



ETUDE DE LA CONSTRUCTION D'UNE LIGNE ELECTRIQUE HAUTE TENSION 90kV PA-WONA

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
SPECIALITE : GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE

Ingénieur 2IE

Présenté et soutenu publiquement le par

Vanilli Sandra TEFEGUIM

Travaux dirigés par : Mr. Patrice DANGANG
Mr. Erick ACHI

Jury devaluation du stage:

Président: Mr. Ahmed BAGRE

Membres et correcteurs : Mr. Justin BASSOLE
Mr. Patrice DANGANG

Promotion [2013/2014]

« Le métier de lignard est un métier fabuleux, mais l'expérience m'oblige à penser que tous les métiers sont beaux et méritent d'être vécus à condition de les aimer »

Michel Bougue

Dédicaces

Je dédie cette œuvre à :

- *Ma chère mère pour tout l'amour et le soutien qu'elle m'a offert, pour ses conseils inestimables ; je tiens à lui signifier que ce mémoire est sien qu'il est le fruit de ses incommensurables sacrifices ;*
- *A l'homme qui est et restera un modèle de vie pour moi, celui-là que j'admire profondément et qui m'a motivé même par son silence à me dépasser ; « Mon cher Papa je porte ma croix et je te remercie d'avoir su créer les bonnes conditions pour que je puisse le faire » ;*
- *A mes frères et sœurs ceux-là qui m'ont fait sourire au pire moment et qui ont toujours cru en moi. Vous êtes ma raison de continuer le combat quand tout semble s'écrouler, je vous aime très fort ;*
- *A ma famille pour l'amour et le soutien inépuisable dont j'ai bénéficié ;*
- *A toutes mes connaissances qui ont partagé ce rêve avec moi et qui n'ont jamais ménagé d'effort pour m'aider à atteindre mes objectifs.*

Remerciements

J'adresse mes remerciements à :

- *L'éternel Dieu tout puissant: Je reconnais Seigneur que tu peux tout et que rien ne t'est impossible, Seigneur continue de me faire voir ta gloire et que ton nom soit glorifié pour les siècles sans fin ;*
- *L'Organisme allemand DAAD, pour cette bourse d'études qui a pris en charge mon cycle de Master et a permis que ce rêve soit possible ;*
- *La société INEO Burkina, pour l'accueil qui m'a été offert, pour l'intégration facile et rapide et pour tous ces conseils que j'y ai reçus ;*
- *A Mr Patrice Dangang, pour l'encadrement de qualité dont j'ai bénéficié ;*
- *A Mr Christian AKA pour son tutorat professionnel ;*
- *A Mr Erick ACHI, pour ses leçons de vie et ses remarques constructives ;*
- *A un particulier, pour le temps et l'estime qui m'ont été accordé merci MMA de m'avoir appris à repousser mes limites ;*
- *A mes amis, aux frères et sœurs de cœur pour votre présence et votre soutien ;*
- *A mes camarades de classe, à mes camarades choristes pour tous ces bons moments partagés ensemble qui ont pimenté mon cycle de Master et m'ont aidé à aller de l'avant;*
- *A tous ceux et toutes celles qui sont intervenus de près ou de loin pour la réalisation de ce projet.*

RESUME

Ce mémoire de fin d'étude de Master en Energie, option Génie Electrique fait l'objet d'un stage effectué dans l'entreprise INEO BURKINA et porte sur le thème : «CONSTRUCTION DE LA LIGNE 90 kV PA – WONA ». Dans un premier temps, une définition des principaux composants d'un réseau électrique de transport Haute Tension de catégorie B, ainsi que les différents organes de protection présents au niveau de notre ligne. Ensuite, suivra l'étude technico – économique qui fera intervenir des calculs analytiques, des logiciels tels que : PLS CADD et PLS TOWER et l'utilisation des Normes en vigueur dans le domaine. Pour terminer on dressera le planning optimal pour la réalisation projet en priorisant la sécurité sur le chantier, le travail suivant les normes, la gestion optimale des ressources et le respect des délais.

Mots clés : Réseau aérien Haute Tension catégorie B (HTB), Dimensionnement ligne de 90 kV, efforts au niveau des pylônes, répartition sur le profil en long, carnet de piquetage.

ABSTRACT

This dissertation study of Master degree in Energy-option Electrical Engineering is the object of an internship carried out in company INEO BURKINA and relates to the topic: 'Design of a high Voltage line 90 000 Volts from PA to WONA'. Initially, we will make a definition of the main components of a High voltage line and a description of various protective equipment found on. Then come the technical and economic analysis which will be done by using of analytical methods, Standards and software as: PLS CADD and PLS TOWER. To finish we will draw up an optimal planning for the project realization while taking as priority: the security on the worksite, work in accordance with standards, the optimal management of the resources and the respect of the deadlines.

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements.....	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iii
Table des matières	iv
INTRODUCTION	1
Chapitre I : PRESENTATION DU PROJET ET DE L'ENTRPRISE	2
I. Présentation Entreprise	2
1.1 Le Groupe GDF SUEZ.....	2
1.2 La société COFELY INEO	3
1.2.1 Les filiales et succursales	3
1.2.2 Présentation de la structure d'accueil : INEO Burkina	3
II. Contexte du projet	4
2.1 Justification du projet et situation géographique.....	4
2.1.1 Justification du projet.....	4
2.1.2 Situation géographique	4
2.1.3 Construction de la ligne de 90 kV.....	5
2.2 Description des travaux annexes dans le cadre du projet d'interconnexion	5
2.2.1 Travaux au Poste de Pâ :.....	6
2.2.2 Construction du poste HT de WONA sur le site de la mine.....	6
Chapitre 2: PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UN RESEAU ELECTRIQUE AERIEN HAUTE TENSION CATEGORIE B	8
I. Les conducteurs.....	8
II. Le Câble de garde	9
III. Les isolateurs	12
IV. Les pylônes.....	13
4.1 Classification des pylônes	14
4.2 Les différentes parties d'un pylône.....	16
V. Les fondations.....	16

VI. Accessoires pour lignes	17
6.1 Dispositifs amortisseurs de vibration éolienne au câble	17
6.2 Dispositifs de balisage	19
6.3 Dispositifs de liaison	19
Chapitre 3 : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DE LA LIGNE AERIENNE DE 90 kV DE PA- WONA	20
I. Quelques notions dans le dimensionnement des lignes hautes tension	20
1.1 Principales définitions géométriques	20
1.2 Les hypothèses météorologiques de bases	21
II. Etude électrique	22
2.1 Méthodologie de dimensionnement	22
2.1.1 Dimensionnement du câble	22
2.1.2 Dimensionnement des isolateurs	22
2.1.3 Organes de protection de la ligne.....	23
2.2 Applications de la méthodologie et Résultats.....	23
2.2.1 Dimensionnement du câble	23
2.2.2 Dimensionnement des isolateurs.....	26
2.2.3 Organes de protection	27
III. ETUDE MECANIQUE	28
3.1 Dimensionnement géométrique.....	28
3.1.1 Distances par rapport au sol	28
3.1.2 Distances entre câbles	28
3.2 Etude des charges présentes sur un support (pylône métallique).....	30
3.2.1 Efforts concernant la structure métallique	30
3.2.2 Efforts des éléments extérieurs aux pylônes	30
3.3 Dimensionnement des supports et Répartition sur le tracé de la ligne	33
3.3.1 Dimensionnement des supports (pylônes)	33
3.3.2 Répartition des pylônes	33
IV. ETUDE ECONOMIQUE	34
4.1 IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION DU MATERIEL	34
4.2 OFFRE FINANCIERE	35
Chapitre 4 : ORGANISATION DES TRAVAUX DE CHANTIER	38

I.	Définition et Ordonnancement des tâches à exécuter.....	38
1.1	Construction d'accès	38
1.2	Mise en place d'un dépôt	38
1.3	Délimitation du couloir de la ligne.....	38
1.4	Reprise d'alignement / Implantation	39
1.5	Travaux de Génie civil : les fondations	39
1.6	Travaux d'assemblage (serrage, matage).....	39
1.7	Déroulage du câble	39
1.8	Révision générale.....	40
1.9	Essai de ligne.....	40
II.	Planning d'exécution des travaux	40
	CONCLUSION	41
	BIBLIOGRAPHIE	42
	LISTES DES ANNEXES	43
	ANNEXES N°1	43
	ANNEXES N°2 : Planning d'exécution des travaux.....	43
	ANNEXES N°3 : Fiches de calcul	43

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Projets de ligne Haute Tension réalisés par les filiales INEO Afrique sur les cinq dernières années</i>	3
<i>Tableau 2 : Propriétés des matériaux conducteurs les plus utilisés</i>	8
<i>Tableau 3 : Caractéristiques des différents alliages en aluminium</i>	9
<i>Tableau 4 : Caractéristiques des câbles de garde les plus utilisés</i>	11
<i>Tableau 5 : Différents types de pylônes en fonction de leur rôle sur le tracé</i>	15
<i>Tableau 6 : Types de fondation en fonction des caractéristiques du sol</i>	16
<i>Tableau 7 : Définition des hypothèses</i>	22
<i>Tableau 8 : Section de câbles en fonction du niveau de tension et de la zone de givre</i>	23
<i>Tableau 9 : Caractéristiques électriques du câble Aster 228</i>	24
<i>Tableau 10 : Association Conducteurs – Câble de garde</i>	26
<i>Tableau 11 : Avantages et Inconvénients des différents matériaux d'isolateurs</i>	26
<i>Tableau 12 : Distance de sécurité des câbles par rapport à l'environnement</i>	28
<i>Tableau 13 : Formules des distances d'écart à respecter</i>	28
<i>Tableau 14 : Valeurs des tensions en fonction des hypothèses</i>	29
<i>Tableau 15 : Distances d'écart à respecter entre les différents conducteurs</i>	30
<i>Tableau 16 : Pression de vent en fonction des différentes hypothèses</i>	31
<i>Tableau 17 : Efforts transversaux, verticaux et longitudinaux pylône T , A, WAE</i>	32
<i>Tableau 18 : Subdivision du tracé en tronçons et estimation de la quantité de supports</i>	35
<i>Tableau 19 : Prix et Quantité des matériels et pièces</i>	36
<i>Tableau 20 : Coût total du projet</i>	37
<i>Tableau 21 : Tension de contournement en fonction de la zone de pollution</i>	43
<i>Tableau 22 : Niveau de tension usuels et tension maximale en fonction de la Tension nominale de tenue aux chocs de foudre</i>	43

Listes des figures

<i>Figure 1 : Chiffre d'affaires des différentes branches du Groupe GDF Suez en 2012</i>	2
<i>Figure 2 : Localisation de la zone de projet et tracé de la ligne de 90 kV</i>	5
<i>Figure 3 : Câble en cuivre nu, Conducteur en aluminium</i>	9
<i>Figure 4 : Schéma d'une chaîne d'ancrage simple, d'une chaîne de suspension simple, chaîne d'isolateurs en verre, chaîne d'isolateurs composite.</i>	13
<i>Figure 5 : Pylône d'alignement en treillis et pylône d'ancrage en treillis</i>	14
<i>Figure 6 : Pylône tubulaire d'alignement</i>	14
<i>Figure 7 : Différentes formes de pylônes en fonction des consoles</i>	15
<i>Figure 8 : Extrait du tracé d'une ligne¹</i>	15
<i>Figure 9 : Différentes parties d'un pylône</i>	16
<i>Figure 10 : Fondation à redans, fondation bétonnée contre paroi, fondation à coffrage</i>	17
<i>Figure 11 : Image d'un Stockbridge</i>	18
<i>Figure 12 : Entretoises vibratoires</i>	18
<i>Figure 13 : balises diurnes et balises lumineuses</i>	19
<i>Figure 14 : Manchon de jonction</i>	19
<i>Figure 15 : Schéma représentant les différentes grandeurs géométriques sur une ligne</i>	21
<i>Figure 16 : Schéma illustrant les différents types de portée</i>	21

INTRODUCTION

Les besoins énergétiques mondiaux ont connu une croissance considérable ces dix dernières années ; cette croissance est remarquable chez le plus petit consommateur et est encore plus sensible au niveau des industries et des grandes entreprises. La Société d'Exploitation Minière du Faso (SEMAFO) étant en pleine croissance a besoin pour le développement de ses activités d'augmenter sa consommation électrique. L'interconnexion Pa – Mana est la solution proposée par la SONABEL (Société Nationale d'Electricité du Burkina Faso) afin de satisfaire les besoins de son client. C'est donc dans ce contexte que s'inscrit notre de mémoire de fin d'études qui est axé sur le projet de Construction de la ligne de 90 kV Pâ-Wona.

