



**ELECTRIFICATION DE LA LOCALITE DE LEGUEMA :
CONSTRUCTION D'UNE LIGNE HTA/BTA**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME :
**INGENIEUR 2iE-SPECIALITE
GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE**

Présenté et soutenu publiquement le 04 Novembre 2016 par

KABORE JUDICHAEL LUDOVIC MAANASÔM

Travaux dirigés par : Dr BAGRE Ahmed .O

Directeur Des Etudes 2iE

Honoré ZAGRE

Chef de Projet SIMEEEL

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr Moussa SORO** :

Membres et correcteurs : **Mr Moussa KADRI**
Dr BAGRE Ahmed .O

Promotion 2015/2016

■ ■ ■ ■ Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
Fondation 2iE - Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 - BURKINA FASO –
IFU 00007748B Tél. : (+226) 50. 49. 28. 00 - Fax : (+226) 50. 49. 28. 01 - Mail :
2ie@2ie-edu.org - www.2ie-edu.or

DEDICACES

Je dédie le présent document :

- ✓ A mes parents, qui ont consenti des sacrifices énormes pour ma formation;
- ✓ A mes frères et sœurs ;
- ✓ A tous mes amis et camarades pour le soutien et la générosité indéfectible.

REMERCIEMENTS

Je remercie DIEU de m'avoir permis d'être aujourd'hui au terme de ces cinq années d'études. Je voudrais lui rendre un hommage sincère tout en lui demandant encore son assistance pour la suite de ma vie.

Je remercie Dr. BAGRE Ahmed .O mon encadreur qui a accepté de me suivre dans ce travail . Sa disponibilité et ses conseils avisés m'ont été d'un apport précieux.

Mes remerciements à tout le corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour la qualité de la formation dispensée.

Je remercie également ma promotion pour l'esprit de solidarité, de responsabilité et de courage dont elle a fait preuve durant ces années de vie scolaire.

Notre reconnaissance va à l'entreprise SIMEEEL pour avoir voulu nous recevoir à son sein et apporter son soutien indéfectible.

Je voudrais nommément dire merci à :

- M. Mathias ZOUBGA Administrateur Général
- M. Abdramane SIENOU Directeur Technique de SIMEEEL
- M. Honoré ZANGRE Chef de projet SIMEEEL
- M. Narcisse RABINGA Conducteur de travaux SIMEEEL
- M. Idrissa ZOUBGA Ingénieur Electricien
- M. Moussa KADRI Assistant d'enseignement et de recherche au département Génie Electrique et Energétique à 2iE

Enfin d'après un proverbe Mossi «Un seul doigt ne saurait ramasser de la farine», je failirai alors à la tradition si je n'exprimais pas ici toute ma gratitude envers toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce document.

RESUME

L'accès aux services énergétiques modernes est un facteur très important de développement. Soucieux donc du faible taux d'électrification rural au BURKINA FASO, la SONABEL (Société Nationale d'Electricité du Burkina) entreprendra des travaux d'extension, de restructuration et de renforcement des réseaux de distribution des zones urbaines et périurbaines avec l'appui financier du PASEL (projet d'appui du secteur de l'électricité) qui fait partie du Programme d'Electrification rurale dans le cadre d'un financement de la Banque Mondiale.

C'est dans cette optique que la construction de la ligne HTA/BTA 33kV de la localité de LEGUEMA nous a été soumise comme thème. Le dimensionnement de la ligne HTA longue de 11Km pour alimenter la localité de LEGUEMA a été fait à travers deux méthodes à savoir : la méthode manuelle et la méthode avec le logiciel CAMELIA (Calcul des Mécanique de Ligne Aérienne). Le dimensionnement nous a permis d'avoir les caractéristiques mécaniques pour le choix des supports et armements (90 supports ainsi que des armements de type NV et NA), électriques de la ligne. Le calcul manuel et logiciel ont des résultats très proches sauf au niveau des points de grands angles et des points d'arrêts. La comparaison des deux résultats nous a permis de faire un choix optimal qui nous permettra d'avoir une ligne fiable et solide. La construction de la ligne est estimée à 108 946 000 millions de Franc CFA dont 9 904 182 millions le km.

Mots clés :

- Service énergétique
- Electrification
- Construction
- Dimensionnement
- CAMELIA

ABSTRACT

Acces to modern energy services is an important factor of development. Concerned about the low level of electrification in rural areas in Burkina Faso, SONABEL (The national company for electrification in Burkina Faso) will undertake extension, restructuring and reinforcement works of distribution networks in urbanized and peri-urbanized areas with the financial assistance of PASEL (The electricity sector assistance project) which is part of a rural electrification program financed by the World Bank.

It is in the regard that the construction of HTA/BTA line 33kv of LEGUEMA community was given submitted to us as a topic. The sizing of the line HTA long of 11km in order to supply the LEGUEMA community has been done through using 2 methods procedures knowingly the manual method and the CAMELIA software method (mechanical air connection calculation).The sizing has enabled us to know the mechanical for the choice of supports and armaments (90 supports ant NV NA armaments type) and electrical characteristics of the line. The manual and software calculation have approximate results except at the level of wide angles points and stand points. The comparison of the 2 results allowed us to make an optimal choice which will enable us to get a reliable and solid line. The construction of line is estimated at 108 946 000 million of francs CFA which 9 904 181 million by km.

Keywords

- Energy service
- Electrification
- Construction
- Sizing
- CAMELIA

LISTE DES ABREVIATIONS

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

A : Ampère

BT : Base Tension

DAO : Documents d'Appel d'Offres

DDA : Détecteurs de Défauts Aériens

daN : déca-Newton

HTA : Haute Tension catégorie **A** avec la tension comprise entre 1kV à 50kV

kVA : kilo Volt Ampère

P : puissance active

SIMEEEL : Société d'Installation Maintenance et d'Etude d'Equipement Electrique

SONABEL : Société Nationale d'Electricité du Burkina

W : Watt, unité de la puissance active

km: Kilomètre

kV: Kilo Volts

MW: Megawatts;

NF C 11-201 : Norme Française, indice de classe C 11-201 pour les réseaux de distribution publique d'énergie électrique ;

$\Delta u/U$: Chute de tension relative ;

Tag φ : Tangente de l'angle φ ;

U : tension entre phase ;

L : longueur de la ligne ;

Ro : Résistance/Km ;

In : Intensité nominale ;

MALT : Mise à la terre ;

PASEL : Projet d'Appui au Secteur de l'Electricité

V : Volt ;

IACM : Interrupteur Aérien à Commande Manuelle ;

V

V : Tension simple ;

GPS : Global Position System ;

NA-X : Nappes d'Angle ou d'Arrêt de diagramme d'armement X (forme des points d'accrochage en X);

NA-Y : Nappes d'Angle ou d'Arrêt de diagramme d'armement Y (forme des points d'accrochage en Y);

NA-Z : Nappes d'Angle de diagramme d'armement Z (forme des points d'accrochage en Z) ;

Table des matières

DEDICACES.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
RESUME.....	III
ABSTRACT.....	IV
LISTE DES ABREVIATIONS.....	V
I .INTRODUCTION.....	1
II.OBJECTIF DE L’ETUDE.....	3
III.DIMENSIONNEMENT DE LA LIGNE HTA /BTA.....	4
III.1.Les composantes de la ligne HTA.....	4
III.2 Définitions des éléments géométriques et mécaniques de la ligne.....	5
III.3.CALCUL ELECTRIQUE.....	8
III.3.1.Calcul de la puissance de la ligne.....	8
III.3.2.Vérification de la chute de tension.....	8
III.3.3.Les pertes techniques de la ligne.....	9
III.4.Calcul de caractéristiques mécaniques de la ligne.....	9
III .4.1.Choix du tracé de la ligne.....	11
III .4.2.Calcul des points de fixation.....	12
III.4. 3.Détermination des cantons.....	13
III.4.4.Calcul des portées équivalentes de la ligne.....	13
III.4.5.Calcul des flèches.....	14
III.4.6.Calcul de la garde hors sol ou surplomb.....	14
III.4.7.Calcul de la profondeur d’implantation.....	14
III.4.8.Calcul des efforts sur les supports.....	15
III.4.9.Calcul de l’écartement minimal entre conducteurs.....	18
III.4.10.Calcul des pentes de la ligne.....	19
III.4.11.Inclinaison et retournement des chaines.....	19
III.5.Dispositifs de coupure et de protections.....	20
III.5.1.Tenue aux Surintensités.....	20
III.5.2.Tenue aux surtensions.....	20
III.6. Logiciel de calcul mécanique CAMELIA.....	21

III.6.1.Bases des calculs	22
IV.RESULTATS	22
IV.1.La puissance active de la ligne	22
IV.2.Cute de tension	22
IV.3.Pertes techniques	23
IV.4.Les cantons et les portées	23
IV.5.Les flèches et le Gardes Hors Sol.....	24
IV.6.Efforts sur les supports et armements.....	24
IV.7.Ecartement minimal entre conducteurs et pentes	25
IV.8.Supports et armements	25
IV.9.Logiciel de dimensionnement CAMELIA	26
V.ANALYSES ET DISCUSSIONS	26
VI .OFFRE FINANCIERE.....	29
VII .CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	30
BIBLIOGRAPHIE	31
SITE INTERNET	32
.....	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Récapitulatif des hypothèses à utiliser par CAMELIA	10
Tableau 2 : Profondeur d'implantation des fondations de supports aériens de lignes BT et HTA	14
Tableau 3 : Cantons et portées déterminés	23
Tableau 4 : Flèches et Gardes Hors Sol.....	24
Tableau 5 : Efforts sur supports et armements	24
Tableau 6: Ecartement minimal, pente et portance	25
Tableau 7: Choix manuel de supports et armements	25
Tableau 8: Choix de supports et armements avec le logiciel Camelia	26
Tableau 9 : Ratio entre la méthode manuelle et logiciel pour le choix des supports.....	28
Tableau 10 : Coût d'investissement	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Support HTA avec armement de type nappe voute.....	4
Figure 2 : Représentation de la flèche et de la portée	5
Figure 3 : Angle de piquetage	6
Figure 4 : Tracé de la ligne	12
Figure 5 : Représentation des portées et les différents types d'efforts	15

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Effort verticale du vent sur les conducteurs	32
ANNEXE 2 : Effort de ruine des supports.....	33
ANNEXE 3 : Armements d'alignement et d'angle faible de type nappe voute	34
ANNEXE 4 : Armement d'arrêt et d'ancrage	35
ANNEXE 5 : Cantons et portées déterminés	36
ANNEXE 6 : points de fixation des supports , fleche et Garde hors sol	40
ANNEXE 7 : Efforts de traction et de vent	45
ANNEXE 8 : Ecartement min, Fh et Fv	49
ANNEXE 9 : Choix des supports	52
ANNEXE 10 : Choix des armements	55
ANNEXE 11 : Pente et signe de la portance	59
ANNEXE 12 : Choix des supports et armements avec le logiciel CAMELIA.....	62

I. INTRODUCTION

Un grand continent aujourd'hui trop souvent plongé dans l'obscurité, continent riche de 1,2 milliards d'habitants, l'Afrique ne consomme que 3%¹ de l'électricité produite aujourd'hui dans le monde. L'énergie est l'un des facteurs les plus déterminants du développement en particulier dans le monde rural. Ces populations paient une énergie chère, peu efficace et peu durable. Elles sont aussi, pour beaucoup, parmi les plus vulnérables au changement climatique.

L'énergie est au cœur des problématiques de développement durable dans ses trois piliers : économique, social et environnemental, et représente un enjeu majeur pour atteindre les objectifs du millénaire pour le développement (OMD). Plus de 620 millions d'africains vivent aujourd'hui sans électricité et le continent présente le plus faible taux parmi les régions en développement (42%)¹. Ce taux moyen masque de fortes disparités à l'échelle du continent, le taux d'électrification est en effet plus faible en Afrique subsaharienne ou il descend en dessous de 10% dans les zones rurales¹. L'accès aux énergies modernes demeure une équation complexe que semblent figer les multiples contraintes auxquelles les populations et les unités économiques sont confrontées : faiblesse des revenus, dispersion de l'habitat, hausse des prix sur les marchés internationaux, faibles disponibilités en devises, etc... (Indice : Banque Africaine de Développement et le Centre de Développement de l'OCDE, Perspectives économiques en Afrique, 2016).

A l'image des pays de l'Afrique subsaharienne, au BURKINA FASO, le niveau d'accès aux services énergétiques modernes, notamment l'électricité, est très loin des seuils souhaités pour insuffler un développement durable. Le taux d'électrification rurale d'un pays est le nombre de ménages ruraux électrifiés par rapport au nombre total de ménages ruraux de ce pays. La population burkinabè est estimée à environ 17 millions d'habitants, dont environ 85% vivent en milieu rural. En 2015 seul 9% des populations rurales avaient accès à l'électricité².

La Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL), est la structure responsable de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique. Société publique, elle détenait le monopole de ce secteur jusqu'en décembre 1998 où l'Etat a procédé à l'ouverture du

¹ Perspectives économique en Afrique 2016 –Banque Africaine de Développement

² Service des statistiques de la SONABEL 2016

sous-secteur électricité au privé. Jusqu'à ce jour aucun privé n'a encore pu s'investir dans la production³.

L'électrification du pays est une des missions de la SONABEL. Des investissements sont à planifier dans le temps, pour satisfaire la demande d'énergie électrique dans les centres existants et l'électrification de nouveaux centres. Le taux d'électrification visé pour l'année 2020 est de 48,5%² (indice [Service des statistiques de la sonabel](#)).

