



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering



**PROJET D'ALIMENTATION ELECTRIQUE DE LA
LOCALITE DE YABA :
CONSTRUCTION D'UNE LIGNE D'INTERCONNECTION HTA 33kV et
LE RESEAU HTA/BTA DE YABA**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER SPECIALISE EN GENIE ENERGETIQUE ET
ENERGIE RENOUVELABLE**

Présenté et soutenu publiquement le 14 /12 /2011 par

Alioum MOUSTAPHA

Travaux dirigés par : Ahmed Ousmane BAGRE
Enseignant, UTER, GEI

Et **NANA TANGA Jean Baptiste**
Chef département ligne Sté EODA

Jury d'évaluation du stage :

Président : BAPIO BAYALA

Membres et correcteurs : BASSOLE Justin
PABYAM Mariam
TAPSOBA Gildas

Promotion [2010/2011]

REMERCIEMENT

Avant de commencer la rédaction de ce mémoire, nous tenons à témoigner notre gratitude à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre ont contribué à la réalisation de cette formation.

Nous tenons à remercier particulièrement :

- Monsieur Alassane D. OUANGRAOUA, Directeur Général de EODA, pour nous avoir acceptés dans son entreprise.
- Monsieur Francis OUEDRAOGO, Directeur Technique de EODA, pour nous avoir encouragés avec une amicale disponibilité.
- Ahmed BAGRE, enseignant UTER GEI à 2iE, notre enseignant encadreur pour sa pertinence et son dévouement tout au long de notre formation.
- Monsieur NANA TANGA, Chef de département ligne à EODA, pour son encadrement et sa disponibilité tout au long de notre stage.
- Docteur Mariama PABYAM, enseignant-chercheur et responsable des Masters en énergie UTER GEI à 2iE, pour ses efforts dans la réussite de la formation MS GEER.
- Amadou Alioum, Ingénieur électronicien, pour son soutien tout le long de ma formation.

DEDICACES :

A MON PÈRE ALIOUM SALIHOU POUKARA ET À MA MÈRE LAILATOU MALIKI.

A TOUS MES FRÈRES ET SŒURS.

A TOUS MES AMIS ET COLLÈGUES

RESUME

Ce document concerne la réalisation du projet de l'électrification de la localité de Yaba, une commune de la province de Nayala au Burkina Faso. Le projet consiste à réaliser une ligne d'interconnexion HTA 33 kV et d'un réseau basse tension muni de l'éclairage public. La réalisation de ce projet nous a amené à faire l'étude de terrain en vue de déterminer le tracé de la ligne et de faire le profil en long. Ce dernier nous permet d'étudier l'emplacement des supports en considérant la direction de la ligne et celle du vent. L'étude climatique de la région nous a permis de faire les calculs mécaniques de la ligne lesquels nous a permis de déterminer les types d'armements, les types des supports et la pose des conducteurs. Le réseau de la basse tension est dispersé dans la ville afin de faciliter le branchement des clients. Le réseau BT est muni d'un conducteur d'éclairage public de 18 foyers lumineux installés sur une distance d'environ 800 m. Le raccordement du réseau basse tension à la ligne HTA se fait par l'intermédiaire de deux transformateurs 33/0,4 kV de 50 kVA. Ce projet a été réalisé dans le respect de l'environnement. Il aboutira à une amélioration des conditions de vie de la population locale dans le secteur social et économique.

Mots clés :

- 1- Ligne d'interconnexion**
- 2- Haute tension**
- 3- Réseau basse tension**
- 4- Eclairage public**
- 5- Support**
- 6- environnement**

ABSTRACT

This document concerns with the realization of the Yaba electrification project. Yaba is a district of Nayala province in Burkina Faso. The project consists of an interconnection line HV 33 kV and a low voltage electric grid equipped with public lighting. The realization of this project leads us to the field in order to determine the longitudinal profile. This profile allows us to determine the poles' position by considering the line and the wind direction. The study of the region's climate has allowed us to do the mechanical calculations of the line which allowed us to determine the types of electricity pylon and accessories of distribution lines. The electrical grid system is dispersed in the locality to facilitate the connection of customers. The LV grid has a public lighting with 18 lights installed on a distance of about 800 m. The connection between the LV grid and HV line is via two transformers 33/0.4 kV of 50 kVA. This project has carried out with respect for the environment. It will lead to improved living conditions of local people in the social and economic development.

Keywords:

- 1- Interconnection line**
- 2- High voltage**
- 3- Low voltage grid**
- 4- Public lighting**
- 5- Electricity pylon**
- 6- Environment**

LISTE DES ABREVIATIONS

BT: Basse tension

HTA: Haute tension catégorie A

SONABEL : Société National Burkinabé d'Electricité

EODA : Electricité Ondulation Distribution et Assistance

ERD : Electrification Rurale Décentralisée

KV : Kilo Volte

MV : Méga Volte

CAMELIA : Calcul Mécanique des Lignes Aériennes

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	1
II. GENERALITE	2
II.1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	2
II.2 PRESENTATION DU PROJET	3
II.3 METHODOLOGIE	4
II.4 DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	4
II.4.1 Les réseaux électriques	5
II.4.2 Architecture des réseaux de distribution électrique	6
II.4.3 Les éléments des lignes électriques aériennes	8
III. CONSTRUCTION DE LA LIGNE HTA 33 KV	14
III.1 Définitions des éléments d'études	14
III.2 Calcul mécanique de la ligne HTA	15
III.2.1 Le profil en long	15
III.2.2 Répartition des supports et choix de l'emplacement des interrupteurs aériens	16
III.2.3 Présentation du logiciel CAMELIA	17
III.2.4 Données de base et hypothèses de calculs	19
III.2.5 Résultat de Calcul Mécanique des lignes aériennes par CAMELIA	21
III.2.6 Capacité de puissance à transporter	28
III.2.7 Appareils de protection	29
III.2.8 Calcul des supports	29
IV. CONSTRUCTION DES RESEAUX DE DISTRIBUTION	31
IV.1 Les conducteurs aériens isolés	32
IV.2 Les supports	34
IV.2 Protections	35
IV.3 Réseau d'éclairage public	35
IV.3.1 Raccordement d'éclairage public BT	36
IV.3.2 Dimensionnement des conducteurs :	36
IV.3.3 Protection :	37
V. L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	37
V. 1 Au niveau social	37
V. 2 Au niveau économique	38
V. 3 Au niveau de la faune	38
VI. CONCLUSION	39
BIBLIOGRAPHIE	40
ANNEXE	41

LISTE DES FIGURE :

Figure 1: Exemple d'un réseau de distribution	6
Figure 2: Réseau radial de distribution électrique	7
Figure 3: Réseau HTA en boucle ouverte	7
Figure 4: Les éléments d'une ligne électrique.....	8
Figure 5: Les isolateurs	10
Figure 6: Les armements	11
Figure 7: Matériels de fixation	11
Figure 8: Organes de coupures	12
Figure 9: Fenêtre de saisie des hypothèses	18
Figure 10: Fenêtre de saisie des données des supports	18
Figure 11: Constitution des câbles isolés	32

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Différentes catégories de tension

Tableau 2 : Différents types de réseaux

Tableau 3: Choix du nombre d'assiette

Tableau 4: Hypothèses climatiques

Tableau 5 : Fiches supports

Tableau 6 : Tableau des conducteurs

Tableau 7 : Tableau des armements

Tableau 8 : Tableau des supports

Tableau 9 : Tableau des flèches médianes

Tableau 10 : Tableau des tensions

Tableau 11: Terre de masse

I. INTRODUCTION

Suite à des décisions politiques et sociales liées principalement à l'amélioration de la vie sociale en zones rurales dans les pays africains, l'électrification rurale ne cesse de se développer depuis quelques années. Nous constatons que, le réseau électrique se développe progressivement à partir des zones industrialisées et consommatrices d'énergie vers des zones de plus en plus rurales et de faible densité de population. Ces aspects impactent fortement sur l'expansion des réseaux de distribution électriques dans des zones rurales.

De nos jours, toutes nos activités sont liées à l'électricité. L'avènement de l'énergie électrique dans une zone joue un grand rôle sur l'amélioration de niveau de vie de la population locale. C'est dans ce contexte que la Société Nationale Burkinabé de l'électricité (SONABEL) a décidé de réaliser l'électrification de la localité de Yaba, une zone rurale burkinabé, en la raccordant à son réseau de distribution HTA existant.

Ce projet a été lancé sous la forme d'un appel d'offre à des entreprises privées afin de le réaliser dans les règles de l'art.

La société EODA avec sa grande expérience dans le domaine de construction des lignes électriques fut retenue pour la réalisation de ces travaux.

La consistance des travaux du projet est :

- L'étude et les calculs mécaniques ainsi que la levée topographique du profil en long en vue de l'implantation de l'ouvrage de l'interconnexion de la source de la ligne à l'entrée de la ville.
- La réalisation de ce tronçon de ligne qui est long de 14 km environ.
- La construction d'une ligne haute tension pour l'alimentation de deux transformateurs en ville.
- La construction d'un réseau basse tension issu des transformateurs le long des certaines artères de la ville pour l'alimentation des ménages et le l'administration.
- La pose de quelques foyers lumineux le long de la route nationale qui traverse la ville et au niveau de certaines places publiques à déterminer par les bénéficiaires.

La réalisation d'un réseau électrique en globe en général le choix de conducteur, le choix des supports et leurs armements correspondants en considérant les efforts qui leurs sont appliqués ainsi que les conditions climatiques de la région qui jouent un grand rôle dans ces différents choix. Ces choix dépendent en général des considérations électriques et économiques.

Le choix des conducteurs se base sur la détermination de leurs sections. Le calcul de section se fait en vérifiant le courant nominal et la limite de chute de tension dans le conducteur.

Le choix des supports et des armements fait intervenir l'aspect mécanique en considérant les efforts appliqués sur ces supports. Les efforts sont dus à l'action du vent et/ou à l'attraction des conducteurs. Les armements choisis doivent respecter les écartements des conducteurs.

Pour avoir une bonne continuité en fourniture énergie, le réseau doit être équipé des appareils adéquats de protection.

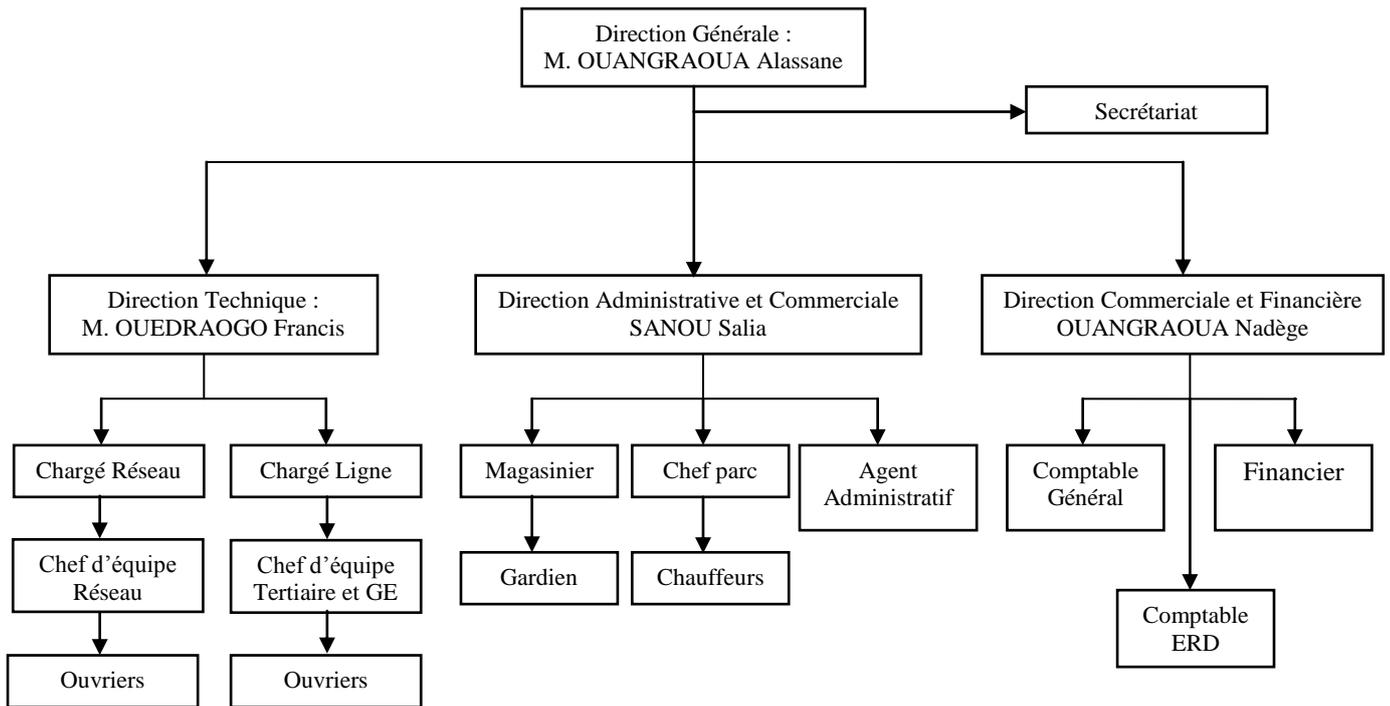
La construction d'un réseau électrique bien qu'elle a un apport positif à l'amélioration de la vie locale, elle peut également avoir des conséquences négatives sur l'environnement.