L'objectif de ce stage est de pouvoir maîtriser toutes les composantes d'un réseau électrique aérien à conducteurs nus en HTB, être capable de mener des études optimales de ce réseau tant sur la plan électrique que mécanique. Il est aussi question d'acquérir une expérience sur un chantier de construction de ligne HTB, de comprendre et d'optimiser la gestion des ressources matérielles et humaines.

Chapitre I : PRESENTATION DU PROJET ET DE L'ENTRPRISE

I. Présentation Entreprise

1.1 Le Groupe GDF SUEZ

Le groupe GDF Suez est l'un des premiers groupes en énergie au niveau mondial, avec plus de 210 000 collaborateurs à travers le monde, il génère en 2012 un chiffre d'affaires de 97 milliards d'euros. En 2013, GDF Suez représentait une capacité installée de 116 GW de production électrique. Il est composé de branches détaillées dans le diagramme ci-dessous. Chacune des filiales est spécialisée dans un métier et/ou une zone géographique. Les métiers s'étendent de l'exploration et de l'exploitation de gisements de gaz, l'exploitation de centrales électriques à la distribution de l'électricité au particulier.

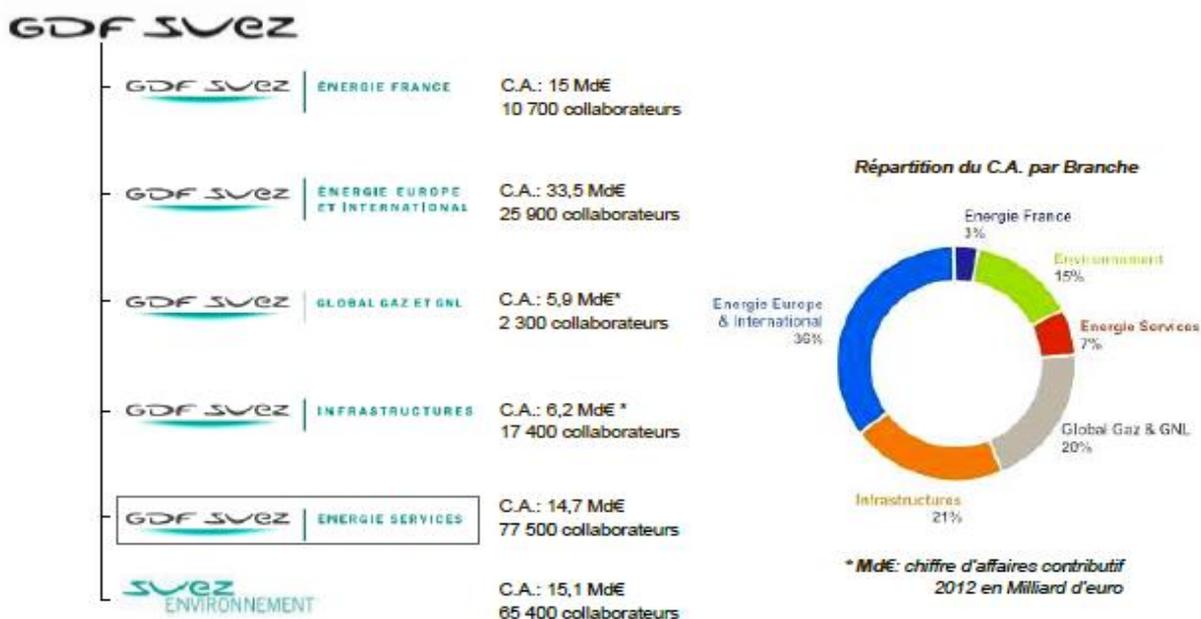


Figure 1 : Chiffre d'affaires des différentes branches du Groupe GDF Suez en 2012

Source : www.gdfsuez.com

Depuis 2008, la société INEO GDF Suez, en tant qu'installateur et intégrateur, fait partie de la branche GDF SUEZ Energie Service qui emploie 77 200 collaborateurs et qui a réalisé, en 2011, un chiffre d'affaires de 14.2 milliards d'euros.

La branche Energie Services est présente sur quatre marchés principaux :

- le tertiaire public : habitat collectif, bâtiments publics, hôpitaux, campus universitaires,
- le tertiaire privé : bureaux et centres d'affaires, centres commerciaux, résidentiel privé,
- l'industrie : pétrolière, papetière, chimie, production électrique, sidérurgie...

- les infrastructures : la branche effectue des travaux d'installation et de maintenance pour les réseaux électriques et gaziers, les ports et aéroports, les réseaux d'éclairage public

1.2 La société COFELY INEO

Né des expériences centenaires de GTMH (résultant de la fusion des sociétés Grand Travaux de Marseille et Herlicq), l'Entreprise Industrielle, SEEE (Société d'Etudes et Entreprise Electrique) et Verger Delporte, le groupe INEO fut créé en 2001. Avec 15 000 collaborateurs et 300 implantations en France, INEO intervient sur des projets d'installations électriques industrielles et tertiaires, de réseaux d'énergie, d'éclairage public, d'infrastructures de transport et de télécommunications, de sécurité globale, de production d'énergie, de systèmes d'information et d'externalisation.

1.2.1 Les filiales et succursales

Créée en 2002, l'entité INEO Energie Export (INEO EE) est une société du groupe INEO spécialiste du groupe dans les services liés à l'énergie à l'international avec un large portfolio de savoir-faire et une expérience confirmée dans les domaines de la production, la transformation, le transport et la distribution d'énergie. L'agence est représentée à l'étranger par ses filiales locales :

- ✚ En Asie centrale (INEO Kirghizstan, Kazakhstan, Tadjikistan, Ouzbékistan) ;
- ✚ En Afrique (GTMH Mali, COFELY INEO EE Benin, COFELY INEO Burkina Faso, INEO Alger).

Les projets suivants ont été réalisés par les filiales d'INEO en Afrique durant les cinq dernières années :

Tableau 1 : Projets de ligne Haute Tension réalisés par les filiales INEO Afrique sur les cinq dernières années

Année	Distance (km)	Niveau de Tension en kV	Pays concernés
2009	334	225	BURKINA FASO (Bobo Dioulasso-Ouagadougou)
2010	154	400	Algérie
2011	132	63	MALI (Segou-Markala-Niono)
2012	50	90	SENEGAL(Bakel) -MAURITANIE(Selibaby)
2013	16	90	Burkina Faso (Ouahigouya- Komsilga)

1.2.2 Présentation de la structure d'accueil : INEO Burkina

La structure d'accueil est installée au Burkina depuis 2006 en tant que succursale d'INEO Energie Export. En 2012 elle devient filiale et prend le nom d'INEO Burkina. Elle est spécialisée dans la conception et la réalisation de lignes électriques Basse Tension(BT), Moyenne Tension(HTA) et Haute Tension (HTB), de poste de transformation HTA/HTB et de centrale de production.

II. Contexte du projet

Initier, conduire un projet tel que la construction d'une ligne électrique en général demande de bonnes raisons et nécessite la participation de plus d'une seule structure. A la suite de ces mots nous vous présenterons la raison d'être de ce projet et la zone géographique qui sera affectée ; les activités liées au dit projet et les différents intervenants.

2.1 Justification du projet et situation géographique

2.1.1 Justification du projet

La mine d'or de Mana est située entre Pâ et Dédougou, à environ 60 km de Pâ dans la commune rurale de Mana dans la Région de la Boucle du Mouhoun. Elle est exploitée par la Société d'Exploitation Minière du Faso (SEMAFO) dont la demande en énergie électrique est très importante. Afin de répondre à ce besoin énergétique la SEMAFO a sollicité l'appui de la SONABEL (Société Nationale d'Electricité du Burkina) qui a opté pour l'interconnexion Pâ – Mana d'une puissance 90 kV.

2.1.2 Situation géographique

La mine d'or de Mana est située entre Pâ et Dédougou, à environ 60 km de Pâ dans la commune rurale de Mana, Province des Bâle, Région de la Boucle du Mouhoun, au Burkina Faso. Le projet d'interconnexion Pâ - Mana concerne deux provinces à savoir les Bâle et le Mouhoun et comprend quatre communes : Pâ, Boni, Bagassi et Bâna. La zone du projet est comprise entre 03°15'30'' et 03°25'39'' de longitude Ouest et entre 11°32'22'' et 11°59'43'' de latitude Nord. La figure ci – après indique la situation géographique de cette ligne par rapport au pays et aux communes traversées.

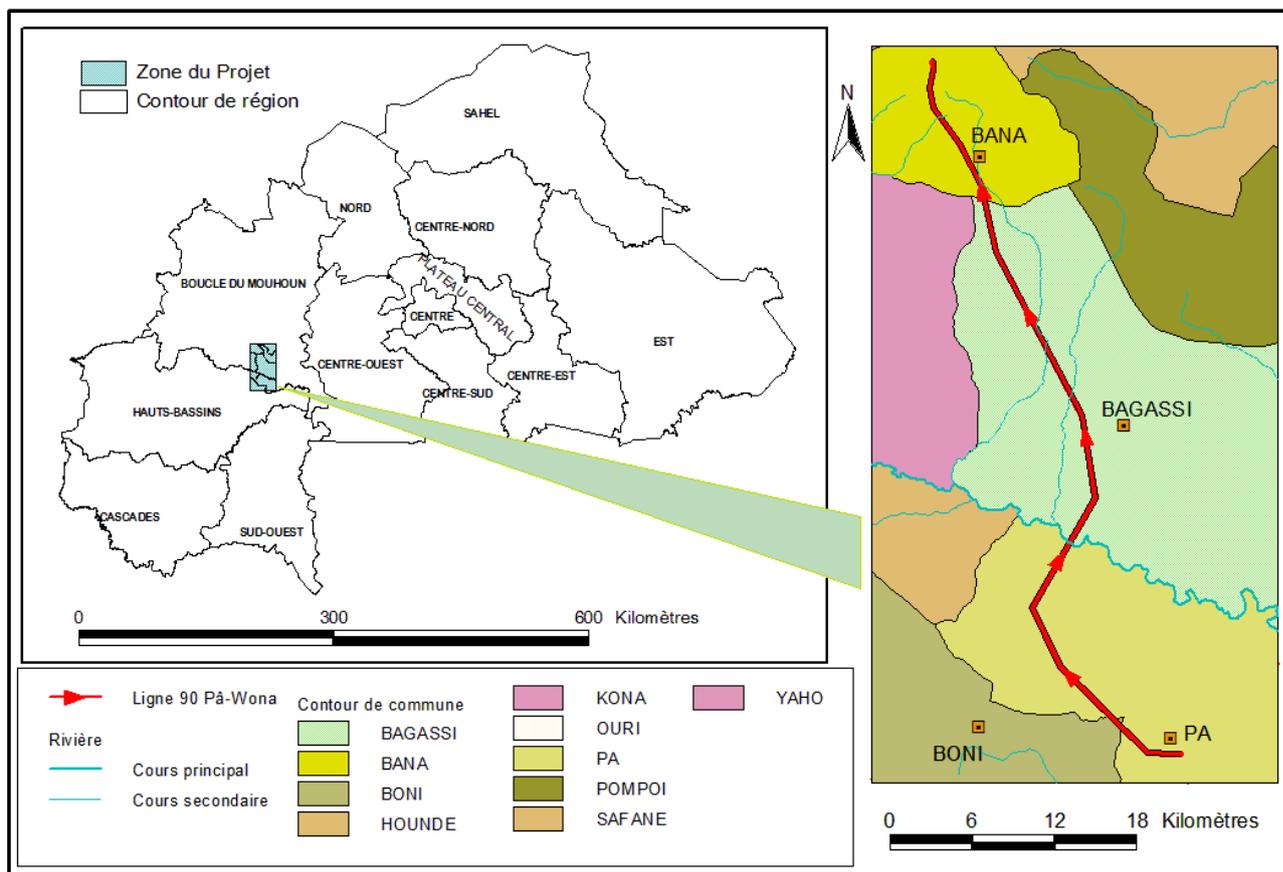


Figure 2 : Localisation de la zone de projet et tracé de la ligne de 90 kV

2.1.3 Construction de la ligne de 90 kV

Le projet de construction de la ligne 90 kV Pâ – Wona fait partie du projet d’interconnexion Pâ-Mana confié à la charge de l’entreprise INEO BURKINA. Il a pour mission de concevoir, dimensionner, mettre en place les différents éléments qui permettront le passage du courant électrique du poste de Pâ à celui de Wona. Les informations que nous avons sur cette ligne sont :

- Un tracé préliminaire de la ligne a été fait par les autorités compétentes et nous indique 14 points d’angle sur une distance d’environ 60 km.

