 861,00	1 379 944,00	2 795,58
P04	693 457,00	1 380 070,00	3 624,94
P05	693 396,00	1 380 106,00	3 695,77
P06	690 172,00	1 380 760,00	6 985,44
P07	688 541,00	1 381 002,00	8 634,29
P08	688 528,99	1 381 304,13	8 936,66
P09	687 638,00	1 383 017,00	10 867,41
P10	687 369,00	1 383 985,00	11 872,09
P11	686 757,00	1 384 615,00	12 750,41
P12	686 718,00	1 385 928,00	14 063,99
P13	686 602,00	1 386 378,00	14 937,48
P14	686 437,00	1 386 752,00	16 163,08
P15	685 670,00	1 389 239,00	17 864,53
P16	685 460,00	1 389 480,00	18 351,55
P17	683 273,69	1 389 415,22	20 566,75

#### III.2. Dimensionnement de la ligne HTA 33kV

Le choix du conducteur dépend des considérations techniques et économiques. Afin de choisir la section du câble, nous devons vérifier 3 choses :

- Quel est le courant nominal qui circule dans le câble ?
- Supporte t'il la puissance de court-circuit ?
- La chute de tension est-elle bien inférieure à la limite ?

#### Données:

- Longueur de la ligne : 21 km

- Niveau de tension : 33 kV.

- Puissance à évacuer : 30 MW

- Cos phi: 0,9

#### III.2.1. Calcul du courant nominal

Le courant nominal se détermine par la formule suivante :

$$In = \frac{P}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$$
(1)

, sachant que  $P=U\times In\times \sqrt{3}\times cos\phi$ 

#### III.2.2. Détermination du courant de court-circuit triphasé théorique

Le courant de court-circuit se détermine par la formule suivante :

$$Icc, th\'{e}orique = \frac{Scc}{U \times \sqrt{3}}$$

Avec Scc la puissance de court-circuit du réseau.

#### - Détermination de la puissance Scc

Le tableau suivant nous donne quelques valeurs de Scc en fonction du niveau de tension de la ligne.

Tableau VIII : Valeurs de puissances de court-circuit en fonction de la tension (Norme NFC 100-15)

Tension phase / phase U (en kV)	Puissance de court-circuit (en MVA)
150	8000
70	2500
15	350
6	120

Nous trouvons ainsi une puissance de court-circuit théorique :

Scc, théorique = 1030 MVA

#### - Détermination du courant de court-circuit théorique

On applique la formule suivante :

$$Icc, th\'{e}orique = \frac{Scc}{U \times \sqrt{3}}$$

(3) 21

#### III.2.3. Choix du type de câbles à utiliser comme conducteur de phase et câble de garde

#### ➤ Choix du type de câble pour les conducteurs

De façon générale au Burkina Faso et en particulier la SONABEL utilise des câbles de types almélec (AAAC) comme conducteur en HT à cause des avantages de celui-ci., Voir tableau 5. Dans le cadre de notre projet nous allons utiliser l'almélec comme conducteur de phase, les différents câbles les plus couramment utilisés seront présentés à la suite.

Tableau IX : Les câbles almélec les plus utilisés en HT

Désignation	Section	Charge de	Résistance linéique	Module	Coefficient de
	(mm2)	rupture assignée	électrique à 20 °C	D'élasticité	dilatation linéaire
		(daN)	$(\Omega/km)$	(MPa)	(10-6 K-1)
Aster 228	227,83	7 405	0,146	57 000	23
Aster 288	288,34	9 370	0,115	57 000	23
Aster 366	366,22	11 535	0,0905	57 000	23
Aster 570	570,22	18 530	0,0583	54 000	23
Aster 1 144	1 143,51	36 020	0,0292	52 500	23

#### ➤ Choix du type de câbles de garde

En général, pour une meilleure protection des lignes et la réduction du nombre de défauts annuel les lignes HT sont munies de deux câbles de garde pour assurer la protection électrique et mécanique d'une part et d'autre part assurer la télécommunication. Pour ce projet, nous allons opter pour un câble de garde, un CGFO pour la télécommunication (voir figure 7).

Le Tableau 10 nous donne les différentes combinaisons possibles qui sont recommandées et ne présentent aucun danger :

Tableau X : Association des câbles de garde en fonction de la tension

		Câbles de garde			
Niveau de tension	Conducteurs	Classiques	A circuit de télécommunication incorpore	Section (mm²)	
нт	Aster 228	Phlox 94,1	Thym 107	63	
	Aster 366	Phlox 116,2	Thym 157,4	100,9	
	Aster 570	Phlox 116,2	Thym 107	63	
	Asiei 370		Thym 157,4	100,9	
225 kV	Aster 366	Phlox 116,2	Thym 157,4	100,9	
	rister 500	Phlox 147,1	111yiii 137,1		
	Aster 570	Phlox 147,1	Thym 157,4	100,9	
400	Aster 570	Phlox 228	Thym 157,4	100,9	

L'ASTER 228 étant notre conducteur de phase, nous allons donc utiliser le **Phlox 94,1** comme câble de garde classique et le **Thym 107** comme câble de garde à circuits de télécommunication pour notre projet. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau XI: Caractéristiques du câble de garde thym 107

Caractéristiques électriques	Valeurs
Section (mm²)	107
Diamètre extérieur (mm)	15,3
Charge de rupture assignée (daN)	8 500
Température maximale régime permanent (°C)	75
Module d'élasticité (MPa)	112 000
Résistivité électrique à 20°C (Ω/km)	0,53
Diamètre du circuit de télécommunication (mm)	7,3
Coefficient de dilatation linéaire $(K^{-1})$	15,5.10 <sup>-6</sup>
Masse linéique (kg/km)	630

#### III.2.4. Choix de la section de câble du conducteur

La formule suivante nous permet de déterminer la section de câble du conducteur :

$$Scc1 = \frac{Icc1 \times \sqrt{tcc}}{a}$$
(4)

, avec a = 61,98

tcc = 0, 5 secondes

Le maître de notre ouvrage (ligne électrique 33 kV Nagréongo-Ziniaré) qu'est la SONABEL, prévoit utiliser un câble ASTER de section 228 mm² pour le projet. Nous allons vérifier si l'utilisation de ce câble est bien adaptée au projet. Ses caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau XII: Câbles ALMELEC selon: NFEN 50182

Désignation du conducteur	ASTER 228
Section (mm²)	227,83
Composition nbre*(mm)	37 * 2,80
Diamètre extérieur (mm)	19.60
Charge de rupture (DaN)	7405
Résistance Max. à 20C	0,146
Intensité à 30C	480
Masse approximative	627
Tension indicative (kV)	150

#### **✓** Vérification du courant admissible par le câble

Il s'agit de vérifier si le câble ASTER 228 est en mesure d'admettre le courant admissible. La formule suivante nous permet de vérifier cela :

$$Iad = K \times S^{0,62}$$

(5)

, avec K = 17, 1 pour l'almelec

#### ✓ Vérification du courant de court-circuit admissible par le câble

L'objectif est de vérifier si le câble peut supporter le courant de court-circuit Icc déterminé plus haut. Pour cela, nous allons déterminer le courant de court-circuit  $I_{CC2}$  que le câble admet et comparer sa valeur à notre  $I_{CC}$  du réseau. Nous avons :

$$Icc2 = \frac{a \times Scc2}{\sqrt{tcc}}$$
(6)

, avec  $Scc2 = S = 228 mm^2$ 

a = 61,98 pour l'almelec

#### III.2.5. Calcul de la chute de tension

Nous allons appliquer la formule suivante pour déterminer la chute de tension engendrée par l'ASTER 228 :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{In \times L \times \sqrt{3}}{Un} \times (R_{50c} \times cos\varphi + X_{50c}sin\varphi)$$
(7)

*On a :* 

- $\frac{\Delta U}{U}$ : la chute de tension;
- *Un* : la tension du réseau ;
- *In* : l'intensité du courant nominal ;
- L: la longueur de la ligne;
- $R_{50}$  ·c: la résistance du conducteur à 50 °C ( $\Omega$ /km) et
- $X_{50} \cdot C$ : la réactance du conducteur à 50 °C ( $\Omega/km$ ).

La formule suivante nous permet de déterminer la valeur de la résistance à 50°C en Ohm

$$R_{50C} = [\mathbf{1} + \alpha(\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{\theta}_{50^{\circ}C}) \times R_{20^{\circ}C} \times d]$$
(8)

- d, la distance en km;
- α le coefficient de température et
- $\theta$  la variation de température.

# III.2.6. Les pertes en ligne annuelle

La formule suivante nous permet de calculer les pertes en ligne annuelle :

$$Pe = \frac{10^3 \times R_{50c} \times L \times T \times P^2}{U^2 \times cos^2 \alpha}$$

(9)

- T: le nombre d'heure de fonctionnement de la ligne en (h);
- L: la longueur de la ligne en (m);
- $R_{50}$  •C: la résistance du conducteur à 50 °C ( $\Omega$ /km) et
- P: la puissance active de la ligne en (kW).

#### III.2.7. Résultats et discussion

Tableau XIII : Tableau des résultats de l'étude électrique de la ligne 33kV

Paramètres	Résultats	Observations
Le courant nominal In	291,59 A	
Le courant de court-circuit triphasé théorique Icc	18 kA	
La section du conducteur S	205 mm <sup>2</sup>	Nous allons retenir la section normalisée de 228mm²
Courant admissible par le câble Id	495,35 A	Nous avons In < Id, alors notre câble de 228 mm² pourra supporter le courant nominal
Courant de court-circuit admissible par le câble Icc2	19,98 kA	Nous avons Icc <sub>2</sub> < Icc, alors le câble de 228 mm <sup>2</sup> pourra supporter le courant de court-circuit du réseau
La résistance du conducteur à $50^{\circ}C$	3,43 Ω	
La chute de tension ∆U	4,7 %	On a 4,7 % < 5%, alors notre câble de 228 mm² vérifie la chute de tension admissible en HTA, car la norme admet une chute de tension de 5%
Les pertes en ligne annuelle	1,256 MWh	

# III.2.8. Analyse approfondie afin de déterminer la section optimale économique (SOE)

Toujours dans le but d'approfondir la détermination de la section adéquate, nous allons dans cette partie déterminer la section de câble optimale économiquement SOE, qui peut 'être utilisée dans le projet en fonction de certaines hypothèses. La SOE vérifie l'équation suivante :

$$SOE = \sqrt{\frac{C}{B}}$$
(10)

Avec:

$$T(S) = A + B.S + \frac{C}{S}$$
(11)

- **4** *T*(*S*) en €
- **♣** *B. S*: en **€.mm-**<sup>2</sup>, B.S représente la partie coût du câble proportionnel à la section S. *Avec*:

$$B.S = 3 \times C_{Cable} \times \delta_{50^{\circ}C} \times L \times S$$
(12)

- o 3: pour désigner les 3 phases
- o *C<sub>cable</sub>*: représente le coût du câble en €/ kg
- o  $\delta_{50^{\circ}C}$ : la masse volumique du matériau à 50°C *en* kg / m<sup>3</sup>
- o L: la longueur de la ligne en mm
- o S: section du cable en  $mm^2$
- **4** C/S: en €.mm², représente les coûts d'actualisation des pertes sachant qu'une plus petite section entraine des pertes plus élevées et réciproquement, une plus grosse section entraine des pertes moins élevées.

Avec:

$$C = 3 \times \rho_{50^{\circ}C} \times L \times I_n^2 \times N \times p \times f$$
(13)

- o C: en €.mm²
- ο  $\rho_{50^{\circ}C}$ : résistivité du matériau à 50°C en  $\Omega$ .mm

- o L: longueuer de la ligne en mm
- o In: courant nominal en A
- o **N** nombre d'heures par an d'utilisationéquivalente à la pleine charge
- o **p**: prix du kWh de pertes, coût des pertes par kWh en €/Wh
- f : facteur d'actualisation

Les formules de correction de la résistivité et de la masse volumique à 50°C sont respectivement données ci-dessous

$$\rho_{50^{\circ}C} = \rho_{20^{\circ}C} \left( \mathbf{1} + \alpha . \Delta \theta \right) \quad \partial_{50^{\circ}C} = \frac{\partial_{20^{\circ}C}}{\left( \mathbf{1} + \beta . \Delta \theta \right)}$$

Les formules utilisées pour le calcul de différents paramètres adimensionnels qui interviennent dans la détermination de la section optimale économique sont résumées dans le tableau XIV :

Tableau XIV : Paramètres de calculs pour la détermination de la SOE

Formules des paramètres adimensionnels intervenant dans les calculs						
$f = \frac{Q}{1 + \frac{i}{100}}$ $Q = \frac{1 - r^T}{1 - r}$	$r = rac{\left(1 + rac{a}{100} ight)^2 + \left(1 + rac{b}{100} ight)}{\left(1 + rac{1}{100} ight)}$					

- **↓ I :** taux d'intérêt
- **a**: augmentation annuelle de la puissance
- **b**: pourcentage d'accroissement du prix du kWh sur la durée de vie du projet
- **T**: nombre d'années projetées (fonctionnement à puissance maximale)

Pour appliquer ces formules, nous allons utiliser les hypothèses présentées dans le tableau X.