II. GENERALITE

II.1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

La société EODA (Electricité Ondulation Distribution et Assistance) est située dans la zone de ZACA dans le secteur N° 3. Cette société exerce dans divers domaines en électricité tels que : l'électrification des bâtiments, la construction des lignes HTA/BTA, la vente de matériels électriques et l'assistance. Elle se démarque par son implication dans le cadre de l'Electrification Rurale Décentralisée (ERD) dont elle est leader au Burkina Faso. Elle est actuellement présente dans plusieurs localités du Burkina Faso telles que Sabou, Bouina, Sapouy, Batié,)

La société est dirigée par un directeur général Monsieur Alassane D. OUANGRAOUA et organisée comme suit :



Projets majeurs réalisés :

- Réalisation de la construction de ligne HTA à Bagré,....
- Réalisation des réseaux électriques des localités de Sabou, Sapouy

II.2 PRESENTATION DU PROJET

Dans le cadre de sa politique de l'électrification rurale, la SONABEL a décidé de réaliser l'électrification de la localité de Yaba à partir d'une ligne haute tension HTA existante Tougan-Toma. Ce projet d'électrification est confié à la société EODA dont l'une des activités principales est la construction de lignes électriques.

La localité de Yaba est une commune rurale de la province de Nayala avec une population d'environ 31000 habitants. Elle est située à 13 Km à l'est de Toma, chef-lieu de la province, et 35 Km au sud de Tougan.

L'exécution de ce projet comprend deux parties qui sont :

- La première partie consiste en la construction d'une ligne HTA 33 KV d'interconnexion Tougan- Yaba, permettant le raccordement au réseau de distribution national. La ligne HTA est constituée de 3 conducteurs de phases selon la norme française.

- La deuxième partie consiste en la construction d'un réseau de distribution HTA/BTA à l'intérieure de Yaba. La ligne HTA est constituée de 3 conducteurs de phases et les lignes BTA sont constituées de 5 conducteurs dont un conducteur du neutre et un conducteur pour l'éclairage public.

La ligne d'interconnexion HTA a une longueur d'environ 14 Km. Elle part d'un point de raccordement sur la ligne HTA à Tougan jusqu' à la rentrée de Yaba, transportant une tension de 33 KV. Cette ligne doit être aussi droite que possible et suivant la route à une distance d'au moins 30 m de l'axe de la route.

A l'intérieur de la ville, la ligne HTA est prolongée à une certaine distance et répartie en deux branches afin de pouvoir alimenté toute la localité en fonction de la densité de la population. Au bout de chaque ligne est installé un transformateur (HTA/BTA) de 50 KVA permettant la distribution de l'électricité à basse tension (400 V) dans toute la localité. Les lignes BTA sont réparties en fonction de la puissance demandée selon le regroupement de la population.

II.3 METHODOLOGIE

Les travaux de réalisation des réseaux électriques doivent suivre une certaine démarche afin d'aboutir à une solution satisfaisante en respectant les critères imposés. Cette démarche est définie de la manière suivante :

- Les levées topographiques et l'établissement du profil en long pour la ligne HTA
- Dimensionnement des conducteurs
- Choix des supports
- Les calculs mécaniques de la ligne à l'aide du logiciel CAMELIA
- Fixation des supports
- Montage des conducteurs et accessoires

Ces travaux sont réalisés en respectant les normes françaises NFC 11-200 et NFC 11-201 de septembre 1991.

II.4 DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

L'électricité, produite à partir de différentes sources d'énergies primaires telles que : l'énergie hydraulique, l'énergie fossile, l'énergie solaire, ou encore l'énergie géothermique, est transférée de la centrale de production aux usagers à travers des réseaux électriques. Ces réseaux sont classés généralement en différents types selon leurs usages.

II.4.1 Les réseaux électriques

Un réseau électrique se définit comme un ensemble de lignes électriques reliées directement entre elles et fonctionnant sous la même tension, qui est la tension nominale de ce réseau. Cette valeur nominale de tension est classée par la norme française NF C 11-201 en différentes catégories comme indiqué ci-dessous [4].

Très basse tension		$U < 50 \text{ V}$
Basse tension	1 ^{ère} catégorie (A)	$50 \text{ V} < U < 500 \text{ V}$
	2 ^{ème} catégorie (B)	$500 \text{ V} < U < 1000 \text{ V}$
Haute tension	1 ^{ère} catégorie (A)	$1000 \text{ V} < U < 50000 \text{ V}$
	2 ^{ème} catégorie (B)	$U > 50000 \text{ V}$

Tableau 1 : différentes catégories de tension

A partir de la tension et de puissances maximales que peuvent supporter les réseaux électriques, on peut les classer en trois types différents qui sont : les réseaux de transport, de répartition et de distribution. Ils sont caractérisés comme suit:

Tension	Catégorie	Types de réseaux	Pmax de lignes
230 V /400 V	Basse tension	Réseau de distribution	Environ 250 KVA
15/20/33 KV	HTA	Réseau de distribution	Entre 10 et 15 MVA
63/90/110 KV	HTB	Réseau de répartition	De 100 à 150 MVA
225 /380 KV	HTB	Réseau de transport	De 500 à 1500 MVA

Tableau 2 : différents types de réseaux

- Les réseaux de transport permettent généralement le transport à haute tension d'une grande quantité d'énergie depuis le centre de production vers les postes d'interconnexions très souvent entre les pays. Ils sont pour la plupart aériens et souterrains en ville.
- Les réseaux de répartition sont à haute tension et ont pour but d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. L'énergie y est injectée essentiellement par le réseau de transport via des transformateurs, mais également par des centrales électriques de moyennes puissances (environ 100 MW).

- Les réseaux de distribution représentent le dernier maillon de la chaîne d'acheminement d'énergie électrique entre les centres de production et les consommateurs finaux. Ils sont en général plus vastes et plus denses que les réseaux de transport et de répartition, qui les alimentent à travers différents postes de transformation haute tension HTB vers HTA. [2]

Tous ces types de réseaux sont constitués de 3 conducteurs de phases selon la norme européenne où le neutre n'est pas distribué. On peut également rencontrer un système où le neutre est distribué en Amérique du Nord.

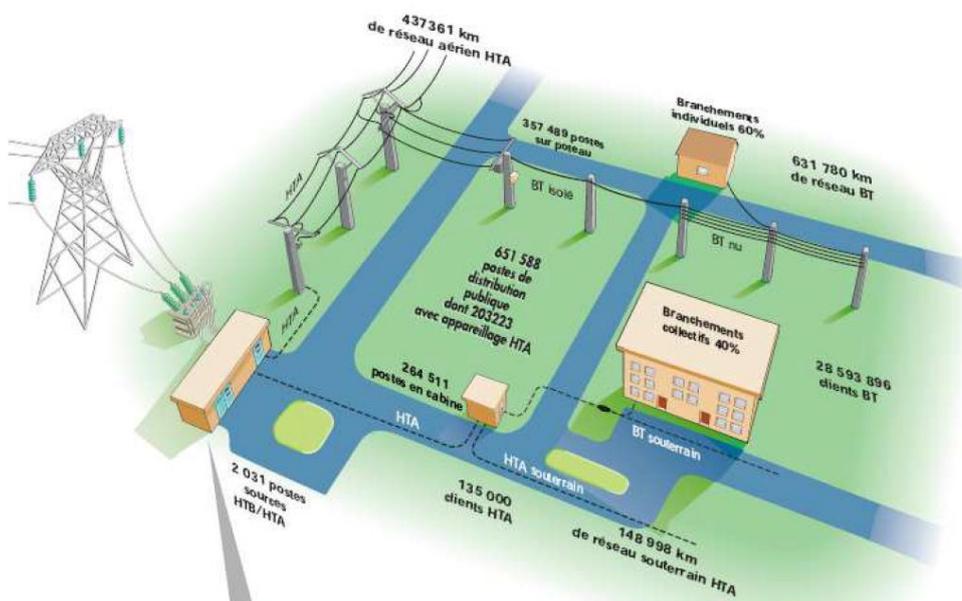


Figure 1: Exemple d'un réseau de distribution (source : cours GRAFF J.J. Structure des réseaux)

Notre projet est concerné uniquement par le réseau de distribution HTA de 33 KV et BTA 400 V selon la norme française dont 3 conducteurs nus de phase pour la ligne HTA et 5 conducteurs isolés torsadés pour les lignes BTA (3 phases, un neutre et un conducteur d'éclairage public).

II.4.2 Architecture des réseaux de distribution électrique

La conception du réseau électrique permet d'atteindre une plus ou moins grande disponibilité de l'énergie électrique. Le coût économique du réseau dépend naturellement de sa complexité. Le choix d'une architecture de réseau est donc un compromis entre des critères techniques et économiques.

Ainsi on distingue donc [3]:

- L'alimentation en simple antenne (Fig. 2). Elle est utilisée lorsque la continuité de service demandée est faible. Elle est très utilisée pour l'électrification des zones rurales. C'est cette structure qui est adoptée pour la réalisation de notre projet.
- L'alimentation en double antenne. Elle est souvent utilisée lorsqu'une bonne continuité de service est exigée.
- L'alimentation en boucle (ouverte Fig. 3). Elle est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures importantes.
- L'alimentation en double dérivation. Elle est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures limitées et nécessitant une très bonne continuité de service.

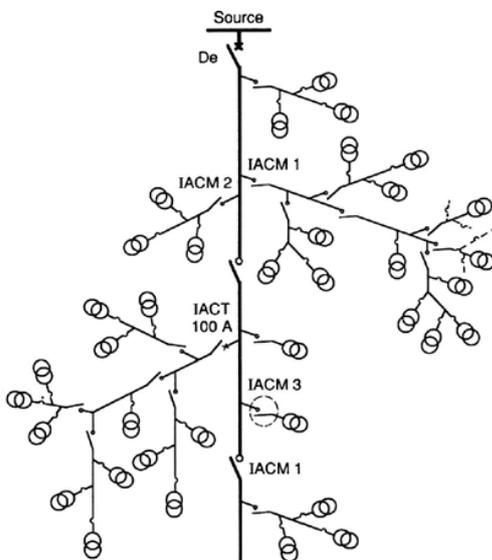


Figure 2: Réseau radial de distribution électrique (Source technique de l'ingénieur)

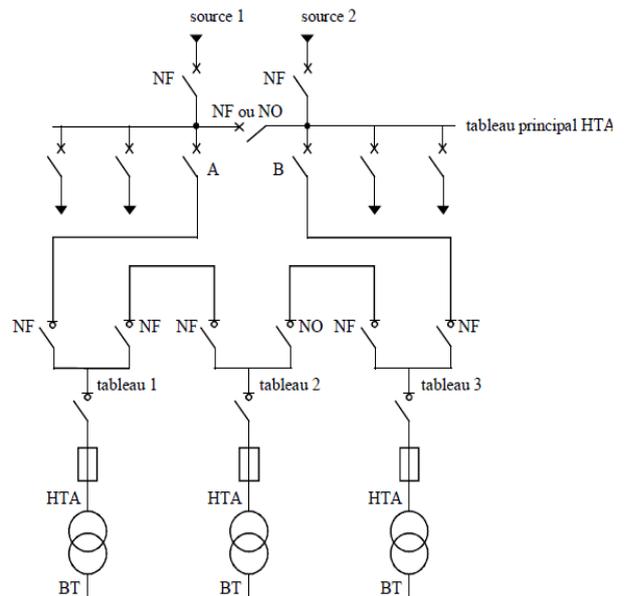


Figure 3: Réseau HTA en boucle ouverte (Source technique de l'ingénieur)

Un réseau électrique doit assurer une bonne continuité en fourniture d'énergie. Il est généralement constitué des éléments suivant : les conducteurs, les organes de coupures, les postes de transformation, les supports, les armements, etc. [2]

II.4.3 Les éléments des lignes électriques aériennes

Les lignes électriques aériennes sont constituées essentiellement des conducteurs, des armements, des dispositifs de protection, des supports.

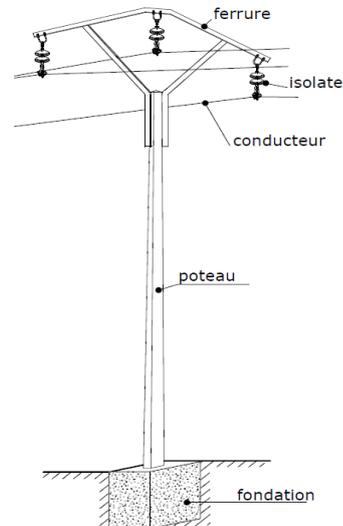


Figure 4: Les éléments d'une ligne électrique
(source : cours GRAFF J.J. Calcul Mécaniques Lignes)

Le courant électrique est transporté par des conducteurs qui sont généralement de deux sortes :

- les conducteurs nus
- les conducteurs isolés

Les conducteurs nus sont généralement utilisés en aériens sous forme triphasé pour le transport de la haute tension. Les conducteurs isolés sont utilisés en aérien ou souterrain pour le transport de tout type de tension. En lignes aériennes, les conducteurs isolés sont en forme torsadée.

