



Dimensionnement électrique et mécanique de la ligne haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à GRAND-BASSAM 2 en passant par le futur poste d'ANANI 2

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER
SPÉCIALITÉ EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE

Présenté et soutenu publiquement le **25/01/2024** par

Jordan-Emmanuel Yedan BEHIBRO (n° 20150398)

Encadrant 2iE : Ing. Justin BASSOLE, Enseignant au département Génie Électrique énergétique et Industriel de 2iE

Maître de stage : Ing. Adam CISSE, Ingénieur Électricien a SEP I & C

Structure (s) d'accueil du stage : **SEP Ingénierie & Conseil**

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Moussa SORO

Membres et correcteurs : Dr Hector TETE

Ing. Delbon NTUMBA

Promotion [2023/2024]

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

DÉDICACES

À ma famille...

CITATIONS

“La vie est une longue route jalonnée de panneaux indicateurs, alors tu sais, quand tu traces ta route, tu n’as pas besoin de te poser des tonnes de questions. Évite la haine, la jalousie, la méchanceté. Ne dissimule pas tes pensées, fais en sorte que ta vision du monde devienne réalité. Réveille-toi et vis”

Bob Marley

REMERCIEMENTS

Avec une profonde gratitude, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à mon parcours académique et professionnel.

Je commence par un remerciement spécial à DIEU pour la bénédiction qui a guidé mes études à l'Institut 2iE

À rendre hommage au corps enseignant de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour son engagement pédagogique et administratif tout au long de mon cursus et un merci particulier au Professeur **Y. Moussa SORO**, Chef du département GEE.

À M. **SEKONGO Drissa**, Directeur général de SEP Ingénierie & Conseil et M. **Kassim CISSE** pour m'avoir offert cette opportunité de stage.

Mes remerciements vont également à mes encadrants académiques et professionnels, en particulier **M. Justin BASSOLE** et **M. Adama CISSE**, Responsable Projet de SEP Ingénierie & Conseil qui m'a permis de réaliser ce stage au sein de l'entreprise.

Ainsi à M. **Alhassane TOURE** et à toute l'équipe de SEP Ingénierie & Conseils pour leur soutien constant et leurs conseils avisés.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers tous ceux qui, de manière directe ou indirecte, ont contribué à la réussite de ce parcours académique. Votre soutien et vos encouragements ont été des moteurs essentiels.

RÉSUMÉ

Le présent mémoire traite de la réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2, en passant par le futur poste d'ANANI 2. L'objectif général de cette étude est d'identifier une zone d'étude en vue de constituer une réserve foncière pour les projets liés à la construction du poste d'ANANI 2 et de la ligne HTB 225 kV ANANI1-BASSAM 2 dans la région d'ANANI – GRAND BASSAM. De plus, l'étude vise à effectuer un dimensionnement électrique et mécanique de la ligne qui sera construite sur cette réserve foncière.

Pendant notre étude de site, trois propositions de couloir de ligne avec une envergure de 120 mètres ont été identifiées, ainsi que deux propositions de site de 5 hectares pouvant accueillir le futur poste d'ANANI 2. Suite à notre analyse de tracé, nous avons sélectionné la proposition 2 pour la réserve foncière de la ligne et la proposition 2 pour le poste d'ANANI 2. Ces choix stratégiques sont guidés par la volonté d'optimiser l'efficacité opérationnelle tout en réduisant les impacts environnementaux.

En ce qui concerne le dimensionnement électrique de la ligne, nous avons conclu qu'avec une puissance de départ de 50 MVA, il est possible de transmettre une puissance de 132,67 MW sur notre ligne 225 kV pendant une durée de 20 ans, avec une chute de tension de 2,285 %. Nous avons recommandé l'utilisation de l'Aster 570 comme conducteur de phases, conforme à la consigne établie par CI Energie. Les câbles de garde (Phlox 147,1 et Thym 157,4) ainsi que l'isolateur de type F100P/146, composé de 9 assiettes antibrouillard, ont été retenus pour la réalisation de ce projet.

Le dimensionnement mécanique nous a conduits à la sélection de 47 pylônes répartis sur l'ensemble de la ligne. Pour la mise en œuvre de ce projet, trois types de pylônes ont été choisis : supports d'alignement, supports d'angle et supports de blocage de ligne unique. Ces pylônes auront une hauteur hors sol de 26 m et une hauteur totale de 30 m.