Le présent projet PASEL (projet d'appui du secteur de l'électricité) fait partie du Programme d'Electrification rurale dans le cadre du financement de la Banque Mondiale, la SONABEL entreprendra des travaux d'extension, de restructuration et de renforcement des réseaux de distribution des zones urbaines et périurbaines.

La SONABEL lance des appels d'offres pour l'exécution des travaux dans le domaine du transport et de la distribution de l'énergie électrique pour répondre à la demande de sa clientèle.

C'est dans ce cadre que la Société d'Installation de Maintenance d'Etudes et d'Equipement Electrique (SIMEEEL), qui est une entreprise privée de droit burkinabé créée en juillet 1998 avec un capital actuel de 150 millions de Francs CFA et spécialisée dans plusieurs domaines de compétences dont la construction d'ouvrage électrique HTA/BTA a répondu à un appel d'offre de la SONABEL et l'a obtenu. Ce projet nous a été ensuite confié comme thème de notre stage de fin de cycle et est intitulé : ELECTRIFICATION DE LA LOCALITE DE LEGUEMA : CONSTRUCTION D'UNE LIGNE HTA/BTA

³ Loi n°10/98/AN du 21 avril 1998, portant modalité de l'intervention de l'Etat et répartition des compétences entre l'Etat et les autres acteurs

II.OBJECTIF DE L'ETUDE

Le présent projet PASEL (projet d'appui du secteur de l'électricité) fait partie du Programme d'Electrification rurale dans le cadre du financement de la Banque Mondiale. Il vise à contribuer à l'objectif de réduction de la pauvreté par l'amélioration des conditions de vie dans le pays ainsi qu'à l'amélioration de l'efficacité économique du secteur de l'énergie.

Le projet comprend la réalisation de Notice d'Impact Environnemental, d'études d'exécution, la construction de lignes Haute tension (HTA) 33 kV destinées à relier les localités disposant d'un réseau électrique à celles qui doivent être électrifiées, la fourniture et la pose des transformateurs HTA/BT, la construction des réseaux BTA dans les localités, le raccordement et le branchement des abonnés et un local servant de guichet.

L'objet de notre étude est l'électrification rurale de la localité de LEGUEMA situé dans la Région des HAUT-BASSINS commune de BOBO-DIOULASSO.

Les travaux à entreprendre consiste à la réalisation d'un système d'électrification rurale en 33 kV pour les liaisons interurbaines et le réseau de distribution local, un réseau Basse Tension 230V/400V pour l'alimentation des abonnés et à la construction d'un local servant de guichet. Les réseaux interurbains seront alimentés à partir des réseaux électriques construits par la SONABEL ou le FDE en fonction de leur proximité de la localité retenue. La ligne HTA long de 11km sera raccordée à une ligne 33 kV déjà existante. Notre étude ne prendra pas en compte la fourniture et la pose des transformateurs HTA/BT, le raccordement et le branchement des abonnés, l'étude d'impact environnemental ainsi que le réseau de distribution ; ces aspects feront l'objet d'une étude séparée. Notre étude se portera sur :

- Le dimensionnement de la ligne HTA (méthode manuelle et avec le logiciel CAMELIA)
- L'analyse et discussion des résultats
- L'offre financière

III.DIMENSIONNEMENT DE LA LIGNE HTA /BTA

III.1.Les composantes de la ligne HTA

Les lignes électriques aériennes HTA comprennent quatre éléments :

- Les conducteurs
- Les armements composés des isolateurs et des ferrures
- Les poteaux ou supports (bois, béton ou métalliques)
- Les fondations

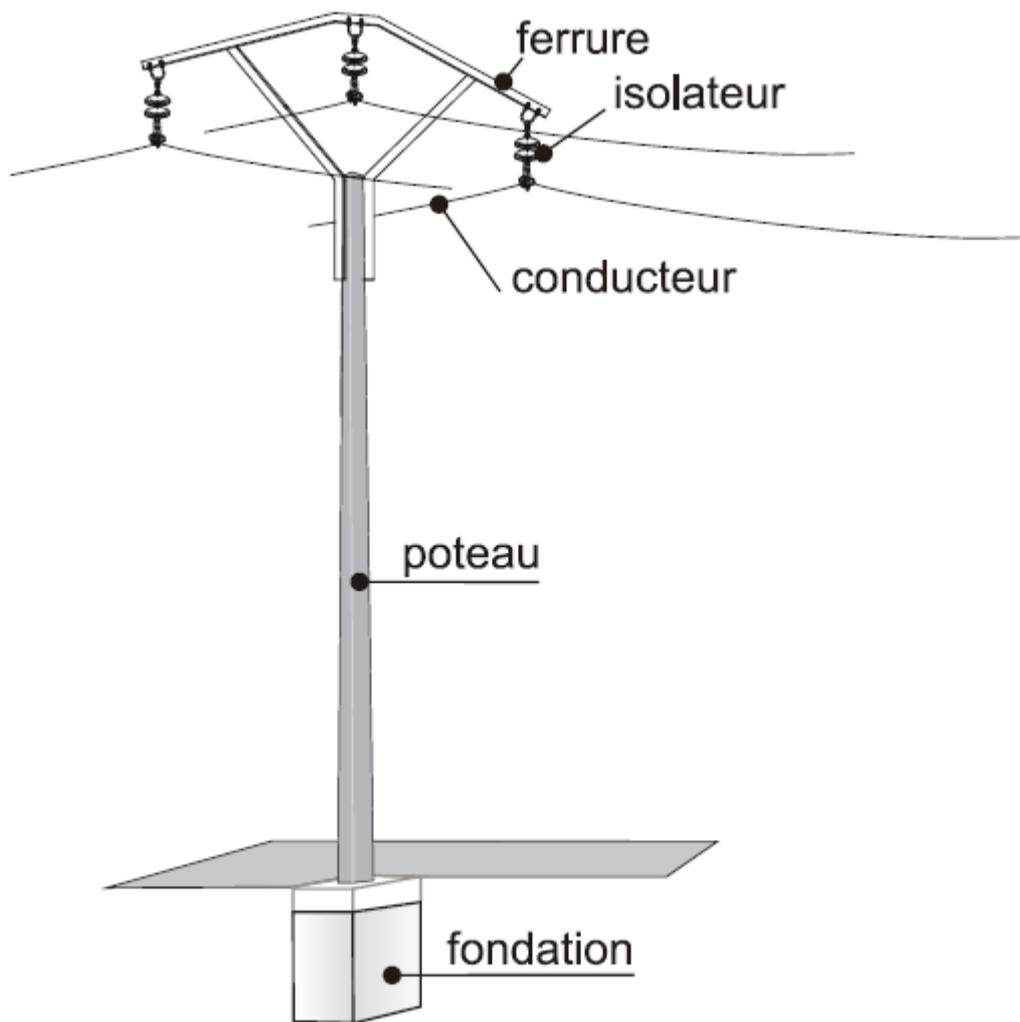


Figure 1 : Support HTA avec armement de type nappe voute

Les lignes aériennes triphasées (3 fils en HT, 4 fils en BT) sont soit en conducteurs nus, soit en conducteurs isolés en faisceaux torsadés. Ces dernières supplantent en basse tension les lignes à

conducteurs nus autant pour des raisons esthétiques que de simplicité de pose et de sécurité ; en haute tension elles apparaissent pour les traversées de forêts ou les entrées de villages.

III.2 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.

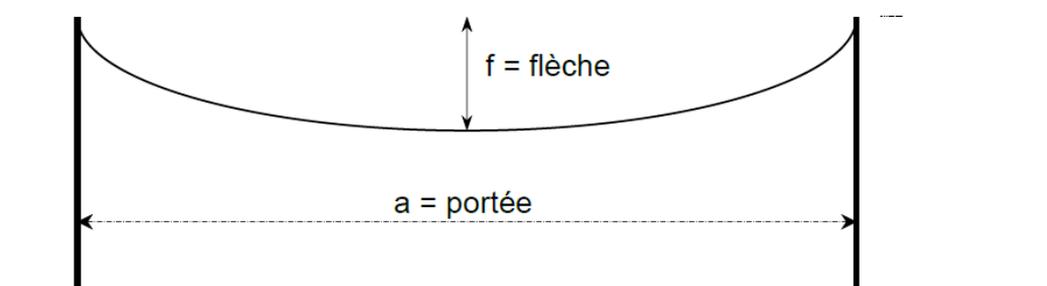


Figure 2 : Représentation de la flèche et de la portée

- ✓ **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 en. 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.

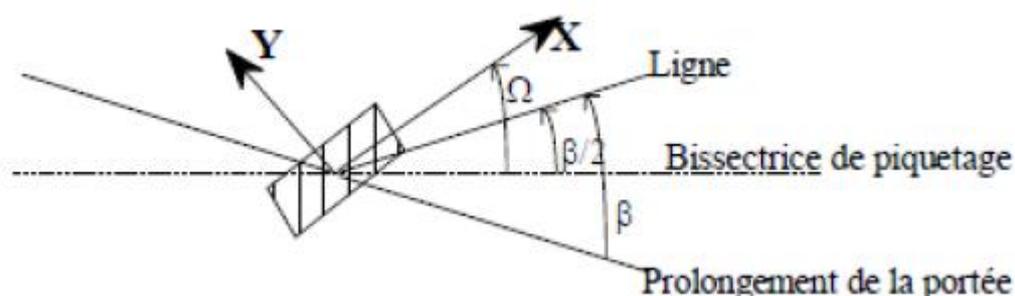


Figure 3 : Angle de piquetage

- ✓ **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 $< 10^\circ$), 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 10°).

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) ;

III.3.CALCUL ELECTRIQUE

III.3.1.Calcul de la puissance de la ligne

La puissance de la ligne sera calculée en fonction de l'intensité maximale admissible pour une section de câble almélec 54,6 mm² à une température de 25 °C qui est de l'ordre de 195A .La section de câble de 54,6 mm² a été imposée par le DAO (Document d'Appel d'Offre). La puissance active donc calculée avec la formule suivante :

$$P = UI\sqrt{3} \cos \varphi \quad (3.1)$$

U= Tension en ligne (kV)

I= Intensité (A)

Cosφ = Facteur de puissance = 0,85

III.3.2.Vérification de la chute de tension

Pour les lignes de transport aérien HTA la chute de tension admissible selon la norme NF C 11-201 est de 5%. Mais cette valeur peut aller jusqu'à 7% en électrification rurale.

Nous allons donc calculer la chute de tension de notre ligne et la comparer à la limite de la chute de tension imposée par la norme.

Comme il a été dit plus haut pour un câble almélec 54,6mm² l'intensité maximale admissible est de 195A avec une Résistance R= 0,6042Ω/km et une réactance de X₀=0,336Ω/km.

Le calcul de la chute de tension se fera comme suite :

- Détermination du coefficient (k) de correction de température

$$k = [1 + \alpha (\theta - \theta_0)] = [1 + 0,004 (50-25)] = 1,1 \quad (3.2.)$$

$\alpha = 0,004/^{\circ}\text{C}$

$\theta =$ température de référence 50°C

$\theta_0 =$ température de construction 25°C

- Détermination de la Résistance linéique du conducteur en ohm/km

$$R_0 = \frac{100 * \rho_0}{S} \quad (3.3)$$

$$\rho_0 = 0,330 \Omega/\text{km}/1000\text{mm}^2$$

A 50°C la résistance sera égale a $r_0 = k * 0,330 = 0,363 \Omega/\text{km}$ pour 1000mm²

$$\text{Pour } S=54,6 \text{ mm}^2, \text{ nous aurons } R_0 = \frac{r_0 \times 100}{54,6} = \frac{0,363 \times 100}{54,6} = 0,664835 \text{ ohm/km}$$

- Calcul de la chute de tension

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{(R_0 + X_0 * tg\alpha) * P * L}{U^2} \quad (3.4)$$

III.3.3. Les pertes techniques de la ligne

Pour disposer d'une puissance identique au niveau des appareils d'utilisation, il faut appeler sur le réseau une puissance active d'autant plus importante que les besoins de puissance réactive sont eux même importants. A la puissance active perdue, correspondent des pertes en énergies. Elle est évaluée sur la base de la formule ci-dessous.

$$P_e = \frac{10^3 * R * L * T * P^2}{U^2 * \cos^2\alpha} \quad (3.5)$$

R : la résistance linéique du câble en (Ω/km)

L : est la longueur de la ligne (km)

U : la tension entre phase (V)

P : la puissance active appelée (kW)

T : la durée annuelle d'utilisation de la puissance P (heures)

$$\text{Cos}\alpha = 0,85$$

III.4. Calcul de caractéristiques mécaniques de la ligne

Les hypothèses de calculs sont les suivantes :

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

Hypothèse A : +25°C (température moyenne) avec une pression de vent de 480 Pa.

Hypothèse B : +10°C (température minimale) avec une pression de vent de 90 Pa.

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

Le récapitulatif des hypothèses à utiliser par le logiciel de calculs mécaniques des lignes, est indiqué dans le tableau ci-après :

Tableau 1 : Récapitulatif des hypothèses à utiliser par CAMELIA

Hypothèses	Température	Charge supplémentaire	Pression de vent sur un conducteur	Pression de vent sur support
A3	25°C	0 kg/m	480 Pa	1000 Pa
B3	10 °C	0 kg/m	90 Pa	150 Pa
A2	50 °C	0 kg/m	0 Pa	0 Pa

- ❖ Paramètre de la ligne (P) ou Tension de réglage (T) : D'une manière générale, les paramètres 1000 m et 1100 m à + 50 °C sans vent sont utilisés.

