

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION 1

Chapitre 1 : Présentation générale des acteurs 2

1.1. Présentation de la société JIRAMA..... 2

1.2. L'Université de Fianarantsoa et la Licence Professionnelle « Exploitation des Eaux et Electricité » 2

1.3. La localité du village Ambatomainty 3

1.3.1. Situation géographique..... 3

1.3.2. Caractéristiques socio-économique de la zone d'étude..... 4

1.3.2.1. Analyse de la demande énergétique 4

1.3.2.2. Les habitants 5

1.3.2.3. Les activités 5

1.3.2.4. La vie communautaire 5

1.3.3. L'état des lieux 5

Chapitre 2 : Déroulement de l'étude et l'état de l'art sur les réseaux électriques 7

2.1. Méthodologie appliquée 7

2.2. Méthodologie technique 7

2.3. Les réseaux électriques..... 7

2.3.1. La production 11

2.3.2. Le transport..... 11

2.3.3. La distribution 11

2.3.4. Architecture des réseaux de distribution électrique..... 12

2.4. Constitution des lignes électriques aériennes 13

2.4.1. Les conducteurs 14

2.4.2. Les supports (pylônes)..... 15

2.4.3. Les armements..... 16

2.4.4. Appareilles de protection..... 18

2.4.5. Disjoncteurs sur poteau 20

2.4.6. Le poste de transformation 21

Chapitre 3 : Analyse des résultats 22

3.1. Calcul mécanique de ligne électrique aérienne 22

3.1.1. Ligne étudiée à partir d'un profil en long..... 22

3.1.2. Etude préliminaire	22
3.1.3. Plan projet.....	22
3.1.4. Calcul mécanique du conducteur.....	30
3.1.4.1. Coefficient de sécurité.....	30
3.1.4.2. Conditions de pose des conducteurs.....	30
3.1.4.3. Résolution.....	31
3.1.5. Calcul mécanique des supports	34
3.1.5.1. Effort nominal disponible sur les poteaux en béton	34
3.1.5.2. Classe des supports en béton	35
3.1.5.3. Le coefficient de réduction $< k >$ à 0, 25 m du sommet.....	36
3.1.5.4. Choix des supports	36
3.1.6. Résultat de calcul mécanique des lignes	38
3.1.6.1. Résultat de Calcul mécanique du conducteur.....	39
3.1.6.2. Résultat de calcul mécanique des supports	47
3.2. Capacité de puissance à transporter.....	56
3.4. Évaluation des couts de différents choix techniques proposés.....	58
CONCLUSION.....	62
Références bibliographiques	63
Annexes	i
Annexe 1 : Caractéristiques des câbles pour ligne aérienne.....	i
Annexe 2 : Les Nappes-Voûtes NV	ii
Annexe 3 : Paramètre maximal des lignes sur isolateur suspendus : Norme C11.201	v
Annexe 4 : Paramètre de la chaînette.	v
Annexe 5 : Courbe caractéristique de l'effort nominal de support.....	vi
LISTE DES ILLUSTRATIONS	vii
Figures.....	vii
Tableaux	viii

LISTE DES ABREVIATIONS

Formules physiques :

F : Effort en tête du support, à 0,25 mm au-dessous de sommet du poteau	[en daN]
V : Effort du vent sur la petite face du support	[en daN]
V ^l : Effort du vent sur la grand face du support	[en daN]
T : Facteur de résistance transversal	
N : Effort de service	[en daN]
N ^l : Effort transversal	[en daN]
f : Flèche	[en m]
a _e : Portée équivalent d'un canton en mètre	[en m]
a : Portée réelle en mètre	[en m]
a ₁ : Portée en amont de support	[en m]
a ₂ : Portée en aval de support	[en m]
n : Nombre de conducteur	
K : Coefficient de réduction.	
S : Section du conducteur	[en mm ²]
t _f : Tension mécanique du conducteur	[en kg/mm ²]
E : Module d'élasticité	[en bar]
$\bar{\omega}$: Poids linéique du câble	[en daN/mm ²]
m _i : Facteur de surcharge sans vent	
m _f : Facteur de surcharge à un vent.	
P : Paramètre de la chaînette	[en m]
t _i : Tension mécanique à l'état initial en HA et en HB	[en kg/mm ²]
α : Coefficient de dilatation	[en °C]
θ _i : Température maximale de la région (sans vent)	[en °C]
θ _f : Température moyenne de la région	[en °C]
e : Écartement entre câble	[en m]
U : Tension de service	[en kV]
L : Longueur de la chaîne libre	[en m]
V : Effort linéique sur chaque câble dû au vent	[en daN/m]
v _A : Effort linéique sur chaque câble dû à 480 Pa	[en daN/m]
p : Masse linéique du câble	[en kg/m]
T _A : Tension mécanique de l'hypothèse le plus défavorable d'un canton	[en kg]
d ₁ : Altitude par rapport au support en amont	[en m]
d ₂ : Altitude par rapport au support en aval	[en m]
F : Effort horizontalement dû à un conducteur	[en kg]
P : Effort verticalement dû à un conducteur	[en kg]

Lexique :

BTA : Basse Tension catégorie A
BTB : Basse Tension catégorie B
CEG : Collège d'Enseignement Générale
CUF : Coopération Universitaire de la Francophonie
DIR/FR : Direction Interrégionale de Fianarantsoa
DTSS : Diplôme de Technicien Supérieur Spécialisé
EPP : École Primaire Publique
GPS: Global Positioning System
HT: Haute Tension
HTA : Haute Tension catégorie A
HTB : Haute Tension catégorie B
IACM : Interrupteur Aérien à Commande Mécanique
IACT : Interrupteur Aérien à Creux de Tension
JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy
LP3E : Licence Professionnelle en Exploitation des Eaux et Électricité
MADES : Madagascar Enseignement Supérieur
NV : Nappe-Voûte
PUDi-CUF : Plan d'Urbanisation Directeur du Commune Urbaine de Fianarantsoa
TBT : Très Basse Tension
UF : Université de Fianarantsoa
VOZAMA : Vonjeo ny Zaza Malagasy

INTRODUCTION

L'électrification joue un rôle considérable dans le développement rural d'un pays tant sur les plans démographique et économique que social. Le réseau d'énergie électrique est un système complexe, et qui réclame beaucoup de compétences pour sa conception et sa réalisation. C'est l'ensemble des opérations qui aboutissent à la construction d'une installation prête à l'utilisation. A ce stade il est important de faire les calculs nécessaires à la définition et au dimensionnement qui aident aux choix des matériels et conditionnent les performances attendues. Les études définissent les options techniques fondamentales dont l'architecture du réseau, les dimensionnements des équipements, les protections... [1] [2].

L'exploitation aisée d'une installation électrique dépend de la qualité du matériel et du choix correct des équipements d'où l'importance des études de dimensionnement des différentes parties du réseau électrique avant leur mise en œuvre [3].

Le village d'Ambatomainty est une zone dans la Commune Urbaine de Fianarantsoa mais il n'y a pas d'énergie électrique.

De ce fait, ce projet de fin d'études a été réalisé au sein de la société JIRAMA de Fianarantsoa à la Division des études et travaux du service de distribution d'électricité. Il concerne essentiellement « l'étude conceptuelle et l'évaluation financière de construction d'une ligne électrique aérienne HTA du village d'Ambatomainty dans la Commune Urbaine de Fianarantsoa ». Cette étude consiste à étudier les variations de tensions mécanique, des flèches dans le but de : obtenir des installations les plus économique en s'assurant que dans les conditions de travail précises les coefficients de sécurité K est supérieure à 3; déterminer les distances réglementaires entre les éléments des installations imposées par les normes et déterminer les efforts exercés par les conducteurs sur les armements et les supports.

Par conséquent, le présent mémoire aborde en premier lieu, la présentation générale des acteurs. Ensuite, on expose le déroulement de l'étude et l'état de l'art sur les réseaux électriques. Enfin, on procède à l'analyse des résultats en préconisant des solutions techniques répondant aux préoccupations des acteurs locaux et des usagers. Une conclusion termine le travail.

Chapitre 1 : Présentation générale des acteurs

1.1. Présentation de la société JIRAMA [4]

L'entreprise porte le nom Jiro sy Rano Malagasy(JIRAMA). C'est une société de prestation de service. Elle produit, distribue l'électricité et l'eau potable à Madagascar. C'est une société d'État à gestion privée, c'est-à-dire que la totalité de son capital appartient à l'État. Son siège social se situe au 149 Rue RAINANDRIAMAMPANDRY Ambohitovo, BP 200-Antananarivo 101.

La JIRAMA a le devoir de fournir une énergie électrique et de l'eau conformément à son contrat de fourniture à sa clientèle la production tout en respectant les normes de qualité et la règle de l'art. En contrepartie, la clientèle doit respecter le contrat d'abonnement, c'est-à-dire régler le facture de consommation.

Madagascar possède un potentiel important de ressources hydroélectriques, estimées à 7500 MW. Actuellement, la puissance totale installée est de l'ordre de 300 MW.

La JIRAMA assure le service public d'électricité et produit 68% de l'énergie électrique par des centrales hydroélectriques et le reste par des centrales thermiques. Elle dessert actuellement 370 000 abonnés sur tout le territoire national.

Le taux de croissance de la demande escomptée pour les 10 prochaines années est de 8 % par an. Les ressources financières très limitées du secteur public ne sont pas en mesure de répondre à cette demande.

La Direction Interrégionale de Fianarantsoa (DIR/FR) se trouve à Tsianolondroa. Elle est composée de 22 centres d'exploitation dont 10 centres mixtes (Eau et Électricité), 11 centrales électriques et 01 centre d'eau, y compris les zones périphériques.

Trois (03) grandes centrales assurent la production d'électricité de la ville de Fianarantsoa et de ses environnants, dont deux hydrauliques (Namorona et Manandray) et une thermique (Ankidoka). Tandis que pour la production et le traitement d'eau, deux sources importantes sont opérationnelles (Antarabiby et Vatosola).

1.2. L'Université de Fianarantsoa et la Licence Professionnelle « Exploitation des Eaux et Electricité » [5] :

L'Université de Fianarantsoa (UF), dispose en son sein d'une filière de formation professionnalisant en métiers de l'eau et de l'électricité de niveau Bac+3 pour l'obtention du diplôme de Licence Professionnelle ou du DTSS (Diplôme de Technicien Supérieur Spécialisé).

La filière de formation « Licence Professionnelle en Exploitation des Eaux et Électricité »(LP3E), dont la mise en place de cette filière a été subventionnée par l'Agence

Universitaire de la Francophonie (AUF) et la Coopération Universitaire Franco-malgache, a déjà recruté depuis sa création en 2009 six (06) promotions d'étudiants.

Ce mémoire est réalisé dans le cadre du projet de fin d'études de la 7^{ème} promotion pour l'année universitaire 2015-2016.

L'objectif professionnel de cette formation consiste à former des assistants ingénieurs aptes à travailler dans le domaine concerné en association d'utilisateurs, ou au sein d'un bureau d'études, collectivité ou entreprise. Le contenu de la formation présentée est le fruit d'une réflexion menée en étroite collaboration avec les partenaires industriels et les branches professionnelles du secteur eau et du secteur énergie. En plus du tronc commun avec une unité d'enseignement de mise à niveau scientifique et technique, la formation a la particularité de proposer deux options reposant sur des pôles de compétence diversifiés, à savoir :

- L'option Technologie d'Exploitation des Eaux (TEE) ;
- L'option Exploitation des Installations Electriques (EIE).

L'année universitaire est divisée en deux semestres correspondant au S5 et S6 du niveau L3 de Licence ; les compétences seront évaluées sur la base du contrôle continu et examen terminal. La formation se déroule donc en une année à temps plein, décomposée comme suit : 550 heures académiques (S5 et S6), 25 heures de projet tutoré et 16 semaines de stage en entreprise (équivalent à 25 h). Les enseignements (600 h) de la Licence Professionnelle sont répartis en trois domaines d'Unités d'Enseignement (U.E.), à savoir.

- La formation générale (275 h) de tronc commun comportant : Les modules de mise en niveau scientifique et technique, la langue vivante, les outils informatiques et modélisation, la culture et communication et la connaissance de l'entreprise.
- La formation technologique (275 h) (répartie selon le choix : options).
- Les travaux de fin d'études comprennent : Le projet tutoré et le stage en entreprise.

1.3. La localité du village Ambatomainty [6] :

1.3.1. Situation géographique :

La Commune urbaine de Fianarantsoa est l'une des communes dans le District de Fianarantsoa, de la Région Haute Matsiatra. La ville de Fianarantsoa se trouve à 410 km de la capitale, sur la RN 7 reliant Antananarivo – Toliara.

Sa superficie est de 138,68 km². Elle est délimitée :

- au Nord par les Communes rurales d'Ivoamba et d'Ialanandiro ;
- au Sud par les Communes rurales de Soaindrana et de Talata Ampano ;
- à l'Ouest par les Communes rurales d'Andoharanomaintso et Ankarinarivo Maniriso ;

- à l'Est par les Communes rurales d'Andrainjato Centre et de Taindambo.

La Commune urbaine de Fianarantsoa est composée de 50 Fokontany (figure 1.1) et 7 arrondissements dont : Andrainjato Sud, Andrainjato Nord, Lalazana, Manolafaka, Vatosola, Ville Basse et Ville Haute

Ambatomainy est un village dans l'arrondissement d'Andrainjato Sud et est situé à 2 km au Sud de Fokontany Ambatoharanana.

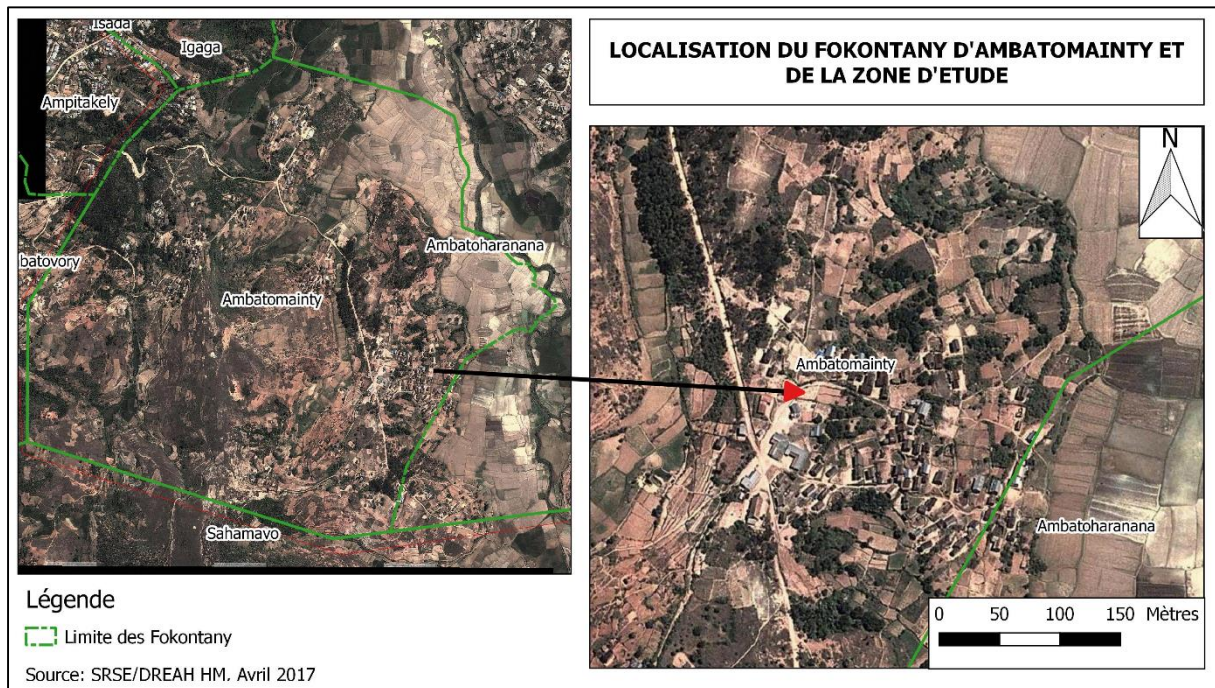


Fig.1.1 : Localisation du Fokontany Ambatomainy et la zone d'étude

1.3.2. Caractéristiques socio-économique de la zone d'étude :

Les enquêtes effectuées auprès des certains villages nous ont permis de relever bon nombre d'informations quant aux activités et aux conditions de vie des gens de la zone étudiée.

1.3.2.1. Analyse de la demande énergétique :

L'analyse a été conduite selon deux grands secteurs, le secteur domestique et le secteur non domestique.

- Secteur domestique :

Le modèle de l'analyse de la demande domestique est fondé sur un découpage de la demande en modules homogènes du point de vue des conditions de formation de la demande. Les modules considérés pour l'analyse de la demande énergétique domestique sont ceux issus de l'étude socio-économique. Les principaux déterminants de la demande du secteur domestique sont ainsi le niveau d'équipement des ménages et des consommations unitaires par usage et le taux de desserte identifié.

- Secteur non domestique :

L'usage non domestique considéré est l'estimation de la demande non domestique est pour l'essentiel basée sur les résultats des enquêtes « village ».

1.3.2.2. Les habitants :

D'après le Plan Communal de Développement (PCD), la population de la Commune urbaine de Fianarantsoa compte 200 925 habitants en 2014 et est répartie en (à chercher) ménages, dont la taille moyenne est de 5,1 avec une densité de 1 458 hab/km², la densité la plus élevée est de 13 330 hab/km², mais uniquement à Ambalapaiso, la plus faible est de 126 hab/km² à Sahamavo [6]. D'une manière générale, le taux d'accroissement naturel est de l'ordre de 3,8%.

1.3.2.3. Les activités :

Les activités économiques principales de la Commune de Fianarantsoa sont marquées par l'agriculture, l'élevage et l'artisanat. Les surfaces cultivées sont 2683,33 Ha. En 2010, la Commune dispose de 58 500 têtes de cheptel bovin, 320 têtes de cheptels caprins (en 2000), 125 000 têtes de volailles, et 3 500 têtes de cheptel porcin (type d'élevage semi extensif), ainsi que de 2683,33 Ha de superficie totale cultivée.

Le village d'Ambatomainty compte 1183 habitants qui pratiquent essentiellement l'agriculture pluviale, dont la riziculture marque environ 8 km² de surface cultivée, soit de l'ordre de 9% du territoire communal. Bien que cette dernière soit peu lucrative, elle est souvent accompagnée d'une activité de petit élevage qui vient compléter les revenus des ménages.

Dans le village d'Ambatomainty, les activités artisanales des habitats sont marquées par la briqueterie, poterie et peinture.

1.3.2.4. La vie communautaire :

Le village d'Ambatomainty dispose d' :

- une école primaire publique (EPP) avec 403 élèves,
- une école « VOZAMA » de 40 élèves,
- une école « Sekolin'ny Ankohokely » avec 51 élèves,
- un bureau de Fokontany Ambatomainty et du projet SEKALINE,
- une église FJKM (nombre de fidèles : d'environ 250 fidèles) et Jesosy Famonjena (nombre de fidèles : avec 150 chrétiens).

1.3.3. L'état des lieux :

Cette étude concerne l'étude conceptuelle et l'évaluation financière de construction d'une ligne électrique aérienne HTA du village d'Ambatomainty dans la Commune urbaine de Fianarantsoa.

La longueur totale de la ligne à construire est de 1,627 km à partir du point de dérivation sur la ligne 20 kV près de la faculté des sciences Andrainjato jusqu'au point de livraison en moyenne tension à Ambatomainty.

L'électrification d'un site situé à une distance éloignée du point de raccordement nécessite une étude de tracé de la ligne avant l'exécution de travail afin d'évaluer son coût de réalisation.

Chapitre 2 : Déroulement de l'étude et l'état de l'art sur les réseaux électriques

2.1. Méthodologie appliquée

La méthodologie adoptée pour l'élaboration de cette étude comprend essentiellement :

- La recherche documentaire :

Elle a pour objectif de collecter les informations, les données d'étude et les normes et règles techniques d'utilisation.

- Des diagnostics socio-économiques et techniques :

Ces diagnostics consistent à faire des enquêtes socio-économiques auprès de la population du village d'Ambatomainy en vue de mieux cerner la demande en électricité. Simultanément à ces enquêtes, nous avons mené de l'observation pour découvrir les appareils et installations électriques existantes.

- Des entretiens :

Ici, nous voudrions parler des entretiens avec les encadreurs du mémoire qui ont permis de nous orienter et de définir le contenu de la présente étude.

2.2. Méthodologie technique

La réalisation de ce projet nous a amené à faire l'étude de terrain en vue de déterminer le tracé de la ligne et de faire le profil en long. Ce dernier nous permet d'étudier l'emplacement des supports en considérant la direction de la ligne et celle du vent. L'étude climatique de la région nous a permis de faire les calculs mécaniques de la ligne lesquels nous ont permis de déterminer les types d'armements, les types des supports et la pose des conducteurs.

2.3. Les réseaux électriques

Un réseau électrique se définit comme un ensemble des lignes électriques reliées directement entre elles et fonctionnant sous la même tension, qui est la tension nominale de ce réseau.

Cette valeur nominale de tension est classée par la norme Française NF C 11-201 en différentes catégories comme indiqué ci-dessous (tableau 2.1) [3], [7], [8], [9] et [10] :

Tab.2.1 : Différentes catégories de tension nominale

TENSION ALTERNATIVE	DOMAINE DE TENSION	APPELLATION COURANTE	VALEUR USUELLE (tension d'utilisation)
$\leq 50 \text{ V}$	TBT		12 – 24 – 48 V
$50 < U \leq 500 \text{ V}$	BTB	BT (Basse Tension)	220 – 380 – 400 V
$500 < U \leq 1000 \text{ V}$	BTB		
$1 < U \leq 50 \text{ kV}$	HTA	MT (Moyenne Tension)	5,5 – 6,6 – 10 – 15 – 20 – 36 kV
$U > 50 \text{ kV}$	HTB	HT (Haute Tension)	63 – 90 – 150 kV
		THT (Très Haute Tension)	225 – 400 kV

Pour être acheminée depuis les centres de production vers les consommateurs, l'électricité emprunte des chemins successifs qui sont « comparables au réseau routier » [9].

À partir de la tension et de puissances maximales que peuvent supporter les réseaux électriques, on peut les classer en trois types différents qui sont : les réseaux de transport, de répartition et de distribution (tableau 2.2). Ils sont caractérisés comme suit [7] :

Tab.2.2 : Différents types de réseaux

Tension	Catégorie	Types de réseaux	P_{\max} de lignes
230 V/400 V	Basse tension	Réseau de distribution	Environ 250 kVA
15/20/33 kV	HTA	Réseau de distribution	Environ 10 et 15 MVA
63/90/110 kV	HTB	Réseau de répartition	De 100 à 150 MVA
225/380 kV	HTB	Réseau de transport	De 500 à 1 500 MVA

Les réseaux de distribution électrique sont l'ensemble des ouvrages aériens (ou souterrains) qui permettent de transporter et de distribuer l'énergie électrique depuis le centre de distribution vers le client [11]. Ils sont réalisés en courant alternatif qui est très bien adapté aux nombreux changements de tension durant le cheminement de l'énergie électrique.

Les différentes étapes de l'alimentation électrique (figure 2.1.a, figure 2.1.b et figure 2.1.c) sont caractérisées par :

- La production ;
- Le réseau de transport ;
- Le réseau de répartition ;
- Les réseaux de distribution.