Mots clés :

-
- 1- Réserve
 - 2- HTB
 - 3- Dimensionnement électrique
 - 4- Dimensionnement mécanique
 - 5- ETAP

ABSTRACT

The present thesis deals with the realization of a study on the layout and electrical and mechanical sizing of the 225 kV high-voltage transmission line (HTB) connecting the ANANI 1 to BASSAM 2 substations, passing through the future ANANI 2 substation. The overall objective of this study is to identify a study area to establish a land reserve for future projects related to the construction of the ANANI 2 substation and the 225 kV HTB line ANANI1 – ANANI 2 - BASSAM 2 in the ANANI – GRAND BASSAM region. Additionally, the study aims to perform electrical and mechanical sizing of the line that will be built on this land reserve.

During our site study, three proposals for a 120-meter-wide line corridor and two 5-hectare site proposals for the future ANANI 2 station were identified. Following our route analysis, we have selected Proposal 2 for the land reserve of the line and Proposal 2 for the ANANI 2 station. These strategic choices are guided by the aim to optimize operational efficiency while minimizing environmental impacts.

Regarding the electrical sizing of the line, we have determined that with an initial power of 50 MVA, a power of 132.67 MW can be transmitted on our 225 kV line for the duration of 20 years with a voltage drop of 2.285%. We recommend using the Aster 570 as the cable conductor, in accordance with the directive established by CI Energy. Guard cables (Phlox 147.1 and Thyme 157.4) and the F100P/146 type insulator, consisting of 9 antifog plates, have been selected for the implementation of this project.

The mechanical sizing has led us to select 47 towers distributed along the entire line. To implement this project, three types of towers have been chosen: alignment supports, angle supports, and single line blocking supports. These towers will have an above-ground height of 26 m and a total height of 30 m.

Key words:

-
- 1- Reservation
 - 2- HTB
 - 3- Electrical sizing
 - 4- Mechanical sizing
 - 5- ETAP

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2IE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
A	: Ampère
BAD	: Banque Africaine de Développement
BIL	: Basic Insulation Level
BT	: Basse Tension
BOAD	: Banque Ouest Afrique de Développement
CNRA	: Centre National de Recherche Agronomique
DaN	: Déca-Newton
EIES	: Étude d'Impact Environnemental et Social
HTA	: Haute Tension Catégorie A
HTB	: Haute Tension Catégorie B
kA	: kilo Ampère
Kg	: Kilogramme
Km	: Kilomètre
kV	: kilo Volt
kVA	: kilo Volt Ampère
jdb	: Jeu de bar
m	: Mètre
MLCU	: Ministère du lotissement, de la construction et de l'urbanisme
MPa	: Méga-Pascal
MVA	: Méga-Volt-Ampère
MW	: Méga Wat
N/m	: Newton par mètre
PNAE	: le Plan national d'Action pour l'environnement
SEP	: Société d'études et de prestations
U	: Tension
Ω	: Ohm

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES.....	i
CITATIONS.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
INTRODUCTION.....	1
I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL (SEP Ingénierie)	2
I.1. Présentation	2
I.2. Domaine d'activité	2
I.3. Organigramme	2
II. PROJET D'ÉTUDE.....	4
II.1. PRÉSENTATION DU PROJET D'ÉTUDE	4
II.2. Localisation du projet	4
II.3. Contexte et justification.....	5
II.4. Objectifs de l'étude.....	6
III. GÉNÉRALITÉ SUR LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES	7
III.1. Réseau électrique	7
III.2. Les différents composants d'une ligne aérienne d'un réseau HTB	10
IV. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE.....	15
IV.1. Étude de trace pour le passage de la ligne 225 kV ANANI 1- ANANI 2-BASSAM 2 et du poste ANANI 2.	15
IV.2. Dimensionnement électrique de la ligne 225 kV ANANI 1-ANANI 2-BASSAM 2	16
IV.3. Dimensionnement mécanique de la ligne 225 kV ANANI 1-ANANI 2- BASSAM 2	17
V. ÉTUDE DE TRACE POUR LE PASSAGE DE LA LIGNE 225 kV ANANI 1- ANANI2-BASSAM 2 ET DU POSTE ANANI 2	18
V.1. Étape 1 : Analyse de l'aire d'étude	18
V.2. Étape 2 : Recherches des différentes possibilités de passage des lignes et choix des futurs sites pour le poste ANANI 2 en fonction de la sensibilité de l'aire d'étude ANANI 1 – GRAND BASSAM 2.....	27
V.3. Étape 3 : Tracé et levée d'itinéraire du corridor de passage de la ligne	32
V.4. Conclusion de l'étude de trace.....	32
VI. DIMENSIONNEMENT ÉLECTRIQUE ET MÉCANIQUE DE LA LIGNE 225 kV	35
VI.1. Dimensionnement électrique.....	35
VI.2. Dimensionnement mécanique	52
VII. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET	66
VII.1. Présentation et justification du projet.....	66