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.

- ❖ Coefficient de sécurité : Le coefficient de sécurité (k) est pris égal à :
 - 3 pour les pièces travaillant à la traction (conducteurs, chaînes d'isolateurs, accessoires, haubans, etc.).
 - 2,1 pour les pièces travaillant à la flexion (supports métalliques HEA et HEB, ferrures...).
- ❖ Coefficient de stabilité des massifs de fondation : Le coefficient de stabilité retenu est de 1,2 pour les supports en alignement et 1,75 pour les supports en ancrage (angle ou arrêt ou angle souple supérieur à 10 gr).

❖ Conditions géométriques : De manière générale, les conditions géométriques d'établissement des lignes aériennes BT et HTA sont celles contenues dans la norme NFC11-201. La distance par rapport au sol est fixée à 8 m à la traversée des routes nationales et à au moins 6 m ailleurs. Les calculs des distances à la masse des pièces sous tension (conducteurs y compris) sont effectués à partir des hypothèses suivantes :

- Sans vent.
- A +25°C et vent horizontal de 240 Pa.

L'écartement minimal entre conducteurs est calculé selon la formule ci-après :

$$e_{min} = K_c * \left(\frac{U}{150} + K_z * \sqrt{f + L} \right) \quad (3.6)$$

Avec :

e_{min} = écartement minimal entre conducteurs en mètre

K_z = coefficient tenant compte de la zone de vent ($K_z = 0,9$ en zone à vent normal et $K_z = 1$ en zone à vent fort)

K_c = coefficient prenant en compte la disposition des conducteurs :

En rigide : $K_c = 0,8$ pour les armements alternés ou drapeau

$K_c = 0,7$ pour les armements en nappe horizontale ou en triangle

En suspendu : $K_c = 1$ pour les armements alternés ou en drapeau

$K_c = 0,8$ pour les armements en nappe horizontale, nappe voûte ou en triangle

f = flèche à 40°C sans vent en mètre

L = longueur libre de la chaîne en mètre ($L = 0,50m$ pour deux alignements successifs, $L = 0$ pour deux ancrages successifs. Pour un ancrage d'un seul côté, on fait la moyenne des deux valeurs de e)

U = tension de service en kV

Les calculs d'inclinaison et de retournement des chaînes sont effectués à partir des hypothèses suivantes :

A +25°C et 240 Pa pour l'inclinaison ;

A +10°C et 90 Pa pour le retournement

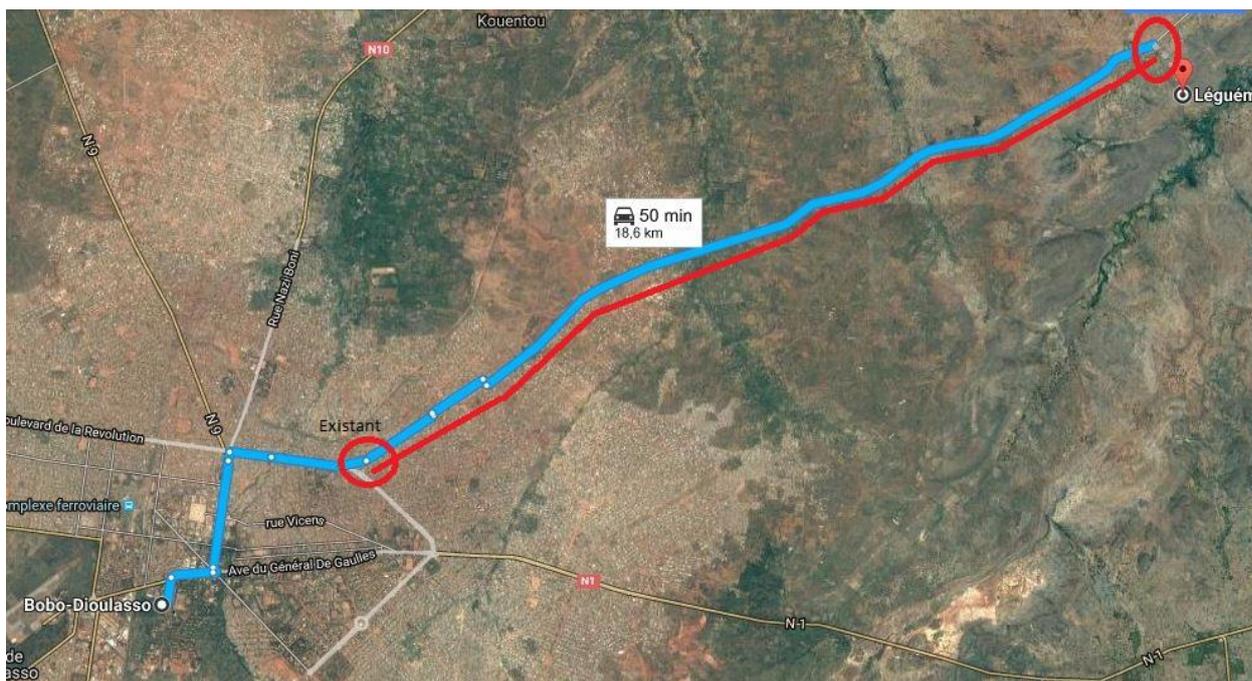
III .4.1.Choix du tracé de la ligne

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 le plus court possible tout en prenant en compte les aspects suivants :

- réaliser les alignements aussi longs que possible pour les lignes principales,
- se préoccuper de l'accessibilité aussi bien pour la construction de l'ouvrage que pour son exploitation,
- étudier soigneusement la position des angles,
- 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,
- éviter les lieux de rassemblement du public,
- respecter la limite de la pente autorisée (25%) afin de limiter les retournements de chaînes.

Figure 4 : Tracé de la ligne



III .4.2.Calcul des points de fixation

Les points de fixation sont les points où les supports doivent être implantés. Ils sont déterminés par calcul et doivent respecter les clauses de la norme en la matière (NFC 11-201). Pour le calcul de ces points de fixation, nous avons utilisé les coordonnées GPS (Global Position System)

relevées sur le tracé de la ligne. Les portées et les cantons sont définis en respectant la norme. La norme spécifie une portée maximale de 190m en alignement avec des armements en nappe voûte, un écartement minimal entre conducteur de 1,5m et un paramètre de 1300m. Pour les ancrages, la norme prévoit des portées maximal de 170m en ancrage d'un seul côté et 175m pour un ancrage de part et d'autre. Nous avons arrêté une portée maximale de 150 mètres avec un paramètre de 1000 mètres. Le choix des armements en nappe voûte se justifie par la possibilité de faire de longues portées en milieu rural. Ce qui nous permet de réduire le coût du projet.

Pour déterminer les points de fixation, il est capital d'identifier les points ayant un angle car ces points ne peuvent pas être déplacés sans modifier le tracé de la ligne. Nous calculons ensuite la distance existante entre 2 points d'angles adjacents. Cette valeur est divisée par la portée maximale (150m) et le nombre trouvé est arrondi par excès. Nous ré-divisons la distance par le nombre entier ainsi trouvé pour obtenir les portées équivalentes. Ces points peuvent être déplacés au besoin sans dépasser la portée maximale.

III.4. 3.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 point soit un portique (4 supports) est grand. Dans de pareil cas il faut réduire le nombre de supports du canton.

III.4.4.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 30grades sur un abaque. Elle est déterminée de la manière suivante :

$$a_e = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3 + \dots + a_n^3}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}} \quad a_e = \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum a_i}} \quad (3.7)$$

a_e = Portée équivalente

a= Portée entre 2 supports adjacents $a_1 a_2$

III.4.5.Calcul des flèches

Nous déterminerons les flèches qui nous permettront de calculer par la suite les gardes hors sol nécessaire aux surplombs des terrains (ordinaires et agricoles), des voies (routes et autoroutes), des arbres, des chemins de fer etc.

$$f = \frac{a^2}{8P} \quad (3.8)$$

a=Portée entre 2 supports adjacents (m)

P= Paramètre (tension unitaire du conducteur/le poids linéique du conducteur) en m

III.4.6.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.

$$D(m) = H - (H_i + f + A) \quad (3.9)$$

}

A = isolateur composite 0,435

H = hauteur du support (m)

H_i = implantation (m)

f = flèche (m)

III.4.7.Calcul de la profondeur d'implantation

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

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

Tableau 2 : Profondeur d'implantation des fondations de supports aériens de lignes BT et HTA

Effort sur le support		Profondeur d'implantation << d >>	
		K = 1,2	K = 1,75
Béton	$F \leq 6,5 \text{ KN}$	$d = \frac{H}{10} + 0,5 \text{ (m)}$	$d = \frac{H}{10} + 0,7 \text{ (m)}$
Métal	$F > 6,5 \text{ KN}$	$d = \frac{H}{20} + 1,3 \text{ (m)}$	$d = \frac{H}{20} + 1,5 \text{ (m)}$

III.4.8. Calcul des efforts sur les supports

Le calcul des efforts sur les supports ou poutrelles métalliques nous permettront 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).

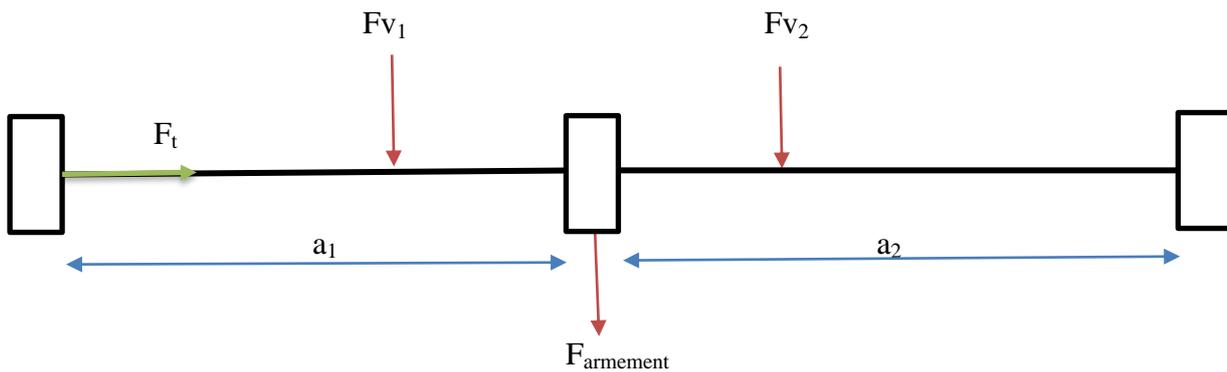


Figure 5 : Représentation des portées et les différents types d'efforts

III.4.8.1. 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 calcul de la façon suivante :

$$Fv = n * v * a = n * \left[\frac{a_1 + a_2}{2} \right] * v \quad (3.10)$$

Avec :

F_v = 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 A, 25°C et 240 Pascal de vent. Pour l'ensemble ferrures +3 chaînes d'isolateurs.

L'effort total de vent sur un support est :

$$F_{vt} = \frac{1}{k} [F_v + F_{armement}] = \frac{1}{k} \left(n * \left[\frac{a_1 + a_2}{2} \right] * v + F_{armement} \right) \quad (3.11)$$

Avec :

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

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

III.4.8.2. 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 :

$$F_t = n \times T \times s \quad (3.12)$$

Avec :

n : nombre de conducteur = 3

T : tension du câble = 5,9 daN/mm²

S : section de câble = 54,6 mm²

Ce qui nous donne donc un effort de traction des conducteurs sur les supports de 966,42 daN

III.4.8.3. 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 :

$$F_{total} = \sqrt{F_{vt}^2 + F_t^2} \quad (3.13)$$

Avec :

F_{vt} = Efforts totaux sur support (daN)

F_t = Effort de traction des conducteurs sur le support (daN)

III.4.8.4. Calcul des efforts horizontaux sur les armements de type NV (F_h)

Le calcul des efforts horizontaux nous permet de déterminer la traverse de l'armement à travers la formule suivante.