Tableau XV: Hypothèses utilisées pour la détermination de la SOE

Hypothèses	
i = 8 %	Cout du kWh = 0,1524 €
a = 0 avec $b = 0$	p = 7,6.10 <sup>-5</sup> €/ Wh
T = 25 ans	A = 0
N = 1000 h/an	C <sub>Câble</sub> = 31,61 € /kg

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau XVI ci-dessous :

Tableau XVI : Récapitulatifs des résultats des calculs des paramètres relatifs à la détermination de la SOE

r = 0,99	$\partial_{50^{\circ}C} = 2698.10^{-9} \text{ kg /mm}^3$	C = 0,329.10 <sup>9</sup> €.mm <sup>2</sup>
Q = 22,22	$\rho_{50^{\circ}C} = 3,65.10^{-5} \ \Omega.$ mm	$T(S) = 5372.89.S + \frac{0.329.10^9}{S}$
f = 22,20	B.S = 5372,89. S (€)	

La section optimale est donnée par la formule suivant :

$$SOE = \sqrt{\frac{C}{B}}$$

L'application numérique nous donne :  $SOE = 247 \text{ mm}^2$ .

Cette SOE est supérieure à celle que nous avons trouvé dans notre analyse précédente. Dans ces conditions, deux choix s'offrent à nous : soit choisir la section normalisée inférieure 228 mm², soit choisir la section normalisée supérieure 288 mm². Nous pouvons donc choisir soit d'investir beaucoup et limiter les pertes avec 288 mm², soit investir peu et avoir des pertes plus importantes avec 228 mm² pour un cout global égal.

Conclusion : Nous choisissons l'ASTER 228 pour notre projet car les investissements de départ sont moindres et cette section représente également notre SOE.

#### III.2.9. Présentation du logiciel NEPLAN et simulations

Dans le souci d'assurer une alimentation électrique fiable, des simulations seront effectuées sur Neplan afin d'analyser la nouvelle ligne. C'est à dire connaître si les différents raccordements analysés ci-dessous respectent les contraintes électriques imposées par le réseau. Il faut dire que les contraintes électriques concernent les chutes de tension en ligne, les surcharges des lignes électriques et la fréquence du réseau.

Ces simulations permettent de :

• Déterminer les moyens de renforcement à mettre en œuvre pour que la demande soit satisfaite tout en respectant les critères de planification (chute de tension et charge des équipements),

- Déterminer les pertes en réseau,
- Fournir tous les éléments nécessaires à la comparaison des différentes solutions de raccordement.

#### Présentation du logiciel NEPLAN

NEPLAN est un outil adapté pour les utilisateurs de système de planification et d'information pour les réseaux électriques.

Afin de comprendre l'environnement de NEPLAN, il est essentiel de décrire certains concepts utilisés.

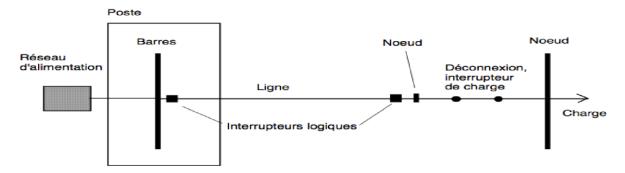


Figure 13 : Exemple d'un réseau unifilaire

Un système d'énergie électrique se compose de nœuds et d'éléments.

#### \* Les nœuds

Un nœud est le point de connexion de deux éléments, ou un lieu de consommation ou d'injection de puissance électrique (charge, générateur). Il est décrit par les données suivantes :

- Son nom et son identité affectée automatiquement,
- La tension nominale du système en V ou kV,
- Sa zone ou région d'appartenance,
- Son type (jeu de barres principales, jeu de barres, manchon, nœud spécial),
- Sa description.

La tension nominale du système (Un) est la tension composée pour laquelle le système a été conçu et sur laquelle on se réfère pour les nombreuses caractéristiques du système. Dans NEPLAN, la tension nominale du système doit être entrée pendant la saisie des données des

nœuds. Chaque tension est saisie comme une tension composée (tension delta).

#### \* Les éléments

Un élément correspond à une composante du réseau, tels qu'une ligne, un transformateur ou une machine électrique. Il y a des éléments actifs et passifs. Un élément est décrit de façon conceptuelle par un nœud de départ et un nœud d'arrivée. Pour les transformateurs à trois enroulements, un troisième nœud doit être donné. Les éléments sont électriquement décrits par :

- Leur courant nominal, leur puissance nominale, leur tension nominale et
- Leurs paramètres tels que les pertes, les réactances, ...

Dans NEPLAN, ces paramètres sont saisis à l'aide d'un masque de données d'entrée.

Les éléments actifs sont les réseaux d'alimentation, les machines asynchrones et synchrones, ainsi que les stations ou groupes d'alimentation. Un réseau d'alimentation représente un réseau voisin.

Les éléments passifs sont les lignes, les éléments de couplage, les éléments de coupure, les transformateurs à deux (2) et trois (3) enroulements, les shunts et les charges.

# Calcul de répartition des puissances

Après avoir intégré tous les nœuds et les éléments du réseau dans le schéma unifilaire, on peut procéder au calcul de répartition de puissance.

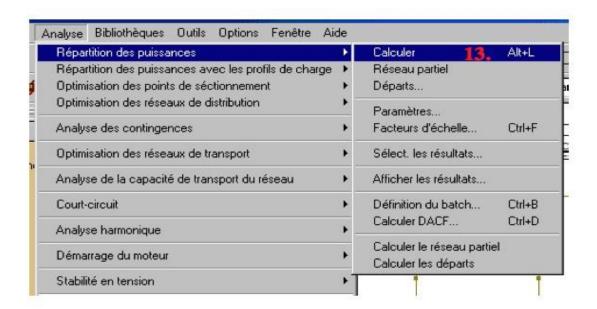


Figure 14 : Calcul de répartition de puissance

♣ Analyse des résultats dans le schéma unifilaire
 Les résultats peuvent être directement analysés dans le schéma unifilaire.

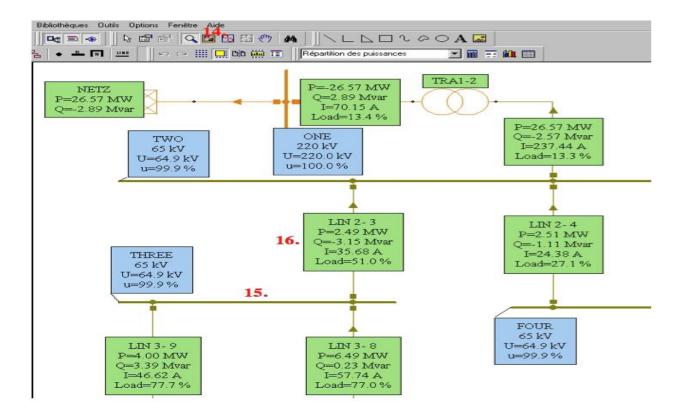


Figure 15 : Affichage des résultats de répartition de puissance sur le graphique

# ♣ Analyse des résultats en utilisant les tableaux de sortie

Les résultats peuvent être affichés sous forme de tableau pouvant être exporté vers une feuille Excel et traité comme on veut. Pour cela, on clique sur l'onglet « Analyse - Répartition des puissances - Afficher les résultats » pour obtenir la présentation des résultats en tableaux. En cliquant sur Tous les résultats, on peut obtenir des tableaux récapitulatifs des résultats pour les nœuds, les éléments et l'ensemble des calculs.

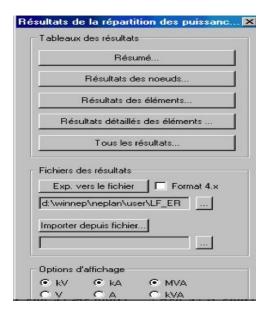


Figure 16 : Affichage des différents résultats

#### **❖** Simulations avec NEPLAN

**↓** Option 1 : Raccordement un terne avec un câble de 228mm²

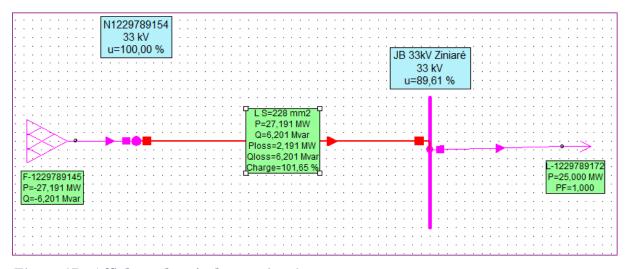


Figure 17 : Affichage des résultats option 1

# ♣ Option 2 : Raccordement un terne avec un câble de 288mm²

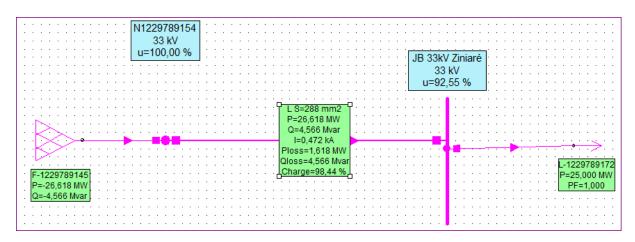


Figure 18 : Affichage des résultats option 2

# **Uption 3**: Raccordement double terne avec un câble de 228mm

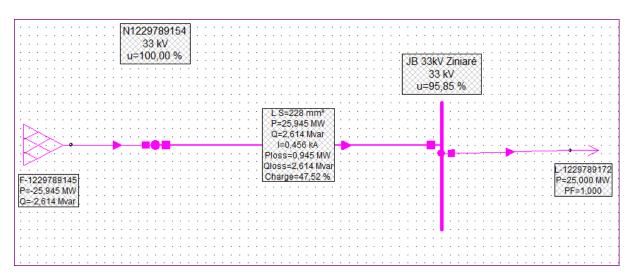


Figure 19 : Affichage des résultats option 3

#### III.2.10. Résultats et discussion

Nous retenons **l'option 3**: car elle est celle qui se rapproche la plus de notre dimensionnent manuelle. De plus pour un Producteur Indépendant d'Electricité (PIE) la priorité est d'évacuer, tel est le cas de la société Green Yellow qui est le maitre d'ouvrage de la centrale solaire de Nagréongo avec qui la SONABEL a signé un contrat TAKE OR PAY. Donc avec un système double terne, la redondance est garantie. Et en cas d'un problème sur un des ternes de la ligne, l'autre terne prend le relais et peut ainsi évacuer la totalité de la production sans se détériorer.

Tableau XVII: Résultats et discussion sur Neplan

Options	Pertes	Chute de tension	Observations
Option 1	2,1552 MW	10,39 %	Pertes trop élevées, chute de tension ne respectant par la norme qui prévoit $\Delta U$ $\leq 5 \%$
Option 2	1,6181 MW	7,45 %	Pertes élevées, chute de tension ne respectant pas la norme qui prévoit ∆U ≤ 5 %
Option 3	0,9445 MW	4,15 %	Pertes acceptables, la chute de tension respecte la norme

En somme, il était question pour nous de faire une étude électrique de la ligne d'évacuation 33Kv Nagréongo-Ziniaré afin de déterminer le raccordement le plus judicieux et de vérifier qu'il respecte toutes les normes. Ainsi donc nous retenons le câble ASTER 228 Double terne, car il satisfait toutes les exigences requises.

# CHAPITRE IV. DIMENSIONNEMENT MECANIQUE DE LA LIGNE HTA

Dans la conception d'une ligne, l'étude mécanique se fait en tenant compte de différents paramètres, conditions et hypothèses climatiques. Le calcul manuel étant long et fastidieux, les entreprises aujourd'hui utilisent des logiciels comme Camélia pour exécuter l'étude des lignes. Pour le besoin de rigueur nous effectuons nos calculs sur une feuille Excel afin de déterminer les supports adéquats pour tenir la ligne.

Le calcul mécanique des lignes aériennes consiste à étudier les variations des tensions mécaniques et des flèches dans le but de :

- Construire des ouvrages sûrs et réglementaires dans le cas des nouvelles réalisations
- Déterminer l'effort maximal exercé par le conducteur sur les supports afin concevoir les structures nécessaires pour assurer la stabilité du système
- Vérifier que les distances réglementaires sont respectées dans les cas de flèches maximales.