En plus d'une bonne conductibilité électrique nécessitée par le moindre coût de revient en fonctionnement, les conducteurs utilisés pour les lignes aériennes doivent avoir [7]:

- des qualités mécaniques pour supporter les efforts auxquels ils sont soumis par la pression du vent, la température, ou encore le poids de surcharges
- des qualités chimiques pour résister aux agressions atmosphériques, pollution industrielle

Afin de satisfaire toutes ces exigences dans la construction des lignes électriques, on utilise généralement les conducteurs à base de l'aluminium. Il s'agit pour la majeure partie :

- aluminium-acier
- almélec (aluminium allié)

- almélec-acier

Dans notre projet nous avons utilisé le conducteur almélec, il est composé de 0,55 à 0,7% de magnésium, de 0,55% de silicium et avec moins de 0,3 à 0,35% de fer [8].

II.4.3.2 L'armement

L'armement d'une ligne est constitué de l'ensemble des accessoires qui assurent la fixation de celle-ci aux supports. Il a une double fonction [7]:

- ✓ une fonction électrique, car il empêche que les conducteurs nus soient en contact avec les supports ou entre eux.
- ✓ Une fonction mécanique, car il doit résister aux efforts transmis par les câbles dus à leurs poids ou à la pression du vent.

L'ensemble des accessoires qui forme l'armement comprennent essentiellement des isolateurs, les ferrures, les herses, les matériels de fixation, etc.

- Les isolateurs

La fixation et l'isolation entre les conducteurs et l'armement d'un support est assurée par des isolateurs ; ils ont un rôle à la fois mécanique et électrique. Ceux-ci sont réalisés en verre, en céramique, ou encore en porcelaine qui actuellement est en voie de disparition. Les isolateurs en verre ou en céramique, ont en général la forme d'un empilement d'assiettes.

Les isolateurs sont classés en deux catégories qui sont :

- Les isolateurs rigides qui sont constitués d'assiettes colées, ils peuvent être utilisés en position verticale, horizontale ou oblique
- Les isolateurs suspendus ou chaînes d'isolateurs sont constitués d'assiettes emboîtées. Ils offrent l'avantage d'établir une liaison souple entre les conducteurs et leurs supports, permettant de mieux répartir les efforts entre les portées. Ils sont généralement utilisés dans les cas des ossatures principales où les conducteurs sont suspendus.

Plus la tension de la ligne est élevée, plus le nombre d'assiettes est important. Ci-dessous est présenté un tableau de choix du nombre d'assiette en fonction du niveau de tension défini par le règlement belge sur les installations électriques et quelques exemples d'isolateurs haute tension (Figure 5):

Tension en KV	Nombre d'assiette
15	1 à 2
90	5 à 6
120	6 à 7
150	7 à 8

Tableau 3: Choix du nombre d'assiette

Figure 5: Les isolateurs (source : Catalogue Ines Max)



Figure 5.a : Chaîne de trois isolateurs haute tension



Figure 5.b : une assiette d'isolateur en verre

Dans le cadre de notre projet, la ligne haute tension de raccordement est considérée comme une ossature principale d'où les isolateurs utilisés sont des types suspendus en alignement ou en ancrage.

La détermination de la longueur de chaîne de suspension (nombre d'assiettes) est obtenue en utilisant le tableau 3 ci-dessus dans lequel nous interpolons la tension de 36 kV.

Nous obtenons par cette méthode empirique un nombre d'assiette égale à 3.

- Les ferrures

D'une manière générale, on rencontre plusieurs types des ferrures d'armement de différentes formes et dimensions. Ils se caractérisent par leur fonction (soit en alignement, en arrêt, ou en angle) 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 (**Figure 6.a, 6.b**).
- ✓ Les armements alternés (**Figure 6.c**). Ils sont généralement utilisés dans des agglomérations et ils peuvent être utilisé en system suspendu ou rigide. Leur utilisation permet de restreindre l'espace qu'occupent les conducteurs.
- ✓ Les armements en drapeau (**Figure 6.d**). Ils sont également utilisé dans des agglomérations près des bâtiments et sont utilisé en system suspendu ou rigide. Permet aussi de restreindre l'espace qu'occupent les conducteurs.

Figure 6: Les armements (source : catalogue armement Retis-Solutions)

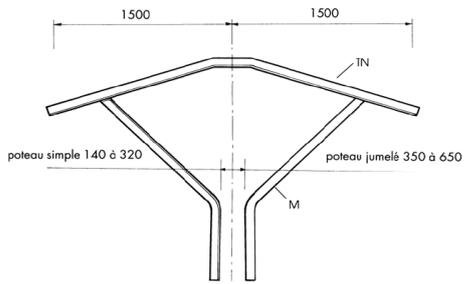


Figure 6.a: armement nappe-voûte NV1

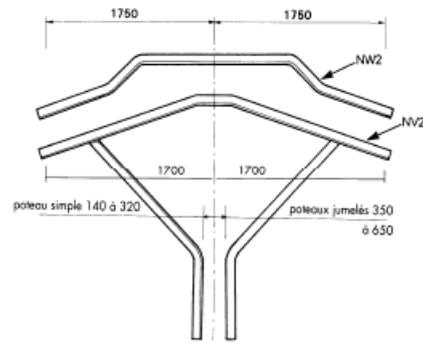


Figure 6.b: armement nappe-voûte NV2 & NW

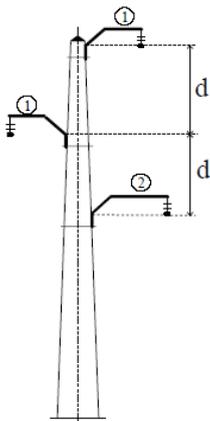


Figure 6.c: armement alterné

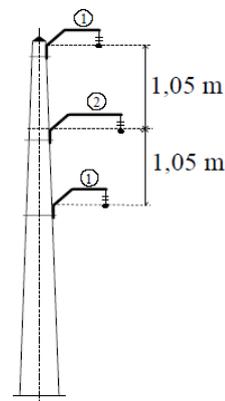


Figure 6.d: armement en drapeau

- Les matériels de fixation

L'armement d'un support est composé de différents matériels participant à la fixation des conducteurs ou des ferrures sur des supports. Ils ont essentiellement une fonction mécanique. Les accessoires couramment rencontrés sont les suivant (Figure 7) : les pinces de suspension, les pinces d'ancrage, renvoie d'angle, collier....

Figure 7: Matériels de fixation (source : Catalogue Ines Max)



Figure 7.a: Pince d'ancrage HT

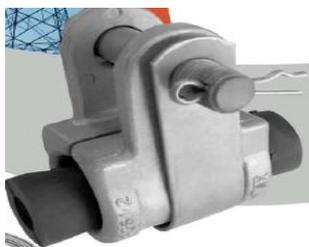


Figure 7.b: Pince d'alignement HT

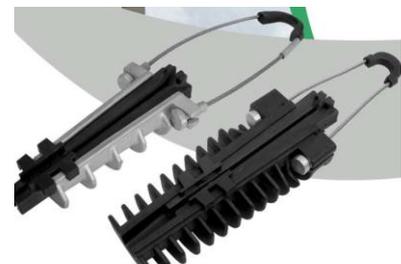


Figure 7.c: Pince d'ancrage BT

II.4.3.3 Dispositifs de protection

Afin de veiller à une bonne continuité d'alimentation électrique et de pouvoir protéger les conducteurs et les charges, on utilise généralement des appareils de coupures installés le long des lignes électriques de sorte à ouvrir ou à fermer une ligne en cas de défaut ou d'intervention.

En général, on distingue plusieurs types d'appareils de protection :

- Les interrupteurs aériens (Figure 8.a), qui sont de deux types. L'IACM pour Interrupteur Aérien à Commande Manuelle, et l'IACV l'Interrupteur Aérien à Creux de tension
- Les fusibles HTA (Figure 8.b)
- Les parafoudres utilisés pour la protection contre les surtensions d'origine atmosphériques

Figure 8: Organes de coupures (source : Appareillage électriques Univ. Laval)

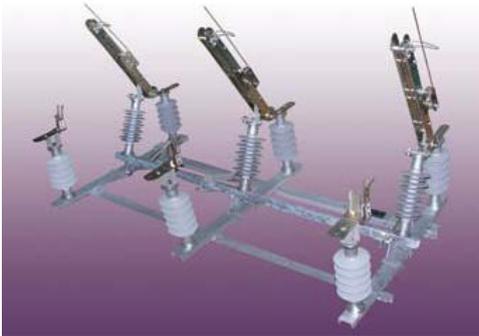


Figure 8.a: Interrupteur aérien



Figure 8.b: Fusible HTA

II.4.3.4 Les supports

Les supports sont équipés des armements et des isolateurs permettant la fixation des conducteurs aux poteaux. Ils peuvent être classés en trois types qui sont :

- ✓ Les supports en bois
- ✓ Les supports en béton
- ✓ Les supports métalliques, qui sont les supports les plus utilisés au Burkina Faso et qui sont utilisés dans notre projet.

Les supports métalliques sont classés en plusieurs catégories en fonction de leur utilisation soit en alignement, soit en angle, soit en arrêt ou à la traversée d'une route. Ils se différencient les uns des autres par leurs dimensions (longueurs, poids,..) ou leurs fixations (jumelé, portique,...).

Pour les choix de gabarits des supports, nous devons d'abord déterminer le poids équivalent et l'angle d'inclinaison des chaînes de suspension de câble en s'appuyant sur deux hypothèses climatiques (Température élevée et température basse) représentant des conditions extrêmes.

Dans notre projet, ces choix sont donnés par le logiciel CAMELIA utilisé pour la réalisation de ce projet. Dans le respect de la norme NFC 11-201, tous les supports utilisés pour l'alignement sont de 12 m et ceux utilisés pour traverser les routes sont de 13 m.

II.4.3.5 Les postes de transformations

Les postes de transformation HTA/BTA, représente la frontière physique entre le réseau de distribution HTA et le réseau de distribution BTA. Ils permettent d'abaisser la haute tension HTA en basse tension BTA.

En zone rurale, ces transformateurs sont raccordés directement au réseau HTA sans dispositif de protection. Ils sont protégés contre les courts-circuits BT et contre les surcharges par un disjoncteur équipé d'un déclencheur thermique.

Par contre, en zone urbaine, ces transformateurs sont raccordés au réseau HTA par l'intermédiaire de fusibles HTA et également protégés du côté BT par de fusibles BT.

La coordination de ces différentes protections est assurée au moyen d'un choix judicieux des calibres de ces fusibles afin de respecter une bonne sélectivité. [6]

Les postes peuvent revêtir divers aspects :

- ✓ Les postes de transformation en cabine basse
- ✓ Les postes de transformation en cabine maçonnée haute
- ✓ Les postes de transformation sur poteau

Les postes de transformation sur poteau sont ceux qui sont utilisés dans notre projet. On rencontre de puissance normalisée de 50 KVA, 100 KVA et 160 KVA.

III. CONSTRUCTION DE LA LIGNE HTA 33 KV

III.1 Définitions des éléments d'études

- La portée (a)

La portée (a) est une distance horizontale exprimée en mètre qui est comprise entre deux supports consécutifs. Elle est fonction du type de ligne (en agglomérations maximum 80m, en zones rurales maximum 180m). Elle est une donnée du problème car les calculs mécaniques se conduisent pour chaque portée.

Les portées peuvent être souvent irrégulières dans un même canton. Dans notre projet, nous avons des portées irrégulières. Ces irrégularités sont dues aux obstacles rencontrés sur le terrain qu'il faut éviter qui sont soit des ravins, des gros arbres ou des concessions.

La portée moyenne est définie comme la moyenne arithmétique des différentes portées d'un canton.

La portée équivalente est calculée à partir de la formule suivante : $a_{\text{eq}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^3}{\sum_{i=1}^n a_i}}$

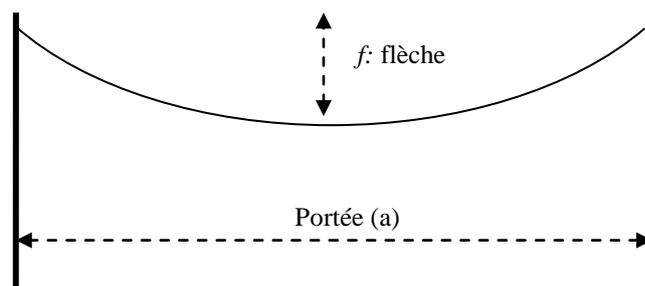
Avec a_i = une portée, n : nombre de portée

- La flèche (f)

La flèche est considérée comme la distance verticale maximale entre la droite joignant les deux attaches et les conducteurs. A l'origine, elle dépend de la tension de réglage de la ligne ; et varie ensuite sous l'influence de la température et des surcharges sur la ligne.