- Support sans angle $F_h = V * \left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right)$ (3.14)

- Support avec angle $F_h = 2 * T * \sin \frac{\alpha}{2} + V * \left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right)$ (3.15)

Avec :

V : effort linéique sur chaque câble = 0,454 daN pour une pression de vent de 480 Pa

T : tension du câble = 5,9 daN/mm²

α = l'angle de piquetage en grade

III.4.8.5. Calcul des efforts verticaux sur les armements de type NV (F_v)

Le calcul des efforts verticaux nous permet de déterminer le montant de l'armement à travers la formule suivante :

$$F_v = 0,0027 * S_{câble} * \left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right) \quad (3.16)$$

Avec :

0,0027 : Poids linéique du câble par unité de section ;

$S_{câble}$: Section du câble = 54,6 mm²

a_1 et a_2 : portées adjacentes

La résultante des efforts verticaux (F_v) et horizontaux (F_h) donne l'effort total sur les armements de type nappe voûte :

$$NV = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} \quad (3.17)$$

III.4.8.6. Calcul des armements de type Nappe d'Arrêt ou d'Angle NA

Les nappes d'arrêts ou d'angle sont déterminées par la formule suivante :

$$NAY = \frac{F_t + F_v + 0,5 \times F_h}{3} \quad (3.18)$$

III.4.9. Calcul de l'écartement minimal entre conducteurs

Pour éviter tout contact éventuel entre les conducteurs (fort vent), une distance minimale doit être respectée entre les conducteurs. Cet écartement dépend du type d'armement utilisé et de la tension de service. L'écartement minimal se calcul avec la formule suivante :

$$e_{min} = K_c * \left(\frac{U}{150} + K_z * \sqrt{f + L} \right) \quad (3.19)$$

Avec :

e_{min} = écartement minimal entre conducteurs en mètre

K_z = coefficient tenant compte de la zone de vent ($K_z = 0,9$ en zone à vent normal et $K_z = 1$ en zone à vent fort)

K_c = coefficient prenant en compte la disposition des conducteurs :

En rigide : $K_c = 0,8$ pour les armements alternés ou drapeau

$K_c = 0,7$ pour les armements en nappe horizontale ou en triangle

En suspendu : $K_c = 1$ pour les armements alternés ou en drapeau

$K_c = 0,8$ pour les armements en nappe horizontale, nappe voûte ou en triangle

f = flèche à 40°C sans vent en mètre

L = longueur libre de la chaîne en mètre ($L = 0,50m$ pour deux alignements successifs, $L = 0$ pour deux ancrages successifs. Pour un ancrage d'un seul côté, on fait la moyenne des deux valeurs de e)

U = tension de service en kV

III.4.10. Calcul des pentes de la ligne

La détermination des pentes permet d'anticiper les problèmes de retournement de chaîne, de traction des conducteurs (augmente ou soulage la portance). Dans tous les cas la pente doit être inférieure ou égale à 25%, sinon il faut changer d'itinéraire ou de couloir de ligne. La pente influence l'effort vertical sur les conducteurs et les cas suivants peuvent se présenter.

- Avec portées de niveau ($h=0$)

La traction des conducteurs est quasi nulle et n'influence pas la portance des chaînes

$$F_v = \left(\varpi * S * \frac{a_1 + a_2}{2} \right) \quad (3.20)$$

- Avec portées dénivelées et $\frac{h}{a} \leq \frac{1}{4}$

1er Cas : la traction des conducteurs augmente la portance des chaînes.

$$F_v = \left(\varpi * S * \frac{a_1 + a_2}{2} \right) + T * \left(+\frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2} \right) \quad (3.21)$$

2ème Cas : la traction d'un côté augmente la portance, l'autre la soulage

$$F_v = \left(\varpi * S * \frac{a_1 + a_2}{2} \right) + T * \left(+\frac{h_1}{a_1} - \frac{h_2}{a_2} \right) \quad (3.22)$$

3ème Cas : la traction des conducteurs soulage la portance des chaînes.

$$F_v = \left(\varpi * S * \frac{a_1 + a_2}{2} \right) + T * \left(-\frac{h_1}{a_1} - \frac{h_2}{a_2} \right) \quad (3.23)$$

Dans les deux derniers cas, le résultat de la portance peut être négatif, ce qui entraîne un retournement des chaînes si elle excède « -3% ».

III.4.11. Inclinaison et retournement des chaînes

Il faut s'assurer que dans les conditions les plus défavorables (au Burkina Faso, +25°C et vent horizontal 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.

III.5.Dispositifs de coupure et de protections

Il est essentiel d'avoir des points de coupure sur la ligne, ceci pour permettre d'isoler toute ou une partie de la ligne. Lors des travaux d'entretien et de maintenance des équipements, il est capital de mettre la ligne hors tension pour des raisons évidentes de sécurité. Nous avons prévus trois points de coupure avec un IACM sur la ligne précisément sur le support S1 juste après l'existant. Le bon dimensionnement de la ligne et le choix efficient des équipements qui la composent, constitue la première protection de la ligne.

III.5.1.Tenue aux Surintensités

Le neutre HTA n'est pas distribué. Il est mis à la terre selon différentes techniques (par résistance, réactance, par bobine de Petersen) de manière à limiter le courant de défaut en cas de court-circuit accidentel entre une phase et la terre. La protection par court-circuit et les différents déclencheurs est assez illusoire. Elle n'intervient qu'au bout d'un temps relativement long. Il faut noter, que chaque support est relié à une câblette de mise à la terre et qu'il existe une mise à terre des postes de transformation.

III.5.2.Tenue aux surtensions

Ces surtensions sont souvent d'origine atmosphériques et dans une moindre mesure dues aux manœuvres de réseau. La protection peut être assurée par des éclateurs à cornes ou par des parafoudres. Pour être efficace, un dispositif de protection contre les surtensions doit avoir une rapidité d'action parce que certaines surtensions ont des durées inférieures à 1s tel est le cas de la foudre. Pour ces types de surtensions les parafoudres sont mieux indiqués. Ils protègent les équipements tels que les transformateurs, les câbles, les disjoncteurs et les interrupteurs. Les différents postes de comptage ainsi que certains supports seront équipés chacun d'un jeu de trois (03) parafoudres.

III.6. Logiciel de calcul mécanique CAMELIA

CAMELIA est un logiciel de Calcul MEcanique 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.

Cette étude de logiciel, recommandée par le maître d'œuvre nous permettra de comparer ses résultats aux résultats de l'étude manuelle.

Tel que requis dans le document d'appel d'offre (DAO), 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 du DAO.

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 plus part des cas pour obtenir une bonne optimisation.

III.6.1. Bases des calculs

III.6.1.1 Altitudes de terrain

Les altitudes de terrain ont été obtenues grâce à un levé topographique. Tous les tracés ont été par la suite réalisés à l'aide de CAMELIA-Profil sur la base des résultats de ce levé.

III.6.1.2. Equation d'état

L'équation de référence dans CAMELIA calcul, pour toute la ligne, est prise à 50°C, sans vent. Les autres états découlent des données du DAO.

III.6.1.3. Portée moyenne

La portée moyenne est de 130 mètres environ avec un paramètre « p » de 000 mètres

IV. RESULTATS

IV.1. La puissance active de la ligne

La puissance active est alors :

$$P = UI\sqrt{3} \cos \varphi = 33000 \times 195 \times \sqrt{3} \times 0,85 = 9,474 \text{ MW}$$

$$\mathbf{P = 9,474 \text{ MW}}$$

IV.2. Cote de tension

La chute de tension ne doit être supérieure à 7%

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{(R_0 + X_0 * tg\alpha) * P * L}{U^2}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{(0,664835 + 0,336 \times 0,75) \times 9,474 \times 11}{33^2} = 0,088\%$$

$$\frac{\Delta U}{U} = 0,088\%$$

Nous avons un choix Technico économique vu que la chute de tension est pratiquement négligeable.

IV.3.Pertes techniques

Les pertes techniques sont évaluées par la formule suivante :

$$P_e = \frac{10^3 \times R_0 \times L \times P^2 \times T}{U^2 \times \cos^2 \alpha} \quad (IV.3)$$

$$P_e = \frac{10^3 \times 0,6648 \times 11 \times 9,474^2 \times 8760}{33^2 \times 0,8^2} = 8251,920 \text{ kwh}$$

$$P_e = 8251,92 \text{ kwh}$$

IV.4.Les cantons et les portées

Les portées les plus longues sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Cantons et portées déterminés

Cantons	Supports	Portées (m)
Canton 1	EXI à S13	111,07
Canton 2	S13 à S26	131,818
Canton 3	S26 à S39	128,8000
Canton 4	S39 à S51	129,2500
Canton 5	S51 à S64	128,1800
Canton 6	S64 à S77	128,1800
Canton 7	S77 à S89	131,9680

IV.5. Les flèches et le Gardes Hors Sol

Les flèches et gardes hors sol relevés sont les plus défavorables des cantons composants la ligne. On remarque que les flèches les plus élevées se situent sur les portées les plus longues et les gardes hors sol les plus basses se situent au niveau des supports d'arrêts ou d'angles important (> 30 gr).

Tableau 4 : Flèches et Gardes Hors Sol

Cantons	Flèches (m)	Gard Hors Sol (m)
Canton 1	1,93	7,94
Canton 2	2,17	7,59
Canton 3	2,07	7,79
Canton 4	2,09	7,66
Canton 5	2,05	7,61
Canton 6	2,05	7,81
Canton 7	2,72	6,74
Piste 1	2,01	8,66
Piste 2	2,44	8,43
Passage d'eau	2,07	8,79
Ravin 1	1,84	9,03
Ravin 2	1,88	8,98

IV.6. Efforts sur les supports et armements

Les supports sont choisis en fonction des efforts qu'ils sont capables de supporter dans les conditions les plus défavorables au Burkina Faso (+25°C avec une pression de vent de 280 Pa). Les efforts les plus élevés exerçants sur les différents types de supports (alignements, ancrages, arrêts et avec IACM) sont relevés dans le tableau ci-dessous

Tableau 5 : Efforts sur supports et armements

Cantons	Efforts sur les supports et armements en daN			
	Supports d'alignements	Supports d'ancrages	Supports d'arrêts	Supports Avec IACM
Canton 1	114,97		973,23	708,42
Canton 2	129,75	80,87	972,96	
Canton 3	129,3	123,19	973,12	
Canton 4	128,89	127,89	974,82	
Canton 5	127,7	124,04	974,6	
Canton 6	128,83	128,82	974,4	

Canton 7	126,17	974,37	968,71	734,50
----------	--------	--------	--------	--------

IV.7.Écartement minimal entre conducteurs et pentes

Les écartements et pentes les plus contraignantes de chaque canton, ont été énumérés dans le tableau. La détermination des écartements a permis de choisir les armements les plus optimaux.

Tableau 6: Ecartement minimal, pente et portance

CANTONS	Ecartement entre conducteurs en (mètre)	Pente=h/a (%)	Signe de la portance(%)	Retournement de chaîne (Portance≥-3%)
Canton 1	1,30	3,23%	-3,15%	OUI
Canton 2	1,33	7,68%	-7,34%	OUI
Canton 3	1,33	2,82%	-1,64%	
Canton 4	1,33	2,78%	-1,59%	
Canton 5	1,33	3,23%	-1,74%	
Canton 6	1,33	3,18%	-2,59%	
Canton 7	1,41	8,52%	-3,81%	OUI

IV.8.Supports et armements

Les supports et armements choisi sont faits en fonction des efforts exerçant sur ceux-ci, ainsi qu'aux écartements minimaux admissibles.

Tableau 7: Choix manuel de supports et armements

Cantons	Synthèse Choix Manuel					
	Supports d'alignements	Supports d'ancrages	Supports d'arrêts	Armement d'alignements	Armement d'ancrages	Armement d'arrêt
Canton 1	12 HEA160	12 HEA160 J	12 HEA180 J	NV2 50-50	NA3X 1600	NA3X 4000
Canton 2	12 HEA160	12 HEA160	12 HEA180 J	NW 50-50	NA3X 1600	NA3X 4000
Canton 3	13 HEA160	12 HEA160	12 HEA180 J	NV2 50-50	NA3X 1600	NA3X 4000
Canton 4	12 HEA160	12 HEA160	13 HEA180 J	NV2 50-50	NA3X 1600	NA3X 4000
Canton 5	13 HEA160	12 HEA160	12 HEA180 J	NV2 50-50	NA3X 1600	NA3X 4000
Canton 6	12 HEA160	12 HEA160	12 HEA180 J	NV2 50-50	NA3X 1600	NA3X 4000
Canton 7	13 HEA160	12 HEB180 P	12 HEA180 J	NV2 50-50	NA3X 10000	NA3X 4000

IV.9. Logiciel de dimensionnement CAMELIA

Notre étude a été faite avec les hypothèses A1, B1 et l'hypothèse A2. Une comparaison des résultats a été faite, et les résultats les plus contraignants de chaque canton ont été retenus dans le tableau suivant :

Tableau 8: Choix de supports et armements avec le logiciel Camelia

Cantons	Synthèse Choix Du Logiciel Camélia					
	Supports d'alignements	Supports d'ancrages	Supports d'arrêts	Armement d'alignements	Armement d'ancrages	Armement d'arrêt
Canton 1	12 HEA160	12 HEA160 J	12 HEA180 J	NV5 60-60	NA3Y 3150	NA3Y 3150
Canton 2	12 HEA160	12 HEA160	12 HEB180 J	NV5 60-70	NA3Y 3150	NA3Y 3150
Canton 3	12 HEA160	12 HEA160	12 HEB180 J	NV5 60-70	NA3Y 3150	NA3Y 3150
Canton 4	12 HEA160	12 HEA160	13 HEB180 J	NV5 60-60	NA3Y 3150	NA3Y 3150
Canton 5	12 HEA160	12 HEA160	12 HEB180 J	NV5 60-60	NA3Y 3150	NA3Y 3150
Canton 6	12 HEA160	12 HEB160	12 HEB180 J	NV5 60-60	NA3Y 3150	NA3Y 3150
Canton 7	12 HEA160	12 HEB220 P	12 HEA180 J	NV5 60-70	NA4Y 4000	NA3Y 3150

V. ANALYSES ET DISCUSSIONS

L'étude de l'électrification de la localité de LEGUEMA à partir d'une ligne existante située à BOBO DIOULASSO, nous a donné les résultats (étude manuelle et étude avec CAMELIA). Ces résultats ont des similitudes et quelques différences. Ce qui nous amène donc à une analyse et une discussion de ces deux études.