#### IV.1. Données de base et hypothèses de calculs

#### IV.1.1. Normes et standards

Toutes les constructions se feront en conformité avec les prescriptions en vigueur au Burkina Faso, aux exceptions près suivantes :

- Les supports de la ligne HTA 33 kV recevront des mises à la terre (MALT) simplifiées.
- Les supports prévus pour être équipés d'un IACM recevront des MALT conformes aux prescriptions de la norme.
- Il ne sera pas fait usage de dispositif d'allongement contrôlé (DAC).
- Tout support devra être encastré dans un massif en béton.

# IV.1.2. Conditions climatiques

Le climat de la région du plateau central (Ziniaré) est sahélien avec deux saisons dans l'année :

- Une saison sèche d'octobre à mai :
- Une saison humide de juin à septembre.

# IV.1.3. Hypothèses de calcul

#### **\( \text{Hypothèses climatiques} \)**

Les calculs des tensions mécaniques des conducteurs seront effectués à partir des hypothèses ci-après :

La flèche la plus importante est déterminée à la température de +50°C sans vent.

Le récapitulatif des hypothèses à utiliser pour le calcul mécanique de la ligne est indiqué dans le tableau ci-après :

Tableau XVIII : Les hypothèses climatiques de calcul au Burkina Faso

Hypothèses	Définition	Température du câble °C	Vent (m/s)	Pression du vent (N/m²)	Tension à respecter
A	Condition de tous les jours	Moyenne annuelle : 28,9	Nul	0	15- 20% de la charge de rupture garantie
В	Condition de vent maximum	Moyenne annuelle : 28,9	Maximum : 36	837	≤ 40 % de la charge de rupture garantie
С	Condition de température minimale	Minimale : 15	0,6 fois le vent maximum: 21,6	602	≤ 40 % de la charge de rupture garantie
D	Condition de température maximale	Température maximale du conducteur : 50	Nul	0	

Source: Documentation SONABEL

Hypothèse A (Condition de vent nul)

- La température des conducteurs est la température de tous les jours.
- Le vent est nul.

Hypothèse B (Condition de vent maximum)

- La température des conducteurs est la température moyenne annuelle.
- Le vent est maximum.

Hypothèse C (Condition de température minimale)

- La température des conducteurs est la température minimale
- Le vent est réduit à 0,6 fois le vent maximum.

Hypothèse D (Condition de température maximale)

- La température des conducteurs est la température maximale de service
- Le vent est nul.

#### IV.1.4. Conditions géométriques

Le schéma ci-dessous illustre les différents éléments géométriques d'une ligne électrique.

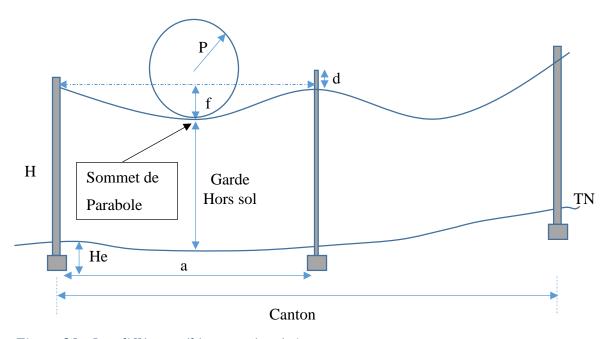


Figure 20 : Les différents éléments géométrique

La distance par rapport au sol est fixée à au moins 8m à la traversée des routes nationales et à au moins 6m pour le reste.

#### o Calcul de la hauteur des supports

C'est la longueur totale du support. Pour le réseau de distribution burkinabé on peut avoir des supports de 9 m, 11 m, 12 m et 14.

#### Hauteur hors sol du support (Hs)

C'est la hauteur du support non enterrée dans le sol

$$Hs = H - He$$

(15)

He = hauteur enterrée (m)

#### Coefficient de stabilité des massifs de fondation

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 :

Le coefficient de stabilité retenu est de :

- 1,2 pour les supports en alignement.
- 1,75 pour les supports en ancrage (angle ou arrêt ou angle souple supérieur à 10 gr).

Tableau XIX : Profondeur d'implantation des fondations de supports aériens de lignes BT et HTA

Effort	sur le support	Profondeur d'implantation << He>>		
		K = 1,2	K = 1,75	
Béton	$F \leq 6,5$	He = $\frac{H}{10}$ + 0,5(m)	$He = \frac{H}{10} + 0.7(m)$	
	KN	10	10	
	F > 6,5	He = $\frac{H}{20}$ + 1,3(m)	$He = \frac{H}{20} + 1.5(m)$	
Métal	KN	20	20	

Nous avons choisi des supports métallique tubulaires de 14m.



Figure 21 : Illustration d'un support métallique tubulaire double terne

# • Paramètre de la ligne (p) ou tension de réglage (t)

D'une manière générale, les paramètres 600m à 800m à +45°C sans vent sont utilisés. Cela donne pour le conducteur en almélec de section 228 mm² des portées équivalentes de cantons variant entre 140 et 150 m.

Afin d'éviter les effets de vibration préjudiciables à la bonne tenue de la ligne, la force de traction des conducteurs à +25°C sans vent est limitée à 18% de leur charge de rupture.

#### • Détermination des cantons

La norme NF C 11-201 recommande des cantons comportant 10 à 15 points supports au maximum. Ce qui permet de limiter les chutes en cascade de la ligne en cas de défaillance. Il est également recommandé d'éviter au maximum que le début ou la fin d'un canton ne soit sur un point d'angle supérieur ou égal à 30 grades car la probabilité que le poids soit un portique (04 supports) est grande. Dans un tel cas de figure il faut réduire le nombre de supports du canton.

#### • Calcul des portées équivalentes de la ligne

Le calcul de la portée équivalente nous permettra de faire le choix de l'effort de traction sur les supports d'arrêt ou en ancrage avec un angle supérieur à 30 grades sur un abaque. Elle est déterminée de la manière suivante :

Etude de la ligne de raccordement de la centrale solaire de Nagréongo au réseau de la SONABEL

$$a_e = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3 + - - - - + a_n^3}{a_1 + a_2 + a_3 + - - - - \mp a_n}}$$
(15)

a<sub>e</sub>= Portée équivalente

a= Portée entre 2 supports adjacents a<sub>1</sub> a<sub>2</sub>

#### • La flèche

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

(16)

Pour la première portée : a = 147 m et P = 800 m, on obtient alors :

$$f = \frac{147^2}{8 \times 800} = 3,38m$$

Nous avons calculé toutes les flèches de cette manière.

#### • Ecartement minimal entre les conducteurs

$$e_{min} = K_C \times \left(\frac{U}{150} + K_Z \times \sqrt{f + L}\right)$$

(17)

Avec  $K_c = 0.8$  et  $K_z = 0.9$ : zone à vent normal

L = 0 pour 2 ancrages successifs et L = 0.5 pour 2 alignements successifs

$$e_{min} = 0.8 \times \left(\frac{33}{150} + 0.9 \times \sqrt{3.38 + 0}\right) = 1.50 m$$

On fait de même pour tous les supports, en tenant compte qu'il s'agit de 2 alignements ou 2 ancrages successifs.

#### • Ecartement entre les conducteurs et les points de fixation

$$D = 0.8 \times \sqrt{(f-L) + 0.07 \times U}$$

(18)

Pour le premier support on obtient alors :

$$D = 0.8 \times \sqrt{(3.38 - 0.5) + 0.07 \times 33} = 1.82 m$$

On fait le calcul pour chacun des supports.

#### IV.1.5. Détermination de la tension du câble

Les conducteurs d'une ligne aérienne sont soumis aux variations de températures qui provoquent :

- Une dilatation du métal qui fait varier la tension
- Une variation de longueur due à la déformation élastique du métal sous l'effet de la variation de tension.

Le schéma ci-dessous illustre le changement d'état du conducteur en fonction des différentes hypothèses :

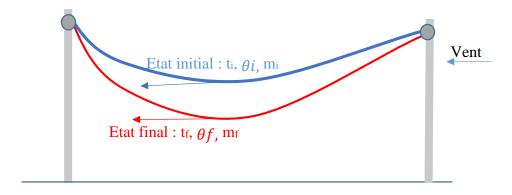


Figure 22 : Illustration de changement d'état du conducteur

#### - La tension maximale

$$Tmax = \frac{Effort \ de \ rupture}{K}$$

(19)

Pour l'almelec, l'effort de rupture est égal à 320 MPa donc 32 daN/mm²

K est le coefficient de sécurité :

K = 2,1 pour les pièces travaillant en flexion : supports

K = 3 pour les pièces travaillant en traction : conducteurs, chaînes d'isolateurs.

 $T = 53,33 \text{ daN/mm}^2$  pour les pièces travaillant en traction.

 $T = 76,19 \text{ daN/mm}^2$  pour les pièces travaillant en flexion.

#### - La tension initiale

Elle est caractérisée par :

$$ti = mi \times \omega \times P$$

(20)

Avec:

Mi : coefficient de surcharge initiale

 $\omega$ : poids spécifique du conducteur en daN/m.mm², pour l'almelec  $\omega$  = 0,00273

P: paramètre en m

Le coefficient de surcharge est égal à 1.

D'où on a :  $ti = 1 \times 800 \times 0.00273$ 

 $ti = 2,184 \ daN/mm^2$ 

#### - Tension finale

La tension finale est calculée pour chacune des hypothèses

- Hypothèse 1
  - Température =  $28.9^{\circ}$  C
  - Pression du vent sur le conducteur est nulle

# Coefficient de surcharge

$$mf = \frac{R}{\omega} = \frac{\sqrt{Fv^2 + P^2}}{P^2}$$

(21)

La pression est nulle alors mf = 1

D'après l'équation de changement d'état on a :

$$tf = \sqrt{\frac{B}{tf + A}}$$

(22)

Avec:

$$A = \left[ \frac{ae^2 \times mi^2 \times P^2 \times E}{24 \times Ti^2} - ti + \alpha \times E \times (\theta f - \theta i) \right]$$
(23)

Pour le premier canton ae = 147,21

$$= \left[ \frac{147,21^2 \times 1^2 \times 0,00273^2 \times 5700}{24 \times 2,184^2} - 2,184 + 23.10^{-6} \times 5700 \times (55 - 28,9) \right]$$

$$A = 9.28$$

$$B = \frac{ae^2 \times mf^2 \times P^2 \times E}{24}$$

(24)

$$=\frac{147,21^2\times1^2\times0,00273^2\times5700}{24}$$

B = 38,35

Dons tf pour le canton 1 et l'hypothèse A est : tf = 3,65

On procède de même pour tous les cantons.

Hypothèse 2

- Température =  $28.9^{\circ}$  C
- Pression est de 837 Pa soit 83,7daN
- Coefficient de surcharge :

$$mf = \frac{R}{\omega} = \frac{\sqrt{Fv^2 + P^2}}{P^2}$$

$$mf = \frac{\sqrt{(83,7 \times 0,0196)^2 + (0,00273 \times 228)^2}}{0.00273 \times 228}$$

mf = 2,81

$$A = \left[ \frac{147,21^2 \times 2,81 \times 0,00273^2 \times 5700}{24 \times 2,184^2} - 2,184 + 23.10^{-6} \times 5700 \times (55 - 28,9) \right]$$

A = 23,83

$$\boldsymbol{B} = \frac{147,21^2 \times 2,81^2 \times 0,00273^2 \times 5700}{24}$$

B = 302,88

Dons tf pour le canton 1 et l'hypothèse B est : tf = 4.05

On procède de la même façon pour la suite.

Tableau XX: Tableau des résultats de force de traction par hypothèse

Hypothèse	Force de traction Maximale dans un (01) conducteur (daN/mm²)	Fleche maximal (m) à 55°C sans Vent
Hypothèse A	3,65	3,38
Hypothèse B	4,05	3,38

#### IV.2. Dimensionnement des isolateurs

La méthode de dimensionnement des isolateurs est la suivante :

- Faire le choix du type d'isolateur (matériau de construction)
- Déterminer la tension de contournement en fonction du degré de pollution de la zone
- Calculer la longueur minimale de la ligne de fuite
- Déterminer la longueur de la chaine et le nombre d'assiettes de l'isolateur.

Le dimensionnement de l'isolateur consiste à faire le choix du matériau de fabrication, calculer la ligne de fuite minimale et déterminer le nombre d'élément de la ligne. Les paramètres à prendre en compte sont le niveau de tension de la ligne et la tenue aux chocs de foudre (BIL).