VII.2.	Cadre institutionnel et réglementaire sommaire[22].....	66
VII.3.	Description sommaire de l'état initial de l'environnement.....	67
VII.4.	Description des principaux impacts et mesures de réduction.	67
VII.5.	Conclusion et recommandations	68
CONCLUSION	69
BIBLIOGRAPHIE	I
ANNEXE	IV

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de SEP Ingénierie et Conseil	3
Figure 2: Cartographie de l'aire d'étude d'ANANI1 - GRAND-BASSAM2.....	4
Figure 3: descriptif d'un réseau électrique, de la production à la clientèle.....	7
Figure 4: Carte du réseau électrique ivoirien	9
Figure 5: Conducteur AAAC.....	12
Figure 6 : Conducteur ASCR	12
Figure 7: Conducteur AACSR.....	12
Figure 8: fondation monobloc	14
Figure 9: fondation multipode pour pylône.....	14
Figure 10: Tableau climatique Abidjan (data: 1991 - 2021 Températures minimales moyennes (°C), Températures maximales (°C), Précipitations (mm), Humidité, Jours de pluie Data: 1999 - 2019: Heures de soleil)	18
Figure 11: Illustration du relief de zone d'étude par une carte des pentes	19
Figure 12: Aperçu général du système lagunaire dans notre aire d'étude.....	20
Figure 13: Illustration des cocoteraies de la CNRA.....	22
Figure 14 : Illustration d'une forêt de marécage près de Vitre.....	22
Figure 15: Carte d'occupation de notre aire d'étude.....	26
Figure 16: Proposition des différentes options possibles pour le passage des lignes électriques et choix des futurs sites de poste	28
Figure 17: Proposition retenu	31
Figure 19: Illustration du profil en long d'une ligne aérienne	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification des réseaux selon le niveau de tension	8
Tableau 2: Avantages et inconvénients des isolateurs en fonction du matériau de fabrication	13
Tableau 3: Différents types de zone d'aménagement se trouvent sur notre aire	24
Tableau 4: Tableau récapitulatif de l'analyse comparative	33
Tableau 5: Tableau des conducteurs utilisés pour les lignes HTB suivant les zones du givre. Source [16]	37
Tableau 6: Caractéristiques des câbles Aster 366 et 570	37
Tableau 7: Valeur du paramètre a en fonction de la nature du câble. Source[14]	38
Tableau 8: combinaison entre conducteurs et câbles de gardes. source[19]	42
Tableau 9: Caractéristique du Phlox 147,1 et du Thym 157,4	43
Tableau 10: Tension de contournement en fonction du niveau de pollution et de degré de salinité	44
Tableau 11: Tension nominale de tenue aux chocs de foudre (BIL) en fonction de la tension maximale	45
Tableau 12: Caractéristiques d'assiettes standard	46
Tableau 13: BIL vs Nbre d'assiettes (standard)	46
Tableau 14: Caractéristiques d'assiettes antibrouillard	47
Tableau 15: BIL vs Nbre d'assiettes (Antifog)	48
Tableau 16: Les hypothèses météorologiques	53
Tableau 17: Distances minimales à respecter en 225 kV [21]	54
Tableau 18: résultats sur les distances minimales relatives aux câbles et aux structures	61
Tableau 19: Répartition des pylônes sur le tracé de la ligne	62

INTRODUCTION

Au fil des dernières décennies, l'accroissement ininterrompu de la consommation, de la production et du transport d'énergie électrique a émergé comme un défi pressant, largement induit par l'essor de l'industrialisation, la croissance démographique exponentielle et l'urbanisation rapide. Cette croissance effrénée a mis en lumière la nécessité critique de repenser nos approches en matière d'infrastructures énergétiques. Cependant, face aux limites économiques et écologiques, la construction de nouvelles lignes électriques devient de plus en plus complexe et onéreuse.