- La norme NF C 11-201 recommande au maximum 15 supports par canton ce qui est acceptable vu que le nombre de supports maximum des cantons est de 13.
- La portée la plus grande des cantons est de 131,97m. ce qui respecte la norme NF C 11-201 qui impose une portée maximale de 180m.
- Les flèches des conducteurs varient entre 0,11 et 2,44m. Quant aux gardes hors sol ou surplomb, les plus défavorables varient entre 6,74 à 7,43m. Les surplombs en terrain ordinaire pour le réseau HTA sont acceptables car la réglementation impose 6m.
- Les flèches les plus faibles sont constatées au niveau de portées les plus faibles.

- Les efforts exerçant sur les supports d'alignement varient de 84,55 à 129,75 daN ce qui nous permet de limiter le choix de ces supports à des HEA 160 dont l'effort de ruine est de 200 daN.
- Les efforts exerçant sur les supports d'ancrages sont de deux tranches :
 - Entre 79,73 et 129,70daN pour les supports dont les angles sont inférieurs à 30 grades. Le choix des supports se limitent aux HEA160 et HEB160 dont les efforts de ruine sont respectivement 200 et 320daN.
 - Entre 971,17 et 972,72daN pour les supports dont l'angle est supérieur à 30 grades. Les supports choisis sont des 2*HEB180 et un portique 4*HEA180 dont les efforts de ruine sont respectivement de 1300daN et 3350daN.
- Les efforts exerçants sur les supports d'arrêts varient entre 968,71 et 974,82 daN. Les supports choisis sont des supports jumelés de type 2*HEA180 et 2*HEB180 dont les efforts de ruine sont respectivement 1130 et 1670daN.
- Les efforts exerçants sur les deux supports avec IACM sont de 708 ,42daN et 734,50 daN. Cela nous permet de choisir des supports 2*HEA160 dont l'effort de ruine est de 910daN.
- L'écartement minimal le plus élevé entre les conducteurs varie entre 0,69 et 1,41m. Ce qui est acceptable car les armements nappes voûtes (NV2 et NV5) utilisés permettent un écartement de 1,7m en zone à vent normal et les armements nappes d'arrêts ou d'angles NA3X ou NA3Y ont un écartement minimal de 1,5m. Nous pouvons alors confirmer que ces armements assureront des écartements suffisants.
- Les pentes les plus défavorables des cantons varient entre 0,02 à 8,52%. Elles sont acceptables car la limite autorisée est de 25%.
- Les signes des pentes varient entre -1,59 à -7,34 ce qui implique qu'il y'a des retournements de chaine ($\geq -3\%$). Il convient donc à ces endroits d'effectuer des arrêts cantons.
- La chute de tension de la ligne est de 0,088%.Ce qui est admissible car inférieur à 7% qui est la valeur maximale à ne pas dépasser.
- Les pertes techniques annuelles de notre ligne sont estimées à 8251,92kwh.Il est donc important d'apporter des solutions pour la réduire ces pertes.

La comparaison des deux résultats a donné les points suivants :

- Les supports d'alignements choisis manuellement sont identiques à ceux choisis par le logiciel.
- Les Efforts des supports de grand angle et d'arrêt choisis par le logiciel sont au plus à 1,5 fois supérieurs aux efforts des supports choisis à partir de l'étude manuelle. Cette différence est due à l'effort de traction des conducteurs calculé pour l'étude manuelle dont la valeur n'est pas précise. Elle est matérialisée dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Ratio entre la méthode manuelle et logiciel pour le choix des supports

Cantons	Nom de supports	Effort de ruine daN avec la Méthode manuelle	Effort de ruine daN avec le Méthode Logiciel	Choix des supports avec la Méthode manuelle	Choix des supports avec la Méthode Logiciel	Ratio
Canton 1	S13	1130	1670	12 HEA180 J	12 HEB 180 J	1,48
Canton 2	S26	1130	1670	12 HEA180 J	12 HEB 180 J	1,48
Canton 3	S39	1130	1670	12 HEA180 J	12 HEB 180 J	1,48
Canton 4	S51	1130	1670	12 HEA180 J	12 HEB 180 J	1,48
Canton 5	S64	1130	1670	12 HEA180 J	12 HEB 180 J	1,48
Canton 6	S77	1130	1670	12 HEA180 J	12 HEB 180 J	1,48
Canton 7	S85	3350	4760	12 HEB 180 P	12 HEB 220 P	1,42
	S86	1130	860	12 HEA180 J	12 HEB 220	0,76
	S88	1130	910	12 HEA180 J	12 HEA160 J	0,81
	S89	910	910	12 HEA160 J	12 HEA160 J	1,00
	S90	1130	1130	12 HEA180 J	12 HEA180 J	1,00

- Le calcul manuel et logiciel donnent des résultats assez semblables de l'ordre 87,78 %. Ce qui pourrait nous conforter dans l'étude et le dimensionnement de la ligne.

Les résultats de ces deux méthodes sont identiques à quelques différences près.

La confrontation donc de ses deux résultats nous a permis donc de faire un choix optimal qui nous permettra d'avoir une ligne solide et fiable.

VI.OFFRE FINANCIERE

L'évaluation économique prend en compte les coûts liés à la construction de la ligne HTA/BTA de la localité de LEGUEMA. Ces coûts sont essentiellement par l'acquisition du matériel et son installation.

Tableau 10 : Coût d'investissement

N°	Désignation	Unité	Quantité	P.Unitaire (FCFA)	P.Total (FCFA)
I.1	Etude d'exécution	Forfait	1	950 000	950 000
I.2	Ouverture couloir de la ligne	Km	11	400 000	4 400 000
I.3	Fourniture et pose de matériels				
I.3.1	Support HEA 160/12m	Ensemble	66	836 000	55 176 000
	.Nappe-Voût NV5 60-60				
	.3 chaînes de suspension				
I.3.2	Support HEA 160/12m	Ensemble	7	850 000	5 950 000
	.Nappe-Voût NV5 60-70				
	.3 chaînes de suspension				
I.3.3	Support HEA 180/12m	Ensemble	7	1 100 000	7 700 000
	.2 herses arrêt NA3Y 3150				
	.6 chaînes d'ancrages				
	.1 mise à la terre				
I.3.4	Support HEA 180/12m	Ensemble	2	550 000	1 100 000
	.2 herses arrêt NA3Y 3150				
	.6 chaînes d'ancrages				
I.3.5	Support HEA 160/12m	Ensemble	3	475 000	1 425 000
	.2 herses arrêt NA3Y 3150				
	.6 chaînes d'ancrages				
I.3.6	Support HEA 160/12m				
	.2 herses arrêt NA3Y 3150				

VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'électrification de la localité de LEGUEMA à partir d'une ligne 33kV située à BOBO-DIOULASSO nous a permis de faire le dimensionnement de la ligne longue de 11km. Le dimensionnement a pour objectif :

- ✓ La détermination des points de fixation
- ✓ La détermination des cantons
- ✓ Le choix des supports ainsi que des armements
- ✓ Calcul électrique
- ✓ Coût d'investissement

Deux méthodes ont été utilisées pour le dimensionnement :

- La méthode manuelle
- La méthode avec le logiciel CAMELIA imposée dans le DAO par le maître d'ouvrage

Après analyse des résultats issus des calculs manuels et logiciels, nous recommandons :

- L'utilisation des armements NV2 à la place des armements NV5
- Une journée de reboisement pour remplacer les arbres coupés lors des travaux

- Une maintenance annuelle de la ligne
- Réduction des pertes techniques a travers les solutions suivantes :
 - La modification des paliers dans les transformateurs
 - Optimiser le réseau : elle consiste à équilibrer les volumes de charge dans les transformateurs tout en préservant la sécurité du réseau.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Transport et Distribution de l'Énergie Electrique – Manuel de travaux pratiques ;
- 2) Les politiques de maitrise de l'énergie : Fiche technique PRISME N°7 ;
- 3) FICHE TECHNIQUE TUNISIE CABLE : Câbles de ligne aérienne ;
- 4) Arrêté Technique du 17 mai 2001 ;
- 5) gtz ; Projet d'Electrification Rurale d'Initiative Locale, rapport étude ERIL_MATAM. Octobre 2003 ;
- 6) Chambre de commerce Burkina Faso ; Note sectorielle sur l'énergie au Burkina Faso. Octobre 2010 ;
- 7) GRAFF, Jean Jacques. Cours électrification rurale de 2IE 2011 ;
- 8) GRAFF, Jean Jacques. Cours transport et distribution de 2IE 2011 ;
- 9) Réseaux aériens MT en conducteur nus EDM-EDF SAINTE-TULLE ;
- 10) Norme NFC 11-201 ;
- 11) Document technique CAMELIA Calcul ;

SITE INTERNET

<http://www.sonabel.bf/>

www.simeeel.bf

ANNEXE 1 : Effort verticale du vent sur les conducteurs

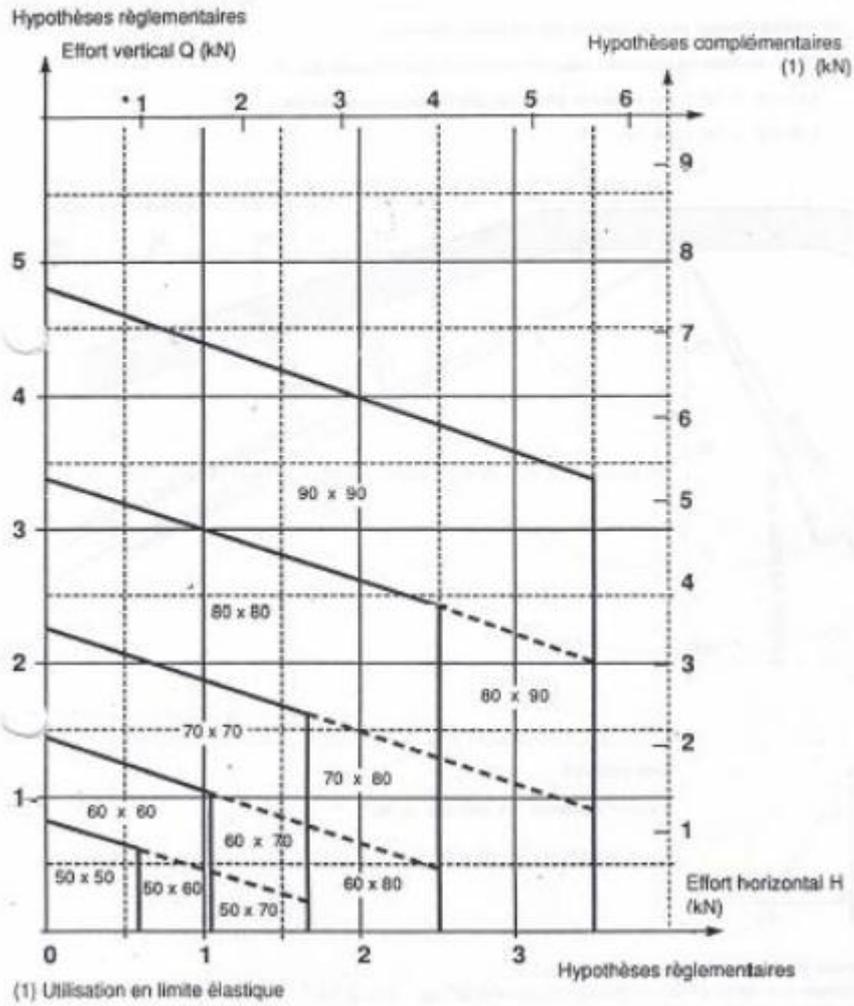
Section conducteur en mm ²	Vent 180 Pa daN / m	Vent 480 Pa daN / m	Vent 570 Pa daN / m	Vent 640 Pa daN / m
34,4	0,135	0,360	0,428	0,480
54,6	0,170	0,454	0,540	0,605
75,5	0,203	0,540	0,642	0,720
116	0,252	0,672	0,800	0,896
148	0,283	0,756	0,900	1,008

ANNEXE 2 : Effort de ruine des supports

Signification	Effort en tête (daN)	Signification	Effort en tête (daN)
Supports simples		2 x Supports jumelés	
HEA 160 / 12m	200	HEA 160 / 12m	910
HEA 180 / 12m	290	HEA 180 / 12m	1130
HEA 200 / 12m	400	HEA 200 / 12m	1440
HEA 220 / 12m	550	HEA 220 / 12m	1830
HEB 160 / 12m	320	HEB 160 / 12m	1300
HEB 180 / 12m	460	HEB 180 / 12m	1670
HEB 200 / 12m	630	HEB 200 / 12m	2130
HEB 220 / 12m	860	HEB 220 / 12m	2630
2x2 Supports jumelés en portique			
HEB 180 / 12m	3350	HEA 180 / 13m	1020
HEB 200 / 12m	4260	HEA 200 / 13m	1290
HEB 220 / 12m	5270	HEA 220 / 13m	1650
HEB 180 / 13m	3020	HEB 160 / 13m	1170
HEB 200 / 13m	3850	HEB 180 / 13m	1510
HEB 220 / 13m	4760	HEB 200 / 13m	1920
HEB 240 / 14m	5350	HEB 220 / 13m	2380