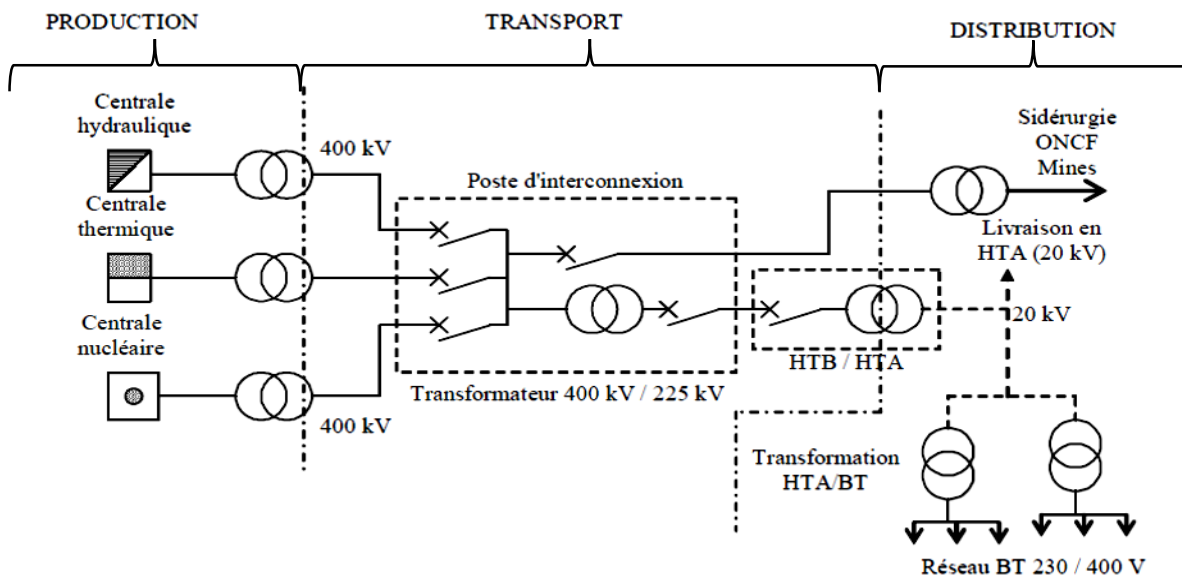


Fig.2.1.a : Schéma de principe de la production, du transport et de la distribution de l'électricité au niveau International

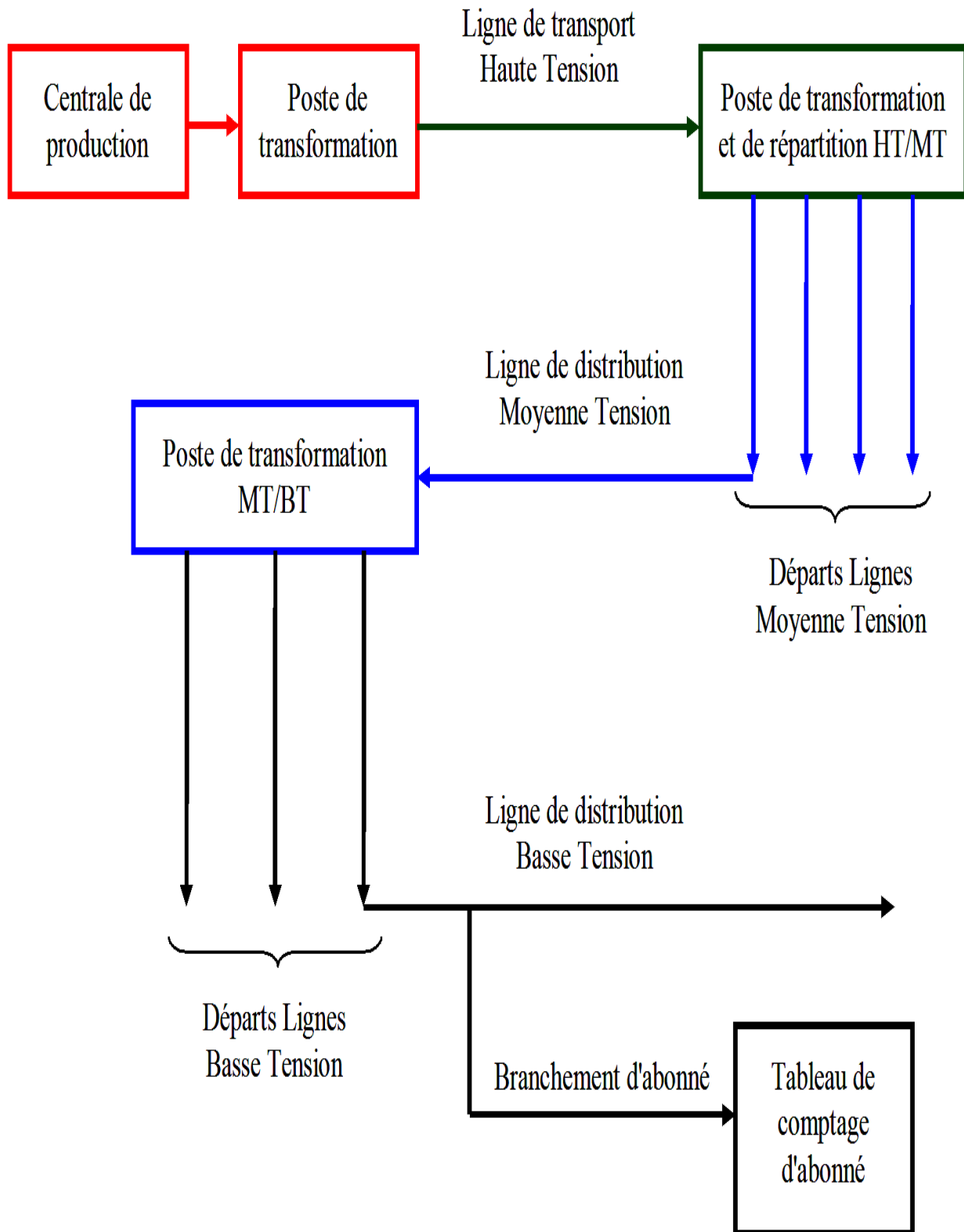
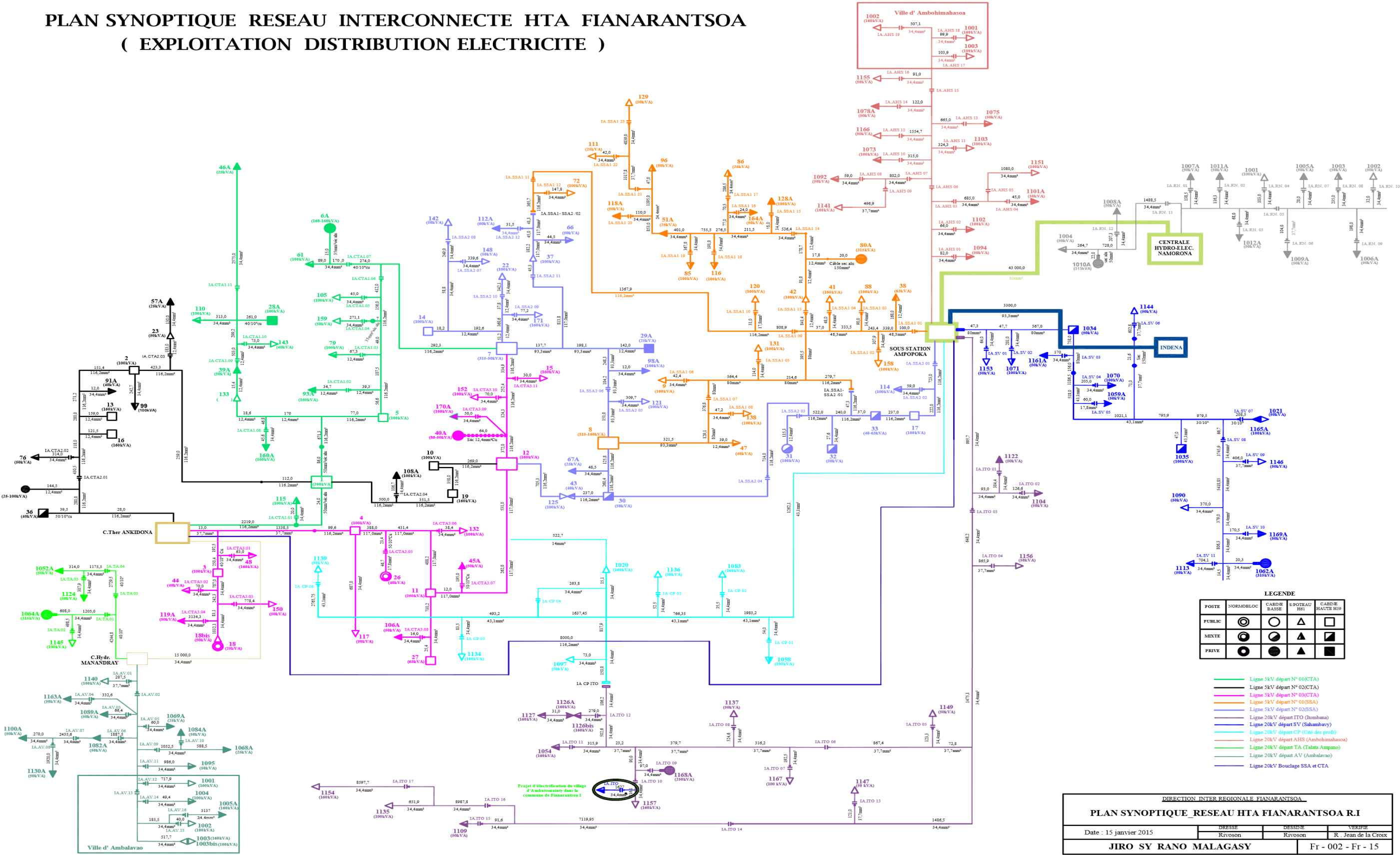


Fig. 2.1.b : Schéma général de la production, du transport et de la distribution de l'électricité au niveau National

PLAN SYNOPTIQUE RESEAU INTERCONNECTE HTA FIANARANTSOA
(EXPLOITATION DISTRIBUTION ELECTRICITE)



2.3.1. La production [8] :

L'énergie électrique est produite dans la centrale à l'aide de générateurs (appareil qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique) à un niveau de tension $\leq 20\,000$ volts.

En général, pour des raisons techniques et environnementales, les centrales sont installées dans des endroits éloignés des agglomérations.

Le passage du courant électrique dans les conducteurs (câbles, fils électriques) engendrent des pertes d'énergies dues à la résistance de ces conducteurs. Pour une même puissance à transporter, plus la tension de service est élevée, plus ces pertes sont faibles.

Ainsi, avant que l'électricité ne quitte la centrale, elle passe par un transformateur élévateur, en vue d'en augmenter le niveau de tension.

2.3.2. Le transport [8] :

Une fois produite, l'électricité doit être acheminée vers les différents lieux d'utilisation par l'intermédiaire d'une ligne de transport. Les lignes de transport à haute tension sont supportées par de grands pylônes d'acier.

A titre d'exemples :

- L'énergie produite par la centrale d'Andekaleka est transportée vers Antananarivo sous une tension de 138000 volts ;
- Celle produite par la centrale de Namorona est transportée vers Fianarantsoa sous une tension de 63 000 volts.

L'énergie électrique arrive ensuite dans une sous-station (poste de transformation et de répartition), qui convertit la haute tension en moyenne tension, avant d'être répartie sur le réseau de distribution.

Cependant, certains centres d'exploitation n'ont pas de lignes de transport. L'énergie électrique est directement acheminée vers le réseau de distribution, après avoir subi une transformation en MT. Ceci dépend notamment de l'emplacement de la centrale et de la puissance à transiter.

2.3.3. La distribution [8] :

La tendance actuelle est la normalisation des tensions MT en 20.000 volts.

Les lignes électriques du réseau de distribution peuvent être aériennes (suspendues par des poteaux électriques : en béton (figure 2.2), en bois ou métalliques), ou souterraines (enfouies sous terre).

La moyenne tension (MT) est ensuite transformée en basse tension (BT) par des postes de transformation MT/BT installés dans différents endroits.



Fig.2.2 : Les lignes électriques du réseau de distribution aériennes suspendues par des poteaux électriques : en béton

Les branchements d'abonnés sont raccordés à partir des lignes basse tension issues de ces transformateurs. Les tensions sont actuellement normalisées à 230 volts pour les branchements monophasés, et de 230/400 volts pour les branchements triphasés (230 volts entre une phase et le neutre, 400 volts entre deux phases différentes).

Chaque branchement d'abonné est équipé d'un compteur électrique afin de mesurer la consommation d'énergie.

Le présent projet concerne uniquement le réseau de distribution HTA.

2.3.4. Architecture des réseaux de distribution électrique [7] :

La conception du réseau électrique permet d'atteindre une plus ou moins grande disponibilité de l'énergie électrique. Le coût économique du réseau dépend naturellement de sa complexité.

Le choix d'une architecture de réseau est donc un compromis entre des techniques et économiques. Ainsi on distingue :

- L'alimentation en simple dérivation (ou en antenne) (figure 2.3) : Elle est utilisée lorsque la continuité de service demandée est faible. C'est cette architecture qui est adoptée pour la réalisation du présent projet.

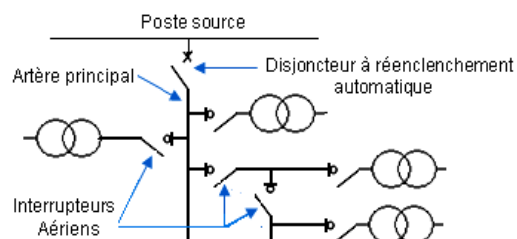


Fig. 2.3 : Alimentation en antenne

- L'alimentation en coupure d'artère (ou en boucle) (Figure 2.4) : Elle est bien adoptée aux réseaux étendus avec des extensions futures importantes.

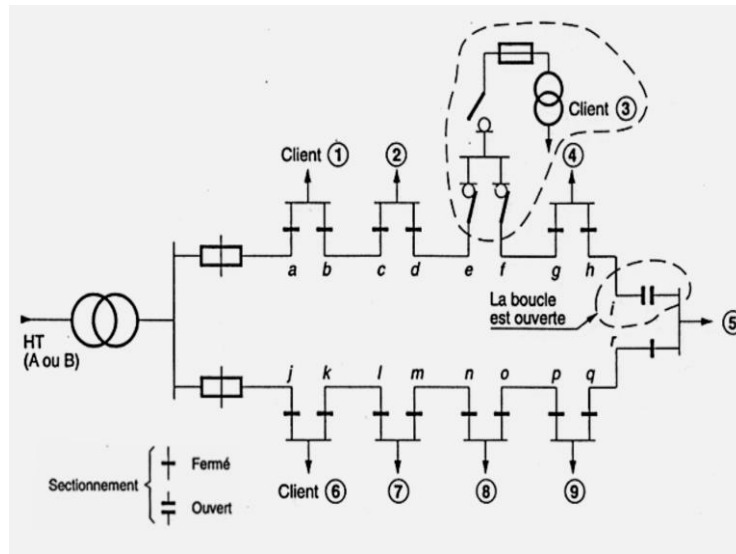


Fig. 2.4 : Alimentation en boucle

- L'alimentation en double dérivation (figure 2.5) :

Elle est bien adoptée aux réseaux étendus avec des extensions futures limitées et nécessitant une très bonne continuité de service

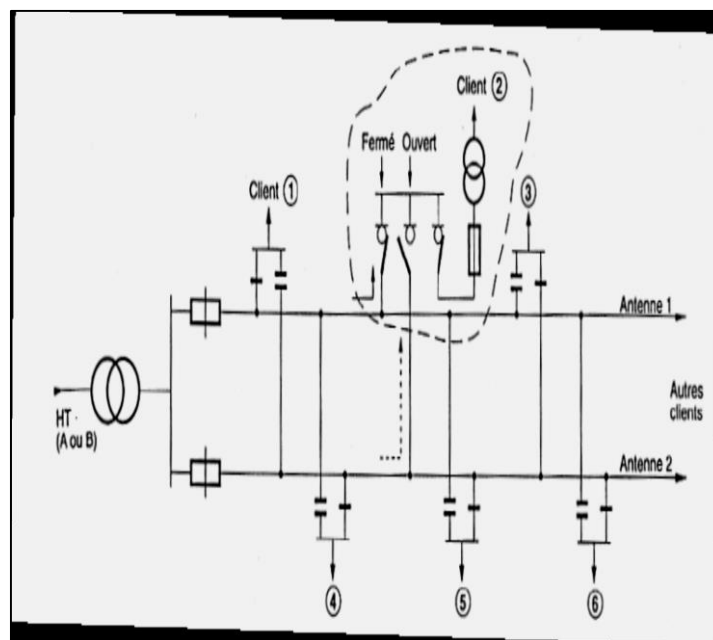


Fig. 2.5 : Alimentation en double dérivation

2.4. Constitution des lignes électriques aériennes

Les lignes électriques aériennes sont constituées essentiellement des conducteurs, des armements, des dispositifs de protection, des supports (figure 2.6).

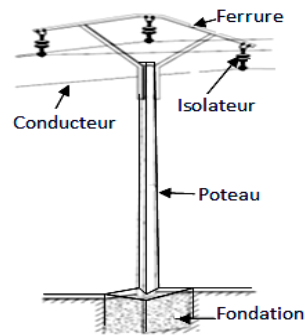


Fig.2.6 : Éléments des lignes électriques aériennes

2.4.1. Les conducteurs :

Les conducteurs transportent le courant électrique. Ils sont généralement en triphasé, avec au moins trois conducteurs par ligne. Les lignes électriques aériennes peuvent être à conducteurs nus ou à conducteurs isolés [12].

Les conducteurs nus sont généralement utilisés en aérien pour le transport de la haute tension. Les conducteurs isolés sont utilisés en aérien ou souterrain pour le transport de tout type de tension.

Les lignes à moyenne tension comportent trois conducteurs identiques. La nature et la section des conducteurs à utiliser sont choisies selon le tableau 2.3 [12].

Tab.2.3 : Nature et la section des conducteurs

En construction neuve						Entretien		
ALLIAGE D'ALUMINIUM			ALMELEC-ACIER			ALUMINIUM-ACIER		
Section	Composition (nombre de fils et diamètre exprimé en mm)	Résistance électrique à 20°C en ohms	Section	Composition (nombre de fils et diamètre exprimé en mm)	Résistance électrique à 20°C en ohms	Section	Composition (nombre de fils et diamètre exprimé en mm)	Résistance électrique à 20°C, [en ohms]
34, 4	7/2,5	0, 958	59,7 147,1	Acier :7/2 ;Alu :12/2	0,880	27, 8	Acier :1/2,25 ;Alu : 6/2,25	1,210
54, 6	7/3,15	0, 603		Acier :7/2 ;Alu :12/2	0,279	43, 1	Acier :7/2 ;Alu :12/2	0,780
75, 5	19/ 2,25	0, 438				80	Acier :1/2,8 ; Alu : 6/3,8	0,605
148	19,3, 15	0, 224				116	Acier :7/2,3 ;Alu : 12/2,3	0,306
						147	Acier :7/2 ;Alu :30/2	0,243
							Acier :7/2,25 ;Alu : 30/2,25	

La section du conducteur dépend des considérations électriques et économiques.

Les conducteurs utilisés pour les lignes aériennes doivent avoir [7] :

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

Pour remplir ces besoins dans la construction des lignes électriques, on utilise les conducteurs à base de l'aluminium. Il s'agit d'un aluminium-acier ou almélec (aluminium allié) ou almélec-acier.

2.4.2. Les supports (pylônes) [13] :

Le rôle des pylônes est de porter les câbles électriques dans un réseau aérien. Ils doivent être capables de supporter le poids de ces câbles ainsi que celui des composants installés en haut de poteau, tout en résistant aux contraintes mécaniques et aux agressions chimiques du milieu extérieur. Ils sont caractérisés par trois facteurs essentiels : sa hauteur, son effort et sa nature (en bois, en béton ou en métallique).

• Les pylônes en bois :

Le bois présente de nombreux avantages qui en font un matériau privilégié lors de la réalisation de petits réseaux ruraux. Il permet entre autre :

- d'être produit et exploité avec des moyens locaux ;
- de présenter une excellente résistance et une bonne flexibilité d'utilisation, tant durant son exploitation que lors de son transport et de son installation.

Cependant, le bois peut également pourrir ou subir des attaques par les insectes.

• Les pylônes en béton armé :

Le béton armé est une alternative envisageable lorsque l'on ne peut pas se procurer de bois. Il peut être fabriqué localement pour un coût relativement faible. De conception robuste, il possède un bon comportement face aux intempéries et présente une longévité exceptionnelle.

Cependant, la qualité du poteau dépend pour beaucoup du soin apporté à la conception. Les facteurs qui influent sur la résistance du pylône sont :

- la qualité du béton employé, et notamment le dosage ciment – sable ;
- la qualité de l'armature métallique utilisée pour l'ossature du pylône. La résistance du pylône est grandement améliorée si on réalise une précontrainte de l'acier avant moulage ;
- le degré de qualification de la main d'œuvre est également important, puisque la technique de fabrication n'est pas à la portée de tous.

• Les pylônes en acier :

L'acier permet de réaliser des pylônes relativement légers et qui peuvent être scindés en deux ou trois morceaux. Cette option permet de faciliter le transport et de monter les pylônes sur le site pour des réseaux peu accessibles. De plus, les caractéristiques physiques de l'acier étant bien connues, le dimensionnement est optimal et aisé.

Néanmoins, l'acier est particulièrement sensible à la corrosion. Le minimum est donc de peindre les pylônes, ou mieux, de galvaniser l'acier. A noter tout de même que le coût de fabrication est plus élevé que celui de pylônes en bois.

2.4.3. Les armements :

L'armement soutient les câbles sur les poteaux, quel que soit les conditions climatiques. Il est fixé à la tête des supports et qui est composé de la ferrure et de la chaîne d'isolement [14].

• Ferrures :

D'une manière générale, on rencontre plusieurs types des ferrures d'armement de différentes formes et dimensions. On peut en citer [7] :

- Les armements en nappe-voûte,
- Les armements en nappe horizontale (portique, herse d'ancrage),
- Les armements en alternés,
- Les armements en drapeau.

Leurs fonctions sont en alignement, en arrêt, ou en angle.

Il y a deux types de nappe-voûte : nappe-voûte 140 (NV1) et nappe-voûte 170 (NV2) [9].

Exemple : NV 140-75-50-60 (figure 2.7)

- NV : Nappe-voûte ;
- 140 : Écartement entre conducteur ;
- 75 : Distance au-dessus du sommet du support de la résultante des efforts horizontaux dues au vent ;
- 50 : Dimension de la traverse ;
- 60 : Dimension du montant.

L'abaque NV 9 et NV 29 donnent le choix de l'armement NV (Voir annexe 2).

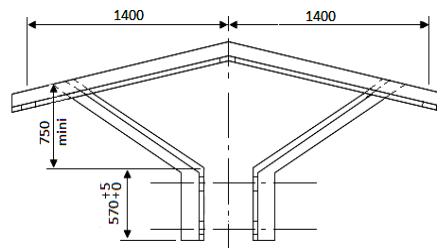


Fig. 2.7 : Armement nappe-voûte 140

La herse d'ancrage est destinée à 0,25m du sommet de poteau pour l'arrêt simple au niveau des postes de distribution MT/BT sur support et à 0,70m au-dessous de la ferrure pour la dérivation (figure 2.8).

C'est un fer cornier avec deux types de longueurs : 1 100mm et 1 500mm [11].

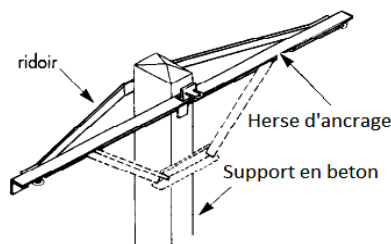


Fig. 2.8 : Herse d'ancrage

Si le calcul de l'écartement entre câble donne un écartement supérieur à 170 cm, alors, il faut directement utiliser un portique (figure 2.9).

Il y a 5 types de portique [11] :

- Portique de 4m à un écartement entre câble de 1,955m ;
- Portique de 5m à un écartement entre câble de 2,455m ;
- Portique de 6m à un écartement entre câble de 2,955m ;
- Portique de 7m à un écartement entre câble de 3,455m ;
- Portique de 8m à un écartement entre câble de 3,955m.

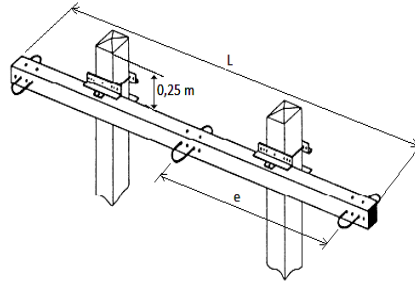


Fig. 2.9 : Armement portique

• **Isolateurs :**

Les isolateurs sont posés entre l'armement et le conducteur. Ils servent à supporter et isoler de la masse les conducteurs. Ils sont en verre ou en céramique et leurs choix sont en fonction des paramètres électriques et mécaniques. D'une manière générale, les lignes à HTA sont établies sur isolateurs suspendus [11].

Pour les supports d'alignement, on utilise des chaînes AL₂ ou AL₃ :

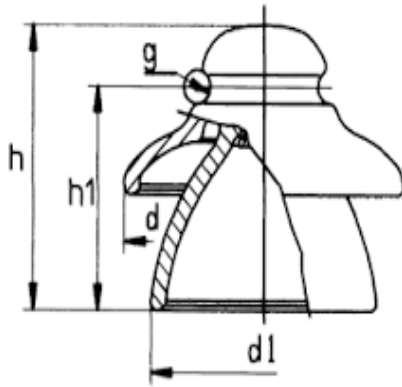
- AL₂ (chaînes d'alignement à deux éléments) pour les traversées des rizières, montagnes,...
- AL₃ (chaînes d'alignement à trois éléments) pour les traversées de route nationale et les voies ferrées.

Pour les supports d'ancrage, on utilise des chaînes AR₂ ou AR₃ :

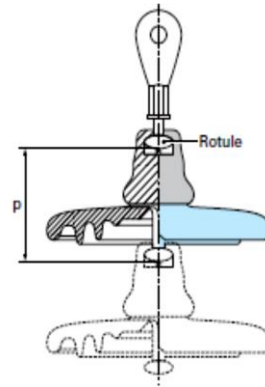
- AR₂ (chaînes d'ancrage à deux éléments).
- AR₃ (chaînes d'ancrage à trois éléments).

Les chaînes isolantes d'alignement sont constituées des éléments suivants (figure 2.10) [11] et [14] :

- un étrier fixé à la ferrure d'armement du support,
- un œillet à rotule,
- deux ou trois isolateurs (assiette),
- un œillet à logement de rotule,
- une pince de suspension.



a) Isolateur rigide



b) Isolateur suspendu

Fig. 2.10 : Chaîne d'isolement

La longueur des chaînes d'alignements composée de ses éléments doit être voisine de 40 cm pour les chaînes à deux éléments et 50 cm pour les chaînes à trois éléments ; sauf dans le cas de portiques où la mise en place de vis de suspension articulée est nécessaire [11].