La flèche est choisie en fonction de la température maximale de conducteurs qui est généralement pris à 55 °C, c'est le cas considéré comme le plus défavorable. Elle est calculée en fonction du paramètre comme suit :

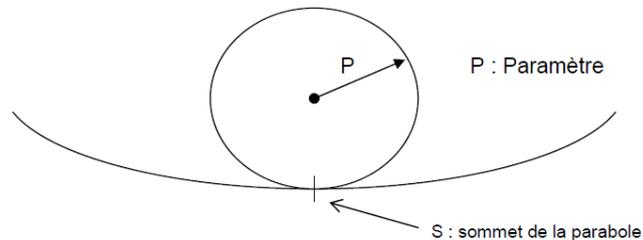
$$f = \frac{a^2}{8 \cdot P}$$



avec f : la flèche ;
 a : la portée ;
 P : le paramètre

- Le paramètre

Pour les lignes aériennes HTA et BT, la courbe formée par le conducteur peut être assimilée à une parabole. Sur le schéma ci-dessous, le paramètre P représente le rayon de courbure du cercle tangent au sommet de la parabole. [7]



- Le canton

Un canton est une succession des portées tant que les armements sont en alignement. Les fonctions Arrêt-Simple, Arrêt-Double et Semi-Arrêt représentent les limites des cantons (Annexe 5). Une limite de canton permet d'éviter une rupture en cascade de toute la ligne en cas d'incident. Selon la norme NFC 11-201, un canton ne doit pas dépasser 15 portées. [5]

III.2 Calcul mécanique de la ligne HTA

III.2.1 Le profil en long

Le profil en long du tracé de la ligne est déterminé par un topographe sous notre supervision afin que les normes soient respectées. Ce document définit la configuration du terrain existant sous l'emprise de la ligne, avec l'axe de celle-ci servant de référence. Il permet de déterminer avec toute précision désirable le piquetage d'une ligne électrique, représente tous les angles de tracé, les voies d'eau, les ponts, etc.

Ces travaux ont été réalisés suivant les critères ci-dessous:

- La ligne doit être la plus droite possible, les angles doivent être évités le plus possible
- Les piquets ne doivent pas être implantés à moins de 30 m de l'axe de la route
- Dans les zones loties, les piquets doivent être implantés à 2 m de la borne

Sur ce document, y figure également l'altitude du terrain, les distances entre les piquets, les numéros d'ordre, les numéros cumulés entre les piquets.

III.2.2 Répartition des supports et choix de l'emplacement des interrupteurs aériens

A partir du profil en long, nous avons procédé à l'étude de la répartition des supports et leurs caractéristiques ainsi que l'emplacement de l'IACM et l'IACT. Cette étude est conduite dans le but d'obtenir la solution la plus économique, compte tenu du terrain, des supports et des armements.

Notre étude est faite sous les conditions suivantes :

- en tenant compte des contraintes liées à des interventions sous tension. Les lignes doivent être visibles à partir de la route et accessible aux opérateurs en cas d'intervention.
- en nous forçant de réaliser des portées aussi égales que possible et en évitant des angles.
- en tenant compte du nombre des portées qui ne doivent pas dépasser 15 par canton.
- en évitant les surplombs des habitations en milieu des portées, en contournant les grands arbres ou vergers.

• Résultat de l'étude

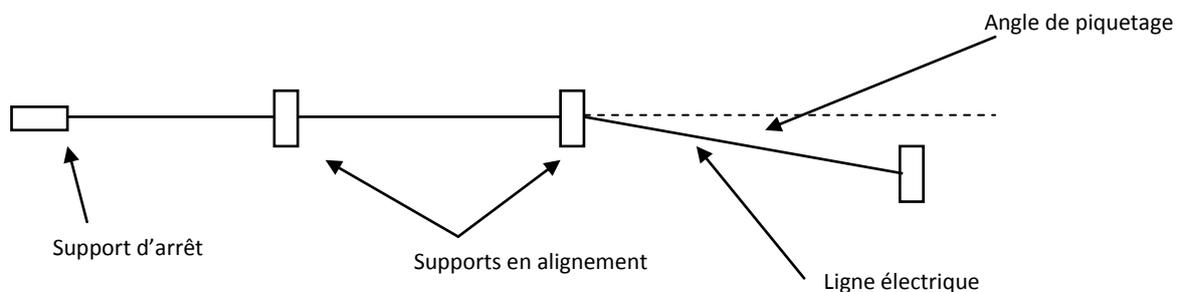


Schéma : Représentation d'une ligne électrique

A la fin de notre étude :

- ✓ Sur les lignes en alignement et aux angles de piquetage faibles (inférieurs à 10 gr), nous avons choisi des supports simples avec des armements d'alignement nappe-voute NV. Car dans les cas des armements en alignement suspendu, les efforts exercés par les conducteurs sont repartis entre les portées et il y aura moins d'efforts exercés sur les supports.
- ✓ Dans les cas des angles légèrement supérieurs à 10 gr, nous avons optés pour des supports simples avec des armements nappe-voutes NW qui sont un peu plus larges et

plus rigides par rapport à ceux de NV. Car au niveau des angles, les écartements des conducteurs diminuent et la résultante des efforts exercés sur le support est plus importante. L'armement nappe-voute NW permet de corriger ces erreurs.

- ✓ Au niveau des angles importants (largement supérieur à 10 gr), ou aux traversées des routes nationales ou rivières, ou aux supports ayant des appareils de coupures ; nous avons choisi des supports jumelés avec des hermes et des chaînes d'ancrage afin de fixer les conducteurs sur les supports. Ces supports représentent les limites des cantons. Ils sont capables de supporter les efforts provenant du vent et des conducteurs réunis.
- ✓ nous avons obtenus 109 supports répartis en 9 cantons. Les inégalités sur ces portées sont dues aux obstacles rencontrés sur le terrain.

Afin de protéger automatiquement toute la ligne contre les défauts, nous avons placé un IACT sur un support jumelé au début de cette ligne. Par contre nous avons placé un IACM sur un support jumelé proche de l'entrée de Yaba, ainsi pour une intervention sur le réseau de distribution au sein de la localité, l'alimentation peut être interrompue manuellement.

Le choix de l'emplacement de l'IACM et de l'IACT s'est fait sous les conditions suivantes :

- les supports supportant ces équipements ne doivent pas être des supports d'angle.
- leurs emplacements doivent être convenablement dégagés et facilement accessibles.

Les données obtenues de l'étude du profil en long qui sont les portées, les fonctions des supports, les angles des piquetages, et les différentes conditions prises en compte sont de données de base pour les calculs mécaniques de la ligne.

Les caractéristiques d'armement, les types isolateurs, les flèches et les tableaux de pose sont tous obtenus à partir de l'étude des calculs mécaniques de la ligne qui est réalisée grâce au logiciel CAMELIA dédié exclusivement pour les calculs des lignes.

III.2.3 Présentation du logiciel CAMELIA

CAMELIA (CALcul MEcanique de Lignes Aériennes de distribution) est un logiciel d'EDF conçu pour les calculs des lignes électriques conformément aux règles de calcul et matériels totalement compatible avec la norme française C 11-201 et qui sont également paramétrable afin de s'adapter aux règles internationales.

Avec les hypothèses climatiques, les portées, les angles de piquetage et d'autres paramètres introduits comme données dans le programme, il va permettre donc :

- de faire le choix des caractéristiques des supports et des armements en fonction des efforts calculés pour différentes hypothèses climatiques.
- de vérifier l'écartement entre conducteurs nus, l'inclinaison des chaînes isolantes
- d'éditer les tableaux de pose

Les fenêtres de saisie des hypothèses de calcul et des données des supports, se présentent comme ci-dessous.

Coefficients de sécurité :		σ
Chaînes isolantes		2.1
Isolateurs rigides		2.1
Armements		1.3
Armements, SA à l'arrêt		3
Support bois		1.6
Support bois, SA à l'arrêt		2.1
Supports béton		1.3
Supports béton, SA à l'arrêt		2.1
Supports métal		1.3
Supports métal, SA à l'arrêt		2.1
Supports Autre		1.3
Compression supports		2.1

Figure 9: Fenêtre de saisie des hypothèses

L'option ci-dessous permet de saisir toute les caractéristiques des supports.

	1	2	3	4	5	6
Rang	1	2	3	4	5	6
Nom / Type (N, D ou *)	N	N	N	N	N	N
Hauteur (m)	12	12	12			
Altitude (m)	0	0	0			
Angle de piquetage β gr	0	0	0			
Orientation support Ω (gr)	0	100	0			
Fonction	AS	SF	AS			
Branchements	Aucun	Aucun	Aucun			
Nature / Structure	BE S	BE S	BE S			
Classe	E	D	E			
Ecart entre unifilaires (m)	0	0	0			
Nature du sol / Coef ks :	C3 1.75	C3 1.2	C3 1.75			
Surimplantation (m)	0	0	0			
Armements	NAZY	NV1	NAZY			
Orientation armement (gr)	0	100	0			
Décalage d'accrochage (m)	0	0	0			
Isolateur / Equipement	175	175	175			
Longueur de portée (m)	0	0	0			

Figure 10: Fenêtre de saisie des données des supports

III.2.4 Données de base et hypothèses de calculs

Les hypothèses et données suivants doivent être paramétrés dans le logiciel avant de faire les calculs :

- **Conducteurs**

Le réseau de distribution national HTA 33 kV est constitué des conducteurs en Almélec avec une section de 54,6 mm². La ligne nouvelle ligne construite, est une ligne principale en dérivation du réseau national, il a été imposé de l'adopter sur les mêmes caractéristiques que celles du réseau national.

- **Hypothèses climatiques**

Les calculs mécaniques des lignes sont effectués suivant les hypothèses ci-après fournis par la SONABEL :

Hypothèse A : +25 °C (température moyenne) avec une pression de vent de 240 Pa.

Hypothèse B : +15 °C (température minimale) avec une pression de vent de 80 Pa.

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

Les hypothèses à utilisées par le logiciel CAMELIA, est indiqué dans le tableau ci-après :

Hypothèses suivant la terminologie de CAMELIA	Température en °C	Charge supplémentaire Kg/m	Pression de vent sur un conducteur (Pa)	Pression de vent sur un support (Pa)
A1	25	0	200	505
B1	15	0	30	90
A2	25	0	585	1450

Tableau 4: Hypothèses climatiques

- **Paramètre de la ligne**

D'une manière générale, selon la norme NF C 11-201, le paramètre P est donné conventionnellement à 45 °C sans vent en fonction de la section du conducteur et de la longueur des portées comme suit:

Pour la section de conducteur de 54,6 mm² et des portées d'environ 150 m de long, la valeur du paramètre est de 1000 m. [4]

- **Coefficient de sécurité**

Le coefficient de sécurité (**k**) est défini comme suit :

$$k = \frac{\text{effort de rupture du matériel}}{\text{effort appliqué au matériel dans l'hypothèse considéré}}$$

D'après la norme NF C 11-201, le coefficient de sécurité (**k**) est pris égal à :

- **3** pour les pièces travaillant à la traction (conducteurs, chaînes d'isolateurs, accessoires, etc.).
- **2.1** pour les pièces travaillant à la flexion (supports métalliques, ferrures, etc.).

- **Profondeur et Coefficient de stabilité des massifs de fondation (K_s)**

H : représente la hauteur totale du support.

Le coefficient de stabilité K_s est défini comme suit : $K_s = \frac{\text{Moment limite d'endommagement}}{\text{Moment de renversement nominal}}$

Le coefficient de stabilité K_s et la profondeur de la fondation des supports métalliques retenus sont les suivants :

- pour les supports d'alignement $K_s = 1,2$. La profondeur de fondation = $\frac{H}{20} + 1,3$ (m)
- pour les supports en ancrage (en arrêt, aux angles supérieurs à 10 gr ou traversant une route) $K_s = 1,75$. La profondeur de fondation est de : = $\frac{H}{20} + 1,5$ (m)

- **Conditions géométriques :**

D'après la norme NF C 11-201 :

- La distance par rapport au sol est fixée à 8 m à la traversée des routes nationales et de 6 m au moins pour les autres cas.
- L'écartement minimal entre les conducteurs est calculé selon la formule suivante :

$$e = 0,8 * \left[\frac{U}{150} + \sqrt{k * (f + L)} \right]$$

Avec : e : écartement minimal en mètre
 U : tension de service en kV
 k : coefficient prenant en compte la zone

$k = 0,9$ dans les zones à vent normal

$k = 1$ zones à vent fort

L : longueur libre de la chaîne en mètres ($L = 0$ pour le rigide)

f : flèche en mètre à 40 °C sans vent.

III.2.5 Résultat de Calcul Mécanique des lignes aériennes par CAMELIA

En fonction des efforts du vent exercés sur les supports, sur les armements, sur les conducteurs ; et les efforts exercés par les conducteurs sur les supports sous les hypothèses climatiques et coefficients de sécurité ci-dessus, le programme CAMELIA propose les choix des caractéristiques des supports et armements, l'écartement des conducteurs, les tableaux de pose.

- **Les efforts sur un armement**

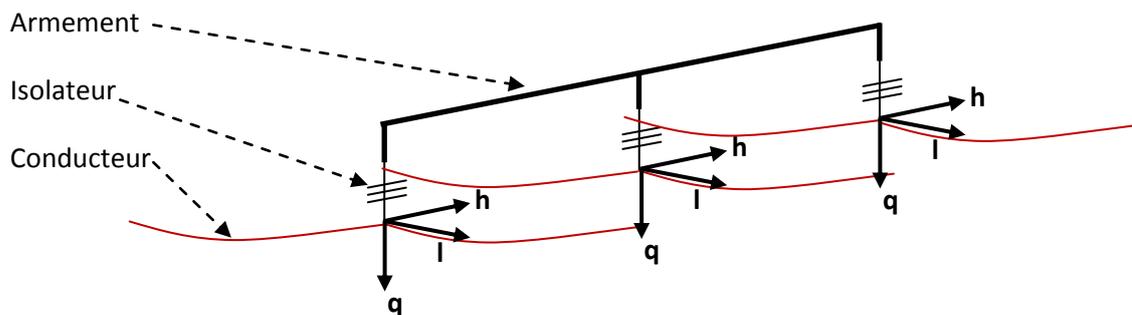


Schéma : les composantes des efforts sur un armement

Les efforts considérés par le programme de calcul sont indiqués sur le schéma ci-dessus.