Elle sera équipée d’un câble de garde à fibres optiques (CGFO) pour faciliter la communication entre les différents postes.

2.2 Description des travaux annexes dans le cadre du projet d’interconnexion

Cette interconnexion devant permettre un développement optimal des activités de la mine, comprend les travaux suivants :

2.2.1 Travaux au Poste de Pâ :

Poste intermédiaire de la ligne 225 kV Bobo – Ouaga, le poste de Pâ est situé à environ 224 km de Ouagadougou, sur l'axe Ouaga - Bobo. Au niveau du poste on retrouve actuellement les niveaux de tension suivants : 225kV et 33kV. Il comprend également un jeu de barres associé au 225 kV et un jeu de barres est associé au 33 kV.

Les travaux d'extension liés au présent projet permettront de réaliser la liaison électrique entre le poste de Pâ et celui de Wona pour la mine. Ces travaux consistent à :

- Faire l'extension du jeu de barres 225 kV et Construire un jeu de barres 90 kV
- Construire et équiper une travée pour transformateur 225/90 kV ;
- Fournir et installer un transformateur 225/90 kV 30/40 MVA ONAN/ONAF.

2.2.2 Construction du poste HT de WONA sur le site de la mine

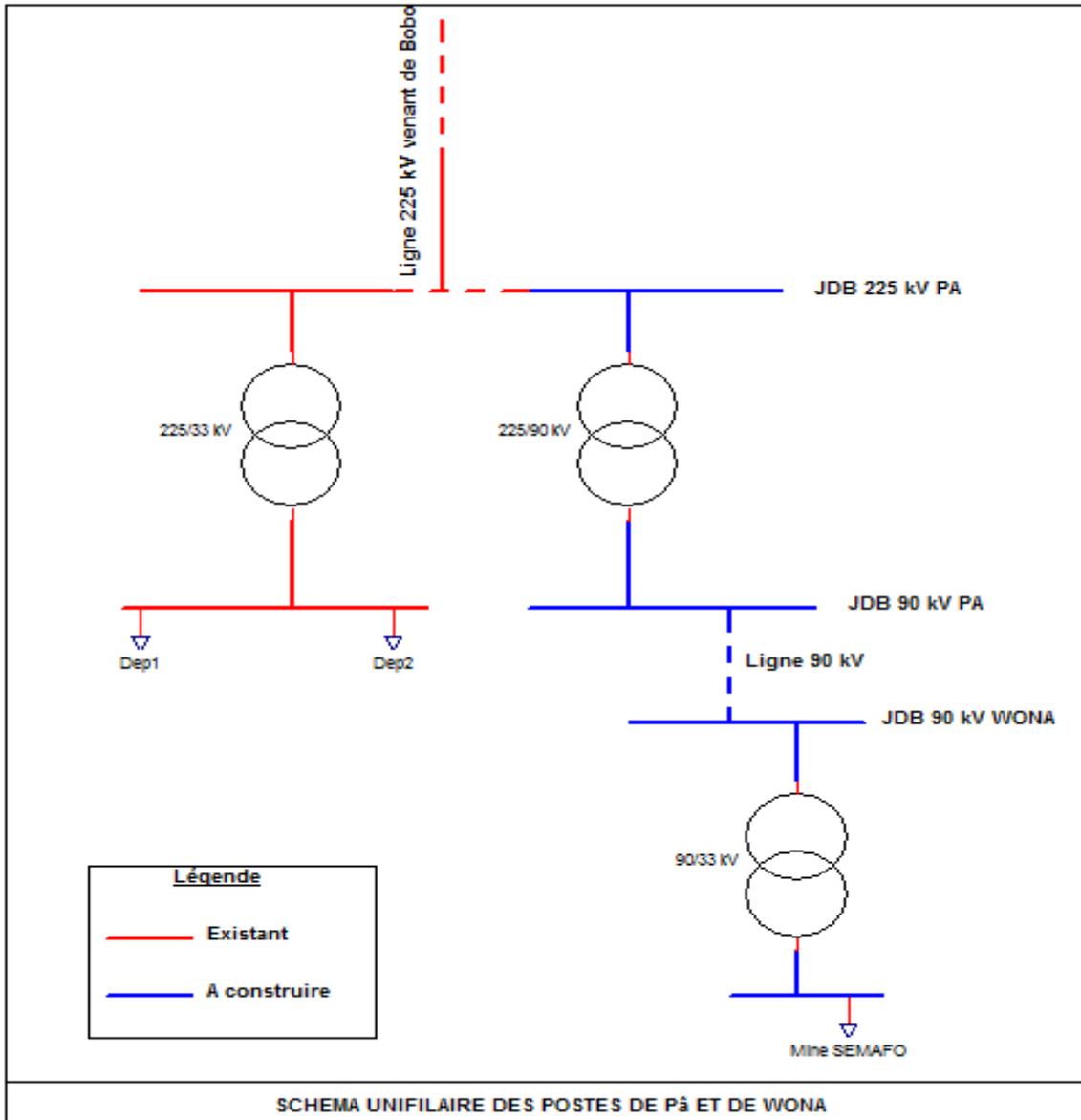
Le poste de Wona qui sera construit à 400 m environ à l'ouest de l'entrée principale de la mine est destiné, d'une part, à alimenter la mine d'or de Mana en 33 kV :

- Soit à partir du réseau SONABEL à travers la ligne 90 kV,
- la création de départs 33 kV en vue de l'électrification d'autres localités de la région.

Le poste extérieur HT de Wona comprendra :

- un jeu de barres 90 kV ;
- une travée transformateur 90 kV ;
- un transformateur 90/33 kV de puissance unitaire 30/40 MVA

Le schéma ci-dessous illustre bien l'état actuel et futur des différents postes du projet.



Chapitre 2: PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UN RESEAU ELECTRIQUE AERIEN HAUTE TENSION CATEGORIE B

L'énergie électrique se stocke difficilement, elle doit être disponible à tout instant. Depuis les sources de production jusqu'aux zones de consommation, elle emprunte un réseau de lignes aériennes et souterraines, divisé comme suit :

- Les lignes Haute Tension de catégorie B « HTB » (pour des tensions supérieures à 50 000 Volts) qui constituent le **réseau de transport**,
- Les lignes Haute Tension de catégorie A « HTA » (pour des tensions comprises entre 1 000 et 50 000 Volts) et les lignes Basse Tension « BT » (Pour des tension inférieures à 1000 Volts) qui forment le **réseau de distribution**.

Les différents éléments qui font l'objet de ce chapitre font partie intégrante de la ligne et leur choix doit être judicieux car ils ont une grande influence sur la réalisation des travaux, sur les coûts de construction et d'entretien de ligne, ainsi que sur la fiabilité la longévité de la ligne.

I. Les conducteurs

Les conducteurs ont pour rôle de véhiculer l'énergie électrique ; ils peuvent être aériens ou souterrains (et parfois sous-marins). Les conducteurs aériens sont soumis à l'action des facteurs atmosphériques : température, vent, pluie, verglas... et doivent par conséquent être choisis de façon à résister à toutes ces intempéries. De nos jours les matériaux les plus utilisés dans la production des câbles sont : l'aluminium, le cuivre, l'acier ; le tableau ci-dessous nous présente leurs différentes caractéristiques.

Tableau 2 : Propriétés des matériaux conducteurs les plus utilisés

Propriétés	Cuivre	Aluminium	Acier
Résistivité à 20°C ($10^{-8} \Omega.m$)	1,72	2,8	~15
Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	8 890	2 700	7 800
Contrainte de Rupture à la traction (Mpa)	380 à 450	150 à 190	1410 à 1450

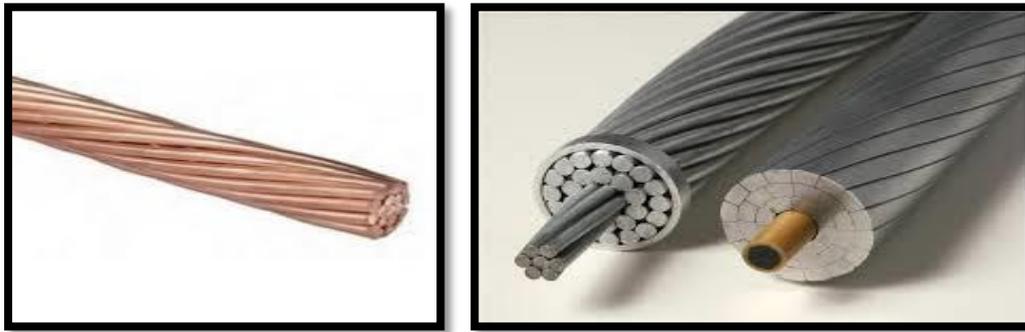


Figure 3 : Câble en cuivre nu, Conducteur en aluminium

Le cuivre est le conducteur car il a une faible résistivité et il peut aussi tenir lors des chocs auxquels sont soumis les câbles ; Par contre il est difficilement manipulable. Aluminium devient ainsi le 2^e meilleur matériau pour les câbles dans le domaine des lignes électriques mais sa contrainte de rupture reste trop faible. Afin d'augmenter sa dureté et sa résistance mécanique l'aluminium a été traité et associé à d'autres métaux et les matériaux qui en sont ressortis sont: l'aluminium écroui dur, Aluminium recuit et les alliages (Aluminium-Acier, Almélec). Les caractéristiques de ces matériaux seront présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau 3 : Caractéristiques des différents alliages en aluminium

Matériaux	Résistivité à 20°C (10^{-8} Ω.m)	Contrainte de Rupture à la traction (Mpa)	Température maximale permanente (°C)
Aluminium écroui dur	2,825	160 à 180	75
Almélec	3,26	315 à 325	75
Aluminium recuit	2,92	59 à 97	250

Source : Traité de l'ingénieur «Doc D 4 422 » (André CHANAL et Jean-Pierre LEVEQUE, 2000)

L'almélec qui est un alliage d'aluminium de silicium et de cuivre présente des propriétés générales proches de celui du cuivre c'est pour cela qu'il est aujourd'hui le matériau le plus utilisé pour la construction des lignes. Dans le cadre de notre étude nous choisirons donc d'opter pour un câble en almélec et par la suite nous achèverons le dimensionnement du dit câble.

II. Le Câble de garde

Au plus haut de la ligne est disposé un câble appelé câble de garde, dont le rôle est de protéger des coups de foudre afin d'éviter une éventuelle surtension au niveau des conducteurs. Le plus

souvent leur choix dépend de la nature et du choix des conducteurs mais, l'on peut aussi noter que leur dimensionnement est plus délicat que celui des conducteurs car :

- Sur le plan mécanique, ils doivent résister aux mêmes contraintes que les autres conducteurs pourtant ils sont de section plus faible.

- Sur le plan électrique, ils doivent assurer un écoulement rapide du courant du sommet du pylône jusqu'à la terre des supports par le biais des pylônes ou des masses métalliques et comme tous les autres conducteurs ils doivent être capables de résister à des surcharges.

Il existe deux types de câble de garde:

- des câbles alu-acier normaux ;
- des câbles alu-acier comportant à l'intérieur des circuits de télécommunication.