#### ✓ Choix du matériau de l'isolateur

Les types d'isolateurs utilisés sur les lignes aériennes ont été décrits dans le chapitre des

généralités. Une comparaison entre les matériaux des différents isolateurs a montré que les isolateurs de type composite présentent plus d'avantages que les deux autres types. Ces isolateurs présentent à la fois une contrainte mécanique élevée et un coût moyen. Les isolateurs de type composite seront donc retenus pour notre projet.

# ✓ Tension de contournement de l'isolateur en fonction du degré de pollution de la zone d'étude

La tension de contournement est déterminée en fonction du niveau de pollution de la zone du projet. Selon la norme EN 60 071-2, le site du projet de la ligne 33 kV Ziniaré-Nagréongo peut être considéré comme une zone moyennement polluée. Le tableau ci-dessous donne la tension de contournement en fonction du niveau de pollution de la zone.

Tableau XXI Tension de contournement en fonction du degré de pollution

	Zone de pollution				
	Ι	II	III		
Salinité (kg/m <sup>3</sup> )	7	20	80		
Niveau de	Faiblement polluée	Moyennement	Fortement		
pollution		polluée	polluée		
β (cm/kV)	1,48	1,83	2,34		

La tension de contournement retenue pour ce projet est  $\beta = 1.83$  cm/kV.

# ✓ Calcul de la longueur de la ligne de fuite de l'isolateur

La longueur de la ligne de fuite des isolateurs se calcule suivant la formule ci-après.

$$Lf = 1, 1 \times Um \times \beta$$

(25)

Où U<sub>M</sub> =36 kV est la tension la plus élevée pour le matériel de la ligne 33 kV

$$Lf = 72,5 cm = 725 mm$$

✓ Détermination de la tension de tenue de chocs de foudre (BIL)

Tableau XXII: Tension la plus élevée du matériel Um en fonction du BIL

	Tension nominale	Tension la plus élevée	Tension nominale de tenue	
	de la ligne	pour le matériel	aux chocs de foudre	
	UN [kVeff]	UM [kVeff]	BIL [kV <sub>crête</sub> ]	
	3	3.6	40	
	6	7.2	60	
Classe A: 1	10	12	75	
$\leq U_m \leq 52$	15	17.5	95	
	20	24	125	
	.0	36	170	
	50	52	250	
	70	72.5	325	
Classe B: 52	110	123	450	
$\leq U_m \leq 300$	130	145	550	
	150	170	650	
	220	245	750	

Nous trouvons ainsi une tension de tenue aux chocs de foudre de 170 kV.

#### **✓** Détermination de la tension exercée par les conducteurs

Les isolateurs sont choisis en tenant compte non seulement de la tension de tenue aux chocs de foudre, mais aussi de la tension qui leur sera appliquée par traction des conducteurs. Ils doivent donc être en mesure de vaincre également cette tension qui est liée à la charge de rupture assignée du conducteur.

La charge de rupture de l'ASTER 228 est de **7405 daN**. La norme exige que l'effort de tête des isolateurs soit supérieur au tiers de la tension de rupture du conducteur. Nous avons ainsi :

$$Tmax \ge \frac{1}{3} \times Trupture$$
(26)

Tmax = 2468 daN = 24,68 kN

#### ✓ Choix de l'isolateur

Le tableau ci-dessous nous permet de choisir l'isolateur adéquat :

Tableau XXIII : Caractéristiques d'assiettes standard Le BIL est déterminé en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel.

Nous allons nous référer au tableau ci-dessous pour la détermination du BIL :

Type standard		Effort en tête					
	70	100	120	160	210	240	300
Caractéristiques	F70/127	F100/127	F120/127	F160/146	F210/170	F240/170	F300/195
d'une assiette							
Pas [mm]	127	127	127	146	170	170	195
Ligne de fuite	320	318	315	380	380	380	485
[mm]							
Masse [kg]	3,5	3,7	3,8	6,0	7,1	7,4	10,9

Le type standard de caractéristiques F70/127 convient parfaitement pour notre projet, car son effort en tête est directement supérieur à la tension maximale requise.

# ✓ Détermination de la chaine d'isolateur

Nous allons utiliser le tableau ci-dessous qui donne une relation entre le BIL et le nombre d'assiettes en fonction du pas de l'isolateur pour une première approche.

Type standard	Pas [mm]			
	127	146	170	195
Nombre d'assiettes		BIL	[kV]	
2	190	190	205	225
3	260	270	285	315
4	320	340	360	405
5	380	410	440	495
6	435	480	520	580
7	490	550	600	665
8	550	620	675	745
9	615	690	755	830
10	675	760	835	910
11	735	830	915	990
12	795	900	990	1070

Nous trouvons un nombre d'assiettes  $N_1 = 2$  assiettes. Nous allons ainsi déterminer le nombre théorique d'assiettes  $N_2$  en appliquant la formule ci-dessous :

$$N1 = \frac{725}{320} = 2,265$$

Nous avons: [N1 - N2] < 5 nous choisirons donc un nombre d'assiettes égal à 2.

# **Conclusion:**

Nous allons ainsi utiliser 2 assiettes de type F70/127.

Les caractéristiques de notre chaîne d'isolateurs sont :

- Isolateurs de type F70/127
- Pas = 127 mm
- Nombre d'assiettes = 2
- Longueur de la chaîne =  $127 \times 2 = 254$  mm
- Longueur de la ligne de fuite =  $320 \times 2 = 640 \text{ mm}$
- Tenue de la chaîne aux chocs =  $2 \times 70 = 140 \text{ kN}$
- Masse de la chaîne =  $3.5 \times 2 = 7 \text{ kg}$

# IV.3. Détermination du poids linéique, de la force du vent, de la pression dynamique, de l'angle d'inclinaison ou de balancement de la chaîne d'isolateurs et du poids équivalent

Les paramètres à déterminer dans cette partie doivent être déterminés pour chaque hypothèse d'étude à l'exception du poids spécifique ou linéique P qui se détermine uniquement à l'état de référence initiale du câble (à 20 °C) et reste le même dans les différentes hypothèses. Nous allons effectuer ainsi les opérations pour l'hypothèse 1, choisie aléatoirement pour montrer comment s'effectuent les calculs.

#### • Détermination du poids linéique

Les caractéristiques de l'Aster 228 nous permettent de calculer son poids linéique. Nous avons ainsi :

$$P_{ASTER} = masse \times g \tag{27}$$

Avec: g = 9.8 m/s

 $P_{ASTER} = (627 + 17) \times 10^{-3} \times 9,81$ , nous trouvons alors :

$$P_{ASTER} = 6,31N/m$$

# • Détermination de la force du vent pour l'hypothèse 2

La force du vent se détermine par la formule ci-dessous :

$$\mathbf{F} = \mathbf{C}\mathbf{x} \times \mathbf{q} \times \mathbf{d} \tag{28}$$

Avec:

Cx: Coefficient de trainée Cx = 1 pour notre étude

D: diamètre du câble ASTER 228

Q: la pression dynamique

On trouve alors:

$$F = 1 \times 837 \times 0.0196$$

F = 16,40 N/m

# • Détermination de l'angle de balancement de la chaine d'isolateur

Sous l'effet des conditions climatiques et du vent de l'hypothèse considérée, la chaine d'isolateur va s'incliner en formant un angle avec la verticale du support. Cet angle est appelé angle de balancement et il se détermine à partir de la formule ci-dessous :

$$\varphi = tan^{-1} \left( \frac{F}{P} \right) \tag{29}$$

# Détermination du poids équivalent pour l'hypothèse considérée

En appliquant la formule suivante :

$$Peq = Pcos\phi + Fsin\phi$$
(30)

#### • Détermination de la tension maximale

Cette formule est donnée par la RGIE

$$Tmax = \frac{1}{3} \times Trupture$$
(31)

On obtient alors:

$$=\frac{1}{3}\times7405$$

Tmax = 24680 N/m

#### • Détermination de la portée critique

Elle est déterminée à partir de l'équation d'état (équation de Blondel) en exprimant que les tensions dans les câbles doivent êtres égales pour les deux hypothèses considérées. On applique ainsi la formule suivante :

$$Pc = \sqrt{\frac{24 \times \alpha \times (\theta x - \theta) \times Tmax^{2}}{Peqx^{2} - P^{2}}}$$
(32)

Avec:

 $\alpha$ : Coefficient de dilatation thermique ( $C^0$ )

Peq, x : poids équivalent du câble à l'hypothèse X en N/m

P: poids équivalent du câble en N/m

Tmax: la tension maximale en N

Pc, x : la portée critique à l'état x

 $\Theta x$  et  $\Theta$ : respectivement la température de l'hypothèse x et celle de référence du câble ( $\mathbb{C}^0$ ).

On obtient alors:

Tableau XXIV: Tableaux des différents résultats pour chaque hypothèse.

Hypothèses	P (N/m)	$Q(N/m^2)$	F (N/m)	φ Degré ()	Peq (N/m)	Pc (m)	Pmoy = 147m
Α	6,31764	0	0	0	6,31764	0	Pc < Pmoy
В	6,31764	793,8	15,55848	67,900273	16,792227	111,19758	Pc < Pmoy
С	6,31764	285,768	5,6010528	41,559509	8,443007	308,88216	Pc >Pmoy
D	6,31764	0	0	0	6,31764	0	Pc < Pmoy

#### IV.4. Calcul des efforts sur les supports

Le calcul des efforts sur les supports ou poutrelles métalliques nous permettra de déterminer la tenue mécanique des supports. Cette tenue mécanique est comparée à l'effort de ruine du support donné par le constructeur afin d'effectuer un choix judicieux des supports. Les efforts de vent sur les supports dépendront du type de support (alignement, arrêt ou d'angle important).

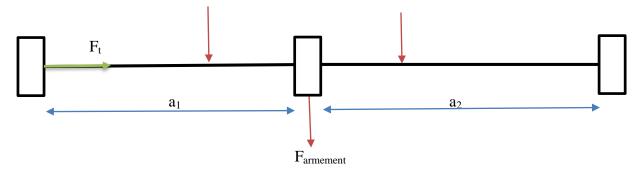


Figure 23 : Représentation des portées et les différents types d'efforts

# IV.5. Calcul des efforts de vent sur les supports d'alignement

Il existe deux efforts de vent exerçant sur un support à savoir :

- L'effort de vent sur les conducteurs
- L'effort de vent sur les armements

L'effort de vent sur la grande et petite face du support est déjà pris en compte lors de la fabrication des supports.

L'effort de vent sur les conducteurs se calcule de la façon suivante :

$$Fv = n \times v \times a = n \times \left[\frac{a_1 + a_2}{2}\right] \times v$$
(33)

Avec:

 $\mathbf{F}\mathbf{v} = \text{effort de vent sur les conducteurs (daN)}$ 

n = nombre de conducteur

a = portée entre deux supports (m)

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

L'effort sur les ferrures et les isolateurs (armement), pris forfaitairement forfaitaire à 25 daN pour 240 Pascal de vent car la condition la plus défavorable est l'Hypothèse B, 28,9°C et 837 Pascal de vent. Pour l'ensemble ferrures +3 chaînes d'isolateurs.

L'effort total de vent sur un support est :

$$F_{vt} = \frac{1}{k} \left[ F_v + F_{armement} \right] = \frac{1}{k} \left( n \times \left[ \frac{a_1 + a_2}{2} \right] \times v + F_{armement} \right)$$
(34)

Avec:

 $\mathbf{k} = 0.9$  pour les armements de types nappe voûte (NV)

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

# IV.6. Calcul des efforts de traction des conducteurs sur les supports

L'effort de traction des conducteurs sur les supports est calculé avec la formule suivante :

$$F_t = n \times T \times s$$

(35)

Avec:

n: nombre de conducteur

T: tension du câble

S : section de câble

#### IV.7. Calcul des efforts totaux sur le support d'arrêt ou d'angle > 30 Grade

Les efforts totaux sur un support d'arrêt ou d'angle important (support d'ancrage) sont déterminés par la formule suivante :

$$F_{total} = \sqrt{F_{vt}^2} + F_t^2$$

(36)

Avec:

 $\mathbf{F}_{vt}$ = Efforts totaux sur support (daN)

 $\mathbf{F}_{t}$ = Effort de traction des conducteurs sur le support (daN)

#### IV.8. Inclinaison et retournement des chaines

Il faut s'assurer que dans les conditions les plus défavorables (au Burkina Faso, +25°C et vents horizontaux de 480 Pa), la portance reste positive. Si non quatre (4) solutions s'offrent à nous :

- Modification du lieu d'implantation du support ;
- Surélévation du support ;
- Mise en ancrage de la ligne;
- Mise en place de contre poids.

Nous allons privilégier dans notre étude, la mise en ancrage de la ligne car elle est la plus rapide et la plus économique au-delà de 1m de surélévation.