- q : effort vertical
- h : effort le long de l'axe des étriers
- l : effort perpendiculaire à l'axe des étriers

Les résultats fournis par le logiciel CAMELIA sont classés en colonnes comme suit : La numérotation des supports (Nom), la fonction des supports, la longueur des portées, l'orientation des supports, le type des supports, le type d'armement,

CAMELIA 4.20

Version réservée à : EODA

Description : ELECTRIFICATION

Numéro d'affaire : 001

Nom du fichier : I:\YABA.don

Bibliothèque : BURKINA1.MDB, Règles burkinabè

Tableau 5 : Fiches supports

Nom	Fonct	Portées	Support	Armement	Iso	Fouilles
1	AS	118	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3
2	AD	118 .43	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3
3	DA	112	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
4	SF	112	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
5	SF	113.58	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
6	DA	144	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
7	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
8	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
9	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
10	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
11	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
12	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
13	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
14	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
15	SF	144	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
16	AD	143	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3
17	SF	143	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
18	SF	143	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
19	SF	143	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
20	SF	143	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
21	SF	143	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
22	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
23	SF	141.48	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
24	SF	122	12 HEA 160	NW-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
25	SF	122	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
26	SF	122	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3

27	SF	121.81	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
28	DA	126	12 HEA 160	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
29	SF	126	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
30	AD	126	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3
31	SF	127	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
32	SF	127.08	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
33	SF	148.38	12 HEA 160	NW-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
34	SF	110	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
35	SF	128	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
36	SF	127.75	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
37	DA	147.88	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
38	DA	130,93	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
39	SF	130,4	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
40	DA	136,69	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
41	DA	133	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
42	SF	133	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
43	SF	133	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
44	SF	133	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
45	SF	133,42	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
46	DA	142	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
47	AD	142	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3
48	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
49	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
50	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
51	SF	142,15	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
52	DA	141	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
53	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
54	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
55	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
56	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
57	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
58	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
59	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3

60	SF	141	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
61	AD	142	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3
62	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
63	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
64	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
65	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
66	SF	149,93	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
67	SF	132,27	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
68	DA	119	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
69	SF	119	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
70	AD	118	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3
71	SF	17,74	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
72	SF	142	12 HEA 160	NW-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
73	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
74	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
75	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
76	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
77	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
78	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
79	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
80	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
81	SF	142	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
82	SF	136,74	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
83	SF	136,49	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
84	DA	139	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
85	AD	139	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3
86	SF	139	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
87	SF	139	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
88	SF	139,49	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
89	SF	136,97	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
90	SF	133	12 HEA 160	NW-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
91	SF	133	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
92	SF	133	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
93	SF	133	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3

94	SF	133	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
95	SF	133	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
96	SF	133,07	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
97	SF	133,91	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.6 C3
98	SF	101	12 HEA 160	NW-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
99	SF	101,39	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
100	SF	57,69	12 HEA 160	NW-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
101	AD	91,49	12 HEA 180 J	NA3X-2000	MAX CS70 7J	0.65 x 0.3 x 2.1 C3
102	SF	99,1	12 HEA 160	NW-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
103	DA	43,72	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
104	DA	78	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
105	SF	77,24	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
106	DA	140,84	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
107	DA	78	12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 1.9 C3
108	SF	78,47	12 HEA 160	NV2-50x50	MAX CS40 5J	0.3 x 0.3 x 1.7 C3
109	AS		12 HEA 160 J	NA3Y-3150	MAX CS70 7J	0.6 x 0.3 x 2.1 C3

Il propose également les tableaux de récapitulatif des matériels :

Tableau 6 : Tableau des conducteurs

Conducteur	HTA	BT	Section (mm ²)	Longueur (m) «3 phases »	Masse de câble sec (kg)
ASTER 54.6	9	0	54.55	41670	6208,8

Tableau 7 : Tableau des armements :

Nom	Quantité
NA3Y-3150	31
NV2-50x50	77
NW-50x50	7
NA3X-2000	2

Tableau 8 : Tableau des supports :

Nom	Quantité
12 HEA 160 J	23
12 HEA 160	85
12 HEA 180 J	1

Les différentes fonctions des supports répertoriées sont :

SF : Simple fixation, c'est un support comportant un armement en suspendu.

AD : Arrêt-double, c'est un ancrage de part et d'autre du support et peut supporter l'interrupteur aérien. Il permet également de limiter les cantons.

DA : Double ancrage, c'est un support d'alignement dont l'armement est un armement d'ancrage.

Sur une longueur de câble de 13890 m (voir tableau des conducteurs), nous avons 9 cantons qui sont délimités par des supports jumelés 12 HEA 160 J. Sur le tableau ci-dessus, les limites des cantons sont en couleur verte.

Le nom du support 12 HEA 160 J est décomposé comme suit :

12 : c'est la longueur totale en mètre du support

HEA : la caractéristique du support métallique

160 : l'effort nominal du support en kN

J : jumelé

- **Analyse**

Selon notre étude, nous avons obtenus 9 cantons qui sont délimités par des supports d'arrêt-simple et arrêt-double. Deux cantons sont limités par le nombre de portées qui dépasse les 15 portées autorisées par la norme et les autres sont limités à cause des angles de piquetages importants. Ces supports sont jumelés.

En calculant les différents efforts appliqués sur les supports, le programme nous donne les caractéristiques des armements que nous avons introduits au départ.

- Pour les supports délimitant les cantons, nous avons les armements : **NA3Y-3150** (**Voir annexe 1**). Ces sont des armements en nappe d'ancrage avec 1,5 m d'écartement entre phases et pouvant supportés un maximum d'effort de 3150 N.
- Pour les supports d'alignement, nous avons les armements : **NV2-50x50**, c'est un armement de suspension avec 1,7 m d'écartement entre phases et des cornières 50x50 (**Voir annexe 1**).

- Pour les supports d'alignement avec un angle de piquetage faible, nous avons les armements : **NW-50x50**, c'est un armement de suspension avec 1,75 m d'écartement entre phases et des cornières 50x50 (**Voir annexe 1**).

Le programme CAMELIA fourni également les tableaux de pose. Ces tableaux donnent par canton les différentes flèches et tensions appliquées sur les conducteurs en fonction de différentes températures ambiantes.

Un extrait des tableaux de pose est donné pour le canton N°6 comme suit:

Tableau 9 : Flèches médianes (m)

Portée :		Températures de réglage :°C									
Supports	Long	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
61/62	142	1.16	1.27	1.39	1.52	1.66	1.8	1.95	2.1	2.25	2.4
62/63	142	1.16	1.27	1.39	1.52	1.66	1.8	1.95	2.1	2.25	2.4
63/64	142	1.16	1.27	1.39	1.52	1.66	1.8	1.95	2.1	2.25	2.4
64/65	142	1.16	1.27	1.39	1.52	1.66	1.8	1.95	2.1	2.25	2.4
65/66	142	1.16	1.27	1.39	1.52	1.66	1.8	1.95	2.1	2.25	2.4
66/67	149.93	1.29	1.41	1.55	1.69	1.85	2.01	2.18	2.34	2.51	2.67
67/68	132.27	1	1.1	1.21	1.32	1.44	1.56	1.69	1.82	1.95	2.08
68/69	119	0.81	0.89	0.98	1.07	1.17	1.27	1.37	1.48	1.58	1.68
69/70	119	0.81	0.89	0.98	1.07	1.16	1.27	1.37	1.48	1.58	1.68

Tableau 10 : Tension (kN)

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Tens. horiz. kN	3.18	2.91	2.65	2.42	2.22	2.04	1.89	1.75	1.64	1.54
Tens. gauche kN	3.18	2.91	2.65	2.43	2.22	2.05	1.89	1.76	1.64	1.54
Tens. droite kN	3.18	2.91	2.65	2.42	2.22	2.04	1.89	1.76	1.64	1.54

III.2.6 Capacité de puissance à transporter

La ligne construite à une longueur de 13,98 km avec une section de 54,6 mm². D'après la norme française, dans les zones rurales la limite admise de chute de tension est de 7% ($\frac{\Delta U}{U} \leq 7\%$).

Dans cette partie nous calculons la puissance maximale que la ligne construite peut supporter dans les normes à une température de 40 °C.

En pratique, pour les projets de lignes de distribution HTA dans les zones rurales, on prend généralement :

- Pour une nouvelle ligne HTA, la chute de tension admise est : $\frac{\Delta U}{U} \leq 7\%$.
- Une réactance $X_0 = 0,35 \frac{\Omega}{km}$
- $\cos\varphi = 0,9$; $\sin\varphi = 0,45$; $\text{tg}\varphi = 0,5$
- la résistance linéique $R_0^{40^\circ}$ à 40 °C.

La résistance kilométrique d'un conducteur est : $R_0 = \frac{10 \cdot \rho}{S}$

La résistivité ρ d'un conducteur en almélec à 20 °C est : 3,3μΩ.cm. Donc nous aurons la résistance linéique du conducteur à 20°C pour une section de 54,6 mm² : $R_0^{20^\circ} = 0,6044 \Omega/km$.

Pour une résistance linéique à 40 °C :

$$R_0^{40^\circ} = R_0^{20^\circ} * [1 + \alpha(40^\circ C - 20^\circ C)] \quad \text{avec } \alpha = 0,004$$

$$\Rightarrow R_0^{40^\circ} = 0,6527 \Omega/km$$

D'après l'expression générale de chute de tension :

$$\frac{\Delta U}{U} = P * D * \frac{R+X*\text{tg}\varphi}{U^2} \leq 0,07 \quad (1)$$

$$\Rightarrow P \leq \frac{0,07 * U^2}{D * (R_0^{40^\circ} + X_0 * \text{tg}\varphi)}$$

P : puissance transitant en MW
 D : distance du tronçon en km
 $R_0^{40^\circ}$: résistance linéique en Ω/km
 X_0 : réactance linéique en Ω/km

L'application numérique donne : $P \leq 6,5879 \text{ MW}$

La ligne construite peut donc transporter une puissance allant jusqu'à 6,58 MW.

III.2.7 Appareils de protection

Comme dispositifs de protection pour la nouvelle ligne construite, nous avons installé des parafoudres et des interrupteurs aériens.

III.2.7.1 Parafoudre

Les lignes électriques sont généralement exposées aux décharges électriques atmosphériques qui sont de l'ordre des milliers de kilovolts. Ces décharges créent des surtensions dans le réseau. Le parafoudre est utilisé pour dévier vers la terre les surtensions apparaissant aux moments de décharges orageuses, afin de protéger la ligne et les autres appareils sur cette ligne.

Nous avons installé trois jeux de trois parafoudres repartis sur la ligne à équidistance.

III.2.7.2 Interrupteurs aériens

En cas des défauts sur la ligne, cette ligne doit être mise hors tension afin de la protéger ou d'intervenir.

Nous avons installé un interrupteur aérien à creux de tension (IACT) au début de la ligne. L'IACT installé à une intensité nominale de 200 A et un pouvoir de coupure de 200 A.

Un interrupteur aérien à commande manuelle (IACM) est installé au bout de la ligne. Il a une intensité nominale de 200A et un pouvoir de coupure de 31,5 A.

III.2.7.3 Protection de personnes

Afin de protéger les personnes contre les contacts indirects, tous les supports utilisés ainsi les masses des appareils qui y sont montés sont mis à la terre. Lors d'un contact accidentel entre une phase et une masse métallique, le courant de défaut sera directement conduit à la terre par l'intermédiaire d'un câble en cuivre.

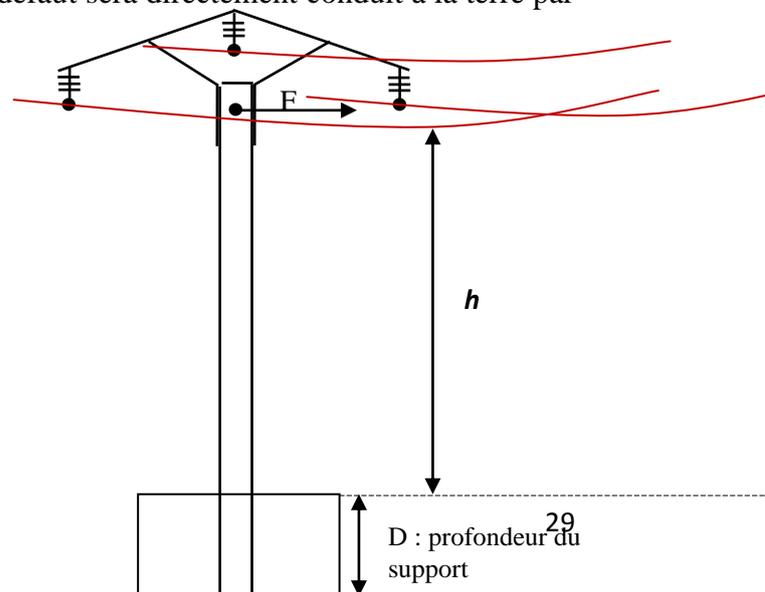
III.2.8 Calcul des supports

- **Dimensionnement des fondations**

H (m) est la hauteur totale du support.