ANNEXE 3 : Armements d'alignement et d'angle faible de type nappe route

**CHOIX DES NAPPE-VOUTE 170-75
ARMEMENT NV2 ET NW**



[ANNEXE 4 : Armement d'arrêt et d'ancrage](#)

pour support monopode

NAPPE				TRIANGLE			
Accrochage double		Accrochage descendu		Accrochage double		Accrochage descendu	
Réf. E.D.F	Codet	Réf. E.D.F	Codet	Réf. E.D.F	Codet	Réf. E.D.F	Codet
NA1X 1600D	6855001			TA1X 1600D	6855051	TS1X 1600S	685510
NA1X 2000D	6855002			TA1X 2000D	6855052	TS1X 2000S	685511
NA1X 2500D	6855003			TA1X 2500D	6855053	TS1X 2500S	685512
NA1X 3150D	6855004			TA1X 3150D	6855054	TS1X 3150S	685513
NA2X 1600D	6855007			TA2X 1600D	6855057	TS2X 1500S	685516
NA2X 2000D	6855008			TA2X 2000D	6855058	TS2X 2000S	685517
NA2X 2500D	6855009			TA2X 2500D	6855059	TS2X 2500S	685518
NA2X 3150D	6855010			TA2X 3150D	6855060	TS2X 3150S	685519
NA2X 4000D	6855011			TA2X 4000D	6855061	TS2X 4000S	685520
NA2X 5000D	6855012			TA2X 5000D	6855062	TS2X 5000S	685521
NA3X 1600D	6855015	ND3X 1600S	6855501	TA3X 1600D	6855065	TS3X 1600S	685524
NA3X 2000D	6855016	ND3X 2000S	6855502	TA3X 2000D	6855066	TS3X 2000S	685525
NA3X 2500D	6855017	ND3X 2500S	6855503	TA3X 2500D	6855067	TS3X 2500S	685526
NA3X 3150D	6855018	ND3X 3150S	6855504	TA3X 3150D	6855068	TS3X 3150S	685527
NA3X 4000D	6855019	ND3X 4000S	6855505	TA3X 4000D	6855069	TS3X 4000S	685528
NA3X 5000D	6855020	ND3X 5000S	6855506	TA3X 5000D	6855070	TS3X 5000S	685529
NA3X 6300D	6855021	ND3X 6300S	6855507	TA3X 6300D	6855071	TS3X 6300S	685530
NA1Y 2000D	6855101			TA1Y 2000D	6855151		
NA1Y 2500D	6855102			TA1Y 2500D	6855152		
NA1Y 3150D	6855103			TA1Y 3150D	6855153		
NA1Y 4000D	6855104			TA1Y 4000D	6855154		
NA1Y 5000D	6855105			TA1Y 5000D	6855155		
NA1Y 6300D	6855106			TA1Y 6300D	6855156		
NA1Y 8000D	6855107			TA1Y 8000D	6855157		
NA2Y 2500D	6855109			TA2Y 2500D	6855159		
NA2Y 3150D	6855110			TA2Y 3150D	6855160		
NA2Y 4000D	6855111			TA2Y 4000D	6855161		
NA2Y 5000D	6855112			TA2Y 5000D	6855162		
NA2Y 6300D	6855113			TA2Y 6300D	6855163		
NA2Y 8000D	6855114			TA2Y 8000D	6855164		
NA2Y 10000D	6855115			TA2Y 10000D	6855165		
NA3Y 3150D	6855116			TA3Y 3150D	6855166		
NA3Y 4000D	6855117			TA3Y 4000D	6855167		
NA3Y 5000D	6855118			TA3Y 5000D	6855168		
NA3Y 6300D	6855119			TA3Y 6300D	6855169		
NA3Y 8000D	6855120			TA3Y 8000D	6855170		
NA3Y 10000D	6855121			TA3Y 10000D	6855171		
NA3Y 12500D	6855122			TA3Y 12500D	6855172		

ANNEXE 5 : Cantons et portées déterminés

CANTONS	Nom de supports	Distance des portés(m)	Distance cumulée (m)	Angle en Grade	Nombre de supports
Canton 1	EXI				14
	S1	82,53	82,53		
	S2	82,53	165,06		
	S3	82,55	247,61	201,60	
	S4	52,58	300,19	191,34	
	S5	111,07	411,26		
	S6	111,07	522,33		
	S7	111,07	633,40		
	S8	111,07	744,47		
	S9	111,07	855,54		
	S10	111,07	966,61		
	S11	111,07	1077,68		
	S12	111,07	1188,75		
Canton 2	S13	111,00	1299,75	202,77	13
	S14	26,97	1326,72	211,60	
	S15	131,82	1458,53	207,07	
	S16	17,32	1475,86	200,56	
	S17	111,75	1587,61		
	S18	129,32	1716,93		
	S19	129,32	1846,25		
	S20	129,32	1975,57		
	S21	129,32	2104,89		
	S22	129,20	2234,08	207,17	
	S23	87,47	2321,55		
Canton 3	S24	87,47	2409,02		13
	S25	87,52	2496,54	201,09	
	S26	128,77	2625,31		
	S27	128,77	2754,08		

	S28	128,73	2882,81	210,22	
	S29	128,80	3011,61		
	S30	128,78	3140,39	191,99	
	S31	121,20	3261,59		
	S32	121,20	3382,79		
	S33	121,20	3503,99		
	S34	121,20	3625,19		
	S35	121,20	3746,39		
	S36	121,20	3867,59		
	S37	121,20	3988,79		
	S38	121,24	4110,03	191,31	
	S39	98,53	4208,56		
Canton 4	S40	98,53	4307,09		
	S41	98,53	4405,62	184,06	
	S42	120,40	4526,02		
	S43	120,40	4646,42		
	S44	120,44	4766,86	197,60	
	S45	96,89	4863,75	224,98	
	S46	129,25	4993,00		
	S47	127,26	5120,25	206,19	
	S48	126,80	5247,05		
	S49	126,80	5373,85		
	S50	126,80	5500,65		
	S51	126,80	5627,45		
Canton 5	S52	126,79	5754,24	180,90	
	S53	120,60	5874,84		
	S54	120,60	5995,44		
	S55	120,60	6116,04		
	S56	120,60	6236,64		
	S57	123,94	6360,58	198,36	
	S58	121,23	6481,81		

	S59	121,23	6603,04		
	S60	121,23	6724,27		
	S61	121,23	6845,50		
	S62	121,23	6966,73		
	S63	121,26	7087,99	223,11	
	S64	128,18	7216,17		
Canton 6	S65	128,18	7344,35		13
	S66	128,18	7472,53		
	S67	128,18	7600,71		
	S68	128,18	7728,89		
	S69	128,18	7857,07	176,71	
	S70	122,77	7979,84		
	S71	122,77	8102,61		
	S72	122,77	8225,38		
	S73	122,77	8348,15		
	S74	122,77	8470,92		
	S75	122,77	8593,69		
Canton 7	S76	122,77	8716,46		13
	S77	122,77	8839,23		
	S78	122,77	8962,00		
	S79	122,14	9084,14	201,84	
	S80	124,90	9209,04		
	S81	124,90	9333,94		
	S82	124,90	9458,84		
	S83	124,85	9583,70	187,31	
	S84	78,87	9662,56	209,13	
	S85	131,97	9794,53	314,86	
	S86	73,41	9867,94	146,34	
	S87	86,77	9954,71		
S88	88,44	10043,15	233,37		
S89	58,47	10101,62	218,94		

	S90	44,01	10145,63		
--	-----	-------	----------	--	--

ANNEXE 6 : points de fixation des supports, flèche et Garde hors sol

CANTONS	NOMS DES SUPPOTS	Angle en Grade	Portées	Fleche	Implantation	Garde hors sol
Canton 1	EXI			-	1,7	9,87
	S1		82,53	1,06	1,7	8,80
	S2		82,53	1,06	1,7	8,80
	S3	201,599	82,55	1,06	1,9	8,60
	S4	191,339	52,58	0,43	1,9	9,23
	S5		111,07	1,93	1,7	7,94
	S6		111,07	1,93	1,7	7,94
	S7		111,07	1,93	1,7	7,94
	S8		111,07	1,93	1,7	7,94
	S9		111,07	1,93	1,7	7,94
	S10		111,07	1,93	1,7	7,94
	S11		111,07	1,93	1,7	7,94
	S12		111,07	1,93	1,7	7,94
	S13	202,77	111,00		1,9	7,74

				1,93		
Canton 2	S14	211,6	26,97	0,11	1,9	9,55
	S15	207,068	131,82	2,17	1,9	7,49
	S16	200,563	17,32	0,04	1,9	9,63
	S17		111,75	1,56	1,7	8,30
	S18		129,32	2,09	1,7	7,77
	S19		129,32	2,09	1,7	7,77
	S20		129,32	2,09	1,7	7,77
	S21		129,32	2,09	1,7	7,77
	S22	207,174	129,20	2,09	1,9	7,58
	S23		87,47	0,96	1,7	8,91
	S24		87,47	0,96	1,7	8,91
	S25	201,089	87,52	0,96	1,9	8,71
	S26		128,77	2,07	1,7	7,79
	Canton 3	S27		128,77	2,07	1,7
S28		210,224	128,73	2,07	1,9	7,59
S29			128,80		1,7	7,79

				2,07		
	S30	191,987	128,78	2,07	1,9	7,59
	S31		121,20	1,84	1,7	8,03
	S32		121,20	1,84	1,7	8,03
	S33		121,20	1,84	1,7	8,03
	S34		121,20	1,84	1,7	8,03
	S35		121,20	1,84	1,7	8,03
	S36		121,20	1,84	1,7	8,03
	S37		121,20	1,84	1,7	8,03
	S38	191,308	121,24	1,84	1,9	7,83
	S39		98,53	1,21	1,9	8,45
Canton 4	S40		98,53	1,21	1,7	8,65
	S41	184,061	98,53	1,21	1,9	8,45
	S42		120,40	1,81	1,7	8,05
	S43		120,40	1,81	1,7	8,05
	S44	197,604	120,44	1,81	1,9	7,85
	S45	224,976	96,89		1,9	8,49

				1,17		
	S46		129,25	2,09	1,7	7,78
	S47	206,189	127,26	2,02	1,9	7,64
	S48		126,80	2,01	1,7	7,86
	S49		126,80	2,01	1,7	7,86
	S50		126,80	2,01	1,7	7,86
	S51		126,80	2,01	1,7	7,86
	S52	180,902	126,79	2,01	1,9	7,66
	S53		120,60	1,82	1,7	8,05
	S54		120,60	1,82	1,7	8,05
	S55		120,60	1,82	1,7	8,05
	S56		120,60	1,82	1,7	8,05
	S57	198,356	123,94	1,92	1,9	7,74
	S58		121,23	1,84	1,7	8,03
	S59		121,23	1,84	1,7	8,03
	S60		121,23	1,84	1,7	8,03
	S61		121,23		1,7	8,03
Canton 5						

				1,84		
	S62		121,23	1,84	1,7	8,03
	S63	223,107	121,26	1,84	1,9	7,83
	S64		128,18	2,05	1,7	7,81
Canton 6	S65		128,18	2,05	1,7	7,81
	S66		128,18	2,05	1,7	7,81
	S67		128,18	2,05	1,7	7,81
	S68		128,18	2,05	1,7	7,81
	S69	176,705	128,18	2,05	1,9	7,61
	S70		122,77	1,88	1,7	7,98
	S71		122,77	1,88	1,7	7,98
	S72		122,77	1,88	1,7	7,98
	S73		122,77	1,88	1,7	7,98
	S74		122,77	1,88	1,7	7,98
	S75		122,77	1,88	1,7	7,98
	S76		122,77	1,88	1,7	7,98
	S77		122,77		1,7	7,98

				1,88		
Canton 7	S78		122,77	1,88	1,7	7,98
	S79	201,841	122,14	2,33	1,9	7,33
	S80		124,90	2,44	1,9	7,23
	S81		124,90	2,44	1,7	7,43
	S82		124,90	2,44	1,7	7,43
	S83	187,305	124,85	2,44	1,7	7,43
	S84	209,125	78,87	0,97	2,1	8,49
	S85	314,856	131,97	2,72	2,1	6,74
	S86	146,339	73,41	0,84	2,1	8,62
	S87		86,77	1,18	1,7	8,69
	S88	233,367	88,44	1,22	2,1	8,24
	S89	218,938	58,47	0,53	2,1	8,93
	S90		44,01	0,30	2,1	9,16

ANNEXE 7 : Efforts de traction et de vent

CANTONS	Nom de supports	Angle en Grade	Portée équivalente	Effort de traction(Ft)=nts en daN	Effort de vent sur les conducteurs Fv=n.V.a en daN	Effort de vent sur les armements en daN (Forfait)	Effort total sur le support en daN
Canton 1	EXI		104,62	966,42	0,00	25,00	966,74
	S1				33,42	25,00	708,42
	S2				66,85	25,00	91,85
	S3	201,60			66,86	25,00	91,86
	S4	191,34			54,73	25,00	79,73
	S5				66,28	25,00	91,28
	S6				89,97	25,00	114,97
	S7				89,97	25,00	114,97
	S8				89,97	25,00	114,97
	S9				89,97	25,00	114,97
	S10				89,97	25,00	114,97
	S11				89,97	25,00	114,97
	S12				89,97	25,00	114,97
	S13	202,77			966,42	89,94	25,00
Canton 2	S14	211,60	120,65		55,87	25,00	80,87
	S15	207,07			64,31	25,00	89,31
	S16	200,56			60,40	25,00	85,40
	S17				52,27	25,00	77,27
	S18				97,63	25,00	122,63
	S19				104,75	25,00	129,75
	S20				104,75	25,00	129,75
	S21				104,75	25,00	129,75
	S22	207,17			104,70	25,00	129,70
	S23				87,75	25,00	112,75
	S24					70,85	25,00