Equipés de fibres optiques, ils permettent de transmettre les informations nécessaires pour la protection, la conduite et l'exploitation du réseau ; on parle alors d'OPGW (Optical GroundWire). C'est aussi un moyen d'offrir des solutions haut débit pour les collectivités territoriales

Le tableau ci-dessous présente les différents matériaux utilisés pour les câbles de garde en fonction de leur caractéristique

Tableau 4 : Caractéristiques des câbles de garde les plus utilisés

		Câbles à circuits de télécommunications intégrés			Câble à une couche d'almélec		Câble à 2 couches d'almélec	
Désignation		Thym 107	Thym 157,4	Thym 268	Phlox 116,2	Phlox 94,1	Pastel 228	Pastel 147,1
Diamètre du circuit de télécommunication (mm)		7,3	10	10				
Résistance linéique en continu à 20 °C (Ω/km)		0,53	0,33	0,246	0,59	0,642	0,18	0,279
Section	almélec (mm^2)	63	100,9	135,5	56,55	51,95	184,72	129,28
	acier (mm^2)	44	56,5	132	59,69	42,12	43,1	27,83
Composition	almélec (mm)	20 × 2,0	19 × 2,60	22 × 2,8	18x2	15x2,1	30x2,8	30x2,25
	acier (mm)	14 × 2,0	18 × 2,0	42 × 2,0	19x2	19x1,68	7x2,8	30x2,25
Diamètre extérieur (mm)		15,3	19,2	23,6	14	12,6	19,6	15,75
Masse linéique sans graisse (kg/m)		0,63	0,9	1,6	0,624	0,481	0,848	0,547
Charge de rupture assignée (daN)		8 500	11 500	23 600	10490	7795	12080	7910
Module d'élasticité(MPa)		112 000	103 000	120 000	124000	112000	84000	84000
Coefficient de dilatation linéaire (10 ⁻⁶ K ⁻¹)		15,5	15,8	14,5	14,2	14,5	18,1	18,1

Source : Techniques de l'Ingénieur (LEVEQUE & CHANAL, 2000)

III. Les isolateurs

La fixation et l'isolation entre les conducteurs et les pylônes sont assurées par des isolateurs, ils ont un rôle à la fois mécanique et électrique. Ceux-ci sont réalisés en verre, en céramique, ou en matériau synthétique. Les isolateurs en verre ou céramique ont en général la forme d'un empilement d'assiettes. Plus la tension de la ligne est élevée, plus le nombre d'assiettes est important. Les chaînes peuvent être simples (câbles légers en suspension), doubles droites (horizontales pour les câbles en amarrage et verticales pour les câbles lourds en suspension), doubles en V (câbles en suspension anti-balancement) voire triples (supportant plusieurs câbles).

III 1 Caractéristiques des isolateurs

Les grandeurs électriques les plus utiles pour définir une chaîne d'isolateurs ou un isolateur sont :

- ❖ la tension tenue spécifiée au choc à sec
- ❖ la tension tenue spécifiée à fréquence industrielle sous pluie
- ❖ en outre la tension tenue sous pollution est une valeur déterminante pour le choix de l'isolateur

Les grandeurs mécaniques pour définir le choix d'une chaîne d'isolateurs sont :

- ❖ La résistance mécanique à la traction
- ❖ La résistance mécanique à la flexion

a) Croquis détaillé de chaîne d'isolateurs simples et doubles

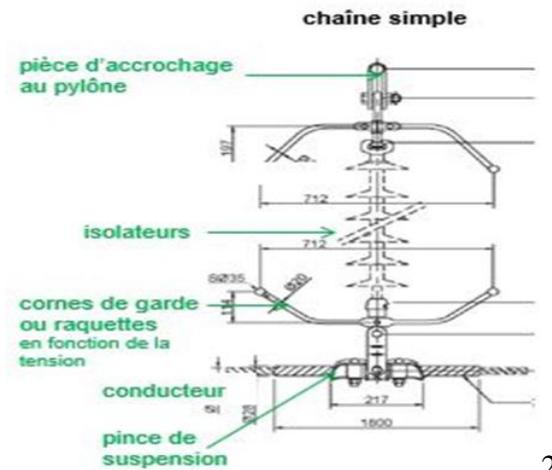
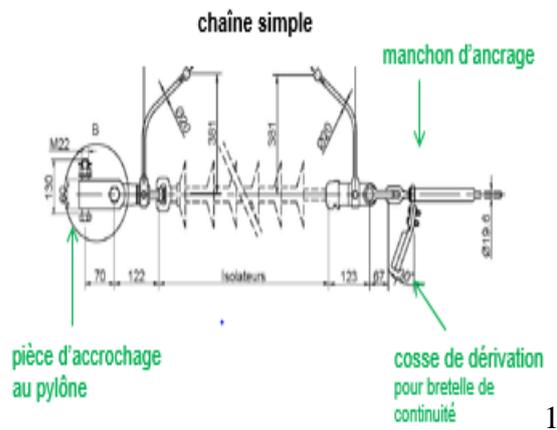


Figure 4 : Schéma d'une chaîne d'ancrage simple, d'une chaîne de suspension simple, chaîne d'isolateurs en verre, chaîne d'isolateurs composite.

IV. Les pylônes

Les pylônes ont pour fonction de maintenir les câbles à une distance minimale de sécurité du sol et des obstacles environnants, afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage des lignes. Leur forme, leur hauteur et leur robustesse, ou résistance mécanique, dépendent de leur environnement (conditions climatiques) et des contraintes mécaniques (terrain) auxquelles ils sont soumis. Leur silhouette est caractérisée par la disposition des câbles conducteurs.

4.1 Classification des pylônes

On peut classer les pylônes suivants plusieurs critères Figure 5:

- ✓ Classification d'après leur constitution Ils peuvent être en treillis où ils peuvent être tubulaires



Figure 5 : Pylône d'alignement en treillis et pylône d'ancrage en treillis



Figure 6 : Pylône tubulaire d'alignement

✓ Classification d'après la disposition des consoles

❖ phases étagées

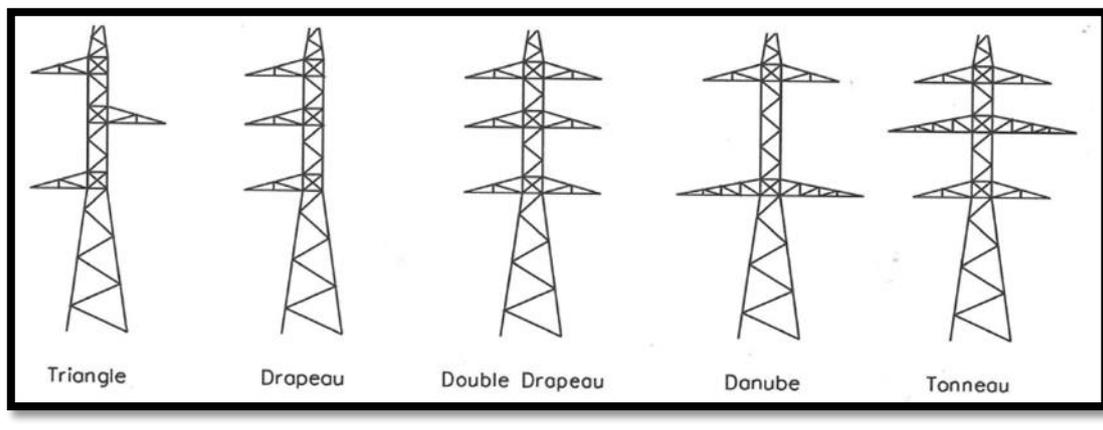


Figure 7 : Différentes formes de pylônes en fonction des consoles

✓ Classification d'après leur fonction sur la ligne

Suivant le profil en tracé de la ligne il existe plusieurs types de supports adaptés à chaque cas et ayant une fonction spécifique. Le tableau et le schéma ci-dessous nous permettront de mieux comprendre la notion de fonction d'un support.

Tableau des types de pylônes en fonction de leur position sur une ligne

Tableau 5 : Différents types de pylônes en fonction de leur rôle sur le tracé¹

Nom du pylône	Fonction	Angle de déviation	Chaînes d'isolateurs
T	Alignement	0-2°	Suspension
A	Angle faible / anti-cascade	2-30° / 0°	Ancrage
WAE	Angle fort / arrêt	30-60° / 0°	Ancrage

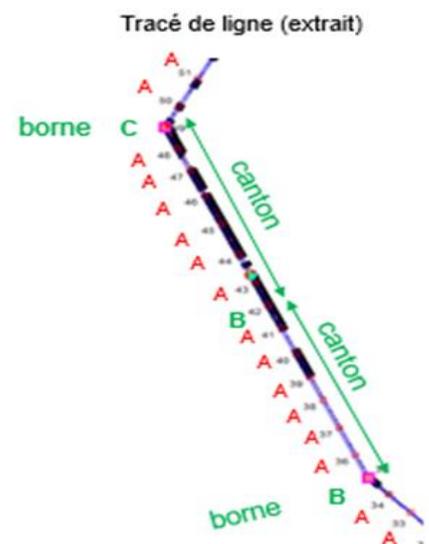
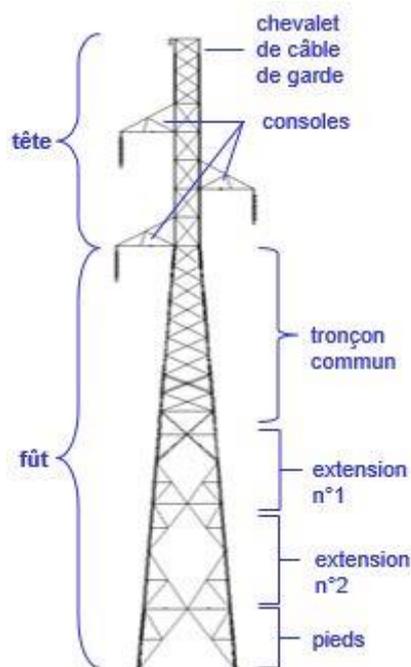


Figure 8 : Extrait du tracé d'une ligne¹

¹ Source : Dossier d'appels d'offres Construction de la ligne de Pâ-Wona (SONABEL, 2013)

4.2 Les différentes parties d'un pylône

Tous les pylônes de façon générale peuvent être décomposés en trois parties à savoir : la tête, le fût et les pieds. La figure ci-dessous nous permettra de mieux comprendre le rôle des différentes parties (Figure 9).



- ❖ **La tête** est constituée des consoles et du chevalet de câble de garde
 Les consoles ont pour rôle de :
 - Supporter conducteurs
 - Assurer les distances électriques entre câbles
 - assurer les distances à la masse entre câbles et pylône
 Le chevalet de câble de garde a 2 fonctions :
 - Assurer l'angle de protection du câble de garde
 - supporter le câble de garde
- ❖ **Le fût** composé du tronc, des extensions et des pieds, sa fonction est de :
 - maintenir la tête (et donc les câbles) à une certaine distance du sol
 - transmettre au sol les efforts dus aux charges appliquées sur les câbles

Figure 9 : Différentes parties d'un pylône

V. Les fondations

Les fondations d'une ligne servent à transmettre les efforts provenant du pylône (poids propre de l'ensemble composant la structure, charges telles que les câbles, les isolateurs...) ainsi que les efforts induits par le pylône vers le sol. Les sols n'étant pas tous "résistants" de la même manière et les pylônes n'ayant pas tous les mêmes charges, les dimensions sont donc différentes pour chaque cas. Le tableau ci-dessous nous présente les caractéristiques mécaniques des sols et types de fondations associés selon la norme VDE-0210

Tableau 6 : Types de fondation en fonction des caractéristiques du sol

Terrain	Nature géologique	Pression admissible (kN/m ²)	Angle de soulèvement des terres (°)	Type de fondation
Terrain rocheux	Roches dures	1000		Pleine fouille

Terrain	Nature géologique	Pression admissible (kN/m ²)	Angle de soulèvement des terres (°)	Type de fondation
Bon terrain – sans eau	Roche tendre, latérite	400	30-37	U
Terrain intermédiaire – sans eau	Marne, argile	200	22-26	U
Mauvais terrain – sans eau	Argiles molles	100	nov-15	A
Terrain immergé	Argiles saturées	100	nov-15	S

Source : Fondamentaux à la conception d'une ligne HT (COFELY INEO , 2013)

Chaque type de fondation est associé non seulement à la nature du terrain qui le recevra mais aussi à la fonction du pylône qui sera implanté à cet endroit-là. Vous trouverez dans le schéma ci-dessous des croquis des différents types de fondations.