Dans ce contexte, notre étude se focalisera sur une entreprise aussi cruciale que complexe : **la réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2.** Cette entreprise revêt une importance particulière, non seulement pour répondre à la demande croissante d'énergie, mais également pour anticiper les besoins futurs, minimiser l'impact environnemental et optimiser les ressources disponibles.

Le cœur de notre démarche consistera en la constitution d'une réserve foncière soigneusement étudiée, prévoyant les besoins à venir liés à la construction du poste d'ANANI 2 et de la ligne HTB. Parallèlement, nous élaborerons un dimensionnement électrique et mécanique exhaustif de cette ligne.

I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL (SEP Ingénierie)

I.1. Présentation

SEP-Ingénierie & Conseils a été créée en 2015 par un groupe de cadres et ingénieurs ivoiriens diplômés des meilleures écoles nationales et internationales pour favoriser l'emploi et le développement socio-économique durable. La société à responsabilité limitée, au capital social de 1 000 000 FCFA, se positionne comme un cabinet de conseil spécialisé dans les domaines liés à la planification et au suivi de projets. Actuellement, la société fournit avec succès des services d'ingénierie et de conseil aux secteurs public et privé de Côte d'Ivoire tout au long du cycle de projet : des études préliminaires à la mise en œuvre finale, en passant également par les tâches liées au suivi, au contrôle ou à l'évaluation.

I.2. Domaine d'activité

La Société d'Études et de Prestations Ingénierie & Conseils en abrégée SEP-Ingénierie & Conseils est une référence dans les domaines de l'ingénierie :

- Énergie & Électricité ;
- Infrastructures & Bâtiments 3 ;
- Eau & Assainissement ;
- Hydraulique.

Et des conseils dans les domaines :

- Économie ;
- Gouvernance et Management public.

I.3. Organigramme

SEP INGENIERIE& CONSEILS emploie actuellement une vingtaine de personnes dont l'organigramme est défini de cette manière (voir **Figure 1**).

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

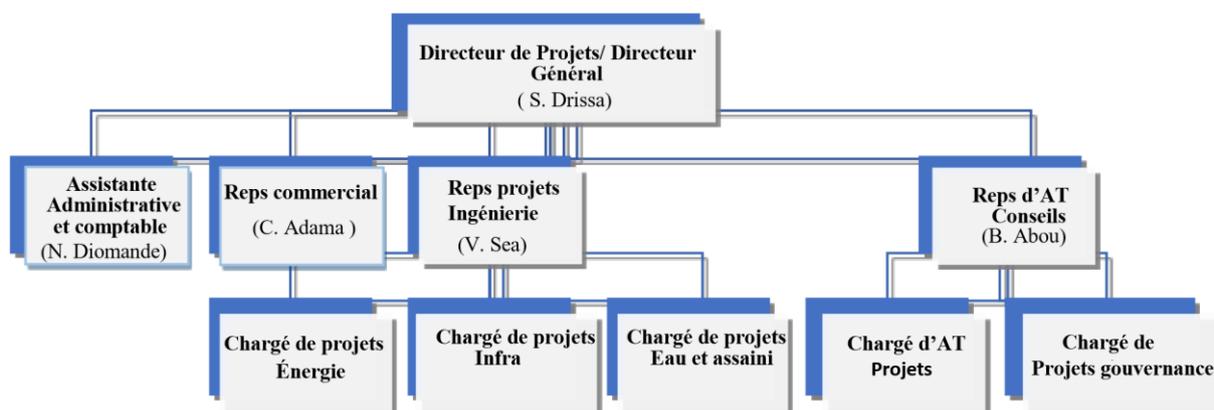


Figure 1:Organigramme de SEP Ingénierie et Conseil

II. PROJET D'ÉTUDE

Dans cette première partie, nous allons présenter le contexte dans lequel s'est déroulé notre projet de fin d'études et l'entreprise qui nous a accueillis pour notre stage. SEP Ingénierie & Conseil est une entreprise nationale en Côte d'Ivoire spécialisée dans la production, le transport, la transformation et la distribution d'énergie électrique. Nous allons référencer en détail les différents secteurs d'activités ainsi que les marques qui composent cette entreprise.