	S25	201,09			70,86	25,00	95,86
	S26			966,42	87,58	25,00	972,96
Canton 3	S27		120,53		104,30	25,00	129,30
	S28	210,22			104,28	25,00	129,28
	S29				104,30	25,00	129,30
	S30	191,99			104,32	25,00	129,32
	S31				101,24	25,00	126,24
	S32				98,17	25,00	123,17
	S33				98,17	25,00	123,17
	S34				98,17	25,00	123,17
	S35				98,17	25,00	123,17
	S36				98,17	25,00	123,17
	S37				98,17	25,00	123,17
	S38	191,31			98,19	25,00	123,19
	S39				966,42	89,01	25,00
Canton 4	S40		121,93		79,81	25,00	104,81
	S41	184,06			79,81	25,00	104,81
	S42				88,67	25,00	113,67
	S43				97,52	25,00	122,52
	S44	197,60			97,50	25,00	122,50
	S45	224,98			87,98	25,00	112,98
	S46				91,59	25,00	116,59
	S47	206,19			103,89	25,00	128,89
	S48				102,89	25,00	127,89
	S49				102,71	25,00	127,71
	S50				102,71	25,00	127,71
	S51				966,42	102,71	25,00
Canton 5	S52	180,90	122,40		102,70	25,00	127,70
	S53				100,19	25,00	125,19
	S54				97,69	25,00	122,69
	S55				97,69	25,00	122,69

	S56			97,69	25,00	122,69			
	S57	198,36		99,04	25,00	124,04			
	S58			99,30	25,00	124,30			
	S59			98,20	25,00	123,20			
	S60			98,20	25,00	123,20			
	S61			98,20	25,00	123,20			
	S62			98,20	25,00	123,20			
	S63	223,11		98,21	25,00	123,21			
	S64			966,42	101,02	25,00	974,60		
Canton 6	S65		124,51		103,83	25,00	128,83		
	S66				103,83	25,00	128,83		
	S67				103,83	25,00	128,83		
	S68				103,83	25,00	128,83		
	S69	176,71				103,82	25,00	128,82	
	S70					101,63	25,00	126,63	
	S71					99,44	25,00	124,44	
	S72					99,44	25,00	124,44	
	S73					99,44	25,00	124,44	
	S74					99,44	25,00	124,44	
	S75					99,44	25,00	124,44	
	S76					99,44	25,00	124,44	
	S77			966,42	99,44	25,00	974,40		
Canton 7	S78		107,15		99,44	25,00	124,44		
	S79	201,84				99,19	25,00	124,19	
	S80					100,05	25,00	125,05	
	S81					101,17	25,00	126,17	
	S82					101,17	25,00	126,17	
	S83	187,31				101,15	25,00	126,15	
	S84	209,13					82,51	25,00	107,51
	S85	314,86				966,42	85,39	25,00	972,70
	S86	146,34				966,42	83,18	25,00	972,46

	S87			64,87	25,00	89,87
	S88	233,37		966,42	70,96	971,17
	S89	218,94			59,50	84,50
	S90			966,42	41,50	968,71

ANNEXE 8 : Ecartement min, Fh et Fv

CANTONS	Angle en Grade	Nom de supports	Ecartement entre conducteurs en (mètre)	Effort horizontal (Fh) en daN	Effort vertical (Fv) en daN	Résultante des efforts en daN
Canton 1		EXI	0,69	0,00	0,00	0,00
		S1	1,08	11,14	6,08	12,69
		S2	1,08	22,28	12,17	25,39
	201,5990	S3	1,08	25,42	12,17	28,18
	191,3390	S4	0,87	29,91	9,96	31,53
		S5	1,30	22,09	12,06	25,17
		S6	1,30	29,99	16,37	34,17
		S7	1,30	29,99	16,37	34,17
		S8	1,30	29,99	16,37	34,17
		S9	1,30	29,99	16,37	34,17
		S10	1,30	29,99	16,37	34,17
		S11	1,30	29,99	16,37	34,17
		S12	1,30	29,99	16,37	34,17
	202,7700	S13	1,30	38,88	16,37	42,18
Canton 2	211,6000	S14	0,74	8,61	10,17	13,32
	207,0680	S15	1,35	23,07	11,70	25,86
	200,5630	S16	0,70	17,22	10,99	20,43
		S17	1,21	18,43	9,51	20,74
		S18	1,33	32,54	17,77	37,08
		S19	1,33	34,92	19,06	39,78
		S20	1,33	34,92	19,06	39,78

		S21	1,33	34,92	19,06	39,78
	207,1740	S22	1,33	34,90	19,06	39,76
		S23	1,04	29,41	15,97	33,47
		S24	1,04	23,62	12,89	26,91
	201,0890	S25	1,04	23,62	12,90	26,91
		S26	1,33	17,50	15,94	23,67
Canton 3		S27	1,33	34,77	18,98	39,61
	210,2240	S28	1,33	46,38	18,98	50,11
		S29	1,33	34,77	18,98	39,61
	191,9870	S30	1,33	46,41	18,99	50,15
		S31	1,28	33,75	18,43	38,45
		S32	1,28	32,72	17,87	37,28
		S33	1,28	32,72	17,87	37,28
		S34	1,28	32,72	17,87	37,28
		S35	1,28	32,72	17,87	37,28
		S36	1,28	32,72	17,87	37,28
		S37	1,28	32,72	17,87	37,28
		191,3080	S38	1,28	23,31	17,87
Canton 4		S39	1,12	29,67	16,20	33,80
		S40	1,12	26,60	14,53	30,31
	184,0610	S41	1,12	14,95	14,53	20,84
		S42	1,27	29,56	16,14	33,67
		S43	1,27	32,51	17,75	37,04
	197,6040	S44	1,27	25,75	17,75	31,27
	224,9760	S45	1,11	35,77	16,01	39,20
		S46	1,33	30,53	16,67	34,78
	206,1890	S47	1,32	41,82	18,91	45,89
		S48	1,32	34,30	18,73	39,08
		S49	1,32	34,24	18,69	39,01
		S50	1,32	34,24	18,69	39,01
	S51	1,32	34,24	18,69	39,01	

Canton 5	180,9020	S52	1,32	22,71	18,69	29,42
		S53	1,27	33,40	18,23	38,05
		S54	1,27	32,56	17,78	37,10
		S55	1,27	32,56	17,78	37,10
		S56	1,27	32,56	17,78	37,10
	198,3560	S57	1,30	21,22	18,03	27,84
		S58	1,28	33,10	18,07	37,71
		S59	1,28	32,73	17,87	37,29
		S60	1,28	32,73	17,87	37,29
		S61	1,28	32,73	17,87	37,29
		S62	1,28	32,73	17,87	37,29
	223,1070	S63	1,28	37,20	17,87	41,27
		S64	1,33	33,67	18,39	38,37
	Canton 6		S65	1,33	34,61	18,90
		S66	1,33	34,61	18,90	39,43
		S67	1,33	34,61	18,90	39,43
		S68	1,33	34,61	18,90	39,43
176,7050		S69	1,33	39,09	18,90	43,42
		S70	1,29	33,88	18,50	38,60
		S71	1,29	33,15	18,10	37,77
		S72	1,29	33,15	18,10	37,77
		S73	1,29	33,15	18,10	37,77
		S74	1,29	33,15	18,10	37,77
		S75	1,29	33,15	18,10	37,77
		S76	1,29	33,15	18,10	37,77
		S77	1,29	33,15	18,10	37,77
Canton 7		S78	1,29	33,15	18,10	37,77
	201,8410	S79	1,39	26,45	18,05	32,02
		S80	1,41	33,35	18,21	38,00
		S81	1,41	33,72	18,41	38,42
		S82	1,41	33,72	18,41	38,42

	187,3050	S83	1,41	33,72	18,41	38,42
	209,1250	S84	0,89	18,33	15,02	23,70
	314,8560	S85	1,36	32,49	15,54	36,02
	146,3390	S86	0,84	18,39	15,14	23,82
		S87	0,96	21,62	11,81	24,64
	233,3670	S88	0,97	18,58	12,91	22,63
	218,9380	S89	0,70	25,35	10,83	27,57
		S90	0,82	13,83	7,55	15,76

ANNEXE 9 : Choix des supports

CANTONS	Nom de supports	Effort total sur le support en daN	Effort de ruine daN	Choix des supports	Remarques
Canton 1	EXI	966,74	1130	12 HEA180 J	
	S1	708,42	910	12 HEA160 J	IACM
	S2	91,85	200	12 HEA160	
	S3	91,86	200	12 HEA160	
	S4	79,73	200	12 HEA160	
	S5	91,28	200	12 HEA160	
	S6	114,97	200	12 HEA160	
	S7	114,97	200	12 HEA160	
	S8	114,97	200	12 HEA160	
	S9	114,97	200	12 HEA160	
	S10	114,97	200	12 HEA160	
	S11	114,97	200	12 HEA160	
	S12	114,97	200	12 HEA160	
Canton 2	S13	973,23	1130	12 HEA180 J	
	S14	80,87	200	12 HEA160	
	S15	89,31	200	12 HEA160	
	S16	85,40	200	12 HEA160	

	S17	77,27	200	12 HEA160	
	S18	122,63	200	12 HEA160	
	S19	129,75	200	12 HEA160	
	S20	129,75	200	12 HEA160	
	S21	129,75	200	12 HEA160	
	S22	129,70	200	12 HEA160	
	S23	112,75	200	12 HEA160	
	S24	95,85	200	12 HEA160	
	S25	95,86	200	12 HEA160	
	S26	972,96	1130	12 HEA180 J	
Canton 3	S27	129,30	200	12 HEA160	
	S28	129,28	200	12 HEA160	
	S29	129,30	200	12 HEA160	
	S30	129,32	200	12 HEA160	Passage d'eau
	S31	126,24	200	12 HEA160	
	S32	123,17	200	12 HEA160	
	S33	123,17	200	12 HEA160	
	S34	123,17	200	12 HEA160	
	S35	123,17	200	12 HEA160	
	S36	123,17	200	12 HEA160	
	S37	123,17	200	12 HEA160	
	S38	123,19	200	12 HEA160	
	S39	973,12	200	12 HEA180 J	
Canton 4	S40	104,81	200	12 HEA160	
	S41	104,81	200	12 HEA160	
	S42	113,67	200	12 HEA160	
	S43	122,52	200	12 HEA160	
	S44	122,50	200	12 HEA160	
	S45	112,98	200	12 HEA160	
	S46	116,59	200	12 HEA160	
	S47	128,89	200	12 HEA160	

	S48	127,89	200	12 HEA160	
	S49	127,71	200	12 HEA160	
	S50	127,71	200	12 HEA160	
	S51	974,82	1130	12 HEA180 J	Piste 1
Canton 5	S52	127,70	200	12 HEA160	Piste 1
	S53	125,19	200	12 HEA160	
	S54	122,69	200	12 HEA160	
	S55	122,69	200	12 HEA160	
	S56	122,69	200	12 HEA160	
	S57	124,04	200	12 HEA160	
	S58	124,30	200	12 HEA160	
	S59	123,20	200	12 HEA160	
	S60	123,20	200	12 HEA160	Ravin
	S61	123,20	200	12 HEA160	
	S62	123,20	200	12 HEA160	
	S63	123,21	200	12 HEA160	
	S64	974,60	1130	12 HEA180 J	
Canton 6	S65	128,83	200	12 HEA160	
	S66	128,83	200	12 HEA160	
	S67	128,83	200	12 HEA160	
	S68	128,83	200	12 HEA160	
	S69	128,82	200	12 HEA160	
	S70	126,63	200	12 HEA160	
	S71	124,44	200	12 HEA160	
	S72	124,44	200	12 HEA160	
	S73	124,44	200	12 HEA160	
	S74	124,44	200	12 HEA160	
	S75	124,44	200	12 HEA160	Ravin
	S76	124,44	200	12 HEA160	
	S77	974,40	1130	12 HEA180 J	

Canton 7	S78	124,44	200	12 HEA160	
	S79	124,19	200	12 HEA160	
	S80	125,05	200	12 HEA160	
	S81	126,17	200	12 HEA160	
	S82	126,17	200	12 HEA160	
	S83	126,15	200	12 HEA160	Piste 2
	S84	107,51	200	12 HEA160	Piste 2
	S85	972,70	3350	12 HEB180 P	
	S86	972,46	1130	12 HEA180 J	
	S87	89,87	200	12 HEA160	
	S88	971,17	1130	12 HEA180 J	
	S89	734,50	910	12 HEA160 J	IACM
	S90	968,71	1130	12 HEA180 J	