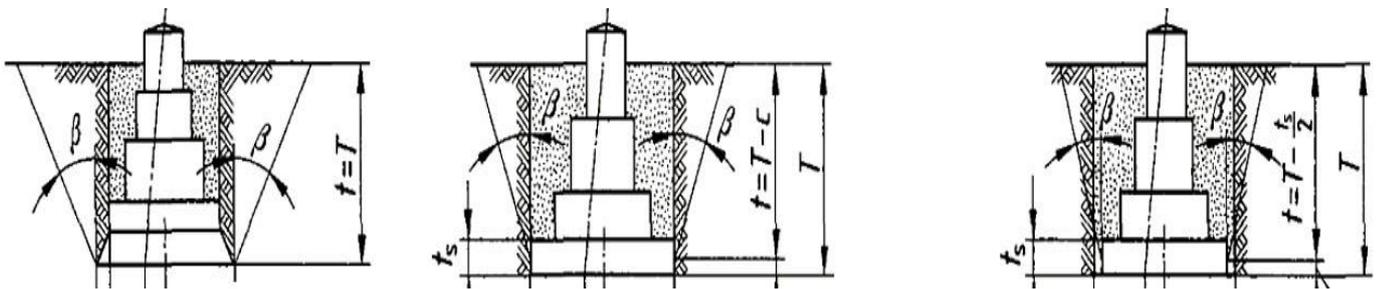


Figure 10 : Fondation à redans, fondation bétonnée contre paroi, fondation à coffrage

VI. Accessoires pour lignes

6.1 Dispositifs amortisseurs de vibration éolienne au câble

✚ Stockbridge

C'est l'un des dispositifs amortisseur le plus commercialisé. Il est constitué d'une pince de fixation sur le conducteur, un câble "Messenger" et des contrepoids. Le principe de base d'un tel amortisseur réside en l'absorption de l'énergie vibratoire emmagasinée dans le conducteur de la ligne et sa dissipation, sous forme calorifique par friction inter-brins du câble "Messenger" reliant les contrepoids à la pince de fixation. Vous trouverez ci-dessous l'image d'un Stockbridge

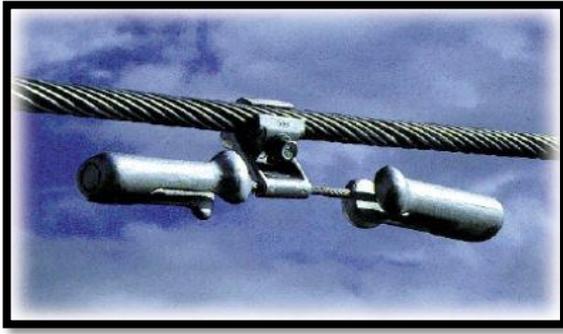


Figure 11 : Image d'un Stockbridge

Bretelle anti vibratoire

Elle est constituée d'une longueur de conducteur identique à celui utilisé pour la ligne fixée sur celui-ci de part et d'autre de la pince de suspension. Le schéma ci-dessous illustre la position de la bretelle sur une ligne haute tension

Entretoises

La géométrie de l'entretoise doit être en accord avec la configuration du faisceau pour un maintien de l'écartement des sous-conducteurs pour limiter les vibrations de câble et maintenir l'équipotentialité aussi bien dans les conditions normales qu'après court-circuit (

Figure 12).

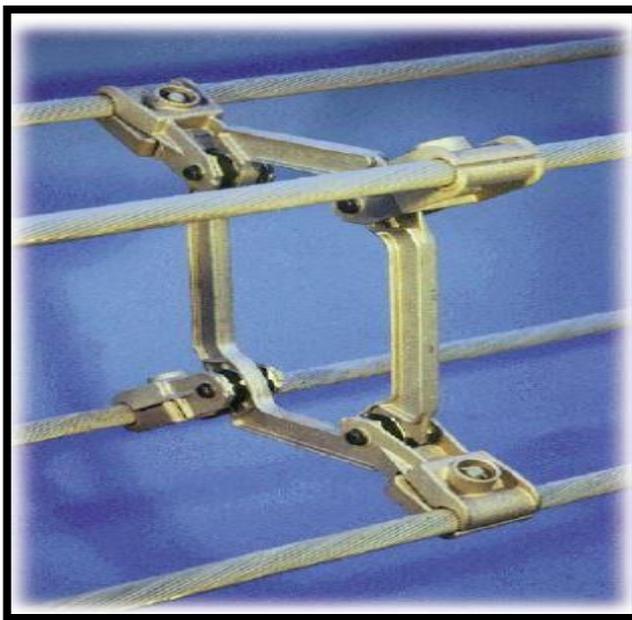


Figure 12 : Entretoises vibratoires

6.2 Dispositifs de balisage

Ces dispositifs appelés balises sont utilisés pour une reconnaissance de la ligne par les avions et hélicoptères afin d'éviter un incident. Les images ci-dessous représentent les balises existantes de nos jours.



Figure 13 : balises diurnes et balises lumineuses

6.3 Dispositifs de liaison

Ils sont généralement appelés manchons ; il existe les manchons de jonction, d'ancrage et d'extrémité. Le manchonnage consiste à insérer les bouts des conducteurs à relier au niveau des extrémités du manchon et après de maintenir la liaison par compression à l'aide d'une presse et d'une pompe hydraulique.

Les manchons étant destinés à assurer :

- la liaison mécanique du conducteur au support;
- la jonction mécanique (continuité électrique) de deux conducteurs identiques;
- la dérivation entre deux conducteurs ou l'extrémité d'un conducteur.



Figure 14 : Manchon de jonction

Chapitre 3 : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DE LA LIGNE AERIENNE DE 90 kV DE PA- WONA

Ce chapitre traitera du dimensionnement de notre ouvrage et de son estimation financière. Nous vous présenterons d'abord la méthodologie de dimensionnement que nous avons utilisé, puis l'étude électrique suivie de l'étude mécanique de la ligne et enfin l'étude économique.

I. Quelques notions dans le dimensionnement des lignes hautes tension

1.1 Principales définitions géométriques

Les différentes données suivantes sont d'une valeur capitale dans le dimensionnement tout entier de la ligne et interviennent particulièrement au niveau de l'étude mécanique. Elles doivent être calculées minutieusement afin de garantir la stabilité des pylônes et par conséquent la survie de la ligne. Parmi ces données on retrouve :

- D_{pp} : Distance minimale entre phase et phase (en mètres).
- D_{el} : Distance minimale phase – terre (en mètres).
- f_{max} : Flèche maximale c'est la distance maximale entre la hauteur d'accrochage du câble au support et son niveau le plus bas sur la chaîne (en mètres)
- L_i : Longueur de la chaîne de suspension (en mètres)
- P : Portée c'est la distance entre 2 supports (en mètres)
- P_v : Portée vent est la distance entre 2 milieux de 2 portées consécutives (en mètres)
- P_p : Portée poids est la distance entre 2 points les plus bas de 2 portée consécutives en mètres
- Profil en long : représentation d'une coupe verticale suivant l'axe de la ligne

NB :

- Les valeurs de D_{pp} et D_{el} sont données dans la norme NF EN 50341-1/A1 juillet 2009
- Les valeurs maximales des différentes portées se retrouvent dans l'appel d'offres du projet
- Les schémas ci-dessous sont des esquisses d'une ligne et illustrent mieux les différentes grandeurs citées plus haut.

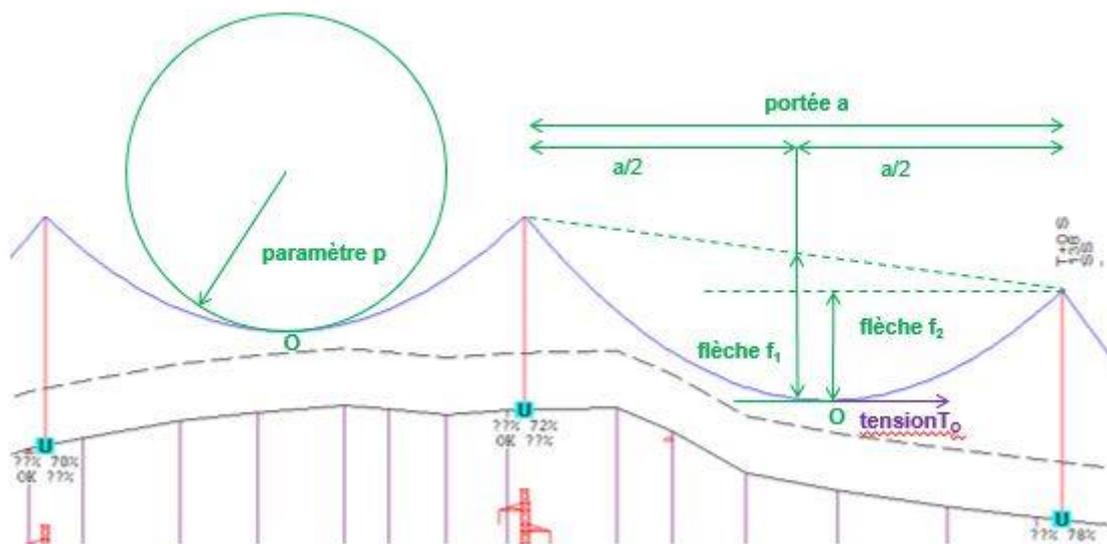


Figure 15 : Schéma représentant les différentes grandeurs géométriques sur une ligne

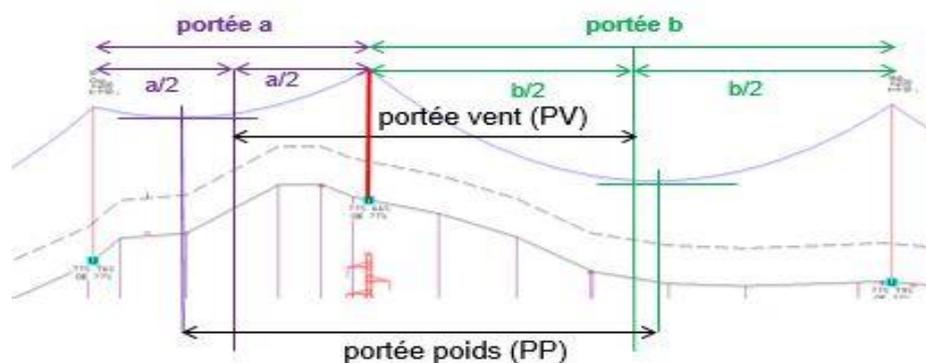


Figure 16 : Schéma illustrant les différents types de portée

A la vue de ces croquis la première chose que nous pouvons remarquer c'est que le profil en long joue sur la variation des portées et sur la longueur et le choix des pylônes. De plus l'on peut confirmer à quel point il est important que ces différentes valeurs soient bien choisies ou bien calculées.

1.2 Les hypothèses météorologiques de bases

Les lignes aériennes sont intensément soumises à l'action des intempéries et du climat de la zone dans laquelle elles se trouvent ; Il est donc important d'en tenir compte pendant la phase d'études. Pour dimensionner une ligne électrique on considère en fonction du climat de la zone, un certain nombre de situations météorologiques susceptibles d'arriver et pouvant affecter d'une façon ou d'une autre le fonctionnement et la longévité de ladite ligne. Les hypothèses qui ont été prises en compte dans le cadre de la construction de notre ligne se retrouvent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 : Définition des hypothèses

Hypothèses	Définition	Température du câble °c	Vent (m/s)	Tension à respecter
A	Condition de tous les jours (EDS)	Moyenne annuelle: 28	Nul	15- 20% de la charge de rupture garantie
B	Condition de vent maximum	Moyenne annuelle: 28	Maximum: 36	40% de la charge de rupture garantie
C	Condition de température minimale	minimale: 12	0,6 fois le vent maximum: 21,6	40% de la charge de rupture garantie
E	Condition de température maximale	Température maximale du conducteur: 70	Nul	

II. Etude électrique

Faire l'étude électrique d'une ligne revient à choisir judicieusement ou à trouver les composants électriques de la ligne à savoir : le câble, les isolateurs, organes de protection.

2.1 Méthodologie de dimensionnement

2.1.1 Dimensionnement du câble

Il s'agira pour nous de :

- ✓ Faire le choix du matériau à utiliser et de la section de câble en fonction de la tension de fonctionnement de la ligne ;
- ✓ Vérifier que la section de câble choisi peut supporter l'intensité de courant nominal I_n que transite la ligne ;
- ✓ Vérifier que le câble pourra supporter courant de court-circuit I_{cc} transmis par la ligne sans être abimé.

Dans le cas échéant, nous passerons à une section de câble plus importante jusqu'à trouver une section qui vérifie nos conditions.

2.1.2 Dimensionnement des isolateurs

Le dimensionnement des isolateurs dépend du matériau, du nombre d'assiettes, de la zone où ils seront installés et de la longueur de fuite. Pour y arriver nous procéderons comme suit :

- ✓ Faire un choix entre les différents matériaux qui constituent les isolateurs.
- ✓ Choisir en fonction des normes les caractéristiques des à isolateurs choisir et déterminer le nombre d'assiettes.
- ✓ Calculer la Longueur de fuite.