Le choix de l'armement est déterminé à partir de résultat de calcul d'écartement entre câble, ainsi que les contraintes mécaniques qu'il subisse.

2.4.4. Appareilles de protection :

Comme dispositifs de protection pour la nouvelle ligne à construire, on va installer des éclateurs, des parafoudres et des interrupteurs aériens.

▪ Éclateur :

C'est un dispositif simple constitué de deux électrodes : la première au conducteur à protéger (de potentiel égal à la tension primaire du transformateur à protéger) et la deuxième reliée à la terre (potentiel zéro) [7].

A l'endroit où il est installé dans le réseau, l'éclateur représente un point faible pour l'écoulement des surtensions à la terre et protège ainsi le matériel.

La tension d'amorçage de l'éclateur est réglée en agissant sur la distance dans l'air entre les électrodes, de façon à obtenir une marge entre la tenue ou choc du matériel à protéger et la tension d'amorçage au choc de l'éclateur.

L'éclateur à corne à double intervalle équipé de chaîne d'isolateur à deux éléments (figure 2.11) est placé au support d'angle en point haut du tracé.

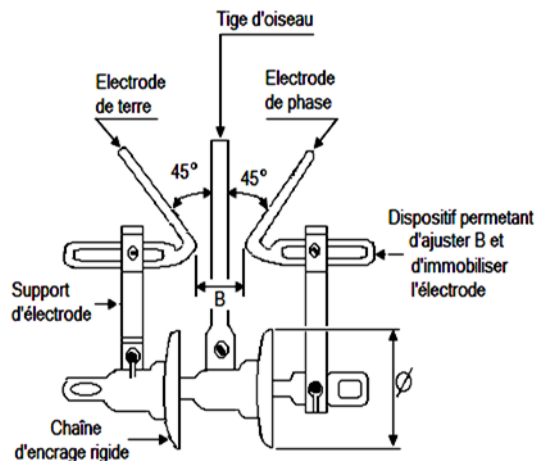


Fig. 2.11 : Éclateur (à corne) HTA avec tige

Le piquet de terre sera réalisé à partir d'un tube en acier galvanisé d'un diamètre au moins égal à 25 mm ayant la forme d'un triangle équilatéral de 1 à 2 m de longueur (figure 2.12).

Le nombre de piquet de terre sera déterminé en fonction de la résistivité du sol et de l'implantation de la prise de terre qui ne doit pas dépasser 40Ω [15].

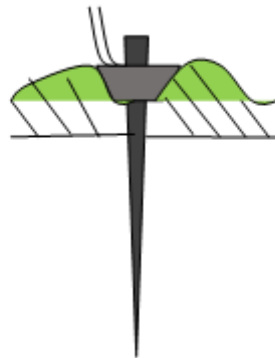


Fig. 2.12 : Piquet de terre

▪ Parafoudre :

Ce sont des appareils destinés à limiter les surtensions imposées aux transformateurs, aux instruments et machines électriques par la foudre et par les manœuvres de communication. Ils assurent l'écoulement efficace des courants transitoires de la foudre [7].

La partie supérieure du parafoudre est reliée à un des fils de la ligne à protéger et la partie inférieure est connectée au sol par une mise à la terre de faible résistance, généralement de moins de 1Ω et elle sera protégée mécaniquement par un tuyau galvanisé sur une hauteur de 2,50 m pour les préserver des actes de vandalisme.

Les parafoudres employés seront du type extérieur, à résistance variable à oxyde de zinc, avec enveloppe en porcelaine, suivant la norme NFC 65-100. Leur tension assignée sera de 24 kV et de courant nominal de décharge de 10 kA.

Les piquets de terre seront constitués de trois brins en cuivre nu de $29,3\text{mm}^2$ de 10 m de longueur chacun, installés à 2 m de profondeur.

▪ **Interrupteur aérien :**

Pour isoler un élément de réseau MT, on dispose d'interrupteurs à commande mécanique.

Les IACM et IACT doivent être conformes aux normes en vigueur, leurs emplacements seront convenablement dégagés et facilement accessibles [12].

Les appareils de coupure IACM (figure 2.13) sont de conception simple et robuste. Leur montage se fait en horizontal sur poteau et se place au premier support après la ligne de dérivation, mais on peut changer ce point suivant l'accessibilité pour leur manœuvre.

Le type IACM à proposer est d'intensité nominale 200 A, de pouvoir de coupure 31,5 A.



Fig. 2.13 : Interrupteur aérien types IACM

2.4.5. Disjoncteurs sur poteau :

Un disjoncteur est à la fois un dispositif de coupure capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants d'une intensité au plus égale à son courant nominal assigné.

- Disjoncteurs de poteau (figure 2.14) avec bloc numérique pour la protection et la gestion des transformateurs MT/BT, adapté aux déséquilibres de charge importants et permettant de garantir l'exploitation totale de la puissance installée : Le choix d'un disjoncteur et de ses caractéristiques est corollaire au dimensionnement de l'installation. Il sera placé dans un coffret réalisé en matière plastique.

- Coffret disjoncteur : appareils avec trois pôles protégés, à coupure dans l'air avec chambres à cloisons métalliques le refroidissement et la coupure de l'arc.



Fig. 2.14 : Disjoncteurs sur poteau

2.4.6. Le poste de transformation :

Le transformateur est une machine statique à induction électromagnétique permettant de transformer un système de courant alternatif, de tension et intensité généralement différente mais de fréquence identique.

Il permet :

- d'adapter la tension de l'énergie électrique livrée au consommateur,
- de diminuer la section des câbles et les pertes joules en ligne,
- d'obtenir la meilleure condition économique de transport de cette énergie entre la centrale de production et le point d'utilisation.

C'est le poste de transformation H 61 de la puissance normalisée de 50 kVA placé sur poteau qui est utilisé dans notre projet (figures 2.2).

Les postes de transformation aériens H 61 ou postes sur poteau sont composés des principaux éléments suivants :

- un poteau en béton ;
- une herse d'ancrage avec isolateurs d'ancrage et parafoudres ;
- un transformateur triphasé avec dispositif d'accrochage ;
 - un coffret disjoncteur BT, monté juste sous le transfo et entraîné par commande manuelle à hauteur d'homme.
 - Une liaison BT en câble HN 33S33 entre transfo et coffret disjoncteur BT.

Les transformateurs H61 sont de type extérieur, hermétique à remplissage intégral et refroidissement naturel avec enroulements en cuivre et circuit magnétique en tôles à cristaux orientés, immergés dans l'huile et spécialement conçus pour l'accrochage en haut de poteau.

Chapitre 3 : Analyse des résultats

3.1. Calcul mécanique de ligne électrique aérienne :

Le calcul mécanique de ligne électrique aérienne est le dimensionnement des ouvrages des lignes électriques qui permettent d'étudier les variations des tensions mécaniques appliquées aux conducteurs dues aux différentes contraintes : vent, poids, température afin de dimensionner les armements et les supports [11].

Ce dimensionnement sera réalisé pour les sécurités des installations, des publics, le respect de la norme des règles techniques et la durée de vie de cette ligne.

Les lignes doivent être établies de façon à ne pas pouvoir être endommagées par des arbres ni par des buissons, même lors du vent violent. Les conducteurs doivent être fixés uniquement sur des supports admis et établis pour eux

3.1.1. Ligne étudiée à partir d'un profil en long :

Le plan de base pour l'étude de ligne est le profil en long de la bande planimétrie. La répartition des supports doit s'opérer :

- en tenant compte des contraintes liées aux interventions sous tension,
- en s'efforçant de réaliser des portées aussi égales que possible,
- en évitant les surplombs des ouvrages traversés en milieu de portée,
- en prenant la précaution de ne pas créer de points bas susceptibles de provoquer le retournement des chaînes ou de réduire leur portance surtout avec les conducteurs en alliage d'aluminium de faible section.

3.1.2. Etude préliminaire :

Il faudra approfondir cette étude surtout concernant les points suivants :

- Étude de la nature du terrain pour le tracé de la ligne dans le but de déterminer le tracé probable de la ligne,
- Choix du point de dérivation (source d'énergie électrique la plus proche) et détermination du point d'emplacement du poste de transformateur abaisseur.

3.1.3. Plan projet :

Le plan projet tel que mentionné ici est essentiel pour une durable mise en œuvre de ce projet. Il sera fait en mettant l'attention spéciale sur les points suivants :

- **Relevé sur terrain des points sur le tracé de la future ligne (utilisation d'un GPS (Global Positioning System)) :**

Cette première étape est importante pour l'étude du tracé de la ligne, car toutes les données nécessaires à l'élaboration du dossier de faisabilité de la ligne sont obtenues essentiellement par elle.

Pour ce faire, on doit disposer des équipements appropriés pour les levés tels que [17] :

- un GPS, pour lever les positions en coordonnées géographiques et altimétriques des points et diverses particularités à mentionner dans les plans.
- un théodolite, pour des levés topographiques de précision dans des zones particulières telles que : traversée des cours d'eau, zone de marécage, etc.

La JIRAMA utilise un GPS MAP 76 S (GPS portable) (figure 3.1). C'est un appareil GPS complet, comprenant une boussole électronique, un baromètre et affiche une grande variété d'informations de cartographie. Il fournit des données de la position où l'on se trouve avec une précision variant entre 1 et 10 m selon le nombre de satellites captés au moment de l'opération [18].



Fig. 3.1 : GPS MAP 76 S

Les données fournies sont traduites en coordonnées géographiques (Longitude, Latitude et Altitude) du point par rapport à la mer (0,00 m) [17].

Les données orbitales sont fournies dans les signaux satellites. Les points et singularités levés sur le terrain et enregistrés dans la mémoire du GPS seront transférés à l'ordinateur sous le logiciel Map Source.

- **Choix du paramètre :**

Le choix du paramètre maximal des lignes sur isolateur suspendu est effectué à partir de la section du câble (voir annexe 3).

Pour cette ligne nous allons choisir le paramètre 900 m à 40° C sans vent. Ce choix sera fait car la JIRAMA adopte convenablement ce paramètre pour l'étude d'une ligne moyenne tension sur un terrain vague à vent normal. Ce paramètre permet une flèche donnant des distances au sol acceptable dans les zones particulière.

- **Profil en long et planimétrie vue en plan :**

La position du conducteur inférieur est tracée en fonction du paramètre déterminé précédemment. Le profil en long ainsi habillé est complété par l'indication des caractéristiques suivantes :

- nature et section des conducteurs,

- numérotation des supports,
- nature et référence des armements, référence et composition des chaînes isolantes et accessoires,
- longueur des portées,
- paramètres d'étude,
- canton de pose et portées équivalentes.

La bande planimétrique figurant au bas du profil en long est complétée par la répartition des supports.

Le profil en long permet également d'avoir un aperçu rapide d'aménagement, de déterminer et représenter les paramètres suivants [19] :

- Les hauteurs des supports par rapport au sol.
- L'implantation des supports qui est effectuée en fonction de la flèche.
- La distance entre l'altitude qui est un élément nécessaire pour le calcul des efforts verticaux par conducteur au choix de l'armement nappe-voûte.
- La distance entre supports qui est un élément nécessaire aussi pour le calcul de la portée équivalente des cantons.

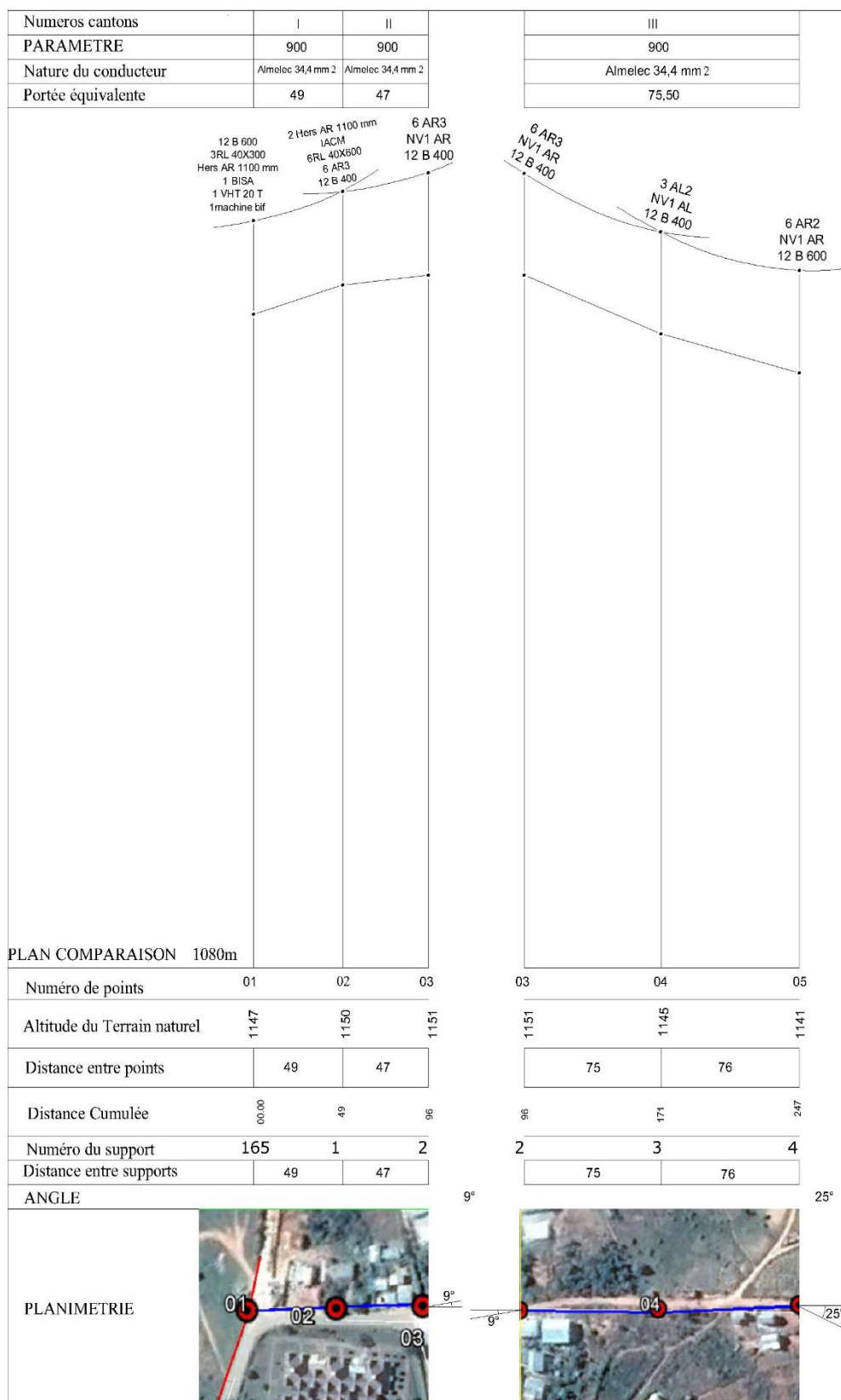
Description des caractéristiques de cette ligne d'après le relevé sur terrain des points :

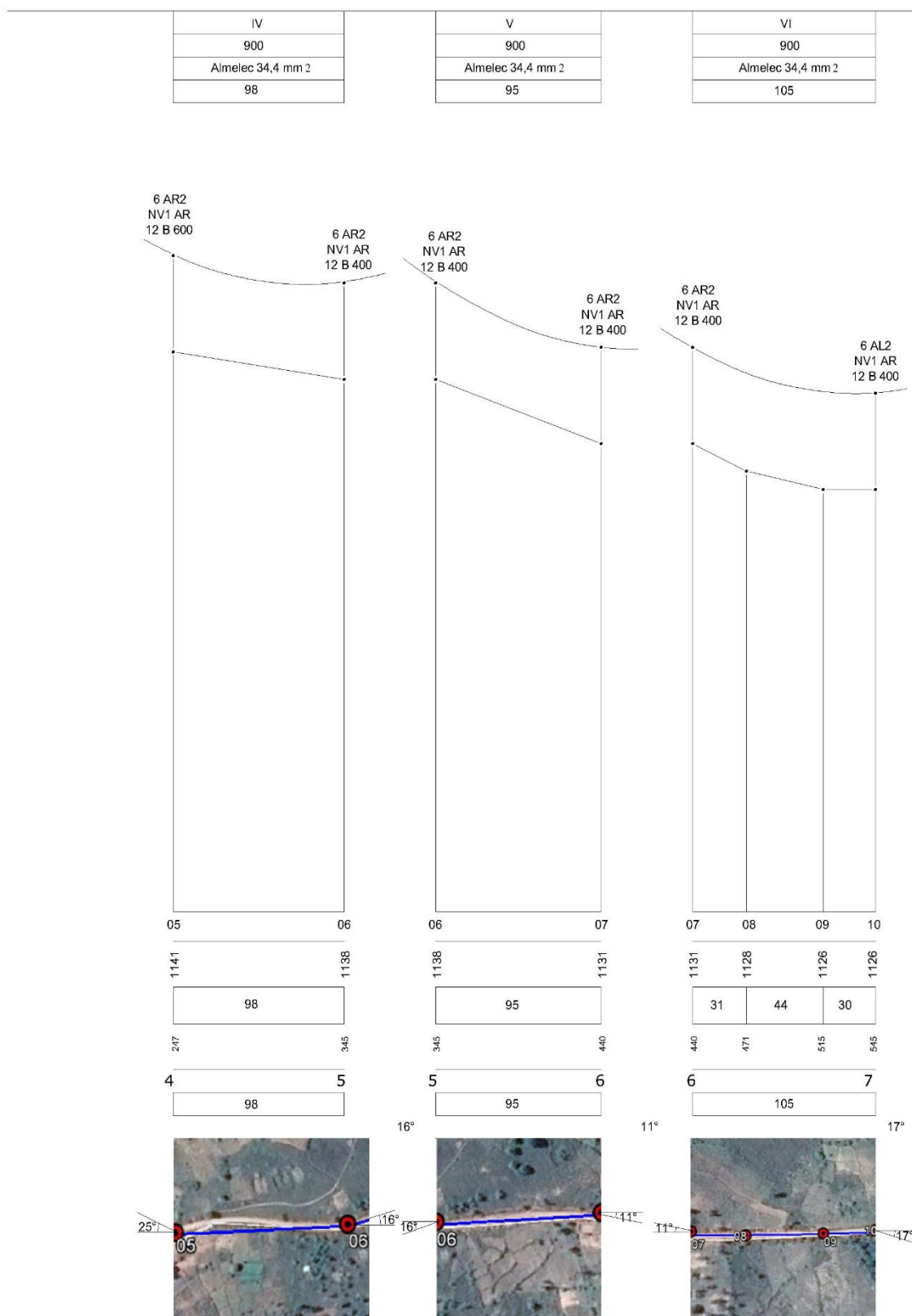
- Il s'agit d'un terrain dénivelé à vent normal ;
- Section du câble 34,4 mm² almélec ;
- Le paramètre retenu est de 900 m à 40° C sans vent ;
- Les supports sont en béton ;
- Une route entre le support n°01 aux 11 ;
- Un village d'Ankipahy entre le support n°11 et 12 ;
- Un terrain agricole avec arbres, une rizière et un cours d'eau entre le support n°12 et 13 ;
- Une rizière et un terrain agricole entre le support n°13 et 14 ;
- Des maisons entre le support n°14 et 15 ;
- Un champ de fruit et un bâtiment d'école entre le support n°15 et 16 ;

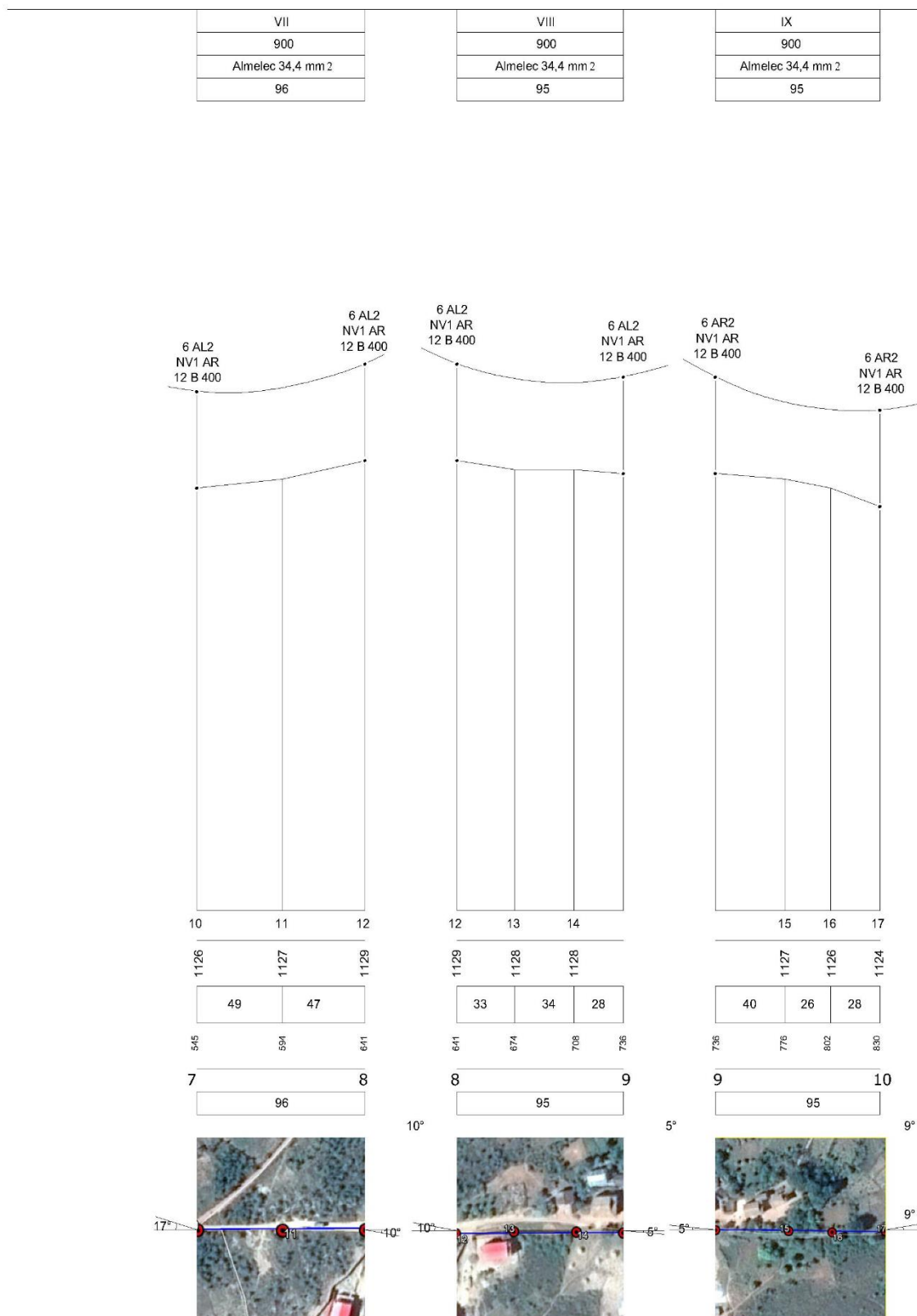
Le profil en long et planimétrique vue en plan est donné dans la figure 3.2 : Échelles [14] :

Vertical : 1/500 ;

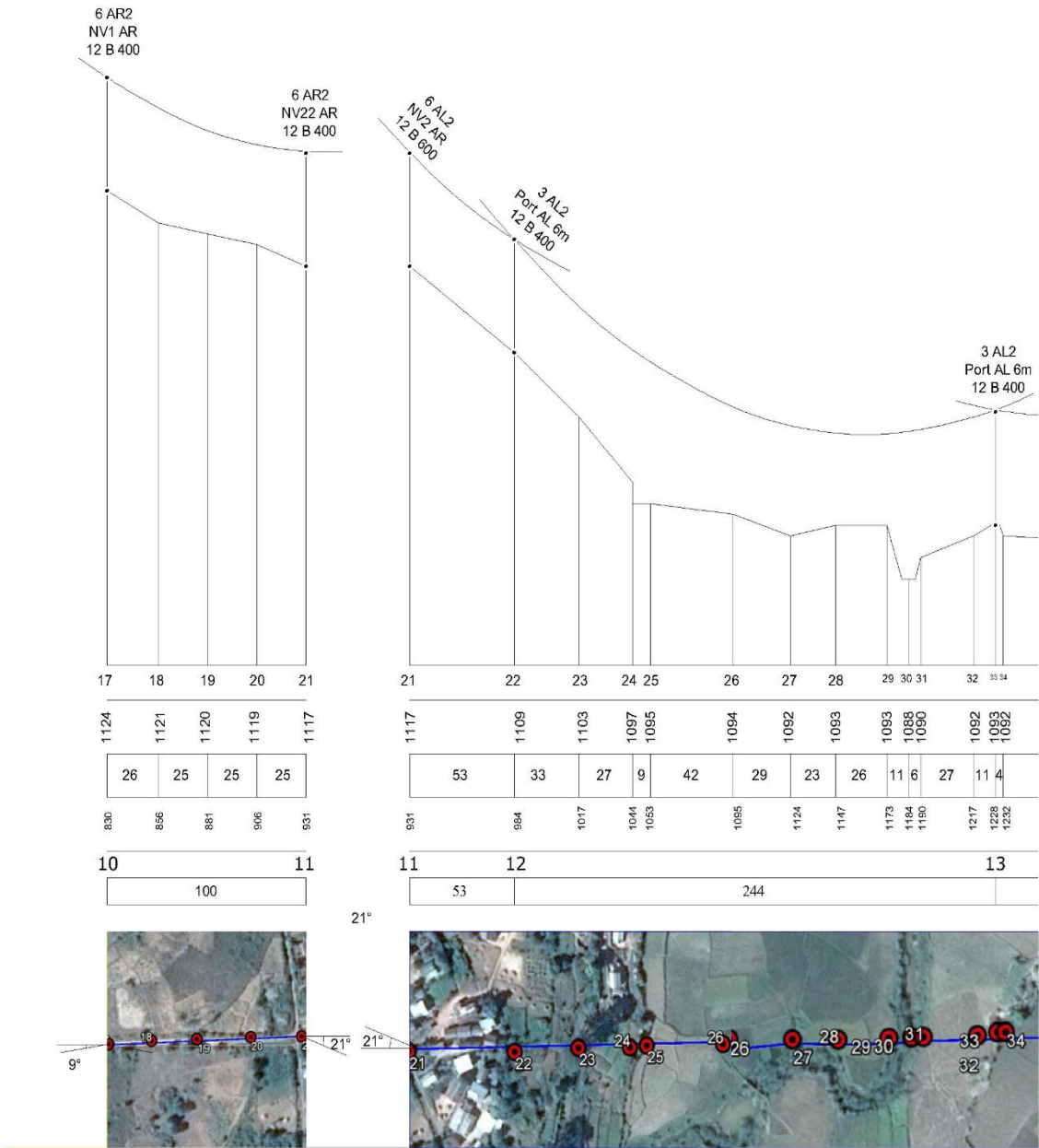
Horizontal : 1/2500.