# IV.9. Dispositifs de coupure et de protections

Dans notre cas précis, toutes les protections se feront au niveau du poste de Ziniaré. On aura :

- o Deux cellules disjoncteur.
- o Cellule interrupteur supplémentaire PDL

# IV.10. Résultats et discussion de l'étude mécanique

Tableau XXV: Tableau récapitulatif des résultats de l'étude mécanique

Paramètre	Nombre	Longueur	Valeur à ne pas	Observations
		trouvée	dépasser	
		( <b>m</b> )		
Points	17	-	-	Les conditions du site
d'angles				nous obligent avoir 17
				points d'angle.
Cantons	25	-	-	Compte tenu du double
				terne de la ligne.
Supports	132	-	-	Nous avons des supports
				métalliques de 14m
Portées	131	-	150m	Pour l'équilibre de la
				ligne, les portées doivent
				être inférieur à 150m
f	132	3,38	-	-
D	132	1,82	-	-
<i>e</i> min	-	1,50	-	-
Hauteur des	132	14	-	Valeur déterminée en
supports				fonction de la
				topographie du terrain et
				des portées optimales

# IV.11. Présentation et méthodologie du logiciel CAMELIA

# IV.11.1 Présentation du logiciel CAMELIA

CAMELIA est un logiciel de CAlcul Mécanique de LIgnes Aériennes de distribution, offrant

en standard une bibliothèque d'hypothèses, de règles de calcul et de matériels totalement compatible avec la norme française C11-201. Les règles de calcul sont paramétrables afin de s'adapter aux règles internationales. Une étude de ligne peut comporter plusieurs tronçons : lignes principales et lignes secondaires HTA, dérivations, étoilements, lignes BT. Le programme fait le choix des supports, des armements et des DAC (Dispositif à Allongement Contrôlé) en fonction des efforts calculés pour différentes hypothèses climatiques, symétriques ou dissymétriques. Il vérifie l'écartement entre conducteurs nus, l'inclinaison et le retournement des chaînes isolantes. Il édite les tableaux de pose, calcule la surcharge de givre (non applicable au Burkina) déclenchant les DAC et restitue les flèches après leur ouverture.

Les calculs mécaniques ont été effectués à l'aide du logiciel CAMELIA version 4.10d.

Dans sa version originale, la bibliothèque de ce logiciel ne contient que des données françaises : contraintes règlementaires, conditions climatiques, caractéristiques du matériel, etc... Nous avons modifié les conditions climatiques selon les données de la SONABEL.

Ce logiciel est essentiellement un outil de vérification car il n'analyse que des propositions objectives, par exemples :

- Répartition des structures dans un canton ;
- Validation des supports ;
- Validation des armements ;
- Validation des flèches des conducteurs suivant les états des conducteurs etc...

Le procédé d'optimisation est donc itératif car une répétition des actions peut s'avérer nécessaire dans la plupart des cas pour obtenir une bonne optimisation.

# IV.11.2 Méthodologies du logiciel CAMELIA

Avant d'aborder toute simulation sur le logiciel CAMELIA, dans un premier temps nous devons entrer les hypothèses communes à l'étude dans son ensemble dont :

Hypothèse A1 : 25°C (température moyenne) avec une pression de vent de 200 Pa. Elle correspond à un vent fort de vitesse 20 m/s à une température de 25 °C ;

Hypothèse B1 : 15°C (température minimale) avec une pression de vent de 30 Pa. Elle correspond à un vent fort de vitesse 8 m/s à une température de 15 °C

La flèche la plus importante est déterminée à la température de +50°C.

Ensuite entrer les données des supports et des cantons. L'entrée des données des supports et des cantons permet de saisir toutes les caractéristiques des supports et des cantons dont : nom, hauteur, fonction du support, nature du sol, Ks, longueur de portée, isolateur, armement, KABORE W. Diane Master II Génie Electrique et Energétique Promotion 2021-2022

équipement, tension, conducteur, type de ligne etc.

Aussi pour le choix du type d'armement, nous devons saisir une gamme d'armements que propose la bibliothèque du logiciel Camélia. Le choix de cette géométrie permet le calcul des dénivelées, des écartements, des retournements et inclinaisons de chaînes.

Enfin nous pouvons passer à la simulation puis à l'impression des résultats après avoir vérifié si les calculs des écartements, des retournements et inclinaisons de chaînes sont corrects.

#### ♣ Présentation de l'interface de Camélia

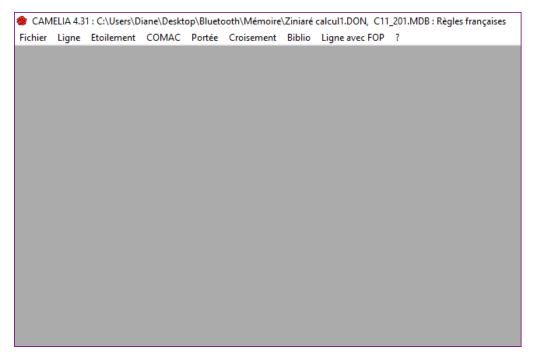


Figure 24: Interface de CAMELIA

Lorsque nous sommes face à l'interface Camélia, nous avons plusieurs menus tels que :

- Fichier
- Ligne
- Etoilement
- COMAC
- Portée
- Croissement
- Biblio
- Ligne avec FOP

Après avoir créé et enregistré notre étude, nous avons choisi le menu « ligne avec FOP » car notre ligne HTA 33 kV est munie d'une fibre optique. Une fenêtre va donc s'ouvrir ou nous

allons cliquer sur « Saisie de donnée » qui ouvre automatiquement une petite fenêtre ou on peut lire : saisie de donnée

- Hypothèses
- Supports
- Cantons
- Vérifier hauteur supports

Nous pouvons donc débuter notre étude proprement dite en renseignant la fenêtre « saisie de donnée » de ses quatre (04) éléments mentionnés ci-dessus.

o Hypothèses

Cette option permet à l'utilisateur de modifier les hypothèses qui seront utilisées en commun pour tous les cantons de l'étude. On peut également indiquer la période de construction de la ligne électrique.

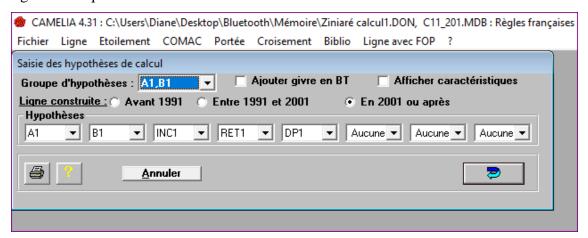


Figure 25 : Saisie des hypothèses de calcul

#### o Supports

Cette option permet de saisir toutes les caractéristiques des supports.

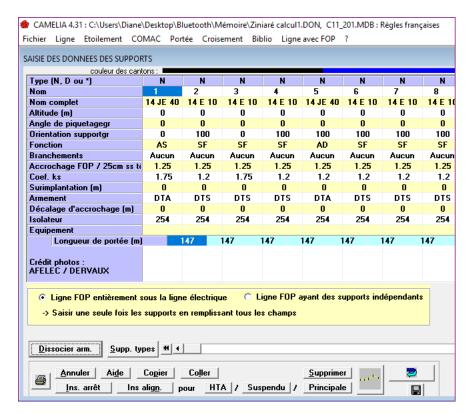


Figure 26 : Saisie des supports

#### Cantons

Cette option permet de saisir toutes les caractéristiques des cantons de l'étude.

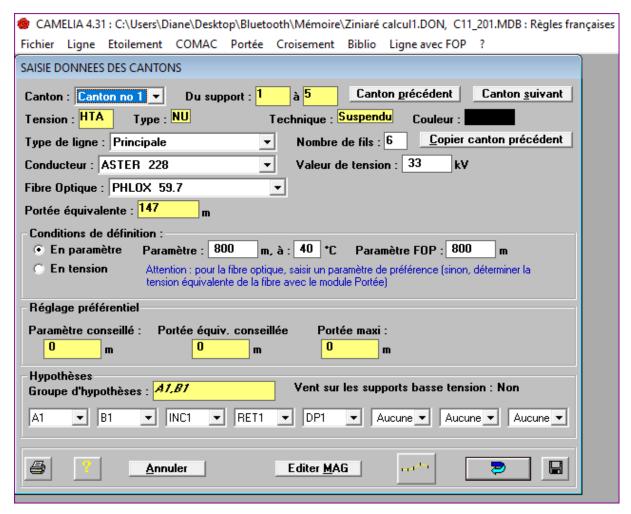


Figure 27 : Saisie des données cantons

 Vérification hauteur des supports
 Cette option permet de vérifier les distances à 40°C entre le conducteur et la fibre ainsi qu'entre la fibre et le sol ou un obstacle.

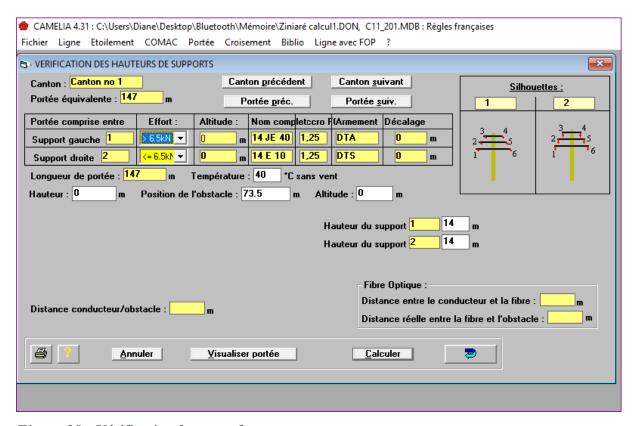


Figure 28 : Vérification hauteur des supports

#### IV.12. Résultats et discussion

Pour simplifier la restitution des résultats vu la longueur des rapports CAMELIA, nous n'allons présenter que les résultats du canton n<sup>0</sup>1 et joindre les autres en annexes à savoir : la vérification des cantons, vérification des supports, vérification des conducteurs et les tableaux de pose.

Conducteur: ASTER 228

Longueur unifilaire du canton : 3735,97 soit une masse de câble sec : 2215.2 kg

Paramètre : 800 m à 40°C Portée équivalente : 147 m

Tableau XXVI: Flèches médianes (m)

Portée		Température de réglage t <sup>0</sup> C										
Support	Long	-5	-5 0 5 10 15 20 1							35	40	
	(m)											
1/2	147	2 ,17	2,31	2,46	2,59	2,73	2,87	3	3,13	3.25	3,38	
2/3	147	2,17	2,31	2,46	2,59	2,73	2,87	3	3,13	3,25	3,38	
3/4	147	2,17	2,31	2,46	2,59	2,73	2,87	3	3,13	3,25	3,38	
4/5	147	2 ,17	2,31	2,46	2,59	2,73	2,87	3	3,13	3,25	3,38	

#### Tableau XXVII: Tension en kN

	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Tens.horiz kN	7,65	7,18	6,77	6,4	6,08	5,8	5,54	5,31	5,11	4,92
Tens.gauche kN	7,66	7,19	6,78	6,42	6,1	5,81	5,56	5,33	5,13	4,94
Tens.droite kN	7,66	7,19	6,78	6,42	6,1	5,81	5,56	5,33	5,13	4,94

# Tableau XXVIII: Longueur chainette

Portée		Température de réglage t <sup>0</sup> C										
Support	Long	-5	-5 0 5 10 15 20 25 30 35								40	
	(m)											
1/2	147	147,09	147,1	147,11	147,12	147,14	147,15	147,16	147,18	147,19	147,21	
2/3	147	147,09	147,1	147,11	147,12	147,14	147,15	147,16	147,18	147,19	147,21	
3/4	147	147,09	147,1	147,11	147,12	147,14	147,15	147,16	147,18	147,19	147,21	
4/5	147	147,09	147,1	147,11	147,12	147,14	147,15	147,16	147,18	147,19	147,21	

Nous pouvons constater que les résultats obtenus manuellement sont pratiquement similaires avec ceux de CAMELIA.

Dans ce chapitre il était question pour nous de réaliser le dimensionnement mécanique d'une ligne HTA 33Kv solide et règlementaire afin qu'elle puisse tenir. Nous avons obtenu 25 cantons pour 132 supports métalliques tubulaires de 14m de hauteur. Les isolateurs utilisés seront en

verre trempé avec une chaîne constituée de 2 assiettes standard. Chaque chaîne aura une tenue aux chocs de foudre de 140 kN avec une ligne de fuite de 640 mm. L'implantation de nos supports pourrait entrainer une modification du paysage au niveau du site, voilà pourquoi dans le chapitre suivant nous allons aborder l'étude d'impact environnemental et social de notre projet.