ANNEXE 10 : Choix des armements

CANTONS	Nom de supports	Ecartement entre conducteurs en (mètre)	Effort horizontal (Fh) en daN	Effort vertical (Fv) en daN	Choix des armements	Effort de traction	Efforts des traverses en arrêts $f >$ $(Ft+0,5Fv+0,3Fh)/3$
Canton 1	EXI	0,69	0,00	0,00		966,42	322,21
	S1	1,08	11,14	6,08	NV2 50-50		
	S2	1,08	22,28	12,17	NV2 50-50		
	S3	1,08	25,42	12,17	NV2 50-50		
	S4	0,87	29,91	9,96	NV2 50-50		
	S5	1,30	22,09	12,06	NV2 50-50		
	S6	1,30	29,99	16,37	NV2 50-50		
	S7	1,30	29,99	16,37	NV2 50-50		
	S8	1,30	29,99	16,37	NV2 50-50		
	S9	1,30	29,99	16,37	NV2 50-50		
	S10	1,30	29,99	16,37	NV2 50-50		
	S11	1,30	29,99	16,37	NV2 50-50		
	S12	1,30	29,99	16,37	NV2 50-50		
	S13	1,30	38,88	16,37	NA3X 4000	966,42	328,75
Canton 2	S14	0,74	8,61	10,17	NA2X 1600		
	S15	1,35	23,07	11,70	NW 50-50		
	S16	0,70	17,22	10,99	NV2 50-50		
	S17	1,21	18,43	9,51	NV2 50-50		
	S18	1,33	32,54	17,77	NV2 50-50		
	S19	1,33	34,92	19,06	NV2 50-50		
	S20	1,33	34,92	19,06	NV2 50-50		
	S21	1,33	34,92	19,06	NV2 50-50		
	S22	1,33	34,90	19,06	NV2 50-50		
	S23	1,04	29,41	15,97	NV2 50-50		
	S24	1,04	23,62	12,89	NV2 50-50		
	S25	1,04	23,62	12,90	NV2 50-50		

	S26	1,33	17,50	15,94	NA3X 4000	966,42	325,19
Canton 3	S27	1,33	34,77	18,98	NV2 50-50		
	S28	1,33	46,38	18,98	NV2 50-50		
	S29	1,33	34,77	18,98	NV2 50-50		
	S30	1,33	46,41	18,99	NV2 50-50		
	S31	1,28	33,75	18,43	NV2 50-50		
	S32	1,28	32,72	17,87	NV2 50-50		
	S33	1,28	32,72	17,87	NV2 50-50		
	S34	1,28	32,72	17,87	NV2 50-50		
	S35	1,28	32,72	17,87	NV2 50-50		
	S36	1,28	32,72	17,87	NV2 50-50		
	S37	1,28	32,72	17,87	NV2 50-50		
	S38	1,28	23,31	17,87	NV2 50-50		
	S39	1,12	29,67	16,20	NA3X 4000	966,42	327,20
Canton 4	S40	1,12	26,60	14,53	NV2 50-50		
	S41	1,12	14,95	14,53	NV2 50-50		
	S42	1,27	29,56	16,14	NV2 50-50		
	S43	1,27	32,51	17,75	NV2 50-50		
	S44	1,27	25,75	17,75	NA3X 1600		
	S45	1,11	35,77	16,01	NV2 50-50		
	S46	1,33	30,53	16,67	NV2 50-50		
	S47	1,32	41,82	18,91	NV2 50-50		
	S48	1,32	34,30	18,73	NA3X 1600		
	S49	1,32	34,24	18,69	NV2 50-50		
	S50	1,32	34,24	18,69	NV2 50-50		
	S51	1,32	34,24	18,69	NA3X 4000	966,42	327,98
Canton 5	S52	1,32	22,71	18,69	NV2 50-50		
	S53	1,27	33,40	18,23	NV2 50-50		
	S54	1,27	32,56	17,78	NV2 50-50		
	S55	1,27	32,56	17,78	NV2 50-50		
	S56	1,27	32,56	17,78	NV2 50-50		

	S57	1,30	21,22	18,03	NA3X 1600		
	S58	1,28	33,10	18,07	NV2 50-50		
	S59	1,28	32,73	17,87	NV2 50-50		
	S60	1,28	32,73	17,87	NV2 50-50		
	S61	1,28	32,73	17,87	NV2 50-50		
	S62	1,28	32,73	17,87	NV2 50-50		
	S63	1,28	37,20	17,87	NA3X 1600		
	S64	1,33	33,67	18,39	NA3X 4000	966,42	327,89
Canton 6	S65	1,33	34,61	18,90	NV2 50-50		
	S66	1,33	34,61	18,90	NV2 50-50		
	S67	1,33	34,61	18,90	NV2 50-50		
	S68	1,33	34,61	18,90	NV2 50-50		
	S69	1,33	39,09	18,90	NV2 50-50		
	S70	1,29	33,88	18,50	NV2 50-50		
	S71	1,29	33,15	18,10	NV2 50-50		
	S72	1,29	33,15	18,10	NV2 50-50		
	S73	1,29	33,15	18,10	NV2 50-50		
	S74	1,29	33,15	18,10	NV2 50-50		
	S75	1,29	33,15	18,10	NV2 50-50		
	S76	1,29	33,15	18,10	NV2 50-50		
	S77	1,29	33,15	18,10	NA3X 4000	966,42	327,79
Canton 7	S78	1,29	33,15	18,10	NV2 50-50		
	S79	1,39	26,45	18,05	NA3X 1600		
	S80	1,41	33,35	18,21	NV2 50-50		
	S81	1,41	33,72	18,41	NV2 50-50		
	S82	1,41	33,72	18,41	NV2 50-50		
	S83	1,41	33,72	18,41	NV2 50-50		
	S84	0,89	18,33	15,02	NA3X 1600		
	S85	1,36	32,49	15,54	NA2X 4000	966,42	327,69
	S86	0,84	18,39	15,14	NA2X 4000	966,42	325,29
	S87	0,96	21,62	11,81	NV2 50-50		

	S88	0,97	18,58	12,91	NA2X 4000	966,42	325,33
	S89	0,70	25,35	10,83	NA2X 4000	966,42	325,33
	S90	0,82	13,83	7,55	NA3X 4000	966,42	324,53

ANNEXE 11 : Pente et signe de la portance

CANTONS	Supports	Dénivelé	Portée	Pente=h/a (%)	Signe de la portance(%)	Retournement de chaîne (Portance \geq -3%)
Canton 1	EXI	300,32	0,00			
	S1	300,39	82,53	0,08%	0,00%	
	S2	300,46	82,53	0,08%	-3,15%	Retournement
	S3	303,13	82,55	3,23%	1,98%	
	S4	302,47	52,58	1,26%	0,62%	
	S5	303,18	111,07	0,64%	-0,05%	
	S6	303,95	111,07	0,69%	0,02%	
	S7	303,2	111,07	0,68%	0,52%	
	S8	303,37	111,07	0,15%	-0,27%	
	S9	302,9	111,07	0,42%	-0,04%	
	S10	302,39	111,07	0,46%	0,23%	
	S11	302,14	111,07	0,23%	-0,42%	
	S12	302,86	111,07	0,65%	-0,50%	
Canton 2	S13	301,58	111,00	1,15%	0,26%	
	S14	301,82	26,97	0,89%	0,56%	
	S15	302,26	131,82	0,33%	-7,34%	Retournement
	S16	300,93	17,32	7,68%	7,28%	
	S17	301,38	111,75	0,40%	-2,00%	
	S18	298,27	129,32	2,40%	-0,47%	
	S19	294,55	129,32	2,88%	-0,25%	
S20	290,51	129,32	3,12%	0,82%		
S21	287,53	129,32	2,30%	-0,48%		

	S22	283,93	129,20	2,79%	0,56%	
	S23	281,98	87,47	2,23%	-0,22%	
	S24	279,84	87,47	2,45%	-0,02%	
	S25	277,68	87,48	2,47%	-0,39%	
	S26	274	128,77	2,86%	0,49%	
Canton 3	S27	270,95	128,77	2,37%	-0,10%	
	S28	267,77	128,72	2,47%	-0,35%	
	S29	264,14	128,80	2,82%	2,66%	
	S30	263,94	128,78	0,16%	0,11%	
	S31	263,99	121,20	0,04%	-1,64%	
	S32	266,03	121,20	1,68%	0,24%	
	S33	267,78	121,20	1,44%	0,19%	
	S34	269,3	121,20	1,25%	-0,05%	
	S35	270,88	121,20	1,30%	0,04%	
	S36	272,41	121,20	1,26%	0,04%	
	S37	273,89	121,20	1,22%	-0,59%	
	S38	276,09	121,24	1,81%	0,60%	
	S39	277,29	98,53	1,22%	-0,21%	
Canton 4	S40	278,7	98,53	1,43%	-0,41%	
	S41	280,51	98,53	1,84%	-0,10%	
	S42	282,84	120,40	1,94%	-0,24%	
	S43	285,46	120,40	2,18%	-0,61%	
	S44	288,81	120,35	2,78%	1,16%	
	S45	290,38	96,89	1,62%	0,43%	
	S46	291,92	129,25	1,19%	0,14%	
	S47	293,26	127,26	1,05%	-0,24%	
	S48	294,9	126,80	1,29%	0,68%	
	S49	295,68	126,80	0,62%	-0,09%	
	S50	296,58	126,80	0,71%	-1,59%	
	S51	293,66	126,80	2,30%	0,82%	
Canton 5	S52	291,78	126,79	1,48%	-1,74%	

	S53	287,89	120,60	3,23%	0,95%	
	S54	285,14	120,60	2,28%	-0,07%	
	S55	282,31	120,60	2,35%	-0,58%	
	S56	278,78	120,60	2,93%	0,53%	
	S57	275,81	123,94	2,40%	0,24%	
	S58	273,19	121,23	2,16%	-0,14%	
	S59	270,40	121,23	2,30%	0,34%	
	S60	272,78	121,23	1,96%	-0,02%	
	S61	275,18	121,23	1,98%	0,23%	
	S62	277,3	121,23	1,75%	0,05%	
	S63	279,36	121,26	1,70%	-0,18%	
	S64	281,77	128,18	1,88%	0,00%	
Canton 6	S65	284,18	128,18	1,88%	-0,47%	
	S66	287,19	128,18	2,35%	0,77%	
	S67	289,21	128,18	1,58%	0,88%	
	S68	290,10	128,18	0,69%	-0,16%	
	S69	291,19	128,18	0,85%	0,66%	
	S70	290,96	122,77	0,19%	0,01%	
	S71	291,18	122,77	0,18%	-0,07%	
	S72	290,88	122,77	0,24%	-2,59%	
	S73	287,4	122,77	2,83%	1,09%	
	S74	285,26	122,77	1,74%	1,12%	
	S75	286,03	122,77	0,63%	-2,56%	
	S76	289,94	122,77	3,18%	0,42%	
	S77	293,34	122,77	2,77%	0,32%	
Canton 7	S78	296,35	122,77	2,45%	2,17%	
	S79	296,69	122,14	0,28%	-2,22%	
	S80	293,57	124,90	2,50%	-0,95%	
	S81	289,26	124,90	3,45%	0,99%	
	S82	286,19	124,90	2,46%	2,43%	
	S83	286,22	124,85	0,02%	-1,05%	

S84	287,07	78,87	1,08%	-0,76%	
S85	284,64	131,97	1,84%	-2,16%	
S86	281,70	73,41	4,00%	-1,02%	
S87	277,34	86,77	5,02%	0,32%	
S88	273,18	88,44	4,70%	-3,81%	Retournement
S89	268,2	58,47	8,52%	4,63%	
S90	266,49	44,01	3,89%	3,89%	

ANNEXE 12 : Choix des supports et armements avec le logiciel CAMELIA

CANTONS	Nom de supports	Fonction	Choix Logiciel Camelia	
			Choix des supports	Choix des armements
Canton 1	EXI	AS		
	S1	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S2	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S3	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S4	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S5	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S6	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S7	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S8	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S9	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S10	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S11	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S12	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
Canton 2	S13	AD	12 HEB 180 J	NA3Y 3150
	S14	DA	12 HEA 160	NA3Y 3150
	S15	SF	12 HEA 160	NV5 60-70
	S16	SF	12 HEA 160	NA3Y 3150
	S17	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S18	SF	12 HEA 160	NV5 60-60

	S19	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S20	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S21	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S22	SF	12 HEA 160	NV5 60-70
	S23	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S24	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S25	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S26	AD	12 HEB 180 J	NA3Y 3150
Canton 3	S27	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S28	SF	12 HEA 160	NV5 60-70
	S29	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S30	SF	12 HEA 160	NV5 60-70
	S31	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S32	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S33	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S34	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S35	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S36	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S37	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S38	SF	12 HEA 160	NV5 60-70
	S39	AD	12 HEB 180 J	NA3Y 3150
Canton 4	S40	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S41	DA	12 HEA 180	NA3Y 3150
	S42	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S43	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S44	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S45	DA	12 HEA 160 J	NA3Y 3150
	S46	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S47	SF	12 HEA 160	NV5 60-70
	S48	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S49	SF	12 HEA 160	NV5 60-60

	S50	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S51	AD	12 HEB 180 J	NA3Y 3150
Canton 5	S52	DA	12 HEA 180	NA3Y 3150
	S53	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S54	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S55	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S56	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S57	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S58	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S59	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S60	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S61	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S62	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S63	DA	12 HEA 160	NA3Y 3150
	S64	AD	12 HEB 180 J	NA3Y 3150
	Canton 6	S65	SF	12 HEA 160
S66		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S67		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S68		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S69		DA	12 HEB 160	NA3Y 3150
S70		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S71		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S72		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S73		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S74		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S75		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S76		SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S77		AD	12 HEB 180 J	NA3Y 3150
Canton 7	S78	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S79	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
	S80	SF	12 HEA 160	NV5 60-60

S81	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S82	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S83	DA	12 HEA 160	NA3Y 3150
S84	SF	12 HEA 160	NV5 60-70
S85	DA	12 HEB 220 P	NA4Y 4000
S86	DA	12 HEB 220	NA3Y 3150
S87	SF	12 HEA 160	NV5 60-60
S88	DA	12 HEA 160 J	NA3Y 3150
S89	DA	12 HEA 160 J	NA3Y 3150
S90	AD	12 HEA 180 J	NA3Y 3150