2.1.3 Organes de protection de la ligne

A ce niveau le but est de parler des différents éléments qui protègent la ligne, bien qu'ils soient situés dans le poste ils permettent d'éviter beaucoup de dégâts. Il en existe 2 types à savoir :

- Organes de protection mécanique
- Organes de protection électrique

2.2 Applications de la méthodologie et Résultats

2.2.1 Dimensionnement du câble

- ✓ Choix du matériau à utiliser et de la section de câble

De tous les matériaux utilisés dans la réalisation des réseaux HTB nous porterons notre attention sur l'**almélec(AAAC) ou Aster** à cause de :

- ✚ Sa résistance mécanique supérieure à celle de l'aluminium
- ✚ Sa légèreté par rapport à l'alliage aluminium acier
- ✚ Son coût bas par rapport à celui du cuivre

Le tableau ci-dessous extrait de la Norme NF EN 50182 nous permet de faire le choix de la section de câble en fonction des tensions suivant que la zone soit givrée ou non.

Tableau 8 : Section de câbles en fonction du niveau de tension et de la zone de givre

Tension (kV)	Givre léger ou inexistant	Givre moyen	Givre lourd
63 ou 90	Aster 228	Pastel 288	Pastel 299
	Aster 366	Pastel 299	Pastel 412
	Aster 570	Pastel 412 Pétunia 612	Pétunia 612
225	Aster 570	Pétunia 612	Pétunia 612
	2 Aster 570	2 Pétunia 612	2 Pétunia 612 ou 1 Aster 1600
400	2 Aster 570	2 Pétunia 612	2 Pétunia 612
	3 Aster 570	2 Aster 1144	2 Aster 1600
	4 Aster 570 (1)	2 Aster 1600	
Par suite des contraintes d'environnement et des difficultés de construction d'ouvrage neufs, les ouvrages à 400 kV sont le plus souvent équipés de faisceaux 4 Aster 570			

Source : Traité de l'Ingénieur (LEVEQUE & CHANAL, 2000)

Notre choix se portera en premier lieu sur le câble **Aster 228** dont les caractéristiques sont répertoriées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : Caractéristiques électriques du câble Aster 228

Caractéristiques électriques	Valeurs
Température maximale régime permanent (°C)	75
Résistance électrique à 20°C (Ω/km)	0,146
Coefficient de température de la résistance (K ⁻¹)	0,0036
Réactance électrique linéique X (Ω/km)	0,4

Le choix de notre matériau étant fait nous allons passer au calcul des différents éléments qui nous permettront de trouver la section de câble idéale.

- ✓ Calcul de l'intensité de courant nominal I_N et Vérification que notre câble pourra le supporter

Le calcul de l'intensité nominale se fait suivant la formule ci-dessous :

$$I_N = \frac{S}{U \times \sqrt{3}} \quad \text{Avec} \quad \begin{array}{l} I_N : \text{Intensité nominale (A)} \\ S : \text{Puissance Circulant dans le câble (VA)} \\ U : \text{Tension phase/phase (V)} \end{array}$$

D'après les données du projet l'intensité

nominale qui sera injectée dans le câble Aster 228 de la ligne de Pâ est de : $I_N = 128,3 \text{ A}$

D'après la norme NF EN 50183 la valeur de courant admissible par un câble Aster 228 s'élève à : **495A**. Nous pouvons donc dire qu'un câble Aster 228 est capable de supporter le courant nominal.

- ✓ Vérifions que le câble pourra supporter courant de court-circuit I_{cc} transmis que la ligne sans être abimé

Le projet nous donne les informations suivantes :

- Poste 225kV de Pâ : $P_{cc} = 187 \text{ MVA}$ et $I_{ccp} = 1444 \text{ A}$

Il faudrait démontrer que le câble Aster 228 peut supporter au minimum $I_{ccp} = 1444 \text{ A}$.

Pour un câble de section S_c il existe un courant de court-circuit I_{ccmax} fonction du temps (t) de défaut et de la nature de l'âme du conducteur que celui-ci peut laisser passer sans être détérioré.

Cette intensité est donnée par la formule :

$$I_{ccmax} = \frac{S_c \times a}{\sqrt{t}} \quad \text{Avec} \quad \begin{array}{l} S_c : \text{Section du câble en mm}^2 \\ t : \text{temps en seconde (s)} \\ a = 55,07 \text{ paramètre pour aluminium} \end{array}$$

Pour Aster 228 on a une valeur de $I_{ccmax} = \frac{228 \times 55,07}{\sqrt{0,9}} = \mathbf{13235,14 A}$

On a : $I_{ccp} = 1444 A < I_{ccmax} = 13235,14 A$ ce qui veut dire que le câble Aster 228 pourra tenir pendant un court-circuit par conséquent il nous reste à évaluer si la chute de tension aux bornes du dit câble est admissible.

✓ Chute de tension

La chute de tension se calcule suivant la formule ci-dessous :

$$R_{70^{\circ}C} = [1 + \alpha(\Delta\theta)]R_{20^{\circ}C} \times d \text{ en } \Omega$$

d: distance du cable en km

α : coefficient de temperature en K^{-1}

$$\Delta U = \sqrt{3} (R_{70^{\circ}C} I_N \cos \varphi + X I_N \sin \varphi) \text{ Avec } \Delta\theta: \text{l'écart la temperature de la resittance et la temperature de service en } ^{\circ}C$$

X: la réactance électrique en Ω

En faisant le calcul on obtient : $\Delta U = \mathbf{4914 V}$

Par rapport à la tension de la ligne qui est de 90 kV nous avons une chute de tension de :

$$\frac{\Delta U}{U} = \mathbf{5,5\%} \quad \text{La norme prévoit une chute de tension de : } \mathbf{8\%}$$

Conclusion : Le câble Aster 228 que nous avons choisi respecte les Trois critères par conséquent nous le maintiendrons comme câble pour notre projet.

✓ Choix du câble de garde

Le chapitre précédent nous donne les caractéristiques des câbles de garde usuels. Dans le cadre de notre projet nous choisirons notre câble de garde en fonction du conducteur déjà connu. Le tableau ci-dessous extrait de la norme NF EN 50189 nous permet de choisir notre câble de garde en fonction du conducteur usuel.

Tableau 10 : Association Conducteurs –Câble de garde

Niveau de tension	Conducteurs	Câbles de garde classiques	Câbles de garde à circuits de télécommunication incorporé
HT	Aster 228	Phlox 94,1	Thym 107
	Aster 366	Phlox 116,2	Thym 157,4
225 kV	Aster 570	Phlox 147,1	Thym 157,4
400 kV	Aster 570	Phlox 228	Thym 157,4

Nous allons donc opter pour un câble **Thym 107** comme câble de garde

2.2.2 Dimensionnement des isolateurs

Pour dimensionner nos isolateurs, nous nous servons de la méthode développée par le service Transport Distribution de l’Energie Electrique de l’université de Liège ; premièrement nous allons faire un choix du matériau à utiliser dans la fabrication des isolateurs.

✓ Choix du matériel pour les isolateurs

Tableau 11 : Avantages et Inconvénients des différents matériaux d’isolateurs

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Céramique	Peut supporter une contrainte mécanique importante	Coût élevé
Verre	Coût faible Observation des défauts faciles Peut supporter des variations brusques de température	Lourd Difficilement manipulable Ne supporte que de faibles tensions mécaniques
Composite	Léger Grande résistance mécanique adéquat dans les zones fortement polluées	Vieillessement invisible

En plus de sa capacité de sa grande résistance mécanique, les isolateurs en composite ont un coût moyen par rapport aux deux autres types. C'est donc la raison pour laquelle nous porterons sur eux notre choix.

✓ Détermination de la tension de contournement en fonction du degré de pollution :

Notre zone de projet est éloignée de la mer or la pollution est fonction de la salinité, nous la considérerons donc comme une zone faiblement polluée. Le tableau N°1 en annexes N°1 extrait de la norme CEI 61466 nous donne la tension de contournement d'un isolateur en fonction de la zone de pollution. Nous retiendrons donc une valeur de tension de contournement $\beta = 1,48$ [cm/kV $_{\phi\phi}$]

✓ Calculer la Longueur de fuite

La longueur de fuite L_f se calcule selon la formule ci-dessous: $L_f = 1,1 \times U_M \times \beta$.

La valeur de la tension la plus élevée du réseau U_M est fonction de la tension nominale de tenue aux chocs de foudre: *BIL*. Le tableau N° 2 en annexe N°1 dressé par les normes CEI 61466 nous permet de retenir $U_M = 123$ kV comme valeur de tension maximale.

Après calcul nous obtenons une valeur de **$L_f = 2002,5$ mm**

✓ Calculer la longueur de la chaîne

Nous choisirons le nombre d'assiettes de la chaîne en fonction de la tension de tenue aux chocs de foudre *BIL* et du niveau de tension sur la ligne. La Norme CEI 61466 nous permet de retenir une chaîne de **6 éléments**.

2.2.3 Organes de protection

Sur une ligne HTB les principaux organes de coupure ou de protection se trouvent au niveau des postes de transformation. Néanmoins sur la ligne on retrouve :

- Le câble de garde qui protège contre la foudre
- Les mises à la Terre qui permettent d'écouler facilement le courant de défaut à la terre.
- Les cornes et raquettes au niveau de la chaîne d'isolateurs qui servent les chaînes d'isolateurs et le conducteur contre l'arc de puissance, Améliorer la distribution de tension le long de la chaîne d'isolateurs,

III. ETUDE MECANIQUE

3.1 Dimensionnement géométrique

3.1.1 Distances par rapport au sol

L'arrêté technique nous donne les différentes distances entre le conducteur et son voisinage

Tableau 12 : Distance de sécurité des câbles par rapport à l'environnement

Nature du surplomb	Distance d'après l'Arrêté technique en mètres
Terrains agricoles	6,5
Cours d'eau	3,5
Maisons,immeubles	4,0
Voies de circulations	8,5

Pour notre projet nous adopterons une distance minimale par rapport au sol de $D_{min} = 6,5m$ tout le long de la ligne. Mais au niveau de la traversée d'une route cette distance $D_{min} = 8,5m$.

3.1.2 Distances entre câbles

Les différentes distances sont calculées à partir des formules ci-dessous :

Tableau 13 : Formules des distances d'écart à respecter

Horizontal entre phases	$c = k \sqrt{(f_{max} + Li)} + 0,75 D_{pp} + E_f$
Vertical entre phases	$c = k \sqrt{(f_{max} + Li)} + 0,75 D_{pp}$
Phase à CDG	$c = k \sqrt{(f_{max} + Li)} + 0,75 D_{el}$

Avant de pouvoir faire ces calculs nous devons calculer la flèche maximale : f_{max}

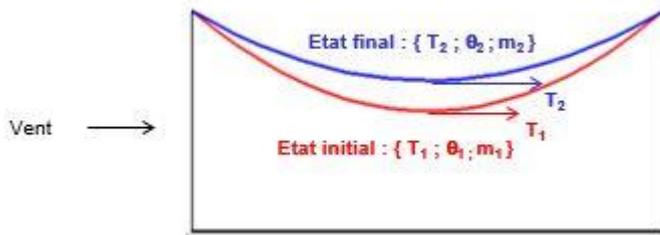
La formule est : $f_{max} = \frac{P P^2}{(8 \times P)}$ Avec

P : paramètre de formule $P = \frac{T}{w}$

T et w : Tension en daN et poids apparent du conducteur

Le calcul du paramètre P se fera donc en fonction des hypothèses par conséquent les tensions aussi différeront en fonction des différentes hypothèses.

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



θ : température du câble (°C)
 T_1 : tension horizontale du conducteur au point bas
 m_1 : coefficient de surcharge

L'équation du changement d'état est :

$$T_2^3 + T_2^2 \left[a^2 \frac{m_1^2 \omega^2}{24T_1^2} ES + \alpha ES(\theta_2 - \theta_1) - T_1 \right] = a^2 \frac{m_2^2 \omega^2}{24} ES \quad \text{Avec}$$

Où $m = \frac{P_0}{w}$ avec P_0 étant le poids apparent du câble

Données du câble :

- α : coeff. dilatation
- E : module élasticité
- S : section
- ϕ : Diamètre du câble
- ω : Poids linéaire du **câble**
- a : Portée de la ligne

Après calculs pour le conducteur et le câble de garde considérés, nous avons les résultats consignés dans le Tableau 14.

Tableau 14 : Valeurs des tensions en fonction des hypothèses

Hypothèse	Tensions maximum		Température. °C	Conducteur		CGFO	
	Cond	CGFO		Tension	Flèche	Tension	Flèche
	% UTS	% UTS		daN	m	daN	m
A (EDS)	20%	20%	28	1 415	8,85	1 177	6,56
	1 481	1296					
B (Vent max)	40%	40%	28	2 953		2 399	
	2 962	2 592					
C (Température mini)	40%	40%	12	2 055		1 696	
	2 962	2 592					
Répartition	-	-	70	1 105	10,05	1 064	7,26
	-	-					

D'après la formule de la flèche maximale l'on doit considérer le plus petit paramètre, or avoir un petit paramètre revient à utiliser l'hypothèse de répartition. On aura donc : $T = 1105 m$, une valeur du paramètre $P = 1796 m$ de la flèche maximale **fmax= 10m**.