# CHAPITRE V. RESUME DE LA NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

Dans cette partie nous allons présenter un résumé bref de l'étude d'impact environnemental et social du projet de construction de la ligne HTA 33Kv Nagréongo-Ziniaré. Le projet de construction d'une ligne électrique HTA 33kV est classé en Catégorie B. Il est susceptible d'engendrer des impacts environnementaux et sociaux nuisibles et spécifiques aux sites du projet, qui peuvent être minimisés par l'application de mesures d'atténuation présentées dans un PGES.

# V.1. Cadres politiques, juridiques et institutionnel

Les Lois et textes nationaux que sont entre autres, le Code de l'environnement du Burkina Faso, la Loi sur la Réorganisation Agraire et Foncière (RAF), le Code forestier, la Loi d'orientation sur la gestion de l'eau et les textes d'application de ces Lois ainsi que les Normes de Performance de la SFI ont été abordés et servent de référence pour une meilleure gestion du projet. La NIES a été préparée conformément aux normes de performance de la SFI et de la législation burkinabé en matière de gestion environnementale et sociale, notamment le Décret 2015-1187/PRES-TRANS/PM/MERH/MATD/MME/MS/MARHASA/MRA/MICA/

MHU/MIDT/MCT du 22 octobre 2015, portant conditions et procédures de réalisation et de validation de l'évaluation environnementale stratégique, de l'étude et de la Notice d'impact environnemental et social.

## V.2. Les impacts et risques du projet

## Impacts positifs

La construction de la ligne va contribuer à l'amélioration de la qualité du service sur l'ensemble du territoire national. Ce qui va favoriser le fonctionnement des unités industrielles qui de nos jours, voient leur rendement de production négativement impacté par les délestages récurrents dans la fourniture d'électricité par la SONABEL. Cela améliorera aussi les conditions de vie et changera du point de vue qualitatif les procédés de production dans le secteur de l'agriculture, de l'artisanat, du commerce et bien d'autres activités. L'apport de l'électricité dans les villages sera un vecteur fort de développement

tout azimut dans la localité et pour l'extension du tissu urbain.

La politique RSE qui sera mise en œuvre participera à l'amélioration des conditions de vie des populations

Dans le cadre de sa politique d'accompagnement social, SPES a prévu les actions suivantes :

- La construction et l'équipement d'un laboratoire de santé ;
- La construction et l'équipement de 3 salles de classe y compris des bureaux + magasin + latrines + logement et du mobilier à Tibin ;
- La construction et équipement de 2 salles de classe au Lycée Départemental de Nagréongo ;
- L'acquisition de mobiliers scolaires (tables-bancs + bureaux + chaises) au profit des écoles de la CEB ;
- L'acquisition de produits pharmaceutiques au profit des CSPS d'équipements sanitaires au profit des CSPS (lits + chaises + bancs);
- La mise en place d'un fonds pour le financement des Activités Génératrices de Revenus (AGR) au profit des Femmes et des Jeunes

Afin de compenser les pertes d'arbres, il est prévu aussi :

La création d'une pépinière au profit du SDEEVCC de Nagréongo

## Impacts négatifs

Les impacts environnementaux du projet ont été étudiés sur le milieu physique, biologique et humain (social, culturel et économique).

Les principaux impacts environnementaux négatifs du projet en phase construction sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau XXIX: Les impacts environnementaux négatifs

Composante récepteur	Activité/source	Impact	Importance	Mesures d'atténuation
Qualité de L'air	Travaux de préparation, d'aménagement et de construction	Pollution de l'air par les émissions de poussières et de gaz d'échappement	Moyenne	<ul> <li>Utiliser les pistes existantes;</li> <li>Arroser les pistes d'accès susceptibles de générer de la poussière;</li> <li>Informer et sensibiliser les Populations riveraines;</li> </ul>
Sol	Travaux de préparation, d'aménagement et de construction	Destruction de sa structure ; Erosion hydrique et où Éolienne ;	Moyenne	<ul> <li>Réaliser des études géophysiques pour la situation de référence avant les travaux;</li> <li>Collecter et éliminer les déchets;</li> <li>Remettre en état les sols;</li> </ul>
Eaux souterraines	Travaux de préparation, d'aménagement et de construction	Imperméabilisation et de pollution du sol	Mineure	<ul> <li>Réaliser des études</li> <li>hydrogéologiques pour la situation de référence avant le démarrage des travaux;</li> <li>Mettre en place des installations sanitaires, des vestiaires dans la base vie en respectant les normes;</li> <li>Informer et former les travailleurs en vue de l'application des programmes de gestion des déchets;</li> <li>Collecter et éliminer les déchets de chantier;</li> <li>Mettre en place une procédure de réaction rapide en cas de déversement majeur de produits dangereux sur le sol.</li> </ul>

Eaux de surface	Travaux de préparation, d'aménagement et de construction	Contamination des eaux; Erosion hydrique; Perturbation des eaux de ruissellements	Mineure	<ul> <li>Collecter et éliminer les déchets de chantier;</li> <li>Remettre en état les sols (terre végétale notamment);</li> <li>Préserver le ruissellement naturel des eaux;</li> <li>Préserver l'écoulement des eaux en respectant les pentes naturelles.</li> </ul>
Flore	Déboisement du site	Perte de végétation	Moyenne	<ul> <li>Respecter la procédure administrative avant les travaux de coupe;</li> <li>Mettre en place des procédures pour la gestion des déchets et pollutions;</li> <li>Mettre en place un plan de gestion de la biodiversité et assurer le suivi.</li> </ul>
Faune	Travaux d'aménagement	<ul> <li>Perturbation des espèces présentes ;</li> <li>Pertes d'habitats • Mortalité.</li> </ul>	Moyenne	<ul> <li>Baliser les zones de chantier et limiter l'accès, aux engins et personnel, aux zones voisines;</li> <li>Mettre en place un plan de gestion de la biodiversité et assurer le suivi.</li> </ul>
Activités socio- économiques	Libération de L'assiette foncière	Perte de terres Pertes d'arbres	Moyenne	<ul> <li>Payer les indemnisations relatives à la libération de l'assiette foncière (site et tracé)</li> <li>Accompagner dans la RSE les populations riveraines du site;</li> <li>Privilégier la main d'œuvre locale à compétence égale;</li> </ul>
				<ul> <li>Respecter les engagements qui seront pris .</li> </ul>

Cadre de vie	Génération de bruit ou de déchets pendant les travaux	Détérioration du cadre de vie	Moyenne	<ul> <li>Mettre en place le planning et les procédures qui limitent au maximum les travaux bruyants;</li> <li>Veiller au capotage de certains équipements très bruyants tels que les moteurs diesels, les compresseurs, etc.</li> <li>Collecter, trier et acheminer les déchets vers les décharges autorisées.</li> </ul>
Paysage	Pose des supports et des câbles électriques	Modification du paysage	Mineure	<ul> <li>Niveler les surfaces;</li> <li>Démanteler et transférer hors site tous les équipements et matériels non nécessaires.</li> </ul>
Hygiène, Santé, Sécurité	Travaux de préparation et d'aménagement du site.  Présence de travailleurs  Utilisation des engins de chantier	Accidents divers, et de maladies	Moyenne	<ul> <li>Sensibiliser le personnel et les populations riveraines aux risques de maladies;</li> <li>Mettre en place des balises et des pictogrammes;</li> <li>Sensibiliser et former les travailleurs en HSE;</li> <li>Doter d'EPI adéquats;</li> <li>Déclarer les travailleurs au niveau des services compétents.</li> </ul>

Les principaux impacts techniques négatifs du projet en phase exploitation sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau XXX: Les principaux impacts techniques négatifs

Phase du projet	Activités/	Impact	Description de	Milieu récepteur
	sources		l'impact	
	d'impact		potentiel	
Phase des	Bornage et	Occupation	Dégradation du	Sol
travaux	délimitation des	foncière ;	milieu physico	Flore
	emprises,	Destruction de	biologique ;	Air
	Fondation des	couvert végétal ;	Pollutions	Paysage
	Poteaux, Pose	Piétinement des	atmosphériques ;	Homme
	des	sols ; Déchets ;	risque des	Faune
	câbles et des fils	Poussière ;	accidents; Perte	Foncier
	conducteurs	Paysage; Bruits	de terres	
		et vibrations	cultivables et des	
			domiciles par les	
			populations	

Phase d'exploitation	Ligne électrique	Diminution des surfaces à usage agricole; Diminution du couvert végétal; Changement perception du paysage; Bruit; Champ électromagnétique et foudre; Electrocution	La santé mise en danger, la dégradation du milieu physico biologique.	Humain Foncier Végétation Paysage Air Faune
	Entretien	Diminution des surfaces à usage agricole; Diminution du couvert végétal; Pollution accidentel et de piétinement des sols; Déchets solides; Pollution temporaire	Pertes des terres cultivables, destruction du couvert végétal, Pollution de l'air, Maladies des appareils Respiratoires à cause des différents produits chimiques utilisés (peinture)	Foncier Végétation Sol paysage Eau Faune humain Socioéconomique
Phase de destruction	Démontage des lignes et des poteaux	Erosion accrue ; Perte des sols ; Déchets ; Perte d'emploi	Pollution de l'air ; Fin des contrats de travail ; etc.	Air Paysage Sol Humain

L'analyse des impacts du projet de construction de la ligne HTA montre que les impacts positifs sur les populations locales et sur le pays tout entier, supplantent considérablement ceux qui sont négatifs. Toutefois, une attention toute particulière devrait être accordée aux mesures d'atténuation des impacts et au PGES pour une meilleure protection des personnes, des biens et de l'environnement. Les mesures de maîtrise des risque proposées permettront une meilleure prévention des accidents et incidents durant les phases de construction et d'exploitation de la ligne électrique.

## V.3. Analyse et gestion des risques

Une analyse des risques devrait être réalisée afin d'inventorier, qualifier, quantifier et hiérarchiser les risques associés à l'installation et à l'exploitation de la ligne électrique. Le but étant de proposer des améliorations et de déterminer les fonctions de sécurité permettant de gérer les différents risques par des précautions et des moyens de prévention. Dans notre étude les principaux risques identifiés sont les risques professionnels.

## **♣** Identification des risques professionnels

Les risques professionnels sont occasionnés par l'exposition du personnel aux différents dangers relatifs aux activités menées pour la mise en œuvre du projet. Ces différentes activités sont réalisées pendant les phases suivantes :

- Préparation du terrain et réception du matériel ;
- Construction de la ligne électrique ;
- Exploitation de la ligne et maintenance.

Le tableau qui suit présente les opérations effectuées au sein de la centrale qui sont sources de dangers, les risques associés et les moyens de prévention.

En dehors des risques relatifs aux activités menées, les risques liés à l'affluence du personnel venus d'origines diverses sont à considérer et les mesures préventives à privilégier. En effet, le contexte mondial actuel marqué par la pandémie de la covid-19 appelle à une plus grande vigilance dans la prévention des épidémies. Cette pandémie responsable de milliers de décès dans le monde, avec un niveau de contagion élevé a une propagation fulgurante.

Tableau XXXI: Identifications des risques professionnels

	Phase préparation du terrain et réception du matériel								
Opération	Moyens utilisés	Danger	Risque	Mesures de prévention					
Préparation du terrain : déboisement ; déblai ; nivellement ; etc.	Engins de chantier Pelle mécanique, manuelle	poussière Emanation de fumée Circulation des	Maladies dues à l'inhalation de la poussière, de la fumée Blessures	d'eau pour éviter la levée de la poussière ;					
Déchargement des matériels	Engin Manuelle	Manipulation de charges lourdes Chute d'objets	Trouble Musculo Squelettique Blessures	<ul> <li>Limiter les chargements des véhicules;</li> <li>Travailler en chaine au besoin;</li> <li>Porter des EPI tels que : casque, gant, chaussure de sécurité;</li> <li>Baliser et mettre en place des consignes de sécurité lors du déchargement du matériel.</li> </ul>					
Manutention	Mécanique Manuelle	Manipulations de charges lourdes	Trouble Musculo Squelettique Blessures	<ul> <li>S'équiper d'équipements d'aide à la manutention tels que les chariots;</li> <li>Diminuer le poids des charges;</li> <li>Travailler en chaine au besoin;</li> <li>Limiter le recours aux manutentions manuelles;</li> <li>Baliser les chemins de passage;</li> </ul>					
Montage et raccordement d'équipements électrique		Présence d'électricité	Electrisation	<ul> <li>Travailler hors tension;</li> <li>Utiliser des gants, lunettes et chaussures de protection pour l'isolation;</li> <li>Utiliser une main d'œuvre habilitée.</li> </ul>					

## Mesures de prévention et de protection face à la propagation de la covid-19

Les mesures ci-dessous sont valables pour prévenir la propagation d'infections respiratoires telles que le rhume, la grippe sur le lieu de travail, et à protéger l'ensemble des employés ainsi que toute autre personne accédant au lieu. Il est primordial que ces mesures soient appliquées sans délais, même si aucun cas de la maladie à Covid19 n'a encore été enregistré dans la communauté ou l'entreprise.