X	
900	
Almelec 34,4 mm 2	
100	



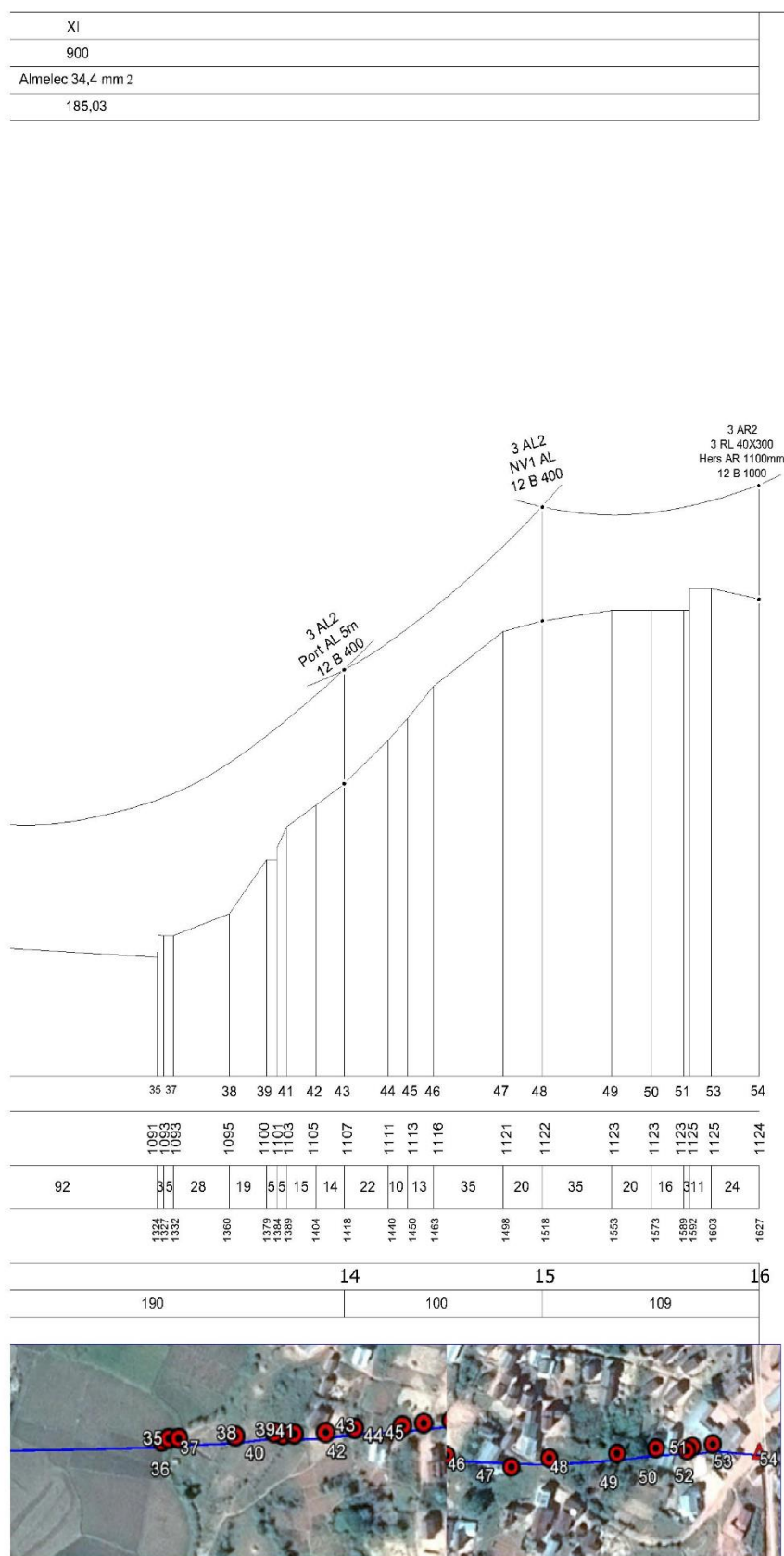


Fig. 3.2 : Profil en long et planimétrique vue en plan

3.1.4. Calcul mécanique du conducteur

Dans le présent mémoire, le conducteur (nu) almélec 34,4 mm² de section a été choisi car pour la charge à transporter n'excédant pas quelques centaines de kilowatts, la tension de la ligne de transport est égale à 20 kV et la longueur maximale de la ligne HTA n'est jamais bien supérieure à un vingtaine de kilomètres.

Ce type de câble est utilisé pour l'électrification rurale dans le monde en général, et à Madagascar en particulier. Son prix est par conséquent très compétitif [14]. Les caractéristiques techniques détaillées de ces câbles sont données à l'annexe 1. Elles sont prises dans C11 – 200 de juillet 1968.

3.1.4.1. Coefficient de sécurité [11] :

C'est le rapport entre charge correspondant à la rupture ou la mise en service d'un élément et l'effort maximal auquel il peut être soumis dans l'hypothèse de calcul considérée.

Pour le dimensionnement d'une ligne aérienne sur le poteau en béton, le coefficient de sécurité est fixé à 3 et on limitera aussi la tension dans le conducteur à 1/3 de la tension de rupture.

Le coefficient de sécurité partiel se calcul par :

$$\text{Coefficient de sécurité partiel} = \frac{\text{resistance à la rupture}}{\text{tension maxi selon HA}} \quad (3.1)$$

3.1.4.2. Conditions de pose des conducteurs

Le réglage des conducteurs est déterminé de manière que, dans la plus défavorable des hypothèses réglementaires, le facteur de sécurité des conducteurs soit au moins égal à 3 (ce facteur de sécurité n'est pas toujours exigé pour les conducteurs de lignes BT).

•Hypothèses réglementaire [11] :

L'article 6 du décret 60-294 du 27 août, de l'arrêt Technique Malagasy, donne les hypothèses réglementaires à considérer pour les calculs de conducteur et de supports. Ces hypothèses réglementaires sont données par le tableau 3.1 ci-dessous :

Tab. 3.1 : Hypothèses réglementaires à considérer pour les calculs

DESIGNATION		PRESSION DYNAMIQUES DU VENT								
Hypothèse	Température en °C	Les conducteurs			Les surfaces planes			Les supports à section circulaire de grand diamètre avec minimum de 10 daN de longueur.		
		daN/m ²	cpz	Pa	daN/m ²	cpz	Pa	daN/m ²	cpz	Pa
Hypothèse A Dite Hypothèse d'été	θ_A : Température moyenne de la région à considérer	48	48	480	120	120	1200	48	48	480
Hypothèse B Dite Hypothèse d'hiver	θ_B : Température minimale de la région à considérer	18	18	180	30	30	300	18	18	180

- A noter également que l'article 6-2 de l'arrêté technique donne, pour les pièces à section circulaire, les pressions dynamiques du vent sur leurs sections longitudinales, telles que : $q_A = 72 \text{ daN/m}^2 = 72 \text{ cpz} = 720 \text{ Pa}$ et $q_B = 18 \text{ daN/m}^2 = 18 \text{ cpz} = 180 \text{ Pa}$.
- A noter que des directives de services météorologie locale peuvent préciser ou modifier les valeurs de températures de la région à considérer (valeurs maximale, minimale et moyenne).

• **Hypothèse de température [11] :**

- Température maximale de la région (pour le choix du paramètre) : $\theta_i = 40^\circ\text{C}$ (sans vent) ;
- Température moyenne de la région à considérer : $\theta_A = 25^\circ\text{C}$;
- Température minimale de la région à considérer : $\theta_B = 5^\circ\text{C}$.

• **Hypothèse relative aux vibrations [11] :**

Selon la Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (C.I.G.R.E), il est apparu que les avaries de conducteurs dues aux vibrations affectaient plus particulièrement les lignes pour lesquelles : la tension à $+15^\circ\text{C}$ de la charge de rupture. Il est donc recommandé de rester au voisinage de cette valeur ou en dessous.

3.1.4.3. Résolution :

▪ **Flèche d'un conducteur (f), [en m] :**

Les conducteurs des lignes aériennes sont écartés du sol de voie publique, des cours d'eau, des jardins et terrains surplombés et des constructions d'une distance appelées « distance maximale d'éloignement » [12]. Cette distance est à calculer.

La flèche (figure 3.3) est choisie en fonction de la température maximale de conducteurs qui est généralement pris à 55°C , c'est le cas le plus défavorable. Elle est calculée en fonction du paramètre comme suit [7] et [14] :

$$f = \frac{a^2}{8.P}, \quad (3.2)$$

Avec :

f : la flèche
 a : la portée
 p : le paramètre

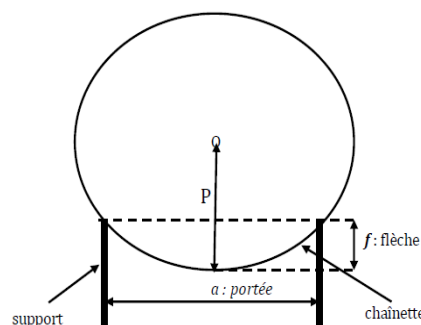


Fig. 3.3 : Flèche d'un conducteur

La hauteur hors sol minimale du conducteur le plus bas, dans les conditions les plus contraignantes d'exploitation, soit 40°C sans vent, est de :

- 5m le long des rues des agglomérations à alimenter ;
- 6m aux travers des voies de circulations publiques et des chemins de fer ;
- 8m aux travers des routes nationales et voies des chemins de fer.

▪ **Portée réelle (a), [en m] :**

C'est la distance prise dans le plan horizontal entre deux supports.

▪ **Canton de pose :**

La ligne est divisée en cantons de pose dans chacun desquels la tension mécanique de pose est uniforme. Un canton est une succession de portées (figure 3.4), tant que les armements sont en alignement ou en double-ancrage. Les fonctions arrêt simple, arrêt double et semi-arrêt représentent des limites de canton qui permettent d'éviter une rupture en cascade de toute la ligne en cas d'incident. Il est limité à 15 portées [15].

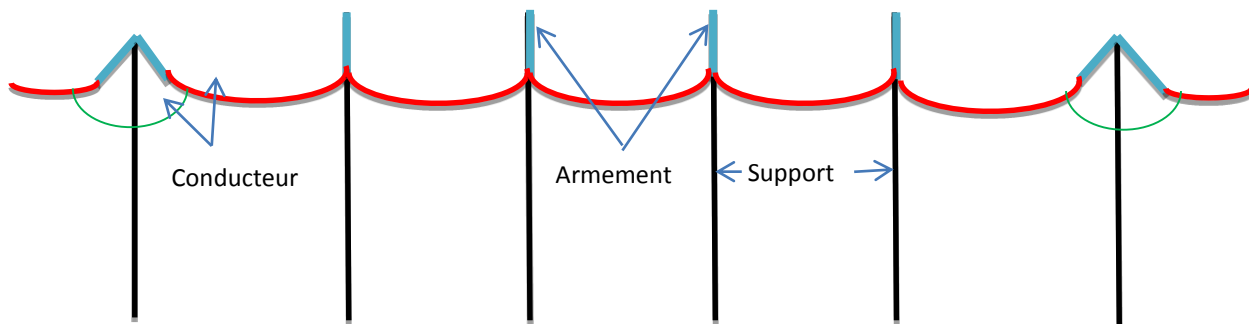


Fig. 3.4 : Canton de pose

Un canton de pose est constitué d'une succession de portées entre chaîne de suspension, la longueur de portées variant sur le canton, les ancrages étant situés aux extrémités du canton. Dans ce cas, les extrémités des chaînes de suspension sont libres de se déplacer suite à des différences de tension entre portées voisines.

▪ **Portée équivalente (a_e), [en m] :**

C'est la portée type prise à l'intérieur d'un canton de pose.

Il se calcule par la formule [11], [12] et [14] :

$$a_e = \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum a}} \quad (3.3)$$

▪ **Portée fictive (a^l), [en m] :**

C'est le produit de la valeur de la portée équivalente par le coefficient de la surcharge donnée dans l'hypothèse d'été HA et dans l'hypothèse d'hiver HB [12].

$$\text{Il se calcule par la formule : } a^l = a_e \cdot m \quad (3.4)$$

Avec :

m : facteur de surcharge pour un vent.

▪ **Équation de changement d'état du câble :**

L'équation de changement d'état permet, partant d'un état d'équilibre initial du câble, de calculer sa tension mécanique dans un autre état d'équilibre en fonction des variations de température et de surcharge. Elle traduit l'influence de l'élasticité du conducteur et de sa dilatation thermique, sur la variation de longueur géométrique de la chaîne [11].

En portée équivalente pour les lignes sur isolateurs suspendus, l'équation de changement d'état est définie par [16] :

$$t_f^3 - t_f^2 \left[\frac{E \cdot \bar{\omega}^2 \cdot m_i^2 \cdot a_e^2}{24 \cdot t_i^2} + E \cdot \alpha \cdot (\theta_f - \theta_i) \cdot t_i \right] = \frac{E \cdot \bar{\omega}^2}{24} \cdot m_f^2 \cdot a_e^2. \quad (3.5)$$

Avec :

- t_f : Tension mécanique dans un conducteur, [en kg/mm²];
- E : Module d'élasticité, [en bar];
- $\bar{\omega}$: Poids linéique du câble, [en daN/mm²];
- m_i : Facteur de surcharge (initial) sans vent = 1 en HA et en HB,
- a_e : Portée équivalente d'un canton, [en m];
- t_i : Tension mécanique à l'état initial en HA et en HB, avec $t_i = \omega \cdot P$, [en kg/mm²];
- α : Coefficient de dilatation, [en °C];
- θ_i : Température maximale de la région (s v). Selon l'hypothèse : 40°C en HA et en HB;
- θ_f : Température moyenne de la région. Selon l'hypothèse : 25°C en HA et 5°C en HB;
- m_f : Facteur de surcharge en condition finale avec vent.

Les variables sur cette équation pour tous les calculs sont : a_e , θ_i et m_f .

▪ Tension de pose :

Il s'agit de calculer pour une portée de réglage donnée les tensions et les flèches de poses pour des températures variant de 40 °C à 5 °C [12]. C'est-à-dire, la résolution de l'équation de changement d'état dans laquelle : $m_i = m_f = 1$.

▪ Écartement entre câble e [en m] :

L'écartement entre câble (entre phases) se calcule par la formule [12], [15] et [16] :

$$e = k_c \cdot \left(\frac{U}{150} + k_2 \cdot \sqrt{(f + L)} \right). \quad (3.6)$$

Avec :

- $k_c = 0,8$: Coefficient de réduction dans le cas des armements horizontaux et obliques ;
- U : Tension de service, [en kV];
- $k_2 = 1$: coefficient qui dépend à la nature du conducteur (vent fort) ;
- L : Longueur de la chaîne libre, [en m];
 $L = 0,50$ m pour la chaîne AL₃ ou AR₃ ;
 $L = 0,40$ m pour la chaîne AL₂ ou AR₂ ;
- f : Flèche du conducteur à 40°C sans vent, [en m].

Le calcul de cet écartement permettra de déterminer le type de l'armement en vue de calcul de l'effort des supports d'alignement.

Calcul de l'effort horizontalement F [en kg] et l'effort verticalement P [en kg] dus à un conducteur (en alignement) pour le choix d'un armement nappe-voûte : $P = 900$ m, t à $+15^\circ\text{C}$ avec vent de 480 Pa [12] :

Nous avons alors :

$$F = v_A \cdot \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right). \quad (3.7)$$

Avec :

v_A : Effort linéique sur chaque câble dû à 480Pa , [en daN/m] ;
 a_1 : Portée en amont, [en m] ;
 a_2 : portée en aval, [en m].

$$P = p \cdot \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) + T_A \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right). \quad (3.8)$$

Avec :

p : masse linéique du câble, [en kg/m] ;
 T_A : Tension mécanique de l'hypothèse la plus défavorable d'un canton, [en kg] ;
 $T_A = t_A \cdot S$: Or : t_A : Tension mécanique dans un conducteur, [en kg/mm²] ;
 S : section du conducteur, [en mm²] ;
 d_1 : Altitude par rapport au support en amont, [en m] ;
 d_2 : Altitude par rapport au support en aval [en m].

3.1.5. Calcul mécanique des supports :

Les supports sont soumis :

- à l'effort du vent sur le support lui-même,
- aux efforts transmis par les conducteurs (par l'action du vent sur les conducteurs et par leur tension mécanique).

En distribution, on ne tient pas compte des efforts transmis par les ferrures et les isolateurs.

3.1.5.1. Effort nominal disponible sur les poteaux en béton [11] :

C'est l'effort de sollicitation de câbles sur le support. C'est-à-dire, l'effort que l'on peut exercer sur le haut du support à 25 cm du sommet et au coefficient de sécurité égale à 3 (figure 3.5).

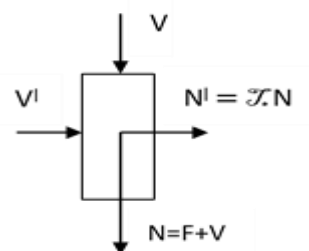


Fig. 3.5 : Effort disponible sur les poteaux bétons

Avec :

- F : effort nominal du support, disponible à 0,25 m au-dessous de sommet du poteau ; [en daN] ;
- V : effort du vent sur la petite face du support ;
- V^l : effort du vent sur la grande face du support ;
- T : facteur de résistance transversal, fonction de la classe du support ;
- N : effort de service, [en daN] ;
- N^l : effort transversal, [en daN].

L'effort nominal des supports est déterminé après le résultat de calcul des supports qui aura pris l'effort nominal inférieur ou égal à l'effort nominal des supports existant.

Les efforts normalisés des supports béton en fonction de leur hauteur sont résumés dans le tableau 3.2 suivant :

Tab. 3.2 : Effort nominal du support en fonction de sa hauteur

Effort nominal du Poteau, [en daN].	Hauteur, [en m].					
	9	10	11	12	13	14
150	X	X	X			
200	X	X	X	X		
250	X	X	X	X	X	
300	X	X	X	X	X	X
400	X	X	X	X	X	X
500	X	X	X	X	X	X
600	X	X	X	X	X	X
800	X	X	X	X	X	X
1000	X	X	X	X	X	X
1200	X	X	X	X	X	X

La hauteur de support à chaque emplacement sera déterminée à l'issue du traçage de la chaînette. La partie enterrée sera à la profondeur de : $\frac{H}{10} + 0,25$ m ; avec : H étant la hauteur totale du support, [en m].

Le choix du type de montage des poteaux sera à chaque fois le résultat du calcul des efforts auxquels le support sera soumis.

Les supports sont implantés en fonction de la flèche et la hauteur. Ils ne seront pas éloignés de plus de 200 mètres d'une route existante.

3.1.5.2. Classe des supports en béton [11] :

Elle définit l'effort que l'on peut exercer sur le plat d'un support par rapport à son effort nominal. La classe des supports en béton, les valeurs du vent et du coefficient de résistance transversale sont données dans le tableau 3.3 :

Tab.3.3 : Les valeurs du vent et du coefficient de résistance transversale

Classe des supports en béton	T	V	V ^I
Classe A : F < 300 daN	0,40	0,1F	0,16 F
300 ≤ F ≤ 500 daN	0,35		
F > 300 daN	0,30		
Classe B : F quelconque	0,6	0,13 F	0,16 F
Classe C : F quelconque	1	0,16 F	0,16 F
Classe D : 125 ≤ F ≤ 1000	0,50	0,13 F	0,16 F
Classe E : 800 ≤ F ≤ 1600	1	/	/

3.1.5.3. Le coefficient de réduction < k > à 0,25 m du sommet [11] :

Les efforts appliqués au support seront reportés à 0,25 m du sommet, en fonction de l'armement utilisé. Nous appliquerons les coefficients de report :

k = 1, 1 : pour le nappe-voûte ;

k = 1 : pour la nappe horizontale (portiques, herse d'encrage) ;

k = 0, 9 : pour la herse d'encrage placé à 0,70 m au dessous de 0,25 m du sommet.

3.1.5.4. Choix des supports [11] :

- Pour le support d'alignement (figure 3.6) :

L'effort du vent sur la petite face du support est inclus par construction. Seul le vent sur les trois conducteurs intervient.

On doit choisir un support :

$$F \geq n \cdot V \cdot \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot k \quad (3.9)$$

Avec :

- F : effort en tête du support, [en daN/m] ;
n : nombre de conducteur ;
V : effort linéique sur chaque câble dû au vent le plus élevé (à 480 Pa), [en daN/m] ;
a₁ : Portée en amont de support, [en m] ;
a₂ : Portée en aval de support, [en m] ;
k : Coefficient de réduction.

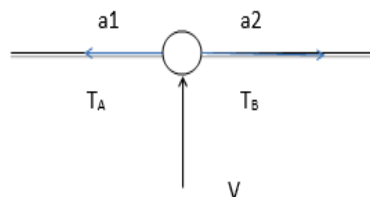


Fig.3.6 : Support d'alignement

- Pour le support en alignement limitant deux cantons (figure 3.7) :

Deux effort seront supportés le support qui sont : l'effort du vent au support et l'effort du câble au support qui sera vérifié à l'hypothèse d'été et hiver.

Donc, nous choisissons un support :

$$F \geq [n. V. (\frac{a_1+a_2}{2}). k] + [3. (\frac{|T_1-T_2|}{\tau}). k] \quad (3.10)$$

Avec :

- | | | | |
|------------------|---|---|---|
| T_1 | : | Tension mécanique de l'hypothèse le plus défavorable d'un canton en amont du support, | [en kg] ; |
| $T_1 = t_1.S$ or | : | t_1 : Tension mécanique dans un conducteur ;
S : Section du conducteur, | [en daN/m] ;
[en mm ²] ; |
| T_2 | : | Tension mécanique de l'hypothèse le plus défavorable d'un canton en aval du support, | [en daN/m] ; |
| $T_2 = t_2.S$ or | : | t_2 : Tension mécanique dans un conducteur | |
| τ | : | Facteur de résistance transversale | |

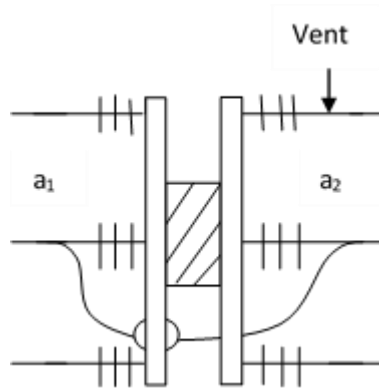


Fig. 3.7 : Support en alignement limitant deux cantons

- Pour le support d'arrêt simple (figure 3.8) :

On a:

$$F \geq [n. V. (\frac{a_1}{2.\tau}). k] + (3. T. k) + \frac{V^l}{\tau} - V \quad (3.11)$$

Sur une ligne principale, on utilisera un support de classe C ;

$\tau = 1$ et $V^l = V$

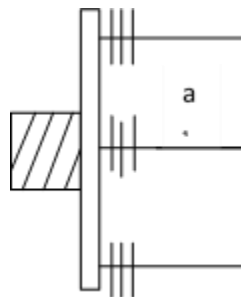


Fig. 3.8 : Support d'arrêt simple

- Pour le support d'alignement avec dérivation (figure 3.9) :

On gardera le cas le plus défavorable.