Avec la valeur du paramètre et de la flèche on obtient les valeurs suivantes :

Tableau 15 : Distances d'écart à respecter entre les différents conducteurs

Ecart	Formules	Valeurs (m)
Horizontal entre phases	$c = k \sqrt{(f_{max} + L_i)} + 0,75 D_{pp} + E_f$	3,16
Vertical entre phases	$c = k \sqrt{(f_{max} + L_i)} + 0,75 D_{pp}$	4,02
Phase à CDG	$c = k \sqrt{(f_{max} + L_i)} + 0,75 D_{el}$	3,96

3.2 Etude des charges présentes sur un support (pylône métallique)

Afin de bien dimensionner notre pylône il est nécessaire de recenser et de quantifier toutes les charges qu'il devra supporter pendant sa durée de vie : du poids et des différents mouvements de la chaîne d'isolateurs, du conducteur, du câble de garde en fonction des conditions climatiques « hypothèses ».

Le calcul des efforts qui s'appliquent sur un pylône peut être décomposé en 2 parties :

3.2.1 Efforts concernant la structure métallique

Ces efforts sont particulièrement le poids du pylône même et l'effort du vent sur ces différentes faces mais elles ne feront pas partie de cette étude car relevant du service construction métallique. Ceci étant nous pourrions quand même faire un arbre de charges dans lequel nous tiendrions compte des efforts transmis par les éléments de la ligne sur le pylône.

3.2.2 Efforts des éléments extérieurs aux pylônes

a. Efforts transversaux : Ils tiennent particulièrement compte de l'action du vent sur les différents éléments sur le pylône. et peuvent être décomposés comme suit :

- Force exercée par le vent sur le conducteur
- Force exercée par le vent sur la chaîne d'isolateurs
- Composante d'angle suivant la fonction du pylône

Vous trouverez dans le tableau ci-dessous les différentes formules de calcul des charges transversales

Eléments concernés	Formule des différents efforts
Conducteurs et câble de garde	$F_c = d \times P_v \times PV_A_cond \times Ct_c \times C_s$
Isolateurs	$F_i = PV_A_iso \times S \times Ct_i \times C_s$
Composante d'angle	$F_\alpha = 2 \times T_A_cond \times Sin(\frac{\theta_{max}(\theta_{min})}{2}) \times C_s$
Avec	d : diamètre en mm P_v : Portée vent en m PV_A_cond : Pression du vent sur les conducteurs en (N/m ²) C_s : coefficient de sécurité donnée par le DAO Ct_c ou Ct_i : Coefficient de traînée PV_A_iso : Pression du vent sur les isolateurs en (N/m ²) T_A_cond : Tension selon hypothèse A en daN (θ_{min}) : Angle de déviation maximale ou minimale en grades

Nous constatons que dans ces formules il existe des variables à savoir la pression et la tension qui changent en fonction des différentes hypothèses. Les différentes valeurs de tension ont été calculées au paragraphe précédent, il faudrait qu'on calcule les valeurs de pression. La pression se calcule suivant la formule suivante :

$$P_v = \rho \times \frac{v_h^2}{2} \quad \text{Où} \quad \begin{array}{l} v_h : \text{Vitesse à la hauteur } h \text{ en m/s} \\ \rho : \text{Masse volumique en (kg/m}^3\text{)}. \end{array}$$

Le Tableau 16 indique les différentes valeurs des pressions.

Tableau 16 : Pression de vent en fonction des différentes hypothèses

Hypothèses	Tensions maximum		Tempé. (°C)	Pression Vent (N / m ²)	
	Cond	CGFO		Cond	CdG
A (EDS)	20%	20%	28	0	0
	1 481	1296			
B (Vent max)	40%	40%	28	882	990
	2 962	2 592			
C (Température mini)	40%	40%	12	364	420
	2 962	2 592			
Répartition	-	-	70	0	0
	-	-			

b. Efforts verticaux : Ils sont dus aux poids des différents éléments sur le pylône.

- Poids de la chaîne d'isolateurs et des autres accessoires : donné par le constructeur :
- Poids du conducteur et du câble de garde : $F_{ver} = Poids\ du\ câble \times P_p$

c. Efforts longitudinaux : Ces efforts ne concernent que les câbles ; ils sont appliqués au niveau du conducteur et du câble de garde et dépendent à majeure partie de la tension au niveau du câble. Ils se calculent suivant ces formules :

$$Fl_{cond} = 50\% T_{A_cond} \quad \text{et} \quad Fl_{gard} = T_{B_cdg}$$

Le tableau suivant nous donnera le récapitulatif des charges au niveau des différents pylônes en fonction des hypothèses

Tableau 17 : Efforts transversaux, verticaux et longitudinaux pylône T, A, WAE

Hypothèses	Pression Vent (N/m ²)		Tension (daN)		Efforts au pylône de suspension T en daN					
	Cond	CdG	Cond	CGFO	Transversaux		Verticaux		Longitudinaux	
					Cond	CGFO	Cond	CGFO	Cond	CGFO
A (EDS)	0	0	1 415	1 177	53	44	368	236	1772	2879
B (Vent max)	882	990	2 953	2 399	854	641	368	236	1772	2879
C (Température mini)	364	420	2 055	1 696	380	320	368	236	1233	2035
Répartition	0	0	1 105	1 064	42	40	368	236	663	1277

Hypothèses	Pression Vent (N/m ²)		Tension (daN)		Efforts au pylône d'ancrage A (2-30°gr en daN					
	Cond	CdG	Cond	CGFO	Transversaux		Verticaux		Longitudinaux	
					Cond	CGFO	Cond	CGFO	Cond	CGFO
A (EDS)	0	0	1 415	1 177	793	659	368	236	1723	2799
B (Vent max)	882	990	2 953	2 399	2302	1874	368	236	1772	2878
C (Température mini)	364	420	2 055	1 696	1419	1176	368	236	1233	2035
Répartition	0	0	1 105	1 064	619	596	368	236	663	1277

Hypothèses	Pression Vent (N/m ²)		Tension (daN)		Efforts au pylône d'ancrage A (30-70)gr en daN					
	Cond	CdG	Cond	CGFO	Transversaux		Verticaux		Longitudinaux	
					Cond	CGFO	Cond	CGFO	Cond	CGFO
A (EDS)	0	0	1 415	1 177	1774	1476	368	236	826	1373
B (Vent max)	882	990	2 953	2 399	4351	3539	368	236	1723	2799
C (Température mini)	364	420	2 055	1 696	2845	2352	368	236	1199	1979
Répartition	0	0	1 105	1 064	1386	1334	368	236	645	1242

Nous pouvons constater que les efforts augmentent qu'on passe d'un pylône de suspension à un pylône d'angle et qu'ils croient encore plus avec la valeur de l'angle.

3.3 Dimensionnement des supports et Répartition sur le tracé de la ligne

3.3.1 Dimensionnement des supports (pylônes)

Le dimensionnement des supports nécessite d'avoir des notions approfondies sur les calculs de structures et aussi sur la construction métallique ; nous ferons intervenir le logiciel PLS TOWER créé par la société POWERLINE qui nous permettra de mener à bien cette partie de l'étude suivant les différentes étapes ci-dessous :

- Modélisation des pylônes treillis auto-stables et de pylônes haubanés
- Vérification de la tenue mécanique des structures soumises à des efforts
- Génération d'un modèle « choix de composantes (cornières), connexion aux nœuds
- Analyse par la méthode des éléments finis : La structure est modélisée comme un ensemble de nœuds, d'éléments et de propriétés associées
- Analyse non linéaire tient compte des mouvements des supports soumis à des efforts ; il permet de détecter les instabilités et le flambement des barres
- Vérification du vent sur les pylônes suivant la Norme (EN 50341-1), le Code ASCE 97, CEI 6082.
- Calcul des efforts aux fondations (vérification à l'arrachement et à la compression, condition de rigidité et de ferrailage) et liaison avec le programme PLS-CADD

Après avoir utilisé notre logiciel PLS TOWER il ressort les résultats suivants :

- ✚ Dimensions du pylône : largeur de la tête, pente du fût
- ✚ Forme du treillis
- ✚ Sections des cornières 'barres qui constituent le pylône'
- ✚ Nombre et diamètre des boulons
- ✚ Efforts aux fondations

3.3.2 Répartition des pylônes

Le programme PLS CADD (Computer Aided Design and Drating) intègre les résultats issues de l'étude avec PLS TOWER et permet de créer un modèle de conception de ligne tenant en compte les facteurs suivants: le terrain, les structures, les câbles. La modélisation de la ligne sur PLS CADD se fait suivant les étapes suivantes :

- Modélisation 3D du terrain à partir des données topographiques
- Modélisation des supports suivant les résultats provenant de PLS TOWER
- Modélisation en 3D des câbles
- Répartitions des pylônes sur le profil
- Déroulage du câble avec réglage automatique du paramètre

- Vérification de la tenue mécanique dans toutes les conditions climatiques
- Vérification des distances entre câbles et le sol, des balancements de chaîne
- Génération automatique du profil en long habillé pour impression

Après avoir utilisé notre logiciel PLS CADD il ressort les résultats suivants :

-  Profil en long habillé
-  Balancement des chaînes d'isolateurs

L'étude technique prend fin avec l'obtention du profil en long habillé, le carnet de piquetage, le plan d'assemblage, le plan de chaînes, les plans de mise à la terre et le plan des fondations car il nous renseigne sur les données et résultats techniques nécessaires à l'exécution du projet. De plus il nous permet de faire le recensement des matériels et services auxquels nous aurons recours pour la réalisation et de pouvoir chiffrer le coût du projet.

IV. ETUDE ECONOMIQUE

4.1 IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION DU MATERIEL

Construire une ligne électrique nécessite de faire un inventaire de chaque pièce et matériel qui rentre dans sa composition. Dans cette partie il sera question d'identifier et de quantifier les éléments qui rentrent en compte dans la réalisation de notre projet.

La nature du sol, le profil en long, le tracé de la ligne sont des éléments qui permettent de choisir le pylône à utiliser et par conséquent d'en recenser la quantité à commander. En se servant du tracé de la ligne de PA –WONA et du profil en long, on répartit les pylônes comme suit :

- Le pylône d'angle WAE et chaîne d'ancrage double sont utilisés pour des angles compris en 2 et 70 grades
- Le pylône d'alignement T et la chaîne de suspension simple sont employés en alignement et pour des angles de lignes inférieurs à 2 grades
- Le pylône d'alignement T et la chaîne de suspension double sont utilisés dans les traversées
- Le pylône d'angle A et la chaîne d'ancrage double sont utilisés au niveau des ancrages d'alignement dans la délimitation des cantons (ensemble de 8 portées successives).

En suivant le tracé de la ligne et à la suite des études de répartition on obtient les valeurs de : portées poids, portées vent, flèche et du paramètre. En faisant les calculs nous adopterons une portée moyenne de 360 mètres, on obtient les valeurs suivantes :

Tableau 18 : Subdivision du tracé en tronçons et estimation de la quantité de supports

	Pylônes d'angles (WAE)	Distances en m	Pylône d'alignement	Pylône d'ancrage
Début	Portique PA-PW01	65,97		
Tronçon 1	PW01-PW02	513,37	1	0
Tronçon 2	PW02-PW03	1904,1	5	0
Tronçon 3	PW03-PW04	8801,57	23	2
Tronçon 4	PW04-PW05	4605,76	12	1
Tronçon 5	PW05-PW06	9061,6	25	2
Tronçon 6	PW06-PW07	6538,21	18	1
Tronçon 7	PW07-PW08	12456,9	34	3
Tronçon 8	PW08-PW09	4866,8	13	1
Tronçon 9	PW09-PW10	3330,52	9	0
Tronçon 10	PW10-PW11	1542,07	4	0
Tronçon 11	PW11-PW12	3541,65	9	0
Tronçon 12	PW12-PW13	1263,44	4	0
Tronçon 13	PW13-PW14	534	1	0
Tronçon 14	PW14-PW15	46,18	0	0
Tronçon 15	PW15-PW16	54,7	0	0
Fin	PW16-Portique WONA	41,27		
Total	16	59126,84	158	10

A partir de ce tableau nous pouvons donc avoir les quantités des différentes pièces qui rentrent dans la composition de la ligne et avoir une estimation financière de la réalisation du projet.