- Mesures de prévention

Ces actions doivent être pilotées par le médecin du travail, le comité de sécurité et d'hygiène ou le responsable qualité de l'entreprise. A défaut, l'employeur désigne une équipe de pilotage.

## O Hygiène des locaux et du personnel

- mettre à niveau les installations sanitaires sur les lieux de travail conformément aux exigences d'hygiène générale et de nettoyage prescrites par la règlementation nationale ;
- nettoyer régulièrement les surfaces (bureaux, tables, murs) avec une solution désinfectante ;
- promouvoir le lavage des mains en plaçant des distributeurs de désinfectant pour les mains dans des endroits ;
- afficher des messages faisant la promotion du lavage des mains ;
- sensibiliser le personnel sur le lavage des mains en organisant des séances d'informations animées par un médecin du travail ou d'autres canaux de communication disponibles au sein de l'entreprise ;

# O Ambiance respiratoire saine

- afficher des messages faisant la promotion de l'hygiène respiratoire ;
- s'assurer que des masques faciaux et/ou des mouchoirs en papier sont disponibles sur vos lieux de travail, pour les travailleurs développent des écoulements nasaux ou des toux bénins ;
- Installer des poubelles fermées pour éliminer les déchets (masques, mouchoirs) de manière hygiénique ;

Tableau XXXII : Mesure de préventions édictées par l'organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Mesures	Raisons d'adopter la mesure
Se laver fréquemment les mains avec une solution hydroalcoolique ou à l'eau et au savon	Se laver les mains avec une solution hydroalcoolique ou à l'eau et au savon tue le virus s'il est présent sur vos mains.
Eviter les contacts proches en maintenant une distance d'au moins 1 mètre avec les autres personnes, en particulier si elles toussent, éternuent ou ont de la fièvre.	Lorsqu'une personne infectée par un virus respiratoire, comme la COVID-19, tousse ou éternue, elle projette de petites gouttelettes contenant le virus. Si vous êtes trop près, vous pouvez inhaler le virus.
Éviter de se toucher les yeux, le nez et la bouche.	Les mains sont en contact avec de nombreuses surfaces qui peuvent être contaminées par le virus. Si vous vous touchez les yeux, le nez ou la bouche, vous risquez d'être en contact avec le virus présent sur ces surfaces.
Respecter les règles d'hygiène respiratoires en se couvrant la bouche et le nez avec le pli du coude ou avec un mouchoir en cas de toux ou d'éternuement, jeter le mouchoir immédiatement après dans une poubelle fermée et se laver les mains avec une solution hydroalcoolique ou à l'eau et au savon.	Se couvrir la bouche et le nez en cas de toux ou d'éternuement permet d'éviter la propagation des virus et autres agents pathogènes.
Si vous commencez à vous sentir mal, même si vous n'avez que des symptômes bénins comme des maux de tête et un faible écoulement nasal, restez chez vous jusqu'à la guérison.	Éviter d'entrer en contact avec d'autres personnes et de se rendre dans des établissements de santé permettra à ces établissements de fonctionner plus efficacement et vous protègera, ainsi que les autres personnes, de la COVID-19 et d'autres maladies virales.
En cas de fièvre, de toux et de difficultés respiratoires, consultez un médecin sans tarder, car il peut s'agir d'une infection respiratoire ou d'une autre affection grave. Appelez votre médecin et indiquez-lui si vous avez récemment voyagé ou été en Contact avec des voyageurs	Si vous l'appelez, votre médecin pourra vous orienter rapidement vers l'établissement de santé le plus adapté. En outre, cela vous protègera et évitera la propagation de la COVID-19 et d'autres maladies virales

## **4** Mesures de protection (en cas de transmission communautaire)

- Tout travailleur, client ou sous-traitant ayant une toux légère ou une fièvre doit rester à son domicile, et chercher des soins auprès des structures de santé.
- Tout travailleur, client ou sous-traitant ayant dû prendre des médicaments simples, comme le paracétamol, l'ibuprofène ou l'aspirine, qui peuvent masquer les symptômes de l'infection doit rester à son domicile (ou travailler à domicile);
- Communication et promotion du message selon lequel les gens doivent rester à la maison même s'ils ne présentent que des symptômes bénins de COVID-19 ;
- Elaboration en interne d'un plan de prise en charge d'un cas ou d'un cas communautaire suspect sur le lieu de travail
- Consulter les services de santé au travail, l'autorité de santé publique ou d'autres partenaires pour promouvoir ce message avec les différents supports de communication développés.

#### V.4. Plan de Gestion Environnementale et Sociale

Le Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) vise à assurer la réalisation correcte et dans les délais prévus, de toutes les mesures d'atténuation des impacts négatifs et la bonification des impacts positifs.

Les objectifs du PGES sont, entre autres de :

- S'assurer que les activités du projet sont entreprises en conformité avec toutes les exigences légales et réglementaires ;
- S'assurer que les enjeux environnementaux du projet sont bien compris par le promoteur et ses prestataires, et mis en œuvre aussi bien en phase chantier qu'en phase exploitation.

Tableau XXXIII: Plan de gestion environnemental et social

Impact visé	Mesure d'atténuation	Mise en œuvre de la pratique de la mesure	Responsabilité
Erosion des sols, destruction du couvert végétal	Stabilisation des sols	Stabilisation des sols immédiatement après la fin des interventions sur le milieu, Remettre en place la terre végétale après les travaux.	SONABEL
Gêne pour les hommes et la faune (poussières bruits paysage)	Minimisation des poussières et du bruit	Minimisation des surfaces à décaper, équiper les travailleurs de protections acoustiques en cas de besoin.	SONABEL
Pollution accidentelle (laitance de béton ou déversement hydrocarbures par exemple)	Mise en place de moyens de prévention et élaboration d'un plan d'action en cas de pollution accidentelle	Interdire tout entreposage de carburant près des cours d'eau. En cas de pollution, la zone souillée devra être recouverte de matériaux à très fort taux d'absorption (sciure de bois)	SONABEL
Diminution du couvert végétal	Reboisement et entretien de la végétation	Reboisement avec des espèces appropriées ayant des hauteurs de plantations compatibles avec l'exploitation de l'ouvrage électrique	SONABEL et le service de forets
Gêne causée aux propriétés privées ou communautaires	Restreindre le nombre de voies d'accès	Privilégier l'emprunt des voies publiques les chemins ruraux existant	SONABEL
Risques d'accidents	Informer sur les mesures de sécurité et interdictions	Interdiction de s'approcher ou d'approcher des objets manipulés, de couper d'arbre ou de branche situé à de 5m des câbles électriques, Informer les riverains qu'il ne faut jamais toucher ni s'approcher d'un câble.	des collectivités

Il était question de faire une analyse de l'état actuel de la zone d'intervention du projet de construction d'une ligne électrique HTA de 33kV à Nagréongo et de son environnement immédiat. Ce chapitre traite également de l'identification et de l'évaluation des impacts liés aux activités du projet. Il propose des mesures utiles et nécessaires pour atténuer les impacts négatifs, des mesures de surveillance et de suivi ainsi qu'un Plan de Gestion

Environnementale et Sociale.

Les impacts négatifs du projet pourront être traités et maîtrisés par des mesures proposées dans le PGES. Outre une gestion rigoureuse des activités de chantier, les mesures préconisées portent sur la végétalisation des zones d'emprunt ou le reboisement compensatoire des arbres détruits, la sensibilisation et la formation des populations sur les risques liés aux activités du projet.

Le projet de construction de la ligne électrique HTA 33kV présente certes des impacts négatifs mais qui ne permettent pas de remettre en cause son exécution.

Les mesures des PGES, si elles sont effectivement mises en œuvre sont suffisamment efficaces pour atténuer ces quelques impacts négatifs.

L'estimation financière étant tout aussi importante dans la réalisation d'un projet, nous ne saurons achever notre étude sans nous intéresser au volet économique.

# CHAPITRE VI. ESTIMATION FINANCIERE POUR LA LIGNE HTA 33 KV

Dans cette partie, il s'agit de faire une estimation financière du projet de construction de la ligne d'évacuation de la centrale photovoltaïque de Nagréongo-Ziniaré. Le tableau ci-après nous donne un récapitulatif des coûts, un devis détaillé est donné en annexe II.

Tableau XXXIV : Tableau récapitulatif de l'estimation financière

Libellé	Coût en francs CFA
Projet détaillé de la ligne	7 000 000
Fourniture et pose	1 002 375 882
Total	1 003 075 882
Total fourniture et pose HTVA	1 003 075 882
TVA 18%	180 553 658
Total fourniture et pose TTC	1 183 629 541

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Il était question dans notre projet, de dimensionner la ligne d'évacuation HTA 33 kV Nagréongo-Ziniaré. L'étude s'est faite autour de trois grands axes à savoir : le dimensionnement électrique, le dimensionnement mécanique et l'étude d'impact environnementale et sociale de la ligne. Nous avons réalisé dans un premier temps une tâche manuelle afin d'avoir une idée du volume de travail à faire. Ensuite nous avons utilisé le logiciel NEPLAN pour confronter nos résultats et nous sommes allés encore plus loin en faisant une étude approfondie de la section optimale économiquement. Par ailleurs pour le dimensionnement mécanique nous avons utilisé une feuille de calcul Excel et les résultats obtenus ont été introduits dans le logiciel CAMELIA qui nous a permis d'approfondir notre étude et d'améliorer nos résultats avec une modélisation de notre ouvrage. L'étude a été validée par CAMELIA et nous pouvons donc dire que le dossier technique de la ligne d'évacuation HTA 33 kV est disponible. A terme, nous estimons à juste titre qu'un projet d'une telle envergure nécessite la pleine coopération d'autres corps de métiers tels que les ingénieurs environnementalistes, les ingénieurs en génie-civil, les topographes, les sociologues etc. pour avoir des données fiables et précises. Également, à travers ce projet nous avons pu découvrir et maîtriser des logiciels tels que CAMELIA. Avec un investissement rentable de 1 183 629 541 FCFA, une étude de ligne suivant les normes et règles en vigueur s'avérerait nécessaire pour assurer la pérennité et la rentabilité de l'ouvrage.

# **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] SONABEL, « Présentation de la société » en ligne. Disponible sur https://sonabel.bf/a-propos/
- [2] Jean-Louis LILIEN. Transport et distribution de l'énergie électrique-Manuel de travaux pratique. Liège : université de Liège, 1999/2000,
- [3] André CHANAL et Jean-Pierre LEVÊQUE. « Conducteurs et câbles de garde ». In Technique de l'ingénieur, traité génie électrique. Paris. D4 422 1-D4 4422 10.
- [4] « Lignes aériennes-Dimensionnement ». In Technique de l'ingénieur, traité génie électrique. Paris. D4421.
- [5] Georges PODA, « Ingénierie des réseaux électriques », notes de cours, Ouagadougou : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), 2015
- [6] TANOU Al-Aziz. 2020. « Dimensionnement électrique et mécanique d'une ligne aérienne 225 kV : cas de la ligne ziniare-kaya », Mémoire de Master, département GEE, Institut 2IE.
- [7] NDAYIKEZA Odrine. 2020. « Construction d'une ligne HTA 30 kV pour l'alimentation de la ville de BUJUMBURA », Mémoire de Master, département GEE, Institut 2IE.
- [8] TUO Karinon. 2020. « Etude électrique et mécanique d'une ligne électrique aérienne interurbaine HTB 90 kV Kossodo-Ziniare », Mémoire de Master, département GEE, Institut 2IE.