D (m) est la profondeur de la fondation.

Selon la norme NFC 11-201, les fondations



des supports métalliques sont définis comme suit :

Pour les supports d'alignement : $D = \frac{H}{20} + 1,3$

Pour les supports d'ancrage : $D = \frac{H}{20} + 1,5$

- **Hauteur des conducteurs**

La hauteur de fixation des conducteurs par rapport au sol de façon à respecter la distance de sécurité imposée par la norme, peuvent être déterminée comme suit :

h est la hauteur entre le sol et le point le plus bas du conducteur.

La distance **h** est donnée par la norme NFC 11-201 : **h** est au moins 6m pour l'alignement et au moins 8 m pour les traversées des routes.

La flèche **f** est donnée en fonction de la température ambiante dans les tableaux de pose du résultat de CAMELIA.

La distance minimale à laquelle les conducteurs sont fixés sera donc **d = h + f**

- **Orientation des supports**

Dans un canton, les fouilles des supports d'alignement orientées de façon que les axes de grande inertie des supports soient perpendiculaires à la ligne (**Schéma**). Chaque support d'alignement doit résister à l'effort du vent sur les conducteurs des deux demi-portées adjacentes (F_{v1} et F_{v2}), et sur le support lui-même et son armement. **a₁** et **a₂** sont des portées.

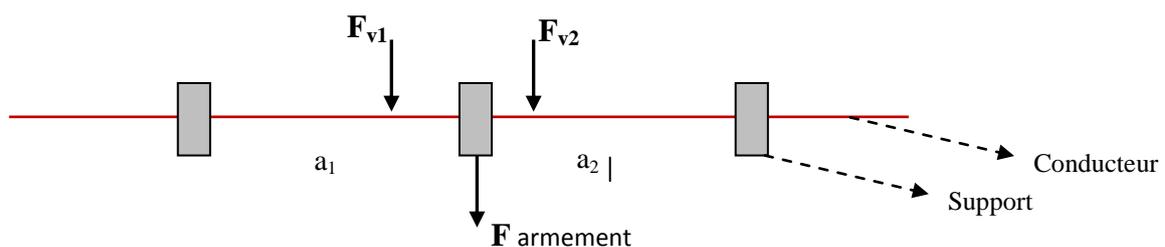


Schéma : Représentation des efforts sur la ligne et les supports en alignement

Au niveau des angles importants, les fouilles des supports d'ancrage sont orientées de façon que l'axe de grande inertie du support suive la bissectrice de l'angle formé par les deux tronçons de ligne. Cette position permet au support de résister non seulement à l'effort du vent mais également à la traction des conducteurs (**T₁**, **T₂**) comme représenté sur le schéma ci-dessous.

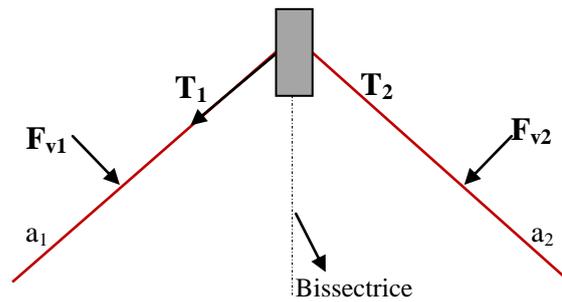


Schéma : Représentation des efforts sur la ligne et les supports en angle important

- **Réglage de la ligne**

Les tableaux de pose des résultats de CAMELIA indiquent la composante horizontale de la tension à réaliser dans les câbles ainsi que la flèche maximale en fonction de la température ambiante.

A l'aide de ces informations, les conducteurs sont tirés et fixés aux chaînes d'isolateurs suspendues de façon à ce que ces dernières soient verticales. La tolérance sur la flèche de réglage des conducteurs est de $\pm 2\%$.

Les flèches des conducteurs seront contrôlées au moyen de mesures directes par visée de support à support ou à l'aide du théodolite.

IV. CONSTRUCTION DES RESEAUX DE DISTRIBUTION



Schéma : réseau de distribution de Yaba

L'alimentation de la localité de Yaba est répartie en deux zones selon le regroupement de la population. Une zone où la concentration de la population est plus dense, abritant le marché, le dispensaire, l'école, la mairie, etc, sera alimentée par une artère principale. Et une deuxième zone où la densité de population est faible sera alimentée par une artère secondaire. L'étude de la répartition du réseau se fait donc en considérant cet aspect du regroupement.

Le réseau BT adopté pour l'alimentation de la localité de Yaba, est de structure radiale simple. Une partie de la ligne HTA est prolongée dans la localité (**Schéma**). Sur cette ligne sont raccordés deux branches de réseau BTA à partir de deux postes de transformation haut de poteau de 50 kVA chacun. Cette structure s'étend le long des rues.

La ligne sur l'axe principal est munie des lampes pour l'éclairage public.

IV.1 Les conducteurs aériens isolés

- **Compositions des conducteurs**

Pour le réseau de basse tension, nous utilisons des conducteurs isolés torsadés assemblés en faisceaux installés sur des poteaux. Le faisceau est constitué de cinq conducteurs composé de trois conducteurs de phase et un conducteur d'éclairage public, torsadés autour d'un conducteur de neutre.

Les conducteurs de phase et d'éclairage public sont en aluminium et le conducteur de neutre appelé neutre porteur est en alliage d'aluminium.

CONSTITUTION - CARACTÉRISTIQUES NEUTRE PORTEUR

- ① Ame rigide almélec
- ② Ruban séparateur en papier
- ③ Gaine isolante en polyéthylène réticulé de couleur noire

PHASE

- ④ Ame rigide aluminium 3/4 dur (NF C 31-122)
- ⑤ Gaine isolante en polyéthylène réticulé de couleur noire

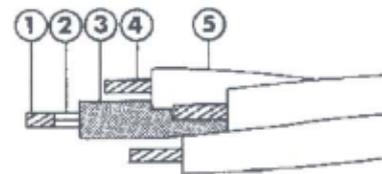


Figure 11: Constitution des câbles isolés

- **Dimensionnement des conducteurs**

Le choix des sections de conducteurs utilisés dépend de la puissance qui transite dans ces conducteurs. Les raccordements issus de chaque poste de transformation ont des sections

constantes tout le long de la distribution. Ces conducteurs longent les rues permettant ainsi aux branchements individuels ou collectifs.

La norme NFC 11-201 préconise l'utilisation d'un neutre porteur de section 54,6 mm² ou 70 mm² en almélec avec des conducteur de phase de section 25 mm² ; 35 mm² ; 50 mm² ou 70 mm² pour la distribution BT. La différence avec les lignes aériennes provient essentiellement de la réactance linéique dont la valeur n'est que 0,1 Ω pour les câbles isolés [9].

Les sections de conducteurs sont déterminées en vérifiant :

- l'intensité nominale circulant dans le conducteur
- la limite de chute de tension

Nous faisons les calculs en estimant que la puissance maximale pouvant être demandée par la zone la plus concentrée est la puissance maximale du transformateur donc 50 kVA.

❖ L'intensité nominale est déterminée comme suit :

$$I_b = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U} \quad \text{Avec } S_n : \text{ la puissance apparente ; } U : \text{ la tension}$$

On trouve $I_b = 72,17$ A. D'après le tableau de choix des conducteurs (Annexe 2), on aura donc une section de 25 mm²

❖ La valeur de chute de tension retenue pour les réseaux basse tension neuf est: $\frac{\Delta U}{U} \leq 7\%$

Hypothèse :

La charge sera répartie dans le réseau suivant des branches de dérivations. Afin de pouvoir calculer la section du conducteur de l'artère principale, nous supposons donc que la charge totale est à ¼ de la longueur totale du câble ($L = 2\text{km}/4 = 0,5$ km).

En tirant R dans la formule (1) de chute de tension ci-dessus, on aura :

$$R = \frac{10 \cdot \rho}{s} \leq \frac{0,07 \cdot U^2}{P \cdot L} - X \cdot \text{tg}\varphi \quad \text{avec } \rho = 2,929 \mu\Omega \cdot \text{cm à } 40^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad s \geq 57,43 \text{ mm}^2$$

Donc la section de conducteur est de 70 mm²

De la même manière nous retrouvons la section l'artère secondaire.

- **Mise à la terre du neutre**

D'après la norme NFC 11-201, le neutre du réseau basse tension n'est mis à la terre du poste lui-même mais ailleurs sur le réseau a une distance de 500 m par l'intermédiaire d'un puits de terre. Les deux terres doivent être électriquement indépendantes (leur coefficient de couplage

est inférieur à 15%) pour éviter que lors d'un défaut sur la partie HTA, la montée en potentiel de la terre des masses n'ait des répercussions sur le réseau BT.

Les dérivations sur le réseau construit sont d'environ 500 m de long, donc les neutres sont mis à terre au bout de chaque dérivation.

Puits de terre réalisé à une profondeur de 3,50 m et est constitué de la bouse de vache, du charbon et du sel placés séparément dans différentes couches. La confection d'un puits de terre est représentée à l'annexe 3.

IV.2 Les supports

Les supports utilisés pour le BT sont des supports métalliques de 11 m et sont tous mis à la terre. Sur l'axe central traversant la localité, nous avons une ligne mixte HTA/BTA. Pour cette ligne sont utilisés des supports de 12 m avec des armements alternés. Les conducteurs BT sont en dessous des conducteurs HTA à une distance d'au moins 1 m (**Figure**).

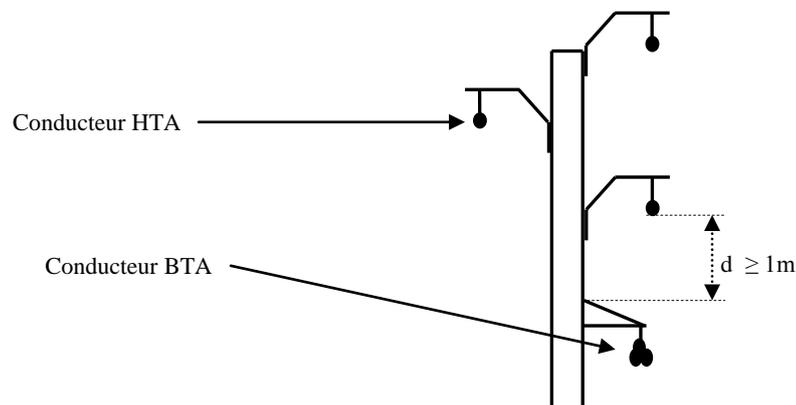


Schéma : Support en armement alterné d'une ligne mixte HTA/BTA

Les distances entre les supports est d'environ 60m ; c'est la portée maximale que la norme NFC 11-201 a imposé pour le réseau BT.

Deux supports sont équipés des transformateurs, qui sont protégés chacun par un jeu de trois parafoudres. Chaque support équipé d'un transformateur est précédé d'un support équipé d'un IACM permettant ainsi d'isoler le transformateur pour des travaux.

La configuration d'un support équipé d'un poste de transformation est représentée à l'annexe 4

Les matériels d'équipement des postes haut de poteau H 61 sont :

- les parafoudres
- le transformateur de puissance triphasé
- le coffret disjoncteur BT haut de poteau complet

IV.2 Protections

- **Contact indirect**

Afin de protéger la population contre les contacts indirects, tous les supports utilisés sont mis à la terre par l'intermédiaire d'un câble en cuivre de 25 mm². Deux supports sont équipés des postes de transformation et deux autres des IACM, les masses de ces appareils sont également reliées à la prise de terre de masse. Les valeurs maximales de terre des masses sont définies dans le tableau suivant :

	Support et ferrures métalliques (Ω)	Châssis d'IACM (Ω)	Parafoudres (Ω)	Postes sur ligne aérienne (Ω)	Postes sur ligne souterraine (Ω)
Terrain normal	150	60	30	30	3
Terrain difficile	150	120	60	60	5

Tableau 11: Terre de masse

- **Contre les surtensions**

Le raccordement des conducteurs du réseau BT au poste de transformation se fait à travers le un disjoncteur BT qui assure la protection contre les surtensions en basse tension. Chaque poste de transformation est équipé d'un jeu de trois parafoudres afin de le protéger contre les surtensions d'origine atmosphériques.

IV.3 Réseau d'éclairage public

Afin d'éclairer la grande voie traversant la ville, l'éclairage public est réalisé sur la ligne mixte. Nous avons 18 lampes à installées, qui sont réparties sur deux départs.

Les portées du réseau BT est de 50 m, et chaque lampe est fixée sur le support de la ligne par l'intermédiaire d'une crosse. Les lampes utilisées sont des lampes à vapeur de sodium haute pression, d'une puissance de 150 W.