Calcul avec vent 1^{er} cas :

$$F \geq [n. V. \left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right). K_1] + (3. T. k_2) \quad (3.12)$$

Calcul avec vent 2^{er} cas :

$$F \geq [n. V. \left(\frac{a_3}{2\tau}\right). K_2] + (3. T. k_2) + \frac{V'}{\tau} V \quad (3.13)$$

Le choix de support sera déterminé à partir de résultat de calcul de F qui a choisi par le plus grand effort au 1^{er} cas et 2^{er} cas.

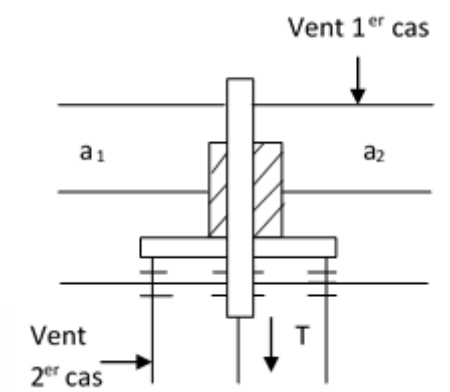


Fig. 3.9 : Support d'alignement avec dérivation

- Pour le support en angle (figure 3.10) :

Ainsi que les efforts du vent sur le conducteur en angle dépendent de cet angle de piquetage de ligne α (ou angle de déviation) par l'expression suivante :

$$V = K \times n \times v \times \left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right) \cos^2 \frac{\alpha}{2} \quad (3.14)$$

avec :

- V : la force du vent sur le conducteur en alignement pour l'hypothèse retenue, [en daN] ;
- v : la pression dynamique, [en N/m²] ;
- n : le nombre du conducteur.

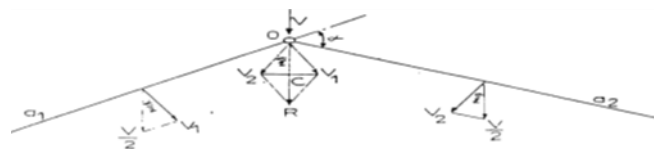


Fig. 3.10 : Support en angle

3.1.6. Résultat de calcul mécanique des lignes :

Après une modélisation mathématique, les paragraphes suivants résument les résultats de calcul mécanique des lignes aériennes.

3.1.6.1. Résultat de Calcul mécanique du conducteur :

Vérification de l'existence de portées moyenne maximale et minimale :

Avant de faire le projet, il est nécessaire de connaître les portées moyennes maximale et minimale réalisables en fonction du câble et du paramètre choisi, c'est-à-dire, vérifier la portance de la tension mécanique dans les conducteurs sur les portées moyennes maximale et minimale.

Ces valeurs de portée sont définies selon les hypothèses d'été (HA) et d'hiver (HB) d'une part, et suivant la valeur du paramètre P à choisir, d'autre part.

Donnée considérée par hypothèse :

- Hypothèses d'été (HA) :

État initial : $\theta_i = 40^\circ\text{C}$, $m_i = 1$ (sans vent), avec $t_i = \bar{\omega} \cdot P = 0,00268 \times 900 = 2,41 \text{ kg/mm}^2$.

État final : $\theta_A = \theta_f = 25^\circ\text{C}$, $m_f = 4,03$ (avec vent de 480 Pa) et $t_A = t_f = 10,72 \text{ kg/mm}^2$, à $k = 3$.

- Hypothèses d'hiver (HB) :

État initial : $\theta_i = 40^\circ\text{C}$, $m_i = 1$, avec $t_i = \bar{\omega} \cdot P = 0,00268 \times 900 = 2,41 \text{ kg/mm}^2$

État final : $\theta_B = \theta_f = 5^\circ\text{C}$, $m_f = 1,77$ (avec vent de 180 Pa) et $t_B = t_f = 10,72 \text{ kg/mm}^2$, à $k = 3$.

Résolution de l'équation de changement d'état :

- Selon HA, la résolution de cette équation donne :

$$10,72^3 - 10,72^2 \left[\frac{6000 \cdot 0,00286^2 \cdot 1^2 \cdot a^2}{24 \cdot 2,41^2} + 6000 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot (25 - 40) \cdot 2,41 \right]$$

$$= \frac{6000 \cdot 0,00286^2}{24} \cdot 4,03^2 \cdot a^2 \Rightarrow a^2 = -112031 \text{ donc } a < 0 \Rightarrow S = \{\emptyset\}$$

- Selon HB, la résolution de cette équation donne :

$$10,72^3 - 10,72^2 \left[\frac{6000 \cdot 0,00286^2 \cdot 1^2 \cdot a^2}{24 \cdot 2,41^2} + 6000 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot (5 - 40) \cdot 2,41 \right]$$

$$= \frac{6000 \cdot 0,00286^2}{24} \cdot 1,77^2 \cdot a^2 \Rightarrow a^2 = -13\,333 \text{ donc } a < 0 \Rightarrow S = \{\emptyset\}$$

Dans les deux cas d'hypothèses considérées, l'équation de changement d'état n'admet aucune solution. Cela veut dire que :

- pour HA, il n'existe pas de portée moyenne maximale au-dessus de laquelle, la tension mécanique dans les conducteurs deviendrait dangereuse.

- pour HB, il n'existe pas de portée moyenne minimale au-dessous de laquelle, la tension mécanique dans les conducteurs deviendrait dangereuse.

D'où, le choix du paramètre $P = 900 \text{ m}$ est vérifié et justifié pour le cas de notre ligne moyenne tension à étudier (Voir annexe 4).

Pour obtenir les valeurs de portées équivalentes dans chaque support, on a calculé la portée réelle et elles se présentent dans le tableau 3.4 suivant :

Tab. 3.4 : Portées équivalentes

	Tronçon compris entre :	Portée réelle a(m)	a^3	$\sum a^3$	$\sum a$	Portée équivalente (1) $a_e(m)$
I	Support EX et Sup N°1	49	117649	117649	49	49
II	Support N°1 et Sup N°2	47	103823	103823	47	47
III	Support N°2 et Sup N°4	75	421875	860851	151	75.50
		76	438976			
IV	Support N°4 et N°5	98	941192	941192	98	98
V	Support N°5 et N°6	95	857375	857375	95	95
VI	Support N°6 et N°7	105	1157625	1157625	105	105
VII	Support N°7 et N°8	96	884736	884736	96	96
VIII	Support N°8 et N°9	85	857375	857375	95	95
IX	Support N°9 et N°10	95	857375	857375	95	95
X	Support N°10 et N°11	100	1000000	1000000	100	100
XI	Support N°11 et Support N°12	53	148877	23829690	696	185.03
		244	14526784			
		190	6859000			
		100	1000000			
		109	1295029			

Tab.3.5 : Portées fictives et tensions mécaniques maximales dans un conducteur

N° du Canton	HYPOTHESES REGLEMENTAIRES								HYPOTHESE DE
	Portées fictives en mètres			Tensions mécaniques dans un conducteur en Kg/ mm²		t max. en Kg/mm² selon HA ou HB	Coefficients de sécurité		DEFORMATION PERMANENTE
	a' = ae x m avec vent								tp en Kg /mm²
	Nul S.V	48cpz ou 480Pa	18cpz ou 180Pa	HA 25°C à 48cpz	HB 5°C à 18cpz		Partiel	Global	-10°CSV
I	49,00	197	87	5,81	4,43	5,81	5,57	3,89	8,63
II	47,00	189	83	5,75	6,42	6,42	5,05		8,68
III	75,50	304	134	6,57	6,29	6,57	4,93		7,72
IV	98,00	395	173	7,09	5,85	7,09	4,57		6,73
V	95,00	383	168	7,03	5,90	7,03	4,61		6,87
VI	105	423,15	185,85	7,23	5,73	7,23	4,48		6,39
VII	96	386,88	169,92	7,05	5,88	7,05	4,60		6,82
VIII	95	382,85	168,15	7,03	5,9	7,03	4,61		6,87
IX	95	382,85	168,15	7,03	5,9	7,03	4,61		6,87
X	100	403	177	7,13	5,81	7,13	4,54		6,63
XI	185,03	745,6709	327,50	8,326	4,85	8,326	3,89		3,56

N° du Canton	HYPOTHESES DE PORTANCE DE LA CHAINE DISTANCE A LA MASSE					HYPOTHESES DE VERIFICATION DE		HYPOTHESE RELATIVE AUX VIBRATIONS (C.I.G.R.E) tv en [Kg/mm²] + 15°CSV
	Portées fictives en mètres a' = ae x m avec vent			Tensions mécaniques dans un conducteur en Kg / mm²		RETOURNEMENT DE CHAINES - 20°C à 18 cpz		
	Nul	24cpz	36cpz	24cpz	36cpz	tc	Pc	
	S.V	ou 240Pa	ou 360Pa	15°C 240Pa	15°C 360Pa	en [kg/mm²]	[en m]	
I	49,00	107,31	151,90	5,747	6,200	10,82	4 037	5,275
II	47,00	102,93	145,70	5,755	6,180	10,03	3 743	5,317
III	75,50	165,35	234,05	5,644	6,461	9,317	3 476	4,584
IV	98,00	214,62	303,80	5,567	6,649	8,475	3 162	3,981
V	95,00	208,05	294,50	5,576	6,626	8,589	3 205	4,056
VI	105,00	229,95	325,50	5,546	6,700	8,204	3 061	3,81
VII	96,00	210,24	297,60	5,72	6,634	8,551	3 191	4,03
VIII	95,00	208,05	294,50	5,576	6,626	8,589	3 205	4,056
IX	95,00	208,05	294,50	5,576	6,626	8,589	3 205	4,056
X	100	219,00	310,00	5,56	6,663	8,397	3133,21	3,933
XI	185,03	405,22	573,59	5,4	7,081	5,813	2169,03	2,852

Le tableau 3.5 nous fournir tous les bases de calcul mécanique de ligne comme la tension mécanique dans un conducteur, tension maximal ; et nous montre la tension mécanique dans un conducteur qui sert à la vérification de retournement de la chaîne, choix de ferrure et l'armement.

La valeur de tension de pose varie suivant la tension unitaire et la température de conducteur dont les résultats sont présentés dans le tableau 3.6 :

Tab. 3.6 : Tension de pose

N° du Canton	Portée Équivalente ae, [en m].	Désignation tension de pose	Tension de pose pour θ en °C égales à							
			0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
I	49,00	t_1 (Kg/ mm ²)	7,27	6,60	5,93	5,27	4,63	4,01	3,42	2,88
		T₁ (Kg)	250,12	227,04	204,06	181,43	159,31	137,94	117,75	99,11
II	47,00	t_2 (Kg/ mm ²)	7,32	6,65	5,98	5,29	4,46	4,04	3,44	2,89
		T₂ (Kg)	251,91	228,69	205,71	181,80	153,42	139,04	118,47	99,52
III	75,50	t_3 (Kg/ mm ²)	6,42	5,79	5,17	4,59	4,04	3,54	3,10	2,72
		T₃ (Kg)	220,85	199,00	177,85	157,79	138,91	121,71	106,57	93,67
IV	98,00	t_4 (Kg/ mm ²)	5,53	4,97	4,45	3,98	3,56	3,99	2,89	2,63
		T₄ (Kg)	190,09	170,97	153,15	136,95	122,53	137,26	99,42	90,44
V	95,00	t_5 (Kg/ mm ²)	5,65	5,08	4,55	4,06	3,62	3,24	2,91	2,64
		T₅ (Kg)	194,33	174,75	156,42	139,56	124,56	111,42	100,24	90,85
VI	105,00	t_6 (Kg/ mm ²)	5,24	4,72	4,24	3,81	3,44	3,12	2,84	2,61
		T₆ (Kg)	180,36	162,40	145,96	131,20	118,30	107,16	97,73	89,72
VII	96,00	t_7 Kg/ mm ²)	5,63	5,04	4,51	4,03	3,60	3,23	2,91	2,64
		T₇ (Kg)	193,81	173,48	155,28	138,67	123,84	110,94	99,97	90,68
VIII	95,00	t_8 (Kg/ mm ²)	5,65	5,08	4,55	4,06	3,62	3,24	2,91	2,64
		T₈ (Kg)	194,33	174,75	156,42	139,56	124,56	111,42	100,24	90,85
IX	95,00	t_9 (Kg/ mm ²)	5,65	5,08	4,55	4,06	3,62	3,24	2,91	2,64
		T₉ (Kg)	194,33	174,75	156,42	139,56	124,56	111,42	100,24	90,85
X	100,00	t_{10} (Kg/ mm ²)	5,45	4,90	4,39	3,94	3,94	3,53	2,88	2,63
		T₁₀ (Kg)	187,38	168,56	151,12	135,36	135,36	121,43	99,07	90,30
XI	185,30	t_{11} (Kg/ mm ²)	3,23	3,09	2,96	2,85	2,75	2,65	2,57	2,49
		T₁₁ (Kg)	111,18	106,26	101,96	98,07	94,46	91,23	88,24	85,52

Tab.3.7 : Valeurs de portées maximales en fonction de type d'armement et du paramètre de réglage P = 900 m

Type d'armement proposé	Écartement normalisé entre conducteur e, [en m].	Portée maximale possible pour		
		L = 0,50 m	L = 0,40 m	L = 0,25 m
NV 140-75	1,400	133	135	139
NV 170-75	1,700	167	169	172
Portique de 4 m	1,955	195	197	200
Portique de 5 m	2,455	250	252	254
Portique de 6 m	2,955	305	306	307
Portique de 7 m	3,455	359	360	361
Portique de 8 m	3,955	412	413	414

Tab. 3.8 : Flèche de réglage [en m]

N° du Canton	Support entre	Portées réelles de réglage choisies	Flèches de réglage en mètres(s), pour θ en °C égales à						
			+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
I	Sup 165 et Sup N°1	49	0,12	0,14	0,15	0,17	0,20	0,23	0,28
II	Sup N°1 et Sup N°2	47	0,11	0,12	0,14	0,17	0,18	0,21	0,26
III	Sup N° 2 et Sup N° 4	75	0,33	0,36	0,41	0,47	0,53	0,61	0,69
		76	0,33	0,37	0,42	0,48	0,55	0,62	0,71
IV	Sup N° 4 et Sup N° 5	98	0,65	0,72	0,81	0,90	0,81	1,11	1,22
V	Sup N°5 et Sup N°6	95	0,60	0,66	0,75	0,83	0,93	1,04	1,14
VI	Sup N° 6 et Sup N°7	105	0,78	0,87	0,97	1,07	1,19	1,30	1,42
VII	Sup N°7 et Sup N°8	96	0,61	0,68	0,77	0,86	0,96	1,06	1,17
VIII	Sup N°8 et Sup N°9	95	0,60	0,66	0,75	0,83	0,93	1,04	1,14
IX	Sup N°9 et Sup N°10	95	0,60	0,66	0,75	0,83	0,93	1,04	1,14
X	Sup N°10 et Sup N°11	100	0,68	0,76	0,85	0,85	0,95	1,16	1,28
XI	Sup N° 11 et Sup N° 16	53	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35	0,37	0,38
		244	6,46	6,73	7,00	7,26	7,52	7,78	8,02
		190	3,92	4,08	4,24	4,40	4,56	4,71	4,86
		100	1,08	1,13	1,18	1,22	1,26	1,31	1,35
		109	1,29	1,34	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60

Calcul de l'écartement entre câble :

✓ Support n°165 (support d'alignement avec dérivation) :

C'est le support le plus proche d'Ambatomainy soumis à une tension de 20 000 V

Une seule portée réelle qui traverse une route ; $a = 49$ m. Chaîne d'isolement AL_2

$U = 20\,000$ V, $P = 900$ m.

→ $e = 0,65$ m

Le support n°165 existant est un support de dérivation du projet, on a besoin d'écartement de 0,650 m minimum donc on prend une ferrure d'herse d'arrêt d'écartement 1100 mm, un bras incliné 70-320 en fer profilé de 70*40 et 06 rallonges RL 40* 600

✓ Support n°01 (Support d'IACM) :

Portée en amont : $a = 49$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 0,65$ m

Portée en aval : $a = 47$ m traversant une route, chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 0,631$ m

Ce support est un support d'IACM, on a besoin d'écartement de 650 mm minimum, le plus grand écartement entre câble est de 650 mm ; alors, il s'agit d'un arrêt de ligne.

Donc, l'armement sera obligatoirement une herse d'encrage.

La herse d'encrage qui correspond à cet écartement sera une herse d'encrage d'écartement 1100 mm

✓ Support n°02 (Support d'alignement)

Portée en amont : $a = 47$ m : traversant une route ; chaîne d'isolement AR_3

→ $e = 0,631$ m

Portée en aval : $a = 75$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_3

→ $e = 1,047$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1047 mm. Nous choisissons un nappe voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 139 m.

✓ Support n°03 (Support d'alignement) :

Portée en amont : $a = 75$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AL_2 .

→ $e = 1,047$ m

Portée en aval : $a = 76$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AL_2 .

→ $e = 1,056$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1056 mm. Nous choisissons un nappe voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 133 m.

✓ Support n°04 (Support en angle limitant deux cantons) :

Portée en amont : $a = 76$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2

→ $e = 1056$ m

Portée en aval : $a = 98$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2

→ $e = 1,17$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1170 mm. Nous choisissons un nappe-voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 135 m.

✓ Support n°05 (Support en angle limitant deux cantons) :

Portée en amont : $a = 98$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2

→ $e = 1,17$ m

Portée en aval : $a = 95$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,14$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1170 mm. Nous choisissons un nappe-voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 139 m.

✓ Support n°06 (Support en angle limitant deux cantons) :

Portée en amont : $a = 95$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2

→ $e = 1,17$ m

Portée en aval : $a = 105$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,247$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1247 mm. Nous choisissons un nappe-voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 139 m.

✓ Support n°07 (Support en angle limitant deux cantons) :

Portée en amont : $a = 105$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,247$ m

Portée en aval : $a = 96$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1.151$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1247 mm. Nous choisissons un nappe-voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 139 m.

✓ Support n°08 (Support en angle limitant deux cantons) :

Portée en amont : $a = 96$ m traversant une route; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,151$ m

Portée en aval : $a = 95$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,14$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1151 mm. Nous choisissons un nappe-voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 139 m.

✓ Support n°09 (Support en angle limitant deux cantons) :

Portée en amont : $a = 95$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,14$ m

Portée en aval : $a = 95$ m traversant une route ; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,14$ m

L'écartement entre câble est égal à 1140 mm. Nous choisissons un nappe-voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 135 m.

Calcul de l'effort F et P dû à un conducteur, en alignement :

✓ Support n°10 (Support en angle limitant deux cantons) :

Portée en amont : $a = 95$ m traversant une route; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,14$ m

Portée en aval : $a = 100$ m traversant une route; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,193$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1193 mm. On prend un nappe voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 139 m.

✓ Support n°11 (Support en angle limitant deux cantons) :

Portée en amont : $a = 100$ m traversant une route; chaîne d'isolement AR_2 .

→ $e = 1,193$ m

Portée en aval : $a = 53$ m traversant un village; chaîne d'isolement AR_3 .

→ $e = 0,853$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1193 mm. L'armement correspond à cet écartement sera un nappe voûte d'écartement 1,7 m et vue sur le tableau 3.7 qu'il convient pour des portées allant jusqu'à 139 m.

✓ Support n°12 (Support d'alignement) :

Portée en amont : $a = 53$ m traversant un village ; chaîne d'isolement AL_3 .

→ $e = 0,853$ m

Portée en aval : $a = 244$ m traversant un arbre, une rizière et un cours eau; chaîne d'isolement AL_2 .

→ $e = 2,798$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 2,798 mm. L'armement correspond à cet écartement sera un portique de 6 m d'écartement 2, 955m et vue sur le tableau 3.7 qu'il convient pour des portées allant jusqu'à 305 m.

✓ Support n°13 (Support d'alignement) :

Portée en amont : $a = 244$ m traversant un arbre, une rizière et un cours eau; chaîne d'isolement AL_2 .

, → $e = 2,798$ m

Portée en aval : $a = 190$ m traversant un terrain agricole; chaîne d'isolement AL_2 .

→ $e = 2,246$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 2789 mm. L'armement correspond à cet écartement sera un portique de 6 m d'écartement 2, 955 m et vue sur le tableau 3.7 qu'il convient pour des portées allant jusqu'à 305 m.

✓ Support n°14 (Support d'alignement) :

Portée en amont : $a = 190$ m traversant un terrain agricole; chaîne d'isolement AL_2 .

→ $e = 2,246$ m

Portée en aval : $a = 100$ m traversant un bâtiment; chaîne d'isolement AL_2 .

→ $e = 1.37$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 2246 mm

L'armement correspond à cet écartement sera un portique de 5 m d'écartement 2.455m et vue sur le tableau 3.7 qu'il convient pour des portées allant jusqu'à 305 m.

✓ Support n°15 (Support d'alignement) :

Portée en amont : $a = 100$ m traversant un bâtiment; Chaîne d'isolement AL_2 .

→ $e = 1.37$ m

Portée en aval : $a = 109$ m traversant un champ de fruit et un bâtiment d'école; chaîne d'isolement AL_2 .

→ $e = 1.373$ m

Le plus grand écartement entre câble est de 1373 mm Nous choisissons un nappe voûte 140-75.

Vue sur le tableau 3.7, la nappe-voûte 140 convient pour des portées allant jusqu'à 135 m.

✓ Support n°16 (support d'arrêt simple) :

C'est le terminus du support. Donc, une seule portée réelle traversant un champ de fruit et un bâtiment d'école :

$a = 109 \text{ m}$; chaîne d'isolement AR₃.

→ $e = 1.373 \text{ m}$

L'écartement entre câble est de 1373 mm Ce support a transporté le transformateur HTA/BT et le parafoudre ; alors, il s'agit d'un arrêt simple de ligne.

Donc, l'armement sera obligatoirement une herse d'encrage.

La herse d'encrage qui correspond à cet écartement sera une herse d'encrage d'écartement 1500 mm avec des ferrures support du parafoudre et du transformateur.

3.1.6.2. Résultat de calcul mécanique des supports

✓ Support n°165 (support existant en arrêt)

- Hauteur du support : 12 m (relevée sur le profil en long)
- Armement utilisé : Herse d'ancrage avec tendeur écartement 1 100 mm
- Coefficient de réduction au sommet :

Hauteur hors sol du support : $12 - 1.70 = 10,30 \text{ m}$

Hauteur du point d'application de l'effort nominal F en tête par rapport au point d'encastrement du poteau : $10,3 - 0.25 = 10.05 \text{ m}$

Hauteur du point d'application de l'effort temporaire résultants F' par rapport au point d'encastrement du poteau : $10,05 - 0,70 = 9,60$

Définition de la condition normale de travail du support étudié par :

$$10,5 \times F = 9,60 \times F' \Rightarrow F = 0,96 \times F'$$

La constante $K \approx 0,96$ étant le coefficient de réduction au sommet de ce support étudié.