## **Sites internet**

- Green Yellow Burkina www.google.com
- Centrale solaire de Nagréongo <u>www.google.com</u>
- Manuel utilisateur Camélia version 4.1 www.google.com
- ABER www.aber.bf
- Ministère de l'Energie, des Mines et des Carrières <a href="https://energie.bf">https://energie.bf</a>
- SONABEL https://sonabel.bf

# **ANNEXES**

Annexe 1 : Calcul de lignes centrale solaire	XII
Annexe 2 : Devis estimatif de la ligne	XIII
Annexe 3 : Visualisation graphique	XIV
Annexe 4 : Résultats cantons	XV
Annexe 5 : Résultats de la vérification de ligne avec fibre optique	XVIII
Annexe 6 : Vérification des conducteurs	XIX

# Annexe 1 : calcul de lignes centrale solaire

	Portées [m]	]:								Dist	t. IACM		Dist. Parafoudre	Long	g. maxi canto	n [m]			a (gr)	b (gr)	c (gr)	d (gr)	
150	155	60								5 000	30 000		5 000		2 000				4	8	20	30	
N° DOINTS	Х	Υ	Dx	Dy	(	CADRAN	ANGLE AUXILIAIRE	GISEMENT	CONTRÔLE		CUMUL	ANGLES	Déflexion	Nbre	Long	N°	OBSERVATIONS	Section	Supports a	nux angles	Sup	ports interméd	diaires
POINTS										[m]	[m]		[gr]	portée	portée	SUPPORT		du câble	54,6 mm <sup>2</sup>	148 mm <sup>2</sup>	NV	NA3D_54,6	NA3D_148
Tracé	Patte d'oie	- ziniaré																228 mm <sup>2</sup>					
				,									,		. <u></u>								
PZ01	691 689	1377953													<u></u>	1		-	•	-			
			1022	850	VRAI	1	55,83290723	55,83290723	55,83290723	1 329,28	1 329,28	230,89		9	147,70						8	-	-
PZ02	692711	1378803	************					**************			***************************************		30,89			10		-	-	-			
			150	363	VRAI	1	24,94616273	24,94616273	24,94616273	392,77	1 722,05	187,84	ļ	3	130,92						2	-	-
PZ03	692861	1379166	**********	**********			************	************		,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	******************	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	-12,16	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		13		-	•	-			
-			596	904	VRAI	1	37,10727404	37,10727404	37,10727404	1 082,79	2 804,84	-96,83		7	154,68						6	-	-
PZ04	693457	1380070				ļ							-96,83			20		-	•	-			
			-61	36	VRAI	4	-66,05825361	333,9417464	333,9417464	70,83	2 875,67	222,23		1	70,83						0	-	-
PZ05	693396	1380106			VDAL		00 0000 4507	044 7407540	044 7407540	0.070.00	0.455.00		22,23		440.00	21		-	•	•			
B700	500470	4200700	-3224	600	VRAI	4	-88,28624507	311,/13/549	311,/13/549	3 279,36	6 155,03	200,28	0.00	22	149,06	40					21	-	-
PZ06	690172	1380706		000	VDAL		00 57070005	244 420240	244 400040	4.057.04	7 040 07	440.00	0,28	44	450.00	43		-	•	-			
D707	COOF 44	4204002	-1631	296	VRAI	4	-88,57078095	311,429219	311,429219	1 657,64	7 812,67	113,96	00.04	11	150,69	54				_	10	-	•
PZ07	688541	1381002	-12,01	302,13	VRAI	4	-2,529301992	397,470698	397,470698	302,37	8 115,04	220.04	-86,04	2	454.40	34		-	•	•			
P700	C00530.00	4204204.42		302,13	VKAI	4	-2,529301992	397,470098	397,470098	302,37	8 115,04	228,01	28,01	Z	151,18	56					1	-	
PZ08	688528,99	1381304,13	-890,99	1712,87	VRAI	4	-30,53585222	260 4644470	260 4641470	1 930,75	10 045,78	406 70	20,01	13	140 50	30		-	-	-	40		
PZ09	687638	1383017		1112,01	VICAL	4	-30,33303222	309,4041470	309,4041470	1 930,75	10 040,76	186,72	-13,28	13	148,52	69	1				12	-	
F209	007030	1303017	-269	968	VRAI	4	-17,25579596	382,744204	382,744204	1 004,68	11 050,47	231,82	-13,20	7	143,53	03		-	-	-	6		
PZ10	687369	1383985		300	VIVAI	<del>                                     </del>	-17,20073030	302,744204	302,144204	1 004,00	11 000,47	201,02	31,82		140,00	76				_	0	•	
FZIU	00/303	1303303	-612	630	VRAI	4	-49,07742724	350 9225728	350.9225728	878,32	11 928,78	152,81	31,02	6	146,39	- 10		-	-		5		
PZ11	686757	1384615			v i V/VI	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	10,01176169		000,0220120		11 050,10	102,01	-47,19		1-10,00	82					J	•	
1411	000/3/	1704017	-39	1313	VRAI	4	-1,890394006	398,109606	398.109606	1 313.58	13 242,36	214,17	77,10	9	145,95	- VE		,	-	-	8		
PZ12	686718	1385928	***************************************			ļi	-,50000 1000		-50,10000				14,17		0,00	91				-	U	-	
1212	000710	1503320	-116	450	VRAI	4	-16,06098882	383.9390112	383.9390112	464,71	13 707,07	210,39	.,,	3	154,90	1					2		
PZ13	686602	1386378				<del>                                     </del>	.,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	,					10,39		1	94		-					
\	555502	200070	-165	374	VRAI	4	-26,45104835	373,5489516	373,5489516	408,78	14 115,85	192,59	1	3	136,26	1					2		
PZ14	686437	1386752				<b>†</b>					-,		-7,41		<u> </u>	97		-		-	_		
			-767	2487	VRAI	4	-19,04439565	380,9556043	380,9556043	2 602,59	16 718,44	226,59	· ·	17	153,09	1					16		
PZ15	685670	1389239				<b> </b>							26,59		1	114		-		-			
			-210	241	VRAI	4	-45,63099334	354,3690067	354,3690067	319,66	17 038,10	256,25	1	3	106,55	1					2		
PZ16	685460	1389480	***********	**************	************	***********		***************************************				,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	56,25		***************************************	117		-		-	_		
			-2186,31	-64,78	VRAI	3	98,11425797	298,114258	298,114258	2 187,27	19 225,37	498,11	1	15	145,82						14		-
PZ17	683273,69	1389415,22	***********	*************	************		***************************************	***************************************			***************************************	***************************************	98,11		.,	132		-		-			

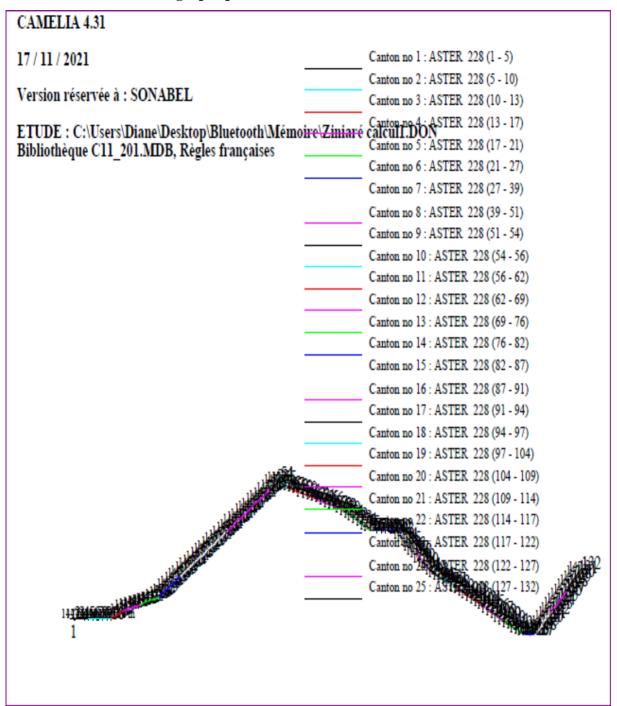
Etude de la ligne de raccordement de la centrale solaire de Nagréongo au réseau de la SONABEL

Annexe 2 : devis estimatif de la ligne

SOCIETE	E NATIONALE D'ELECTR	ICITE					
DU BURI	KINA (SONABEL)						
	ON DES ETUDES, DE LA						
PLANIFIC	CATION ET DE L'INGENIE	RIE (DEPI)					
	EMENT INGENIERIE DES	3 PROJETS					
D'INVES	TISSEMENT (DIPI)						
	DEVIS ESTIMATIF P	OUR LA LIGNE D	D'EVACUAT	ION HTA	33kV NAGREO	NGO-ZINIARE	
POSTE	DESIGNATION DES OU	JVRAGES		UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL
I	CONSTRUCTION DE LA	A LIGNE AERIENNE	E DE 33 kV				
1.0	Projet détaillé de la ligne (	tracé, levée topo, prof	fil en long, calc	Ens	1	7 000 000	7 000 000
	Fourniture et pose de :						
1.1	1 JE 40/ 14m équipé de :			U	2	6 500 000	13000000
	06 chaines d'isolateurs con	nposites 36 kV / N16					
	Armement DTS complet + a	ccessoires					
1.2	1 JE 40/ 14m équipé de :			U	24	6 570 000	157680000
	12 Chaines d'ancrage 70 kV	/					
	Armement DTA complet + a	ccessoires					
1.3	1 E 10/ 14m équipé de :			U	96	5 194 697	498690912
	12 Chaines d'isolateurs com	nposites 36 kV / N16					
	Armement DTS complet + a	ccessoires					
1.4	1 E 12.5/ 14m équipé de:			U	10	5 194 697	51946970
	12 Chaines d'isolateurs con						
	Armement DTS complet + a	ccessoires					
1.5	Cablette Almelec 2*228mm	<sup>2</sup> ALU		MI	126000	2178	274428000
1.6	Numérotation des supports	5		U	132	2 500	330000
	TOTAL						1 003 075 882
	MONTANT TOTAL FOU	IRNITURES ET POS	SE HTVA				1 003 075 882
	TVA 18 %	MATTORES ET POS	/_ III VA				180553658,8
	MONTANT TOTAL FOU	IRNITURES ET POS	SE TTC				1 183 629 541
	MONTANT TOTAL TO	MINITORED ET 1 00					1 103 023 341

ARRETE LE PRESENT DEVIS A LA SOMME DE : UN MILLIARD CENT QUATRE VINGT TROIS MILLIONS SIX CENT VINGT NEUF MILLE CINQ CENT QUARANTE UN ( 1 183 629 **541) FRANC CFA TTC** 

**Annexe 3: Visualisation graphique** 



# Annexe 4: Résultats cantons

Hypothèse : A1 (15 °C, 570 Pa)

## Tableau des cantons pour une hypothèse

Nom du canton	Conclusion	Taux (%)
Canton n°1 du support 1 à 5 Canton n°2 du support 5 à 10	Tous supports satisfaisants Tous supports satisfaisants	0 % 0 %
Canton n°3 du support 10 à 13	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°4 du support 13 à 17	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°5 du support 17 à 21	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°6 du support 21 à 27	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°7 du support 27 à 39	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°8 du support 39 à 51	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°9 du support 51 à 54	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°10 du support 54 à 56	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°11 du support 56 à 62	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°12 du support 62 à 69	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°13 du support 69 à 76	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°14 du support 76 à 82	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°15 du support 82 à 87	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°16 du support 87 à 91	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°17 du support 91 à 94	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°18 du support 94 à 97	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°19 du support 97 à 104	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°20 du support 104 à 109	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°21 du support 109 à 114	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°22 du support 114 à 117	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°23 du support 117 à 122	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°24 du support 122 à 127	Tous supports satisfaisants	0 %

Nom du canton	Conclusion	Tau x (%)
Canton n°25 du support 127 à 132	Tous supports satisfaisants	0 %

Hypothèse : B1 (-10  $^{\circ}$ C, 180 Pa)

## Tableau des cantons pour une hypothèse

Nom du canton	Conclusion	Taux (%)
Canton n°1 du support 1 à 5	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°2 du support 5 à 10	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°3 du support 10 à 13	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°4 du support 13 à 17	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°5 du support 17 à 21	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°6 du support 21 à 27	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°7 du support 27 à 39	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°8 du support 39 à 51	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°9 du support 51 à 54	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°10 du support 54 à 56	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°11 du support 56 à 62	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°12 du support 62 à 69	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°13 du support 69 à 76	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°14 du support 76 à 82	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°15 du support 82 à 87	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°16 du support 87 à 91	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°17 du support 91 à 94	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°18 du support 94 à 97	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°19 du support 97 à 104	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°20 du support 104 à 109	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°21 du support 109 à 114	Tous supports satisfaisants	0 %

Canton n°22 du support 114 à 117	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°23 du support 117 à 122	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°24 du support 122 à 127	Tous supports satisfaisants	0 %
Canton n°25 du support 127 à 132	Tous supports satisfaisants	0 %

XVII

Etude de la ligne de racco	ordement de la centrale solaire de Nagréongo au réseau	de la SONABEL	
Annexe 5:	Résultats de la vérification	n de ligne avec	fibre
		O	
	optique		
KARORE W Diane	Master II Génie Electrique et Energétique	Promotion 2021-2022	XVIII

T2 1 1 1	1 1' 1	accordement	1 1	4 1	1 . 1	NT /	,	1 1 CONTAI	DDI
HINGE GE	ia lione de r	accordement	ae ia ce	nirale co	iaire de	Nagreongo	all receall	de la XUIN A I	

Annexe 6 : vérification des conducteurs