La détermination des caractéristiques de l'installation d'éclairage public concerne :

- Le calcul de la section des conducteurs
- Le choix des dispositifs de protection

IV.3.1 Raccordement d'éclairage public BT

Le conducteur d'éclairage public est dérivé d'une des trois phases du réseau BT et ensuite enroulé avec les trois phases au tour du neutre porteur. Les lampes sont raccordées en parallèle entre le conducteur de l'EP et le neutre comme indiqué sur le schéma ci-dessous :

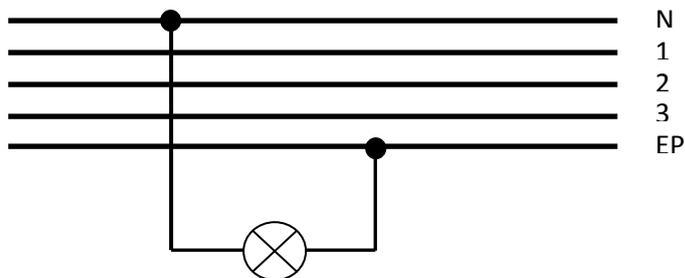


Schéma : Représentation d'un réseau d'éclairage public

IV.3.2 Dimensionnement des conducteurs :

Pour déterminer les sections du conducteur, nous devons calculer les sections suivantes :

- S_a liée au courant d'allumage I_A
- S_b liée à la chute de tension

La section de conducteur doit donc être égale ou supérieur à la plus grande des sections S_a , S_b .

- **Calcul de S_a**

Déterminons le courant d'allumage I_A . Selon la norme NFC 17-205 [10]:

$$I_A = N * I_a$$

N : nombre de lampes par canalisation

I_a : courant maximal d'allumage d'une lampe

$I_a = 1,28 \text{ A}$ (voir Annexe 6, tableau A)

En calculant, nous aurons : $I_A = 9 * 1,28 = 11,52 \text{ A}$

Le tableau B de l'annexe 6, nous permet de déterminée la section $S_a \Rightarrow \blacktriangleright S_a = 10 \text{ mm}^2$

- **Calcul de S_b**

En régime permanent, la chute de tension est inférieure ou égale à 5%. [10]

Le courant d'emploi est défini comme suit:

$$I_B = d \cdot N \cdot I_b$$

I_b : courant absorbé par chaque lampe

$$I_b = 0,82 \text{ A} \quad (\text{voir Annexe 6, tableau A})$$

$$I_B = 8,856 \text{ A}$$

d : coefficient d'extension = 1,2

La section S_b est déterminée en fonction de la chute de tension comme suit :

$$S_b = \rho \cdot N[(N + 1)l] \cdot \frac{d \cdot I_b}{\Delta U}$$

ρ : résistivité des conducteurs

$\rho = 37 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour les conducteurs Alu

$\Delta U = 11,5 \text{ V}$

l : la portée 50 m

Après calcul, nous avons $S_b = 14,246 \text{ mm}^2$

Donc nous aurons une section normalisée S_b de : $\Rightarrow S_b = 16 \text{ mm}^2$

IV.3.3 Protection :

Avec une portée de 50 m et 9 lampes pour chaque canalisation, nous aurons la longueur d'une canalisation de $L = 400 \text{ m}$. ($L = 50 \cdot 8$)

Sur le tableau C de l'annexe 6, en connaissant la section du conducteur (16 mm^2) et la longueur de canalisation (400 m), nous pouvons donc choisir un disjoncteur de protection de 20 A.

V. L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

V.1 Au niveau social

Les avantages sociaux qui peuvent être induits par la réalisation du projet concernent à la fois l'éducation et la santé, les femmes et les jeunes ainsi que les centres sociaux et de loisirs. Ces avantages sont perceptibles dans des domaines comme l'urbanisation, la sécurité des biens et des personnes, l'exode rural et le renforcement de la sécurité alimentaire dans la zone. Les établissements scolaires seront pourvus d'éclairage régulier et permanent, ce qui améliore déjà les motivations des enseignants et des élèves avec comme effets bénéfiques, l'augmentation des taux de fréquentation et l'amélioration des résultats scolaires. Outre ces avantages, la fourniture d'électricité se traduit pour les grandes localités par l'ouverture

d'autres horizons, tant pour les enseignants que pour les écoliers, dans le domaine de l'information, de la formation et de l'éducation par l'Internet.

Dans le secteur de la santé, la fourniture de courant électrique aux centres de santé permettra d'améliorer de façon significative la conservation des produits pharmaceutiques, des vaccins, des produits sanguins et autres produits médicaux ; il est désormais possible d'installer dans les localités relativement importantes de nouveaux équipements sanitaires comme les appareils de laboratoire. Il en résultera une amélioration de la qualité des soins de santé et, comme effets induits, un accroissement du taux de fréquentation des formations sanitaires.

Dans la zone, comme dans plusieurs villages burkinabés, les femmes sont responsables de la recherche de bois de chauffe, de l'éclairage domestique ainsi que de la conservation des aliments et des produits agricoles périssables. La fourniture d'électricité contribuera à libérer ces femmes de ces corvées quotidiennes et récurrentes en leur permettant de se consacrer d'avantage à d'autres activités génératrices de revenus susceptibles d'améliorer le niveau de vie des familles.

V. 2 Au niveau économique

Avec la réalisation de ce projet, on assistera à l'amélioration des conditions de la femme et au fonctionnement des écoles, des centres de santé, des centres de loisir et à la création de nouveaux centres. En outre, le projet permettra la création de salles de cinéma et l'ouverture de bibliothèques rurales, l'accès aux nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC). Le développement de ces nouvelles activités contribuera à générer de nouveaux revenus ainsi qu'à améliorer les conditions de vie dans les zones rurales. Il en résultera un ralentissement significatif de l'exode des jeunes vers les centres urbains avec, comme effets induits, l'arrêt de la baisse tendancielle de la production agricole et l'amélioration dans les zones concernées de la sécurité alimentaire et de l'habitat.

V. 3 Au niveau de la faune

Pour le suivi environnemental, nous avons veillé à l'exécution correcte des différentes mesures d'atténuation sur la dégradation de l'environnement. Nous avons dû abattre ou élaguer certains arbres qu'on ne peut pas éviter. Mais ceci a été réalisé avec l'autorisation du service de l'environnement.

Le projet peut être considéré comme ayant des incidences négatives limitées pouvant être réduites par l'application systématique des mesures d'atténuation et un suivi environnemental

adéquat. Les travaux d'ouverture de l'itinéraire des lignes et de l'implantation des poteaux, n'ont pas eu d'impacts négatifs directs. Ainsi très peu de parcelles de cultures ont été affectées par l'emprise du tracé étant donné que les lignes longent les voies d'accès aux localités. Il n'y a pas eu de traversée de forêts, par conséquent il n'y a pas eu d'impact sur la faune. Il n'était pas prévu de destruction des habitations sur l'emprise des tracés mais plutôt de les contourner.

VI. CONCLUSION

Les projets de l'électrification rurale sont de plus en plus encouragés et nombreux en Afrique, c'est le cas du Burkina Faso également avec la décision de la SONABL de couvrir toute l'étendue du territoire national de l'énergie électrique. L'électrification des zones isolées comme c'est fut le cas de Yaba, consistait à construire un réseau de basse tension et de le raccorder au réseau de distribution national. Ce raccordement s'est fait par la réalisation d'une ligne haute de 33 kV sur une distance d'environ 14 km de long ; ceci afin de baisser les pertes par effet joule. Cette réalisation a fait intervenir l'étude du terrain et l'étude du climat de la région afin de pouvoir dimensionner les gabarits des supports, les armements et les conducteurs correspondant à cet environnement. Au sein de la ville, la construction d'un réseau basse tension facilite à la population de faire des branchements individuels. La mise en place des foyers lumineux pour l'éclairage public permettra d'éclairer l'axe traversant le centre-ville qui est très fréquenté par la population.

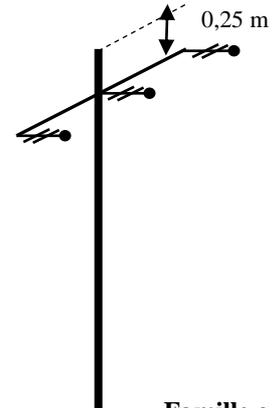
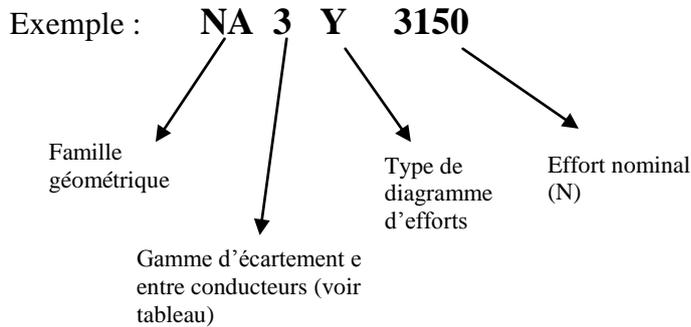
Ce projet a été réalisé dans le respect de l'environnement. Il affectera fortement sur les conditions de vie de la population locale qui étaient freinées par le défaut de l'énergie électrique. On assistera donc certainement à l'amélioration de leurs conditions sociales et économiques avec l'émergence des nouvelles activités.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Electric Transmission Lines, Public Service Commission of Wisconsin, P.O. Box 7854
Madison, WI 53707-7854, Website: www.psc.wi.gov, Electric 09 (05/11)
- [2] Florin Bogdan ENACHEANU, Thèse, Institut National Polytechnique de Grenoble,
26 Oct. 2006
- [3] Schneider Electric, Méthodologie de conception des réseaux électriques et exemple
d'application, 6 883 427 /A
- [4] Norme française NF C 11-201, Octobre 1996, indice de classement C 11-201 ; ICS
29.240.01. Réseaux de distribution d'énergie électrique. Ets Busson, impr. 93218 La plaine St
Denis
- [5] CAMELIA : Calcul Mécanique des Lignes Aériennes Version 4.3. Manuel D'utilisateur.
Electricité Réseau de distribution France.
- [6] GRAFF Jean Jacques. Transport et Distribution : Structure des réseaux de distribution
[Cours]. Ouagadougou : Institut International Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement,
2010. – Vol. 34.
- [7] GRAFF Jean Jacques. Transport et Distribution : Calcul mécanique des lignes aériennes
[Cours]. Ouagadougou : Institut International Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement,
2010. – Vol. 78.
- [8] Dr. BELALI Said. Calcul Mécanique des lignes aériennes, Office National d'Electricité
du Maroc. Formations de développement, Octobre 2008
- [9] GRAFF Jean Jacques. Transport & Distribution : Calcul électrique des câbles [Cours].
Ouagadougou : Institut International Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2010. – Vol.
58.
- [10] J. L. Lilien. Transport et Distribution de l'Energie Electrique [Cours]. Liège : Institut
d'Electricité Montefiore, 2006
- [11] Union Technique de l'Electricité, UTE C 17 205. GUIDE PRATIQUE : Installation
d'éclairage public, détermination des sections des conducteurs et choix de dispositifs de
protection. Novembre 1999.

ANNEXE 1 (source : catalogue armements Retis –Solutions):

➤ **NAPPE d'ANCRAGE** (pour lignes HTA suspendu) : NA



Famille géométrique NA

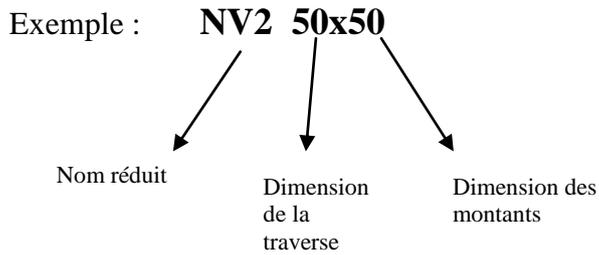
Gamme	Distance e (m)	Gamme	Distance e (m)
1	1,05	4	2,00
2	1,20	5	2,50
3	1,50	6	3,00

Gamme géométrique des armements

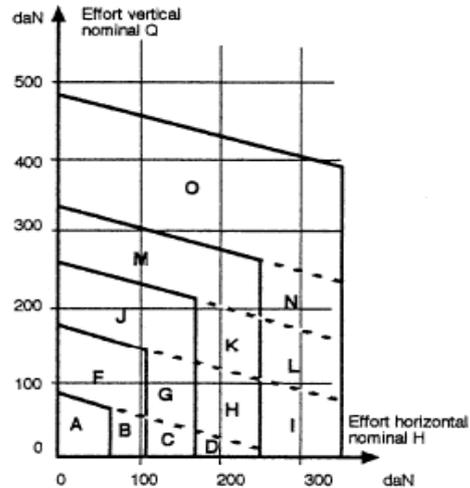
Le nom réduit des armements à faible déformation définit le type de diagramme de tenue des efforts de l'armement, ce diagramme est variable suivant que l'on recherche une tenue plus importante dans le sens vertical (Q) ou dans le sens longitudinal (L). Trois types de diagrammes référencés par les lettres **X**, **Y** et **Z** ont été spécifiés dans les règles françaises pour les armements à faible déformation :

Types	Diagramme dans le plan (Q, L)
X	
Y	
Z	

➤ NAPPE-VOUTE NV2



Zone	Cornières
A	50 x 50
B	50 x 60
C	50 x 70
D	50 x 80
E	50 x 90
F	60 x 60
G	60 x 70
H	60 x 80
I	60 x 90
J	70 x 70
K	70 x 80
L	70 x 90
M	80 x 80
N	80 x 90
O	90 x 90



ANNEXE2 (source : NFC 11-201):