Selon le cas le plus défavorable : $F \geq KT$ (avec $T = n \times t \times S$)

- Calcul de l'effort résultant :

Pour le canton N° I, c'est HA qui est défavorable

$$F \geq K \times n \times t_{A1} \times S = 0,930 \times 3 \times 5,81 \times 34,4 = 575.6 \text{ Kg}$$

On prend un poteau béton armé de 12 m de hauteur d'effort nominal de 600 daN

✓ Support n°01 (pour IACM)

Hauteur du support : 12 m (relevée sur le profil en long)

Armement utilisé : Herse d'ancrage

Coefficient de réduction au sommet $K = 0,96$

Détermination de l'effort résultant :

Effort temporaire transmis par les conducteurs selon HA et HB, ramenée à 0,25 m en dessous du sommet :

Canton I : $T_{A1} = n \times t_{A1} \times S = 0,96 \times 3 \times 5,85 \times 34,4 = 575,61 \text{ Kg}$

$T_{B1} = n \times t_{B1} \times S = 0,96 \times 3 \times 4,43 \times 34,4 = 438,89 \text{ Kg}$

Canton II : $T_{A2} = n \times t_{A2} \times S = 0,96 \times 3 \times 5,75 \times 34,4 = 569,66 \text{ Kg}$

$T_{B2} = n \times t_{B2} \times S = 0,96 \times 3 \times 6,42 \times 34,4 = 636,04 \text{ Kg}$

Effort dû au vent :

$$V = K \times n \times v \times \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cos^2 \frac{\alpha}{2} \quad (3.14)$$

$V_A = 49,77 \text{ Kg}$ et $V_B = 18,66 \text{ Kg}$

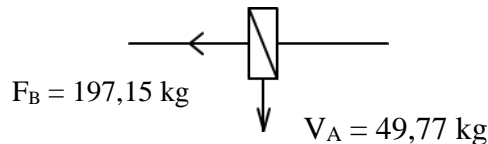
Efforts temporaire résultant sur le support :

$\Delta T_A = 5,95 \text{ Kg}$

$\Delta T_B = 19,15 \text{ Kg}$

HB se trouve la plus défavorable et les efforts considérer sont :

$F_B = T_B = 197,15 \text{ kg}$ et $V_A = 49,77 \text{ kg}$



Condition du travail de support :

$F \geq V_A$ et $F \geq F_B$

Poteau béton de classe A et de $F > 500 \text{ daN}$, $F' = F_A = \tau F \Rightarrow F = F_A / \tau$ et avec $\tau = 0,30$, on a :

$F = 165,9 \text{ Kg} \approx 166 \text{ Kg}$; $V_A = 0,1 \times F = 16,6 \text{ Kg}$ et $V_A > 166 \text{ daN}$

Donc pour cette orientation, on prend un poteau béton armé de 12 m de hauteur d'effort nominal de 400 daN

✓ Support n°02 (en angle avec $\alpha = 9^\circ$)

Hauteur du support : 12 m (relevée sur profil en long)

Armement utilisé : NV 140-75

Portées adjacente : $a_1 = m$ et $a_2 = m$

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N°II : $T_{A2} = n \times t_{A2} \times S = 569,66 \text{ Kg}$

$T_{B2} = n \times t_{B2} \times S = 636,04 \text{ Kg}$

Canton N° III: $T_{A3} = k \times n \times t_{A3} \times S = 650,90 \text{ Kg}$

$T_{B3} = k \times n \times t_{B3} \times S = 623,16 \text{ Kg}$

Effort total dû au vent :

$$V = K \times n \times v \times \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cos^2 \frac{\alpha}{2}$$

$V_A = 65,62 \text{ Kg}$

$V_B = 24,62 \text{ Kg}$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.11) : On utilise la courbe caractéristique de l'effort nominal pour déterminer l'effort d'un support (Voir annexe 5)

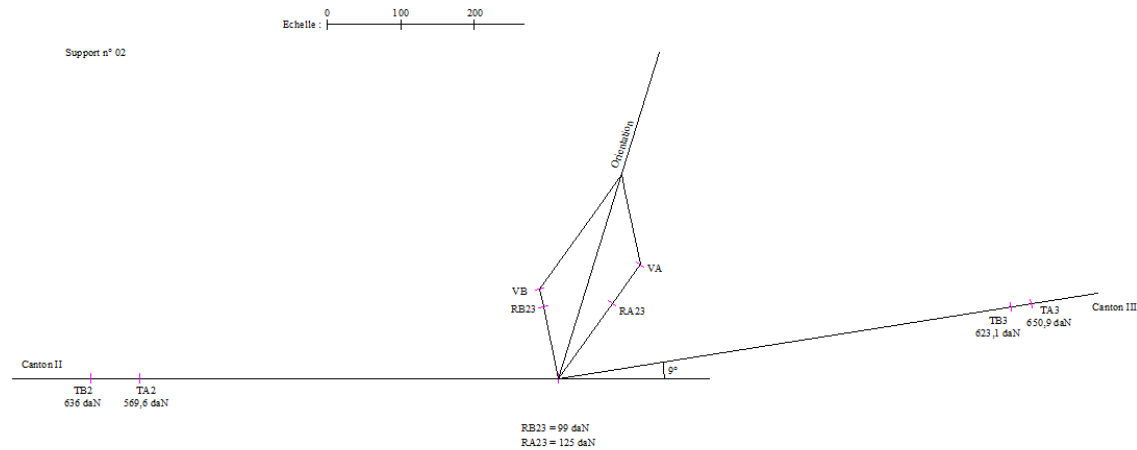


Fig. 3.11 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°02

Le poteau est orienté suivant la résultante des efforts dans les hypothèses A et B et d'effort nominal supérieur à plus grands des résultants

* Choix de support : d'après l'utilisation de courbe paramétrique de résultante, on prend un poteau béton armé de 12 m de hauteur d'effort nominal 400 daN

✓ Support n°03 (support d'alignement)

Hauteur du support : 12 m

Armement utilisé : NV 140-75

Portées adjacentes $a_1 = 75$ m $a_2 = 76$ m

Isolateur utilisée : 3AL2

Effort total dû au vent :

$$V_A = 78,28 \text{ Kg}$$

$$V_B = 29,35 \text{ Kg}$$

HA se trouve la plus défavorable, et les efforts résultants à considérer sont :

$$V_A = 78,28 \text{ kg}$$

On prend un poteau béton armé de 12 m de hauteur d'effort nominal 400 daN.

✓ Support n°04 (en angle avec $\alpha = 25^\circ$)

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N°III : $T_{A3} = 650,90 \text{ Kg}$

$$T_{B3} = 623,16 \text{ Kg}$$

Canton N°IV : $T_{A4} = 702,42 \text{ Kg}$

$$T_{B4} = 579,57 \text{ Kg}$$

Effort total dû au vent :

$$V_A = 91,73 \text{ Kg}$$

$$V_B = 35,16 \text{ Kg}$$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.12) : On utilise la courbe caractéristique de l'effort nominal pour déterminer l'effort d'un support (Voir annexe 5)

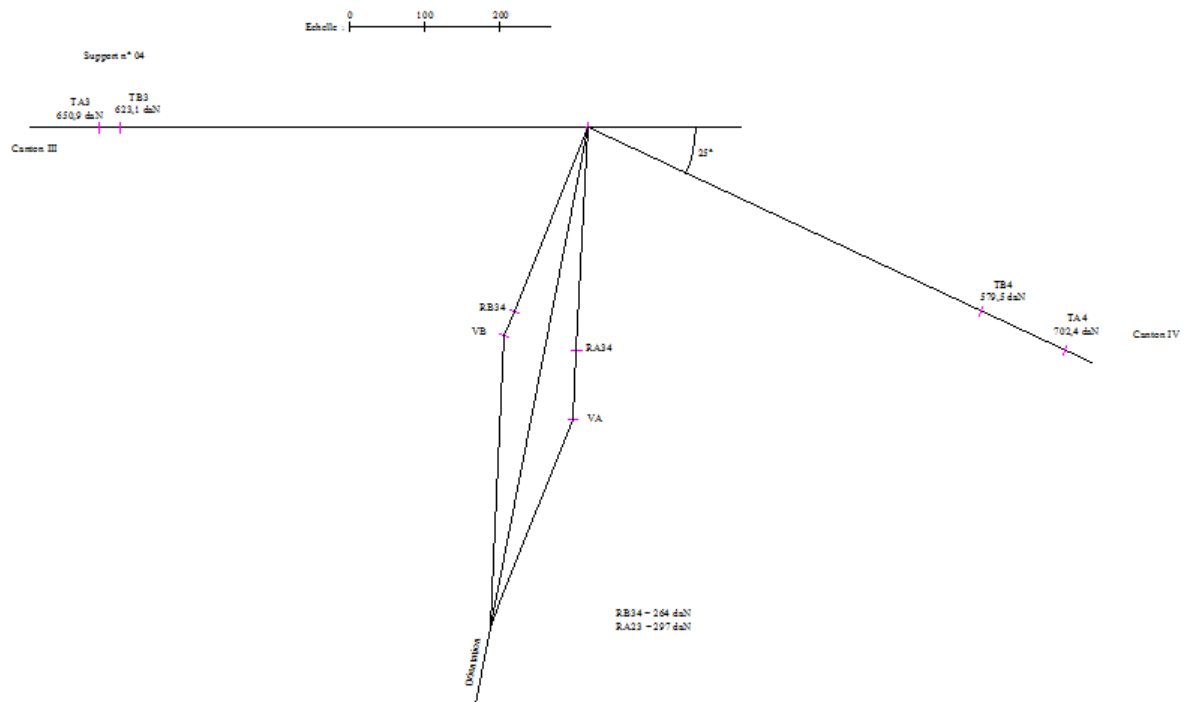


Fig. 3.12 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°04

* Choix de support : orientation du support suivant la direction de la résultante de RA et RB on prend un poteau béton 12 m de hauteur d'effort nominal de 600 daN

✓ Support n°05 (en angle avec $\alpha = 16^\circ$)

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N° IV: $T_{A4} = 702,42 \text{ Kg}$

$T_{B4} = 579,57 \text{ Kg}$

Canton N° V : $T_{A5} = 696,48 \text{ Kg}$

$T_{B5} = 584,52 \text{ Kg}$

Effort total dû au vent :

$V_A = 103,20 \text{ Kg}$

$V_B = 38,70 \text{ Kg}$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.13) :

On utilise la courbe caractéristique de l'effort nominal pour déterminer l'effort d'un support (Voir annexe 5)

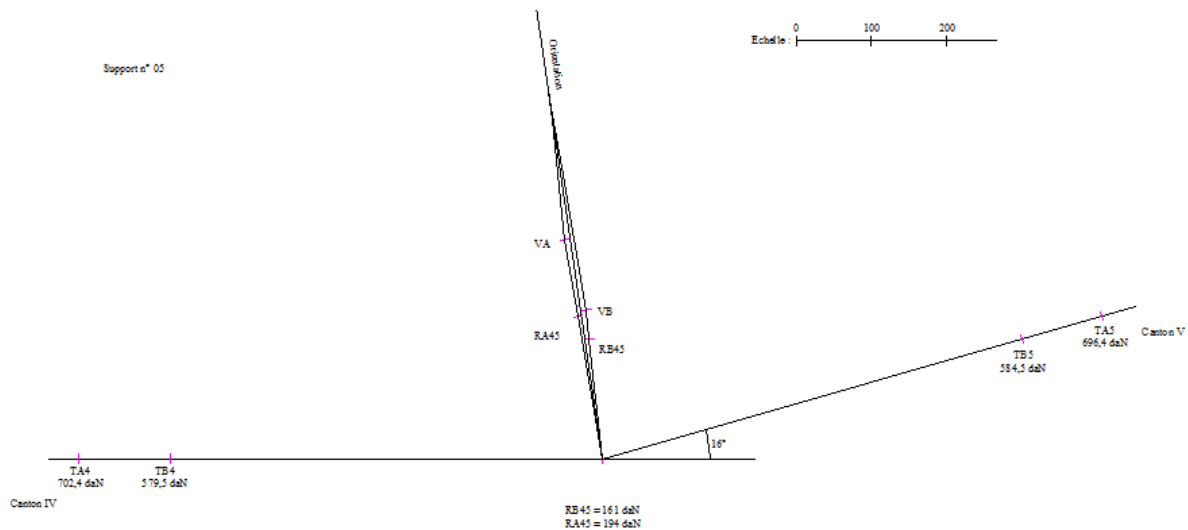


Fig. 3.13 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°05

* Choix de support : orientation du support suivant la direction de la résultante de F_A et F_B on prend un poteau béton 12 m de hauteur d'effort nominal 400daN

✓ Support n°06 (en angle avec $\alpha = 11^\circ$)

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N° V : $T_{A5} = 696,48 \text{ Kg}$

$T_{B5} = 584,52 \text{ Kg}$

Canton N°VI : $T_{A6} = 716,29 \text{ Kg}$

$T_{B6} = 567,68 \text{ Kg}$

Effort total dû au vent :

$V_A = 107,50 \text{ Kg}$

$V_B = 43,31 \text{ Kg}$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.14) : On utilise la courbe caractéristique de l'effort nominal pour déterminer l'effort d'un support (Voir annexe 5)

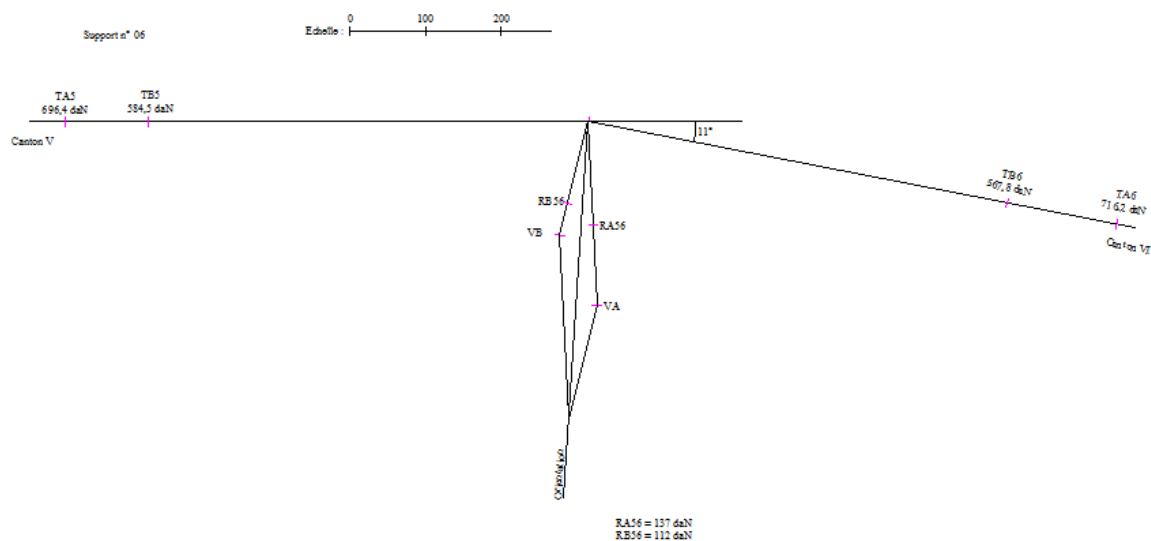


Fig. 3.14 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°06

* Choix de support : orientation du support suivant la direction de la résultante de F_A et F_B on prend un poteau béton de 12 m de hauteur d'effort nominal 400 daN

✓ Support n°07 (en angle avec $\alpha = 17^\circ$)

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N°VI : $T_{A6} = 716,29 \text{ Kg}$

$T_{B6} = 567,68 \text{ Kg}$

Canton N°VII : $T_{A7} = 698,46 \text{ Kg}$

$T_{B7} = 582,54 \text{ Kg}$

Effort total dû au vent :

$V_A = 107,34 \text{ Kg}$

$V_B = 40,25 \text{ Kg}$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.15) :

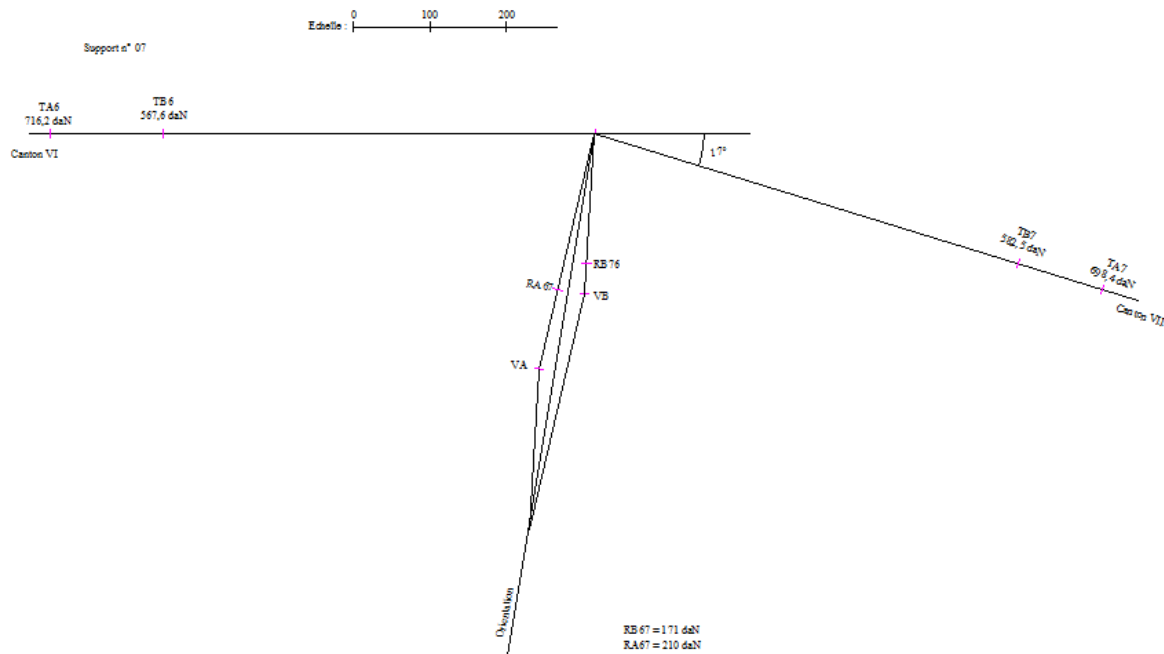


Fig. 3.15 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°07

* Choix de support : orientation du support suivant la direction de la résultante de F_A et F_B on prend un poteau béton de 12 m de hauteur d'effort nominal 400 daN

✓ Support n°08 (en angle avec $\alpha = 10^\circ$)

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N°VII : $T_{A7} = 698,46 \text{ Kg}$

$T_{B7} = 582,54 \text{ Kg}$

Canton N°VII : $T_{A8} = 696,48 \text{ Kg}$

$T_{B8} = 584,52 \text{ Kg}$

Effort total dû au vent :

$V_A = 103,12 \text{ Kg}$

$V_B = 38,67 \text{ Kg}$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.16) :

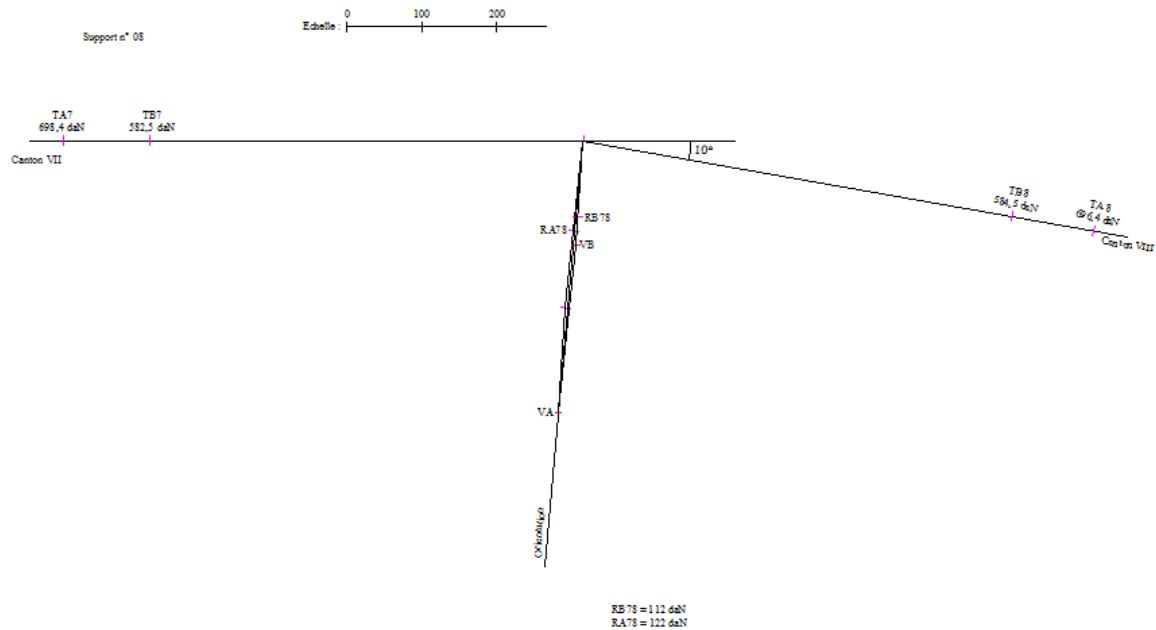


Fig. 3.16 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°08

* Choix de support : orientation du support suivant la direction de la résultante de F_A et F_B on prend un poteau béton de hauteur 12 m d'effort nominal 400 daN

✓ Support n°09 (en angle avec $\alpha = 5^\circ$)

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N°VIII : $T_{A8} = 696,48 \text{ Kg}$

$T_{B8} = 584,52 \text{ Kg}$

Canton N°IX : $T_{A9} = 696,48 \text{ Kg}$

$T_{B9} = 584,52 \text{ Kg}$

Effort total dû au vent :

$V_A = 102,5 \text{ Kg}$

$V_B = 34,43 \text{ Kg}$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.17):

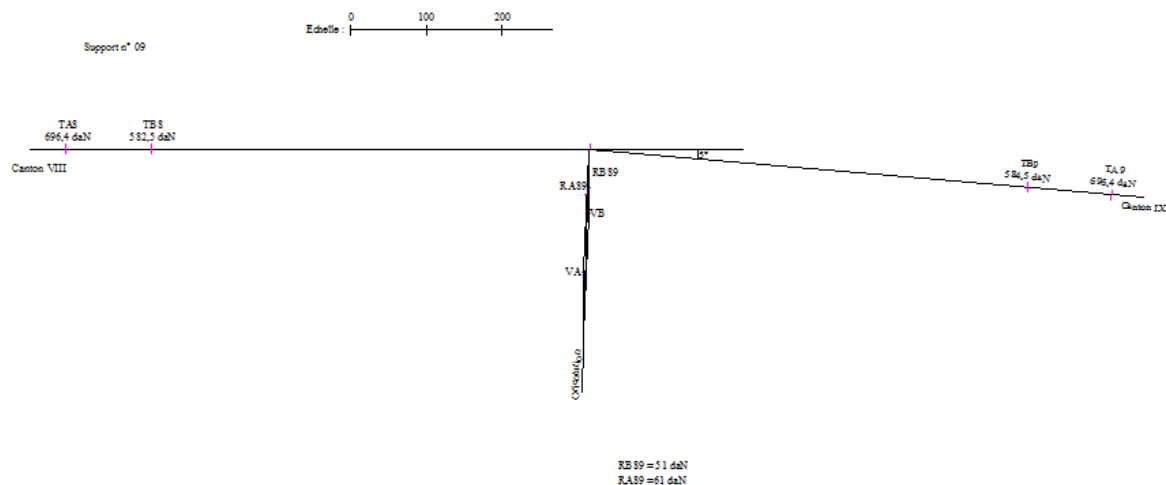


Fig. 3.17 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°09

* Choix de support : orientation du support suivant la direction de la résultante de F_A et F_B on prend un poteau béton de 12 m de hauteur d'effort nominal 400 daN

✓ Support n°10 (en angle avec $\alpha = 9^\circ$)

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N° IX: $T_{A9} = 696,48 \text{ Kg}$

$T_{B9} = 584,52 \text{ Kg}$

Canton N°X : $T_{A10} = 706,38 \text{ Kg}$

$T_{B10} = 575,61 \text{ Kg}$

Effort total dû au vent :

$V_A = 104,97 \text{ Kg}$

$V_B = 39,36 \text{ Kg}$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.18) : On utilise la courbe caractéristique de l'effort nominal pour déterminer l'effort d'un support (Voir annexe 5)

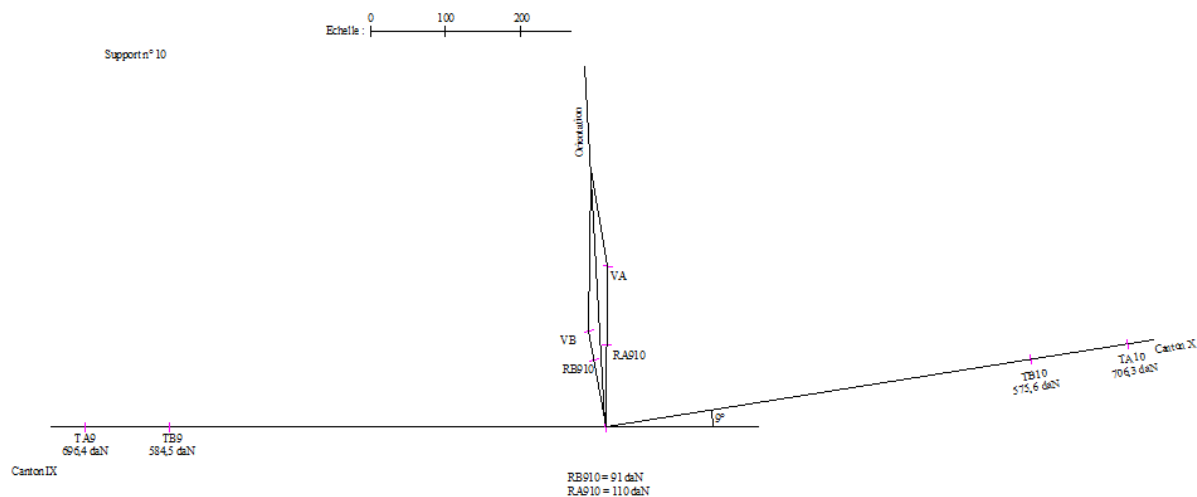


Fig. 3.18 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°10

* Choix de support : orientation du support suivant la direction de la résultante de F_A et F_B on prend un poteau béton de 12 m de hauteur d'effort nominal 400 daN

✓ Support n°11 (en angle avec $\alpha = 21^\circ$)

Tension maximales dans les conducteurs selon les hypothèses considérées :

Canton N°X : $T_{A10} = 706,38 \text{ Kg}$

$T_{B10} = 575,61 \text{ Kg}$

Canton N°IX : $T_{A11} = 824,28 \text{ Kg}$

$T_{B11} = 480,50 \text{ Kg}$

Effort total dû au vent :

$V_A = 81,23 \text{ Kg}$

$V_B = 30,46 \text{ Kg}$

Résolution graphique des efforts résultants (figure 3.19):

On utilise la courbe caractéristique de l'effort nominal pour déterminer l'effort d'un support (Voir annexe 5)

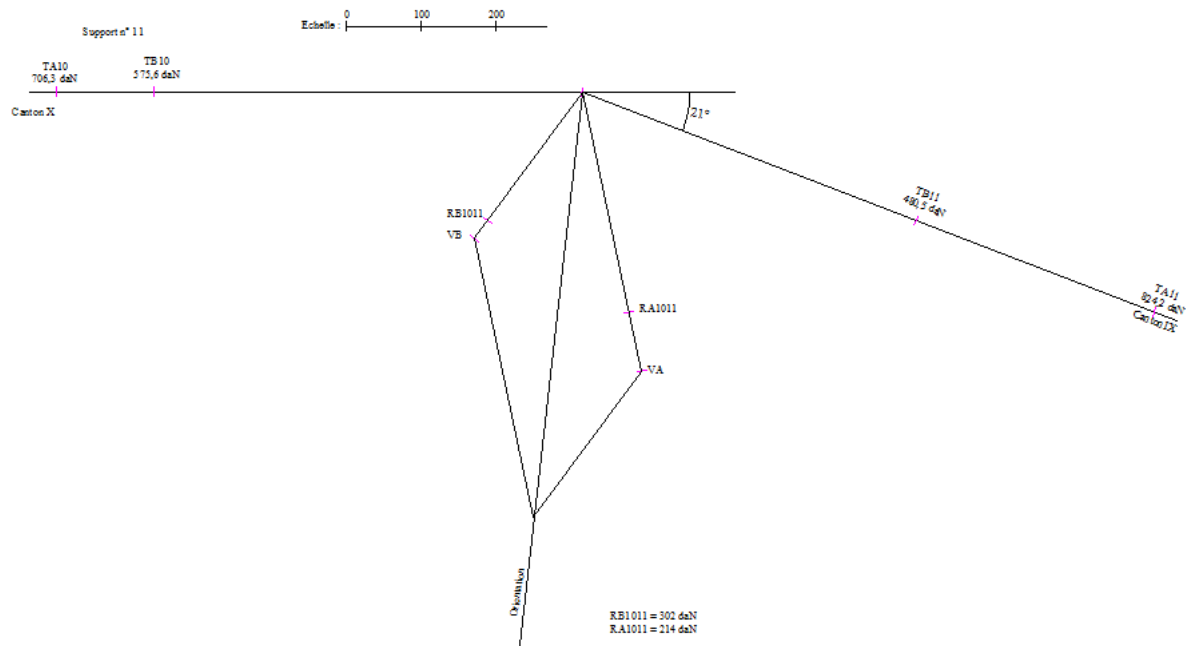


Fig. 3.19 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°11

* Choix de support : orientation du support suivant la direction de la résultante de F_A et F_B on prend un poteau béton de 12 m de hauteur d'effort nominal 600 daN

✓ Support n°12 (support d'alignement)

Effort temporaire par les conducteurs selon HA et HB, ramenée à 0,25 m en dessous du sommet :

Effort total dû au vent :

$$V_A = 153,96 \text{ Kg}$$

$$V_B = 57,74 \text{ Kg}$$

HA se trouve la plus défavorable, et l'effort à considérer sont :

$$V_A = 153,96 \text{ Kg}$$

On prend deux poteaux de 12 m avec effort nominal de 400 daN chacune.