4.2 OFFRE FINANCIERE

Notre offre financière sera présentée sous formes de tableaux suivant les volets suivants :

- ✚ Matériels et Pièces (Fournitures)
- ✚ Frais de Transport (Transport local et externe/ Transit et Douanes)
- ✚ Frais de Réalisation (Montage et Travaux)
- ✚ Frais divers

Le tableau ci-dessous nous donne le prix des matériels et pièces

Tableau 19 : Prix et Quantité des matériels et pièces

Libellé	Unité	Qté.	Prix Unitaire Euro	Prix Total Euro
LIGNE 90 kV				
MISE A LA TERRE				
Câblette de mise à la terre + accessoires	km	6	3 774,44	22 646,64
Bloc simple + accessoires	pce	646	14,86	9 599,56
Bloc double + accessoires	pce	161	20,80	3 348,80
Sous-total				35 595,00
PYLONES ET EMBASES				
Pylône T	pce	158	8 657,97	1 367 959,26
Pylône A	pce	10	9 808,44	98 084,40
Pylône WA30	pce	16	9 223,65	147 578,40
Sous-total				1 613 622,06
ISOLATEURS ET ACCESSOIRES DE LIGNES				
Chaîne de suspension simple complètement équipée	ens	483	258,23	124 725,09
Chaîne de suspension double complètement équipée	ens	10	558,57	5 585,70
Chaîne d'ancrage double complètement équipée	ens	144	506,81	72 980,64
Chaîne de rétention de bretelles complètement équipée	ens	2	209,79	419,58
Bloc de suspension du câble de garde	ens	160	140,57	22 491,20
Bloc d'ancrage du câble de garde	ens	52	200,60	10 431,20
Manchon de raccordement câble de phase	pce	52	50,20	2 610,40
Manchon de réparation câble de phase	pce	15	7,05	105,75
Manchon de réparation câble de garde	pce	5	9,24	46,20
Armor rod câble de phase	pce	492	Inclus dans chaîne	0,00
Armor rod câble de garde	pce	161	Inclus dans chaîne	0,00
Sous-total				239 395,76
CONDUCTEURS ET CABLE DE GARDE				
Câble ASTER 228 mm ² Almélec	km	195	3 546,43	691 553,85
CDG - Fibres optiques	km	65	5 000,07	325 004,55
Câble optique	m	200	6,00	1 200,00
Sous-total				1 017 758,40
Accessoires				
Plaques de numérotation et de danger	pce	185	44,11	8 160,35
Plaques de repérage par hélicoptère	pce	10	147,03	1 470,30
Amortisseurs de vibration des câbles conducteurs	pce	984	16,00	15 744,00
Amortisseurs de vibration du câble de garde	pce	322	30,00	9 660,00
Boîtes d'épissures CGFO	ens	25	250,20	6 255,00

Libellé	Unité	Qté.	Prix Unitaire Euro	Prix Total Euro
LIGNE 90 kV				
Boîtes de jonction terminales CGFO	ens	2	250,20	500,40
Sous-total				41 790,05
TOTAL				2 948 161,27

Notre estimation financière finale se trouve dans le tableau ci-dessous :

Tableau 20 : Coût total du projet

Sections	Coef	Montant en Euro
Matériels et Pièces		2 948 161,27
Transport	25%	737040,32
Réalisation	20%	589632,25
Marge	10%	294816,13
Total		4 569 650

Notre projet s'élève donc à la somme de **Deux milliards neuf cent quatre-vingt-dix-neuf millions six cent quatre-vingt-dix mille Francs CFA**

Chapitre 4 : ORGANISATION DES TRAVAUX DE CHANTIER

I. Définition et Ordonnancement des tâches à exécuter

1.1 Construction d'accès

Cette étape consiste à emménager des voies pour accéder à la ligne. Tout d'abord il faudra repérer l'axe de la ligne et ensuite répertorier et emménager les différentes voies praticables qui peuvent conduire à cet axe. La construction des voies accès doit tenir compte du climat de la région (pluviométrie), de l'environnement, des populations de la région et des différents engins qui seront utilisés sur le terrain.

1.2 Mise en place d'un dépôt

Le dépôt représente le centre du chantier c'est la porte d'entrée au chantier et aussi la porte de sortie. C'est le lieu de stockage des agrégats, des différentes pièces des pylônes. Les pièces des différents pylônes sont fabriquées et livrées par types. Les responsables du dépôt temporaire prennent soin de classer les centaines de membrures et accessoires différents pour l'assemblage prochain de chacun des pylônes. En effet, chaque pylône possède des caractéristiques particulières selon, entre autres, l'angle du tracé, la topographie du terrain et la capacité du sol.

1.3 Délimitation du couloir de la ligne

L'axe de la ligne étant connu il faudrait donc dégager tout ce qui se trouve à de part et d'autre de cet axe (emprise). Cette étape est effectuée pour des raisons de sécurité et de fiabilité d'exploitation. De fait, la largeur d'emprise est principalement déterminée par deux éléments, soit la mesure des champs électriques en bordure d'emprise et la présence d'arbres ou de branches pouvant chuter sur les conducteurs et ainsi représenter un danger pour le réseau. Pour ce faire il faudra élaguer, débroussailler, faire du dé forestage tout ceci afin que le couloir de part et d'autre de la ligne soit vierge. Dans le cadre de notre projet le layon a été fait de 25 mètres de part et d'autre de l'axe sur 60 kilomètres.

1.4 Reprise d'alignement / Implantation

Cette phase est spécialement confiée à l'équipe topo qui devra repérer et indiquer à l'aide de piquets où seront implantés les supports de la ligne.

1.5 Travaux de Génie civil : les fondations

L'emplacement des pylônes étant déjà définis, il ne reste plus qu'à implanter les fondations c'est une partie aussi longue qu'importante car elle nécessite de la précision. Ces travaux peuvent se faire suivant les phases suivantes :

- Exécution des fouilles : Il s'agit de faire des excavations dont les dimensions dépendent des massifs en béton armé afin qu'ils vont supporter les pylônes chargés.

- Réglage d'embase : Pendant cette phase les topographes utilisent leurs relevés pour trouver la position exacte des pieds de chaque pylône. Une fois que c'est fait l'embase est positionnée et est rendue immobile à l'aide de jambes de forces puis le béton est coulé pour former le massif de la fondation. C'est aussi pendant cette phase que les câbles de mise à la terre sont insérés verticalement depuis le fond de la fondation jusqu'à l'embase. Une fois que la prise du béton de la semelle a été faite on passe à la réalisation du coffrage pour la cheminée

- Remblai : Après l'obtention de notre fondation solide il faut verser de la terre pour combler les fouilles qui ont été faites et cette étape marque la fin des travaux génie civil

1.6 Travaux d'assemblage (serrage, matage)

Les pièces de pylônes viennent en lots de barres de même dimension et des boulons de dimensions différentes pendant la phase de colisage il faut reconstituer tous les pylônes puis ils sont transportés jusqu'aux différents lieux d'implantation où ils sont assemblés. Une fois l'assemblage terminé il faut vérifier que tous les boulons ont été correctement serrés et matés et qu'aucune pièce ne manque.

1.7 Déroulage du câble

Cette phase nécessite :

- ✓ Préparation du matériel: Chaînes, poulies, Compresseurs d'air, Cordages, Palans, vérins
- ✓ Déroulage
- ✓ Manchonnage
- ✓ Relevage et réglage des câbles
- ✓ Ancrage des conducteurs
- ✓ Mise sur pinces-Pose des bretelles- Pose de contre poids

1.8 Révision générale

Durant cette phase il est question de contrôler tous les éléments de ligne il s'agit de :

- ✓ Au niveau du pylône vérifier que les boulons ont été bien serrés,
- ✓ Vérifier qu'aucune cornière ne manque et qu'elles sont toutes à l'endroit qui leur est réservé
- ✓ Vérifier que les mises sur pince ont été bien faites et que les câbles respectent l'écartement minimum qui leur a été affecté.
- ✓ Vérifier les valeurs des mises à la Terre
- ✓ Pose des plaques de numérotation et de danger

1.9 Essai de ligne

Cette phase doit être faite avant la mise sous tension de la ligne. Durant cette phase des tests sont effectués sur la ligne; tests qui servent à certifier que la ligne construite respecte le cahier de charges et les normes. Cette phase annonce la réception de l'ouvrage par le client.

II. Planning d'exécution des travaux

Nous avons établi notre planning en tenant compte des rendements et du chronogramme que la société a obtenu lors de précédents projet. Voir ANNEXE N°2

Observations

Ce thème de stage nous a permis de réaliser que :

- + La maîtrise de la construction d'une ligne demande d'avoir des connaissances pluridisciplinaires ; On peut citer entre autre : l'électricité, le génie civil et la mécanique ;
- + Les études de construction de ligne font intervenir des logiciels onéreux et nécessite un grand investissement ;
- + La phase d'exécution de travaux était la phase la plus longue, la plus coûteuse et elle nécessite une organisation méticuleuse et du savoir-faire ;
- + Pouvoir allier la théorie des études à la pratique au niveau du chantier permettait de mieux comprendre tous les aspects du projet.

Recommandations

- ✚ Une formation sur les logiciels s'imposent pour prétendre à la maîtrise complète de la construction d'une ligne HTB ;
- ✚ Afin de faciliter l'accès à la connaissance sur le domaine des réseaux, particulièrement sur le dimensionnement plus de logiciels ou de programmes devraient être créés.

CONCLUSION

Les objectifs atteints pendant ce stage peuvent être définis sous deux angles principaux :

- Pouvoir mener les études de conception et réalisation d'une ligne Haute Tension de catégorie B et en connaître les composantes ;
- Pouvoir réaliser de façon optimale un tel projet en tenant compte des différentes contraintes de temps, de coût et de qualité.

La ligne ainsi construite devient sujette à des intempéries (vent, pluie, foudre...) pouvant déclencher des courts circuits, des surtensions dont les conséquences peuvent être des pertes en vie humaines, la non continuité de service, des pertes économique et une durée de vie limitée. Pour une protection complète de la dite ligne des dispositifs de sécurité et de protection doivent être intégrés dans les postes de transformations. Afin de d'assurer la stabilité et la pérennité de notre ouvrage il devient impératif de s'intéresser au fonctionnement et au dimensionnement des postes de transformation : nœuds du réseau électrique.

BIBLIOGRAPHIE

COFELY INEO, 2013. Fondamentaux à la conception d'une ligne HT

LEVEQUE, J.-P. & CHANAL, A., 2000. Techniques de l'Ingénieur

SONABEL, 2013. Dossier d'appels d'offres Construction de la ligne électrique Pâ- Wona

Michel Bougue, INEO, Lignes électriques aériennes à très haute tension, Tome 3 : *Etudes techniques*, Juillet 2006.

15. Michel Bougue, INEO, Lignes électriques aériennes à très haute tension, Tome 4 : *Manuel Pratique*, Juillet 2006.

Norme EN 50341

Norme NF EN 61 284

LISTES DES ANNEXES

ANNEXES N°1

Ces annexes concernent le dimensionnement des isolateurs.

✚ Détermination de la tension de contournement

Le tableau ci-dessous indique la valeur de la tension de contournement en fonction des zones de pollution.

Tableau 21 : Tension de contournement en fonction de la zone de pollution

	Zone de pollution		
Niveau	I	II	III
Salinité (kg/m ³)	7	20	80
Localisation	majeure partie du territoire	Zone éloignées du bord de la mer et des industries	Proximité bord de mer et industries
Tension de contournement en (cm/KVφφ)	1,48	1,83	2,34

✚ Niveaux de tension nominale, maximale

Tableau 22 : Niveau de tension usuels et tension maximale en fonction de la Tension nominale de tenue aux chocs de foudre

	Tension nominale de la ligne Un (kVeff)	Tension la plus élevée pour le matériel Um (kVeff)	Tension nominale de tenue aux chocs de foudre BIL (kV crête)
Classe A $1 \leq U_m \leq 52$	3	3,6	40
	6	7,2	60
	10	12	75
	15	17,5	95
	20	24	125
	30	36	170
Classe A $52 \leq U_m \leq 300$	50	52	250
	70	72,5	325
	110	123	450
	130	145	550
	150	170	650
	220	245	750

ANNEXES N°2 : Planning d'exécution des travaux

ANNEXES N°3 : Fiches de calcul