Exemple de tableau de choix des conducteurs et des sections :

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

6.5.1. Tableau de caractéristiques des conducteurs câblés

(alliage d'aluminium, AMS, en fonction de la section)

Section nominale mm ²	Section Théorique mm ²	Nombre de fils	Diamètre nominal mm	Diamètre extérieur du conducteur mm	Masse par km de conducteur ¹² kg/km	Masse de graisse par km de conducteur ¹³ kg/km	Résistance électrique par km de conducteur ¹⁴ Ω/km à 20°C	Charge de rupture nominale du conducteur daN	Module d'élasticité du conducteur ¹⁵ N/mm ²	Coefficient de dilatation linéique du conducteur ¹⁶ 10 ⁻⁶ K ⁻¹	Intensité de courant admissible A
35	34,36	7	2,5	7,50	94	5	0,967	1105	59000	23 10 ⁻⁶	180
55	54,55	7	3,15	9,45	149	8	0,609	1755	59000	23 10 ⁻⁶	240
95	93,27	19	2,5	12,5	257	5	0,358	3005	56000	23 10 ⁻⁶	340
117	116,99	19	2,8	14	322	7	0,286	3765	56000	23 10 ⁻⁶	385
148	148,07	19	3,15	15,75	407	8	0,226	4765	56000	23 10 ⁻⁶	450
153	152,81	19	3,2	16	421	9	0,218	4920	56000	23 10 ⁻⁶	460
182	181,62	37	2,5	17,50	501	14	0,184	5845	56000	23 10 ⁻⁶	510
198	197,96	37	2,61	18,3	546	15	0,169	6375	56000	23 10 ⁻⁶	535
210	210,28	37	2,69	18,85	579	16	0,159	6770	56000	23 10 ⁻⁶	560
228	227,83	37	2,8	19,6	627	17	0,147	7335	56000	23 10 ⁻⁶	585
248	247,77	37	2,92	20,45	682	19	0,135	7980	56000	23 10 ⁻⁶	620
265	265,04	37	3,02	21,15	731	20	0,127	8985	56000	23 10 ⁻⁶	645
288	288,35	37	3,15	22,05	795	22	0,116	9285	56000	23 10 ⁻⁶	680
298	297,57	37	3,2	22,4	819	22	0,112	9585	56000	23 10 ⁻⁶	695
313	312,64	37	3,28	22,95	859	24	0,107	10070	56000	23 10 ⁻⁶	715
318	318,38	37	3,31	23,2	878	24	0,105	10250	56000	23 10 ⁻⁶	720
366	366,23	37	3,55	24,85	1009	28	0,0913	11795	56000	23 10 ⁻⁶	790
446	445,68	61	3,05	27,45	1230	37	0,0752	14355	54000	23 10 ⁻⁶	895
475	475,38	61	3,15	28,35	1312	40	0,0705	15310	54000	23 10 ⁻⁶	925
570	570,24	61	3,45	31,05	1573	48	0,0588	18365	54000	23 10 ⁻⁶	1035
621	620,90	61	3,6	32,4	1713	52	0,0540	19995	54000	23 10 ⁻⁶	1095
709	709,17	91	3,15	34,65	1964	63	0,0474	22840	54000	23 10 ⁻⁶	1185
851	850,69	91	3,45	37,95	2356	76	0,0395	27390	54000	23 10 ⁻⁶	1330
926	926,27	91	3,6	39,6	2562	83	0,0636	29830	54000	23 10 ⁻⁶	1410

Tableau 6.17

¹² Basé sur une masse volumique de 2,70 kg/dm³.

¹³ Toutes les couches graissées sauf la couche extérieure.

¹⁴ Résistance linéique.

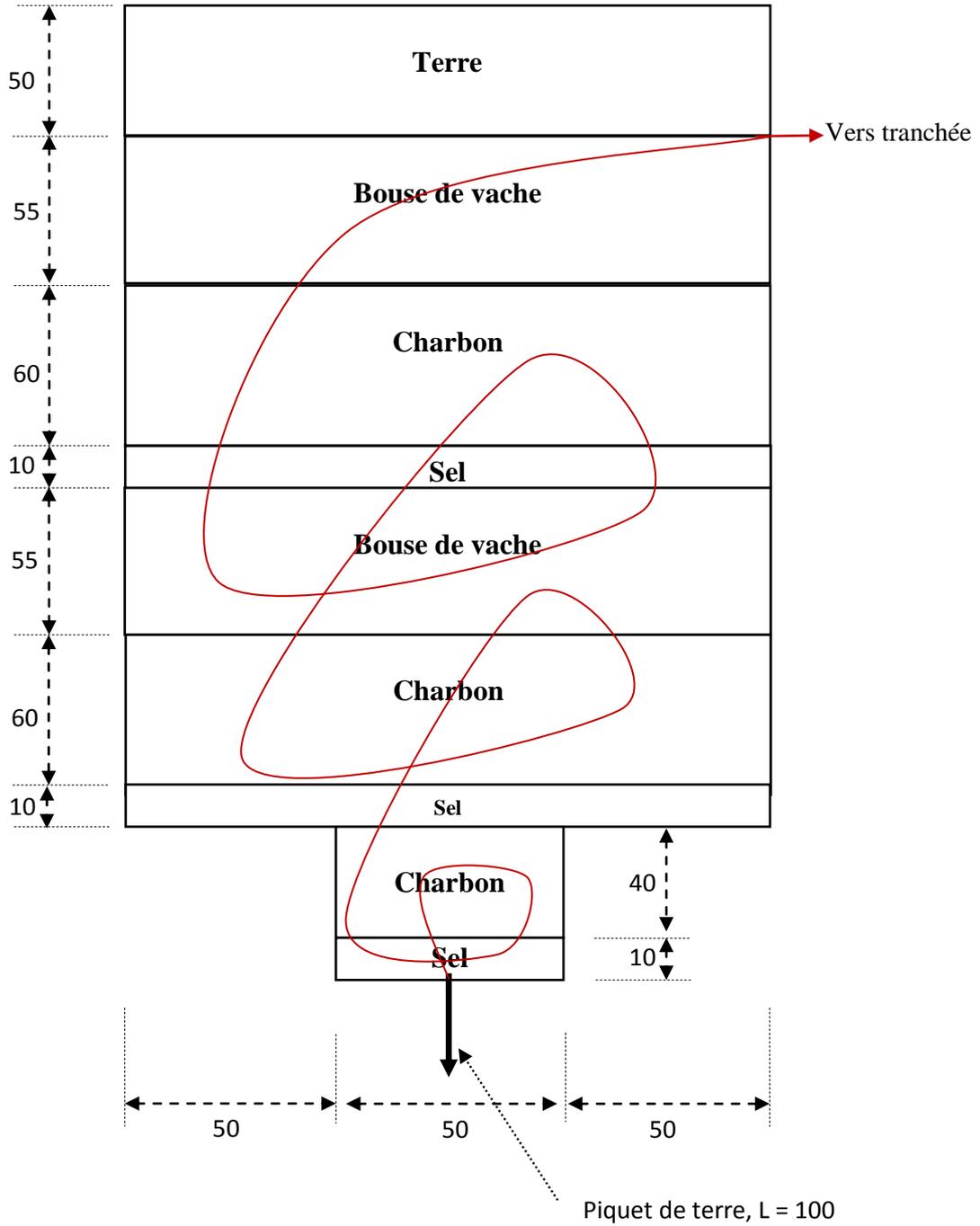
¹⁵ Ces valeurs sont données à titre d'information et ne doivent pas être considérées comme des exigences d'essais.

¹⁶ Ces valeurs sont données à titre d'information et ne doivent pas être considérées comme des exigences d'essais.

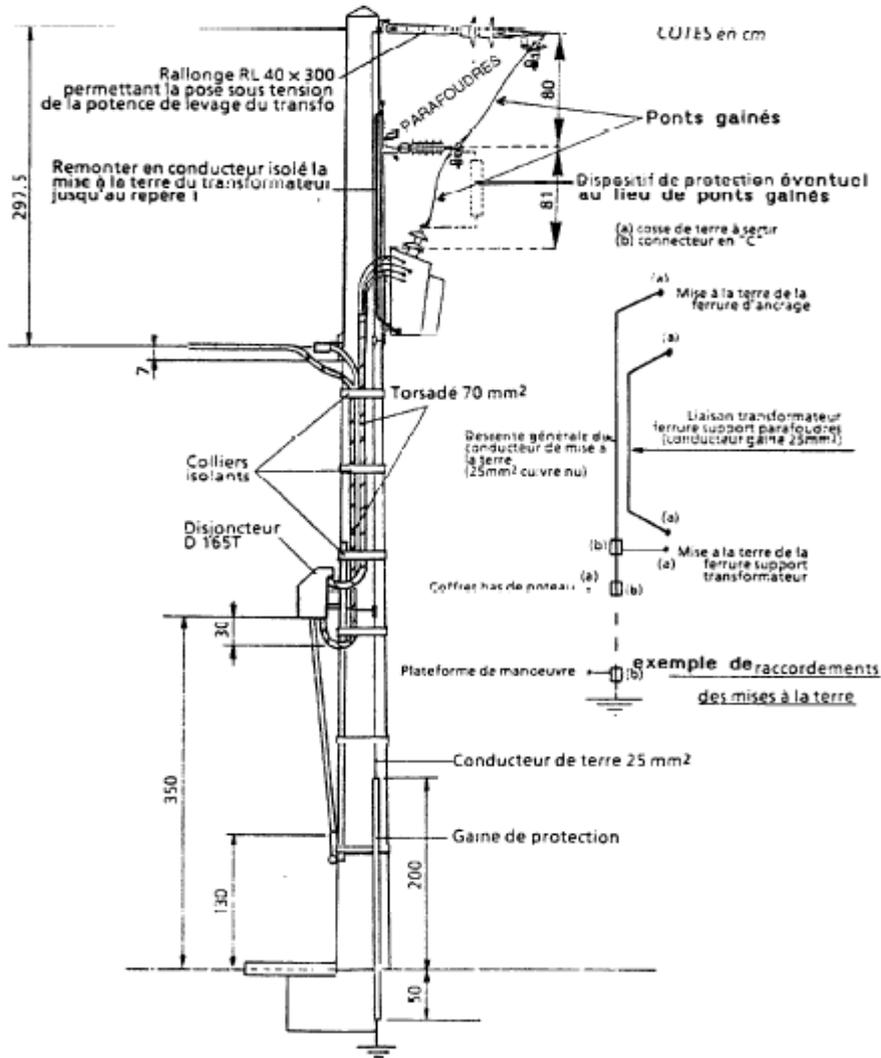
ANNEXE 3 (source : SONABEL)

Confection d'un puits de terre :

(Les dimensions sont en cm)



ANNEXE 4 (source : NFC 11-201):



ANNEXE 5 : les fonctions des supports (source : NFC 11-201)

Fonction	Arrêt simple AS	Arrêt double AD	Semi-arrêt (arrêt intermédiaire) SA	Double ancrage DA	Simple fixation (SF)	
					Rigide	Suspendue
Alignement						
Angle						

ANNEXE 6 : (source : NFC 17-205):

Tableau A – Courants absorbés par les lampes dans le circuit d'alimentation

Nature des lampes	Puissance (W)	Courant absorbé en régime établi I_b (A)	Courant maximal absorbé lors de l'allumage I_a (A)
Ballons fluorescents à vapeur de mercure	80	0,43	0,74
	125	0,67	1,13
	250	1,26	2,20
	400	2,12	3,45
Lampes au sodium Haute pression (SHP)	70	0,43	0,88
	100	0,62	0,98
	150	0,82	1,28
	250	1,34	2,10
	400	2,12	3,34
Lampes au sodium Basse pression (SBP)	26	0,16	0,20
	36	0,22	0,26
	66	0,38	0,47
	91	0,47	0,59
	131	0,66	0,83

Tableau B – Courant assigné du dispositif de protection contre les surintensités en fonction du courant d'allumage des lampes I_A

Valeur maximale de la somme des courants d'allumage (I_A) (A)	Valeur maximale du courant assigné du dispositif de protection I_n (A)		Section minimale des conducteurs S_A (mm ²)	
	Fusibles gG	Disjoncteurs de type B	Cuivre	Aluminium
40	40	50	6	10
60	63	63	10	16
75	80	80	16	25
95	100	100	25	35
115	125	125	35	50

Tableau C2 – Longueurs maximales (en mètres) des canalisations 230/400 V protégées contre les courts-circuits (section aluminium)

Section conducteurs (mm ²)		Courant assigné du dispositif de protection (en A) [conducteurs PR]										
		10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
10	F	418	224	168	134	91	77					
	B	496	310	248	198	155	124	99				
16	F	668	358	269	215	146	124	85	73			
	B	794	496	397	317	248	198	159	126	99		
25	F	1009	560	420	336	229	194	132	114	76	59	
	B	1240	775	620	496	387	310	248	197	155	124	
35	F	1431	784	588	470	321	271	186	160	107	82	60
	B	1736	1085	868	694	542	434	347	275	217	174	139
50	F	1921	1066	799	640	434	369	253	218	145	111	81
	B	2486	1554	1243	995	777	622	497	395	311	249	199

Note : Pour les circuits triphasés sans neutre 400 V, les longueurs de ce tableau sont multipliées par 1,73.