✓ Support n°13 (support d'alignement)

Effort temporaire par les conducteurs selon HA et HB, ramenée à 0,25 m en dessous du sommet :

Effort total dû au vent :

$$V_A = 224,99 \text{ Kg}$$

$$V_B = 84,37 \text{ Kg}$$

HA se trouve la plus défavorable, et l'effort à considérer sont :

$$V_A = 224,99 \text{ Kg}$$

On prend deux poteaux de 12 m avec effort nominal de 400 daN chacune.

✓ Support n°14 (support d'alignement)

Effort temporaire par les conducteurs selon HA et HB, ramenée à 0,25 m en dessous du sommet :

Effort total dû au vent :

$$V_A = 150,30 \text{ Kg}$$

$$V_B = 56,38 \text{ Kg}$$

HA se trouve la plus défavorable, et l'effort à considérer sont :

$$V_A = 150,30 \text{ Kg}$$

On prend deux poteaux de 12 m avec effort nominal de 400 daN chacune.

✓ Support n°15 (support d'alignement)

Effort temporaire par les conducteurs selon HA et HB, ramenée à 0,25 m en dessous du sommet :

Effort total dû au vent :

$$V_A = 108,35 \text{ Kg}$$

$$V_B = 95,11 \text{ Kg}$$

HA se trouve la plus défavorable, et l'effort à considérer sont :

$$V_A = 108,35 \text{ Kg}$$

On prend deux poteaux de 12 m avec effort nominal de 400 daN chacune.

✓ Support n°16 (support d'arrêt avec transformateur)

- Hauteur du support : 11 m (relevée sur le profil en long)

- Armement utilisé : Herse d'ancrage

- Isolateur utilisé : 3AL2

Coefficient de réduction au sommet

Hauteur hors sol du support : $11 - 1,70 = 9,30\text{m}$

Hauteur du point d'application de l'effort nominal F en tête par rapport au point d'encastrement du poteau : $9,30 - 0,25 = 9,05\text{m}$

Hauteur du point d'application de l'effort temporaires résultants F' par rapport au point d'encastrement du poteau : $9,05 - 0,70 = 8,35\text{m}$

Définition de la condition normale de travail du support étudié par:

$$9,05 \times F = 8,35 \times F' \Rightarrow F = 0,92 \times F'$$

La constante $k = 0,92$ étant le coefficient de réduction au sommet de ce support étudié.

- Selon le cas le plus défavorable : $F \geq K \times T$ (avec $T = n \times t \times S$)

* Calcul de l'effort résultant

Pour le canton n° XI, c'est HA qui est défavorable et

$$F \geq K \times n \times t_{A11} \times S = 824,87 \text{ kg}$$

* Choix de support

On prend un poteau béton armé de 11 m de hauteur d'effort nominal 1000 daN.

3.2. Capacité de puissance à transporter [7] :

La ligne construite à une longueur de 2,488 km avec une section de $34,4 \text{ mm}^2$. D'après la norme française, dans la zones rurales la limite admise de chute de tension est de 7% ($\frac{\Delta U}{U} = 7\%$)

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

En pratique, pour les projets de lignes de distributions HTA dans la zones rural, on prend généralement :

- pour une ligne HTA, la chute de tension admise est : $\frac{\Delta U}{U} \leq 7\%$; (3.15)
- une réactance $x_0 = 0,35 \Omega/\text{km}$;
- un facteur de puissance $\cos \varphi = 0,86$; $\sin \varphi = 0,5$; $\tan \varphi = 0,6$; - la résistance lineique $R_0^{40^\circ}$ à 40°C .

La réactance lineique du conducteur en almélec à 20°C pour une section de $34,4 \text{ mm}^2$ est $R_0^{20^\circ} = 0,958 \Omega/\text{km}$.

Pour une réactance lineique à 40°C :

$$R_0^{40^\circ} = R_0^{20^\circ} * [1 + \alpha (40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})], \text{ avec } \alpha : \text{coefficient de température} = 0,004 \text{ K}^{-1}.$$

$$\rightarrow R_0^{40^\circ} = 1,0346 \Omega/\text{km}$$

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

$$\frac{\Delta U}{U} = P * D * \left(\frac{R + X * \tan \varphi}{U^2} \right) \leq 7\% \quad (3.16)$$

$$\rightarrow P \leq \frac{0,07 * U^2}{D * (R_0^{40^\circ} + X_0 * \tan \varphi)} = 13,827 \text{ MW}$$

avec :

P : Puissance transmise, [en MW] ;

D : Distance du tronçon, [en Km] ;

$R_0^{40^\circ}$: Résistance lineique, [en Ω/km] ;

X_0 : Réactance lineique, [en Ω/km].

La ligne construite peut donc transporter une puissance allant jusqu'à 13,827 MW

3.3. Tableau récapitulatif des résultats :

Le tableau 3.9 donne le résultat de ses calculs :

Tab. 3.9 : Résultats

N° du canton	N° de support	partiel	Angle de piquetage	CARACTERISTIQUES DE SUPPORTS			ISOLATEUR	FERRURE
				Nature	Hauteur	Effort en		
I	165	49	ET	Béton	12	600	-Chaîne 3AL ₂ - Chaîne 3AR ₂	-Herse AR 1100mm - bras incliné 70-320 en fer - 03 rallonges 40* 300
	1		AL	Béton	12	400	Chaîne 6AR ₃	-06 rallonges 40* 600 -02Herses AR 1100mm
II	2	47	9°	Béton	12	400	Chaîne 6AR ₃	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
III	3	75	AL	Béton	12	400	Chaîne 3AL ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
	4	76	25°	Béton	12	600	Chaîne 6AR ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
IV	5	98	16°	Béton	12	400	Chaîne 6AR ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
V	6	95	11°	Béton	12	400	Chaîne 6AR ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
VI	7	105	17°	Béton	12	400	Chaîne 6AR ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
VII	8	96	10°	Béton	12	400	Chaîne 6AR ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
VIII	9	95	5°	Béton	12	400	Chaîne 6AR ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
IX	10	95	9°	Béton	12	400	Chaîne 6AR ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
X	11	100	21°	Béton	12	600	Chaîne 6AR ₂	Nappe Voûte 170 - 75 50 - 50
XI	12	53	AL	Béton	12+12	400	Chaîne 3AL ₂	Portique AL de 6m
	13	244	AL	Béton	12+12	400	Chaîne 6AR ₂	Portique AR de 6m
	14	190	AL	Béton	12+12	400	Chaîne 3AL ₂	Portique AL de 5m
	15	100	AL	Béton	12	400	Chaîne 3AL ₂	Nappe Voûte 140 - 75 50 - 50
	16	109	AR	Béton	11	1000	Chaîne 3AR ₂	-Herse AR 1100mm - 03 rallonges 40* 300

3.4. Évaluation des couts de différents choix techniques proposés :

Electrification du village d'Ambatomainty dans le Commune Urbaine de Fianarantsoa-district de Fianarantsoa.

Devis estimatif :

DÉSIGNATION MATERIELS	U	Qtés	P.U	P.T
A/ <u>DERIVATION SUR LIGNE AERIENNE HTA 20kv EXISTANTE</u>				
Travaux sous coupure	u	1	60 000	60 000
Dépose				
- Poteau béton 12*400 (récupérable)	u	1	228 696	228 696
Dépose et repose				
- Herse d'ancrage à écartement de 1100mm	u	1	515 342	515 342
- Isolateur chaîne à 2 éléments AR	u	3	220 460	661 380
- Câble aérien nu HTA (par portée)	u	2	7 149	14 298
Matériels fournis et posés par la JIRAMA:				
- Poteau béton 12x600	u	1	2 015 836	2 015 836
- Isolateur chaîne à 2 éléments AR avec pince d'ancrage AD 12 AL	u	3	220 460	661 380
- Câble Almélec nu 34,4 mm²	m	9	7 149	64 341
- Rallonge galvanisée RL 40x300	u	3	42 344	127 032
- Herse d'ancrage à écartement de 1100 mm	u	1	515 342	515 342
- Bras incliné 70-320 en fer profilé de 70*40	u	1	256 769	256 769
- Isolateur VHT 20T sur TR 25-240-80	u	1	154 092	154 092
- Mâchoire bifilaire pour câble Almélec nu 43\34 mm²	u	3	41 556	124 668
Sous total				5 399 176
B/ <u>LIGNE AERIENNE HTA 20 KV</u>				
Matériels fournis et posés par la JIRAMA:				
- Poteau béton 12x400	u	17	1 596 050	27 132 850
- Poteau béton 12x600	u	2	2 015 836	4 031 672
- Numérotation support	u	16	6 217	99 472
- Socle de manœuvre en béton	u	1	188 825	188 825
- Interrupteur aérien tripolaire complet avec commande mécanique pour poteau de 12m 24KV 200 A	u	1	10 088	10 088 487
- Herse d'ancrage à écartement de 1100mm	u	4	515 342	2 061 368
- Rallonge galvanisée RL 40x300	u	8	42 344	338 752
- Ferrure nappe-voûte alignement du type NV1 140 75	u	2	502 125	1 004 250
- Ferrure nappe-voûte d'ancrage du type NV1 140 75	u	8	949 378	7 595 024
- Ferrure nappe-voûte alignement du type NV2 170 75	u	1	5 437 787	5 437 787
- Portique d'alignement en Fer U de 80 longueurs 5 m	u	1	2 349 715	2 349 715
- Portique d'alignement en Fer U de 80 longueurs 6 m	u	2	2 349 715	4 699 430
- Portique d'ancrage en Fer U de 80 avec entretoises.... Longueur 5 m	u	1	2 349 715	2 349 715
- Portique d'ancrage en Fer U de 80 avec entretoises.... longueur 6 m	u	2	2 349 715	4 699 430
- Mâchoires bifilaire pour câble Almélec nu 43/34mm².	u	3	41 556	124 668
- Cosse droite bimétal à plage Cu pour conducteur Alu de 22 à 50 mm²	u	6	45 483	272 898
- Raccord droit à serrage par bride pour conducteur Cu de 10 à 70 mm²	u	5	33 951	169 755
- Raccord de dérivation à griffe pour câble Cu nu de 15/95 mm²	u	6	51 421	308 526
- Plaque à borne pour mesure de terre avec collier sur poteau	u	2	58 951	117 902
- Prise de terre masses et parafoudre avec 3 piquets de terre en tubes galvanisé longueur 2 m.	u	2	1 151 667	2 303 334
- Piquet de terre supplémentaire en tubes galvanisé longueur 2 m.	u	12	118 406	1 420 872
- Parafoudre type 20 kV (ensemble de 3 Parafoudres)	u	1	1 628 762	1 628 762
- Ferrure support parafoudre	u	1	628 762	628 762

- Isolateur chaîne à 2 éléments AL	u	15	216 592	3 248 880
- Isolateur chaîne à 2 éléments AR avec pince d'ancrage AD 12 AL	u	60	220 460	13 227 600
- Isolateur chaîne à 3 éléments AR avec pince d'ancrage AD 12 AL	u	6	264 210	1 585 260
- Câble alélec nu 34,4 mm ²	m	5125	7 149	36 638 982
- Câble Cuivre nu de 29,3 mm ² posé sous collier	m	11	19 879	218 669
- Câble H07 U 500 V de 35 mm ² posé sous collier	m	10	23 068	230 680
- Câble Cuivre nu de 29,3 mm ² posé souterrain	m	108	19 879	2 146 932
- Cadenas de verrouillage zénith 45	u	1	110 072	110 072
Sous total				136 459 331
DÉSIGNATION MATERIELS	U	Qtés	P.U	P.T
C/ POSTE DE TRANSFORMATEUR ABAISSEUR H61 20KV 50 KVA B2				
Matériels fournis et posés par la JIRAMA:				
- Poteau béton 11 x 1000	u	1	2 828 605	2 828 605
- Numérotation support béton	u	1	6 217	6 217
- Socle en béton pour manœuvre	u	1	188 825	188 825
- Transformateur H61 20KV 50 KVA B2	u	1	22 115	22 115 456
- Disjoncteur BT haut de poteau pour transformateur H61, avec commande mécanique équipée de bloc déclencheur à image thermique 50kVA B2	u	1	4 137 471	4 137 471
- Herse d'ancrage à écartement 1100mm	u	1	515 342	515 342
- Rallonge galvanisée RL 40-600	u	3	70 796	212 388
- Ferrure support du transformateur	u	1	529 794	529 794
- Cosse droite bimétal à plage cuivre pour conducteur aluminium de 22 à 50mm ²	u	3	45 483	136 449
- Mâchoire bifilaire pour câble alélec nu 43/34mm ²	u	3	41 556	124 668
- Cosse à serrage par bride pour câble cuivre nu de 6 à 70mm ²	u	9	13 421	120 789
- Raccord de dérivation à griffes pour conducteur cuivre nu de 15 à 95mm ²	u	5	51 421	257 105
- Câble synthétique UN 1000V (HN33S33) 4 x 70 mm ² posé sous collier en feuillard	m	4	251 206	1 004 824
- Conducteur nu en alliage d'aluminium alélec 34,4mm ²	m	6	7 149	42 894
- Ferrure support parafoudre	u	1	628 762	628 762
- Parafoudre type 20 kV (ensemble de 3 Parafoudres)	u	1	1 628 762	1 628 762
- Câble cuivre nu 29mm ² posé sous collier	m	10	32 196	321 960
- Câble H07 VR de 35mm ² posé sous collier	m	12	33 887	406 644
- Plaque à borne pour mesure de terre avec collier sur poteau	u	2	58 951	117 902
- Prise de terre masse et parafoudre avec 3 piquets de terre en tube galvanisé long de 2m	u	2	1 151 667	2 303 334
- Piquet de terre supplémentaire en tube galvanisé de longueur 2m	u	12	118 406	1 420 872
- Câble cuivre nu de 29,3mm ² posé en souterrain	m	108	19 879	2 146 932
- Câble unifilaire U500V HO7 VU de 35mm ² posé en souterrain	m	15	23 068	346 020
- Cadenas de verrouillage zénith 45	u	1	110 072	110 072
Sous total				41 652 087

RECAPITULATION

A/ DERIVATION SUR LIGNE AERIENNE HTA 20kV EXISTANTE	5 399 176
B/ LIGNE AERIENNE HTA 20 kV	136 459 331
C/ POSTE DE TRANSFORMATEUR ABAISSEUR H61 20 kV 50 kVA B2	41 652 087
	<hr/>
Sous Total	183 510 594
TVA 20%	36 702 119
	<hr/>
TOTAL	220 212 713

Arrêté le présent devis estimatif à la somme de : « **DEUX CENT VINGT MILLIONS DEUX CENT DOUZE MILLE SEPT CENT TREIZE ARIARY.** »

CONCLUSION

Au décours de ce travail nous avons pris conscience que la conception du réseau électrique nécessite des expériences majeure, des performances et des patiences. On a fait dans ce projet une étude conceptuelle et évaluation financière de construction d'une ligne électrique aérienne HTA du village d'Ambatomainty dans la Commune Urbaine de Fianarantsoa. Cette ligne de transport est effectuée par des câbles en aluélec supporté par des supports en béton à une distance suffisante de sol et des obstacles pour garantir les sécurités puisque les câbles sont nus. D'où, le matériau et la section de conducteur dans laquelle la ligne sera réalisée sont connus, on connaît aussi le poids de la ligne et la tension de rupture de celle-ci. La tension maximale est déterminée à partir de la tension de rupture. Le coût total de notre ligne est de « DEUX CENT VINGT MILLIONS DEUX CENT DOUZE MILLE SEPT CENT TREIZE ARIARY. »

La ligne de transport est fonction des plusieurs cantons et un canton sera plusieurs portées. L'ordre de grandeur des portées d'une ligne est choisi de manière à minimiser le coût de support. Le choix de gabarit du support est à déterminer.

Pour le calcul de la flèche maximale, on suppose que le conducteur est soumis à des conditions de canicule telles que définit par le normes.

L'équation d'état nous permet de calculer la tension associée à des conditions de canicule de la flèche maximale du conducteur qui sera le point de départ à l'établissement d'un tableau de pose du conducteur. Ensuite, détermination des distances entre câbles puisqu'à partir des résultats seront choisis l'armement à utiliser. Et enfin, on choisit les isolateurs pour tout contournement des chaînes des isolateurs.

A l'issue de notre étude, on peut dire que les objectifs sont atteints. Cette étude a été une opportunité pour moi de mettre en pratique les acquis théoriques et s'enrichir sur le point de vue expérience. J'ai, en effet, eu l'occasion de vivre la vie professionnelle de la JIRAMA (relations avec les divers employés, ambiance dans le travail, travail en équipe, respect de la hiérarchie) et je ne peux que m'en réjouir.

Références bibliographiques

- [1] : **Les calculs sur les réseaux électriques BT et HT** (Cahier technique n° 213) par : **Benoît de METZ-NOBLAT**
Ingénieur ES E
Site web: <http://www2.schneider-electric.com/documents/technical-publications/fr/shared/electrotechnique/savoir-electrotechnique/connaissances-generales/ct213.pdf> [document consulté le Août 2016].
- [2] : **Guide de conception MT**
Publication : Schneider Electric Industries SA (Création, réalisation : HeadLines)
Site web: https://www.schneider-electric.fr/...guides/GT_conception_MT.pdf [document consulté le 17 Décembre 2016].
- [3] : **Etude du réseau électrique HTA pour l'alimentation en normal secours du nouveau champ de captage des forages du village Ouedo au Benin**
par : **Boniface DJIHOULANDE**
Mémoire pour l'obtention du master spécialise en génie électrique, énergétique et énergie renouvelable
Site web : http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1792 [document consulté le Novembre 2016].
- [4] : Archive à la JIRAMA, Présentation Générale de la société JIRAMA
- [5] : Mémoire de la formation à la carte au métier du fermier de l'eau. Intitulé : **DIAGNOSTIC DU SYSTÈME D'ADDUCTION D'EAU POTABLE PAR GRAVITAIRE DU CENTRE VILLE D'IFANADIANA**. Présenté par : **TSIZAHANY Baise Élysée, FALIARIMANGA Marie Eusèbe et MOHAMED AL-AMINI Mohamed Abdou**. Avril 2012.
- [6] : **PLAN D'URBANISATION DIRECTEUR DU COMMUNE URBAINE DE FIANARANTSOA (PUDi – CUF)**, rapport final rédigé par : **RAJAONA Georges** (Architecte Urbaniste – Coordinateur du Projet), **RAJOHARISON Jules** (Ingénieur VRD) et **RAJAONA Andry** (Socio-Economiste)
- [7] : **PROJET D'ALIMENTATION ELECTRIQUE DE LA LOCALITE DE YABA : CONSTRUCTION D'UNE LIGNE D'INTERCONNECTION HTA 33 KV ET LE RESEAU HTA/BT DE YABA. MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN GENIE ENERGETIQUE ET ENERGIE RENOUVELABLE**. Présenté et soutenu publiquement le 14/12/2011 par **Alioum MOUSTAPHA**.
Site web : http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=424 [document consulté le Decembre 2016].
- [8] : Informations pour le Site WEB de la JIRAMA. Disponible sur : <http://fr.scribd.com/doc/15058746/Reseau-Na> [document consulté le 16 Septembre 2016].

- [9] : Fonction alimenté : réseau national. Consultable au : <http://www.jirama.mg/index.php?w=scripts&f=Jirama-page.php&act=synelec> [document consulté le Juin 2016].
- [10] : **Etude des protections des réseaux électriques MT (30 & 10 kV)**
par : **Mr. ZELLAGUI Mohamed**
pour l'obtention du diplôme magistère en électrotechnique
Site web: bu.umc.edu.dz/theses/electrotec/ZEL5709.pdf [document consulté le 14 Décembre 2016].
- [11] : Ligne aérienne M.T, calcul mécanique de ligne, règle technique rigide et suspendu. Janvier 1991.
- [12] : Cahier des charges types des travaux d'électrification rural, extrait norme c11.200 (10 octobre 1956).
- [13] : Fiche Conception : Microcentrale Hydraulique ; 9 p
- [14] : Programme rHYvière, cahier de charge de conception des réseaux hydroélectrique ruraux à Madagascar, guide de réalisation des réseaux hydroélectrique ruraux à Madagascar. Volume 1, Gret, Janvier 2010 ; 181p.
- [15] : CAMELIA (Calcul Mécanique De Lignes Aériennes). Version 4.3. **MANUEL UTILISATEUR**, ELECTRICITE RESEAU DISTRIBUTION FRANCE Copy Right ERDF
- [16] : Cahier des Prescriptions Communes Techniques. Mai 1997
- [17] : Étude du tracé de ligne électrique aérienne par système Géo Référence (SIG – SGR) LUANDA du 19 au 23 Mars 2012 ; présenté par MAVOULA PASCAL.
- [18] : GARMIN, GPS MAP 76 S. Récepteur de cartographie. Manuel de l'utilisation et guide de référence (juillet 2013).
- [19] : www.atlog.net: logiciel de Camélia
av. de la Reine Mathilde 76 520 FRANQUEVILLE-FRANCE.

Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques des câbles pour ligne aérienne

ALLIAGE D'ALUMINIUM (NORME C-34-125)				CUIVRE (NORME C-34-110)				TYPE DE CABLE																						
228/AGS7	148/AGS19	117/AGS19	75,5/AGS19	54,6/AGS7	34,4/AGS7	74,9/U/19(**)	DESIGNATION SIMPLIFIEE DU CABLE	SECTION REELLE mm ²	COMPOSITION		Ø extérieur du câble (mm)	R à la rupture de chaque fils (hbar)	Charge de rupture câ ble (daN)	Tension		Résélectrique Linéique à +20°C (Ω/km)	Masse Linéique du câble (kg/m)	Module d'élasticité E(*) (hbar)	coefficient de dilatation (*)α(°C)	poids Linéique du câble par unité de section (daN/ mm ²)	E. ω ² 24	Effort Linéique sur chaque câble dû à un vent				Facteur de surcharge pour un vent de				
									nombre de fils	Ø nominal des fils (mm)				Normal K=3	Givre K=1,76							180Pa (daN/ m)	240Pa (daN/ m)	360Pa (daN/ m)	180Pa (daN/ m)	180Pa	240Pa	360Pa	180Pa	
227,8	148,01	116,98	76,64	64,55	34,36	84,9	14,1/U/(**)	14,1	7	1,6	4,8	43,7	585	18,83	27,66	1,27	0,273	10500	17,10 ⁻³	0,00889	0,0346	0,088	0,105	0,173	0,23	121	136	17	2,09	
37	19	19	19	7	7	19	22/U/7(**)	22	7	2	6	43,7	910	18,79	27,58	0,16	0,195	10500	17,10 ⁻³	0,00889	0,0346	0,108	0,114	0,216	0,268	114	124	149	1,78	
2,8	3,16	2,8	2,25	3,16	2,5	2,24	29,3/U/19(**)	29,3	19	1,4	7	44,2	1185	18,48	28,96	0,18	0,268	10500	17,10 ⁻³	0,0089	0,0347	0,126	0,58	0,232	0,336	111	119	139	1,63	
19,6	16,76	14	11,25	9,45	7,5	11,2	38,2/U/19(**)	38,2	19	1,6	8	43,7	1530	18,35	26,7	0,472	0,348	10500	17,10 ⁻³	0,00893	0,0349	0,144	0,192	0,288	0,384	109	116	131	1,51	
32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	43,2	43,7	48,3/U/19(**)	48,3	19	1,8	9	43,7	1940	18,38	26,68	0,73	0,44	10500	17,10 ⁻³	0,00893	0,349	0,162	0,216	0,324	0,432	107	112	125	1,42	
7340	4765	3755	2430	1755	1105	2970	74,9/U/19(**)	84,9	19	2,24	11,2	43,7	2970	18,22	26,44	0,24	0,62	10500	17,10 ⁻³	0,00893	0,0349	0,202	0,269	0,403	0,638	14	108	117	1,28	
107,2	10,73	10,73	10,72	10,72	10,72	10,22		18,83																						
214,4	21,46	21,46	21,44	21,44	21,44	26,44		27,66																						
0,146	0,224	0,333	0,456	0,603	0,668	0,24		1,27																						
0,616	0,407	0,322	0,208	0,149	0,188	0,62		0,273																						
5710 ³	6000	6000	6000	6000	6000	10500		10500																						
23,10 ⁻³	23,10 ⁻³	23,10 ⁻³	23,10 ⁻³	23,10 ⁻³	23,10 ⁻³	17,10 ⁻³		17,10 ⁻³																						
0,00268	0,0027	0,0027	0,0027	0,00268	0,00268	0,00893		0,00889																						
171	0,0082	0,0082	0,082	0,008	0,008	0,0349		0,0346																						
0,353	0,283	0,252	0,209	0,17	0,135	0,202		0,088																						
0,47	0,378	0,336	0,405	0,34	0,27	0,369		0,105																						
0,706	0,566	0,504	0,64	0,454	0,36	0,403		0,173																						
0,941	0,756	0,672	0,84	0,64	0,56	0,638		0,23																						
116	123	128	141	153	177	107		121																						
126	138	146	168	125	219	112		136																						
152	174	188	222	253	31	125		17																						
1,83	2,14	2,35	2,83	3,26	4,03	1,42		2,09																						

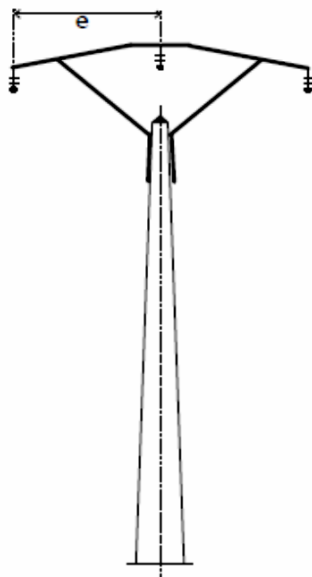
(*)(*) : Valeurs données seulement à titre indicatif
(**)(**) : Désignation nom par encore normalisée

En pratique, on peut prendre:
1 daN/mm²=1kg/mm²=1hbar

Note sur les unités :
1 daN : 1,02Kg
1hbar : 1daN/mm²: 1,02kg/ mm²
1cpz:10Pa:1daN/m²:1,02kg/ mm²

Annexe 2 : Les Nappes-Voûtes NV

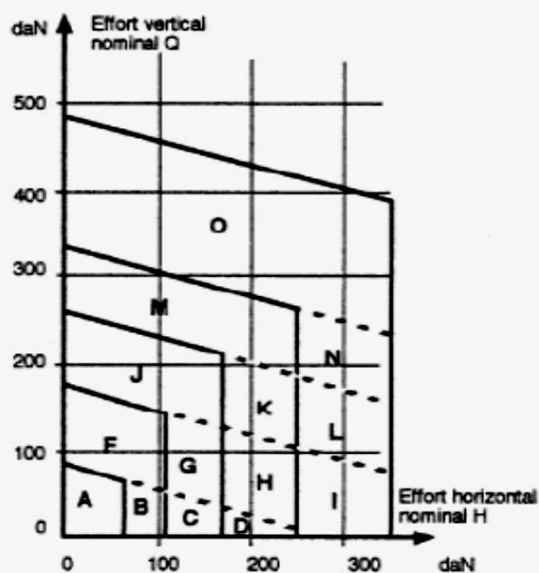
NAPPES-VOUTES
(Pour lignes HTA en suspendu)

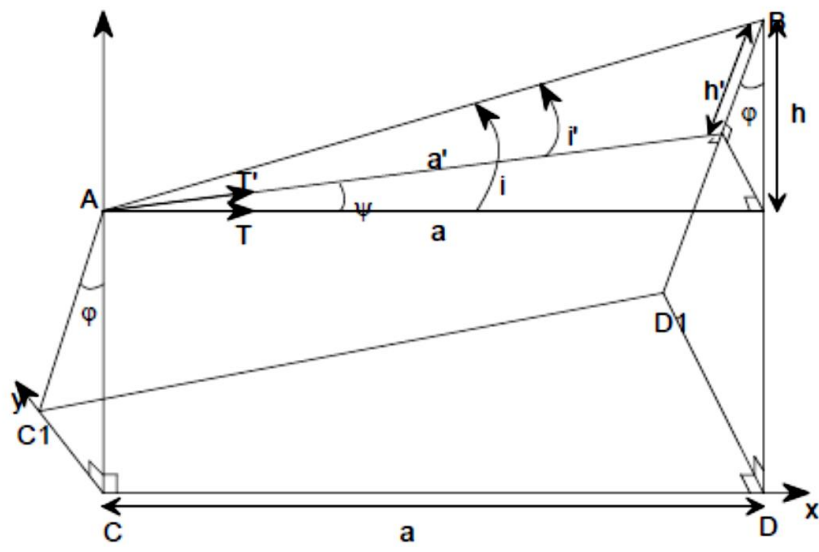


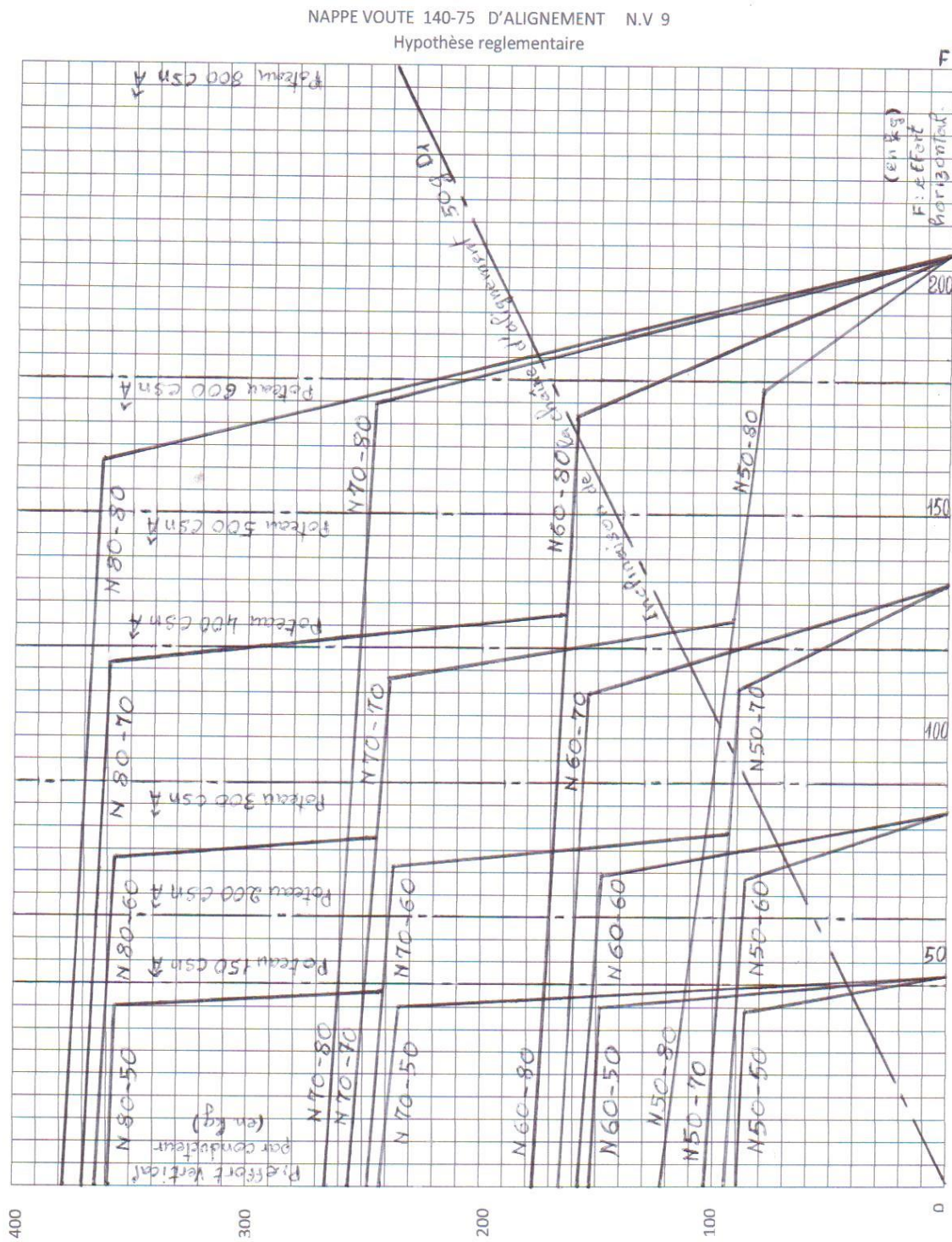
Famille géométrique NV

Gamme d'écartement e	Nom réduit
1,50 m	NV1-175 ou NV1-254
1,70 m	NV2-175 ou NV2-254
1,75 m	NV3-175 ou NV3-254

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



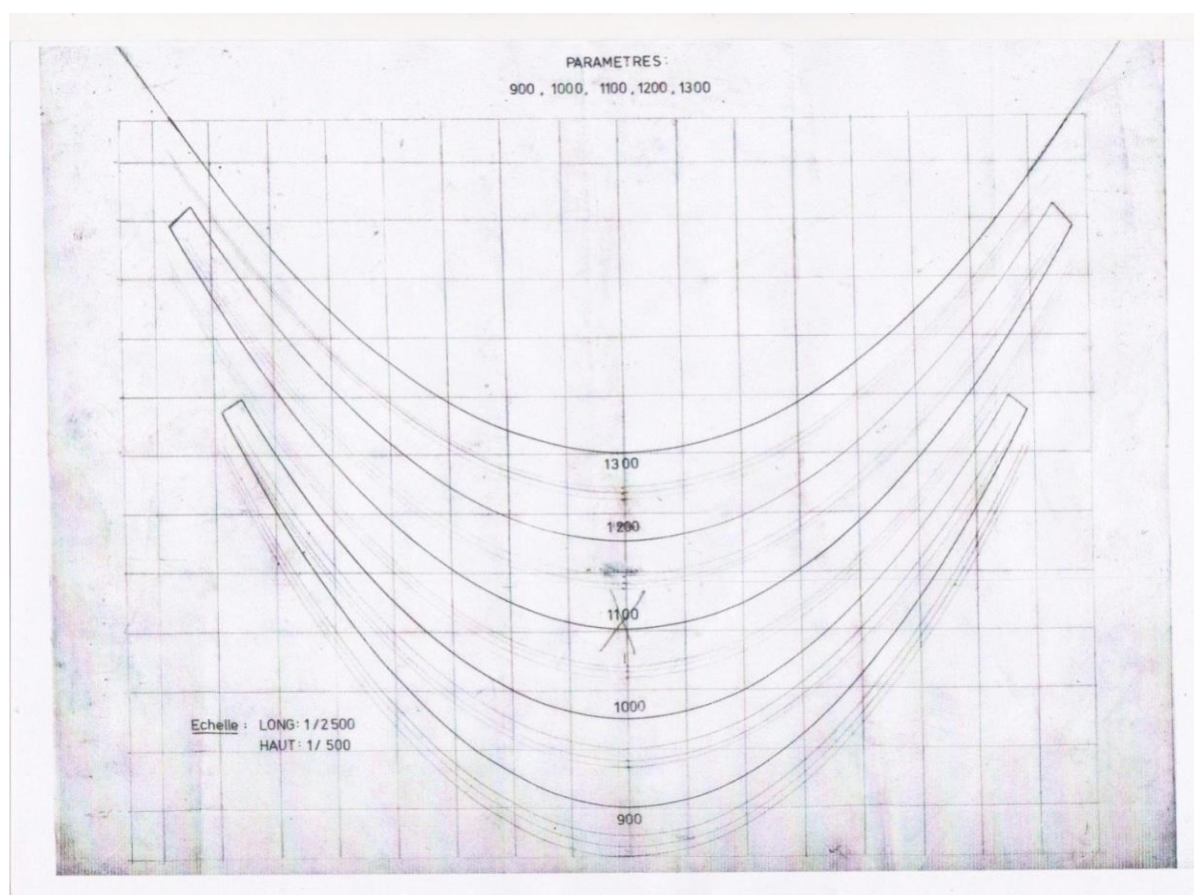




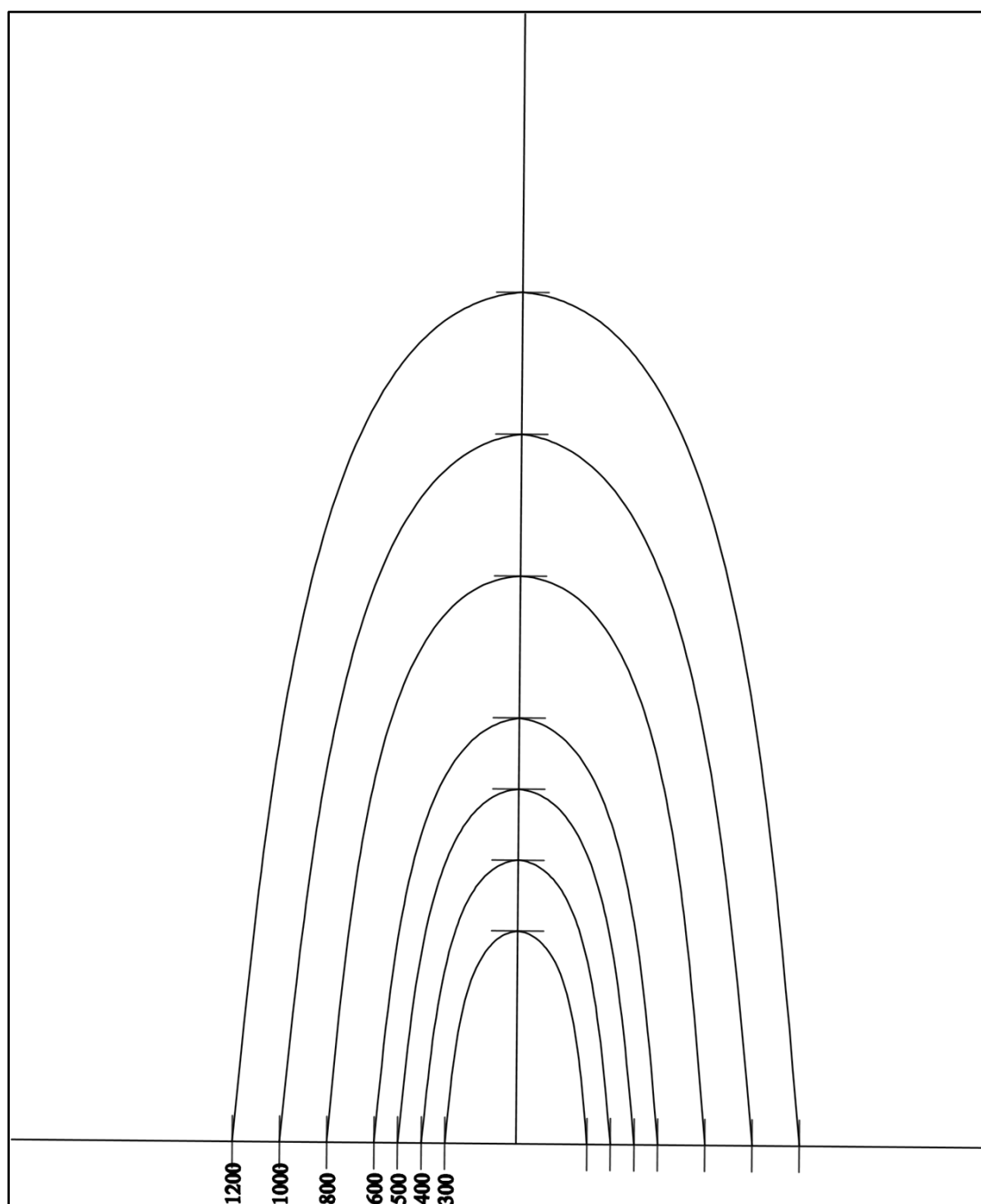
Annexe 3 : Paramètre maximal des lignes sur isolateur suspendus : Norme C11.201

Natures	Sections [en mm ²]	Paramètre maximal à +40°C sans vent, [en m].
Cuivre	50/10	800
	22	800
	29,3	850
	38,2	900
	48,3	900
Aluminium acier	34,4	900
	43,1	950
	54,6	1000
	69,3	1100
	88	1200
Almélec	34,4	900
	43,1	1000
	54,6	1050
	75,5	1150

Annexe 4 : Paramètre de la chaînette.



Annexe 5 : Courbe caractéristique de l'effort nominal de support



LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figures :

Fig. 1.1 : Localisation du Fokontany Ambatomainty et la zone d'étude	4
Fig. 2.1.a : Schéma de principe de la production, du transport et de la distribution de l'électricité au niveau International	8
Fig. 2.1.b : Schéma général de la production, du transport et de la distribution de l'électricité au niveau National.....	9
Fig. 2.1.c : Schéma synoptique de la production, du transport et de la distribution de l'électricité de la JIRAMA de Fianarantsoa	10
Fig. 2.2 : Les lignes électriques du réseau de distribution aériennes suspendues par des poteaux électriques : en béton	12
Fig. 2.3 : Alimentation en antenne	12
Fig. 2.4 : Alimentation en boucle	13
Fig. 2.5 : Alimentation en double dérivation	13
Fig. 2.6 : Éléments des lignes électriques aériennes	14
Fig. 2.7 : Armement nappe-voûte 140.....	16
Fig. 2.8 : Herse d'ancrage	16
Fig. 2.9 : Armement portique	17
Fig. 2.10 : Chaîne d'isolement	18
Fig. 2.11 : Éclateur (à corne) HTA avec tige	19
Fig. 2.12 : Piquet de terre	19
Fig. 2.13 : Interrupteur aérien types IACM.....	20
Fig. 2.14 : Disjoncteurs sur poteau.....	21
Fig. 3.1 : GPS MAP 76 S	23
Fig.3.2 : Profil en long et planimétrique vue en plan	298
Fig. 3.3 : Flèche d'un conducteur.....	31
Fig. 3.4 : Canton de pose.....	32
Fig. 3.5 : Effort disponible sur les poteaux bétons.....	34
Fig. 3.6 : Support d'alignement.....	36
Fig. 3.7 : Support en alignement limitant deux cantons.....	37
Fig. 3.8 : Support d'arrêt simple	37
Fig. 3.9 : Support d'alignement avec dérivation	38
Fig. 3.10 : Support en angle	38
Fig. 3.11 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°02.....	49
Fig. 3.12 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°04.....	50
Fig. 3.13 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°05.....	51
Fig. 3.14 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°06.....	51
Fig. 3.15 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°07.....	52

Fig. 3.16 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°08.....	53
Fig. 3.17 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°09.....	53
Fig. 3. 18 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°10.....	54
Fig. 3.19 : Résolution graphique des efforts résultants sur le support n°11.....	55

Tableaux :

Tab. 2.1 : Différentes catégories de tension nominale	7
Tab. 2.2 : Différents types de réseaux	8
Tab.2.3 : Nature et la section des conducteurs	14
Tab. 3.1 : Hypothèses réglementaires à considérer pour les calculs	30
Tab. 3.2 : Effort nominal du support en fonction de sa hauteur.....	35
Tab. 3.3 : Les valeurs du vent et du coefficient de résistance transversale.....	36
Tab. 3.4 : Portées équivalentes.....	40
Tab. 3.5 : Portées fictives et tensions mécaniques maximales dans un conducteur.....	40
Tab. 3.6 : Tension de pose.....	41
Tab. 3.7 : Valeurs de portées maximales en fonction de type d'armement et du paramètre de réglage $P = 900$ m.....	42
Tab. 3.8 : Flèche de réglage [en m].....	43
Tab. 3.9 : Résultats.....	58

ETUDE CONCEPTUELLE ET EVALUATION FINANCIERE DE CONSTRUCTION D'UNE LIGNE ELECTRIQUE AERIENNE HTA DU VILLAGE D'AMBATOMAINTY DANS LA COMMUNE URBAINE DE FIANARANTSOA

MAMPITRAKA Rafenomanana Valohery Théodore^{1*}, ZENIA¹ et RAKOTONIRINA Jean Baptiste Claude²

¹Licence Professionnelle en Exploitation des Eaux et Electricité (LP3E) – Faculté des Sciences de
l'Université de Fianarantsoa, Campus Universitaire Andrainjato BP 1264 - 301 – Fianarantsoa.

²Direction Interrégional de la JIRAMA Fianarantsoa, situé à TSIANOLONDRON FIANARANTSOA

*Auteur correspondant : Email : valoherytheodore@yahoo.fr – Tel : +261 34 60 184 61

RESUME : - Ce document concerne l'étude conceptuelle et l'évaluation financière de construction d'une ligne électrique aérienne HTA du village d'Ambatomainty dans le Commune Urbaine de Fianarantsoa. L'étude vise à mettre en évidence la construction de ligne et l'alimentation en énergie électrique. Pour bien mener les travaux, l'étude à commencer par l'étude de terrain en vue de déterminer le tracé de la ligne et de faire le profil en long pour nous permet d'étudier l'emplacement les supports en considérant la direction de la ligne et celle du vent ; le choix du conducteur et leur caractéristique, choix du paramètre, vérification de l'existence d'une portée moyenne maximale et moyenne minimale, le calcul de portées équivalentes. Puis le calcul des portées fictives et la tension mécanique dans un conducteur là où on a fait le calcul mécanique dans un conducteur dans l'hypothèse A et B, la tension maximale selon l'hypothèse A et B, la tension mécanique dans un conducteur dans l'hypothèse de portance de la chaîne distance à la masse, l'hypothèse de vérification de retournement de la chaîne et l'hypothèse relative aux vibrations. De plus, on a fait aussi le calcul mécanique du support, là où on a choisi la hauteur du support, l'armement utilisé, l'isolateur utilisé et le calcul de l'effort en tête du support. En outre, on a fait le tableau de pose là où on a calculé le réglage du conducteur par l'utilisation de dynamomètre ou la nivelette. Ensuite, on a vérifié l'inclinaison et retournement de la chaîne, là où on a vérifié l'armement nappe voûte en alignement. En fin, on a effectué le devis estimatif.

MOTS CLES : Hypothèse, tension mécanique, effort du vent, effort du support (poteau), canton, armement, isolateur, portance de la chaîne.

ABSTRACT : - This paper addresses the conceptual and financial assessment of construction of a line electric air HV from the village of Ambatomainty in the urban Commune of Fianarantsoa. The study aims at highlighting the construction of line and the electric power supply. To carry out the work, the study started by the field study to determine the route of the line and make a profile for us allows to study the location media considering the direction of the line and the wind; the choice of the driver and their characteristic, choice of the parameter, checking the existence of a maximum average range and minimum average, the calculation of equivalent scopes. Then the calculation of the fictitious ranges and the mechanical tension in a driver where one made mechanical calculation in a driver on assumption A and B, the maximum tension according to assumption A and B, the mechanical tension in a driver on the assumption of bearing pressure of the chain distance to the mass, the assumption of checking of reversal of the chain and the assumption relating to the vibrations. Moreover, one also made the mechanical calculation of the support, where one chose the height of the support, the armament used, the insulator used and the calculation of the effort at the head of the support. Moreover, one made the table of installation where one calculated the adjustment of the driver by the use of dynamometer or the nivelette. Then, the slope and reversal of the chain were checked, where one checked the armament tablecloth vault in alignment. In the end, we did the estimate.

KEYWORDS : Assumption, mechanical tension, effort of the wind, effort of the support (post), canton, armament, insulator, bearing pressure of the chain.