II.1. PRÉSENTATION DU PROJET D'ÉTUDE

Le présent projet a pour objet de faire des réservations des couloirs de ligne HTB et de site de poste source dans la région du GRAND-ABIDJAN, initiative lancée par CI-ENERGIE, entité en charge de réguler le secteur. Ce programme a été élaboré à partir d'un cahier de charge établie par CI-ENERGIE.

II.2. Localisation du projet

Le projet de construction de la ligne 225 kV ANANI1-ANANI 2-BASSAM2 est localisé dans le District autonome d'Abidjan, précisément entre les localités de Port-Bouët (ANANI) et Grand-Bassam (voir **Figure 2**). Les coordonnées géographiques des postes reliés par la ligne sont : latitude de 5°16'3.94"N et longitude de 3°52'10.73"O, pour ANANI1 et latitude de 5°13'42.58"N et longitude de 3°45'19.57"O pour Grand-Bassam.



Figure 2: Cartographie de l'aire d'étude d'ANANI1 - GRAND-BASSAM2

II.3.Contexte et justification

Le manque d'investissements structurant dans le secteur ivoirien de l'électricité, tant en moyens de production qu'en extension de réseau électrique durant la période de 1990 à 2010, ont fait apparaître des besoins importants dans les domaines de la production, du transport, et de la distribution ainsi qu'en matière d'électrification.

Dans ce contexte, des études de plans directeurs ont été lancées dans tous les segments du secteur électrique afin de rationaliser les séquences d'investissement sur la période 2014-2030 avec comme enjeux majeurs [1]:

- La sécurité d'approvisionnement ;
- La fiabilité du système ;
- Le développement des énergies renouvelables ;
- Qualité de service ;
- L'accès à l'électricité pour tous, notamment en zone rurale.

Ces plans directeurs ont permis de traduire en programme d'investissements la vision du gouvernement, à savoir, faire de la cote d'ivoire le hub énergétique du marché sous régional de l'énergie, développer les énergies renouvelables et réaliser l'électrification totale de la Cote d'Ivoire.

Ainsi, au nombre des projets importants, figurent les futures postes 225 kV de YOPOUGON 3, d'ANANI 2, de GRAND-BASSAM 2 et de SANGON. La création de ces postes nécessitera de construire les nouvelles lignes 225 kV SONGON-YOPOUGON 3 OU YOPOUGON 2-YOPOUGON 3 et celle devant relier les postes d'ANANI 2 et de GRAND-BASSAN 2 au poste 225 kV d'ANANI 1 dans la région d'ABIDJAN.

Dans le cadre de la réalisation effective de ces projets, il est important, compte tenu de la pression foncière dans la zone du GRAND-ABIDJAN, de procéder à la réservation des sites de postes et des couloirs de lignes et ainsi éviter les retards dans l'exécution des projets. Ces réserves seront prises en compte dans le cadre des lotissements de terrains et de la planification urbaine du ministère de la construction, du Logement et de l'Urbanisme (MCLU).

II.4.Objectifs de l'étude

II.4.1. Objectif général

L'objectif général est d'identifier une aire d'étude afin de constituer une réserve foncière pour les projets relative à la construction du poste d'ANANI 2 et de la ligne HTB 225 kV ANANI1 – ANANI 2 – GRAND-BASSAM2 dans la région d'ANANI – GRAND BASSAM

II.4.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques relatifs à ce thème sont les suivants :

- Identifier le Corridor de moindre impact pour le passage des lignes 225 KV reliant les postes 225 KV d'ANANI 1-ANAN 2 GRAND- BASSAM 2 ;
- Identifier le futur site du poste d'ANANI 2 ;
- Faire un dimensionnement électrique et mécanique de la ligne 225kV de notre corridor retenu.

III. GÉNÉRALITÉ SUR LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

III.1. Réseau électrique

III.1.1. Définition

Un réseau électrique (voir **Figure 3**) est un ensemble d'infrastructures qui permettent de transmettre l'énergie électrique du point de production au point de consommation. L'objectif de ce réseau est essentiellement d'assurer la continuité et la qualité de l'approvisionnement en électricité des consommateurs. Le réseau électrique est constitué de lignes basse tension, moyenne tension, haute tension et très haute tension. Cette différence de tension est due à la nécessité de limiter les pertes dans le réseau afin de pouvoir transporter l'énergie sur des distances relativement longues. En effet, plus la tension est élevée, plus les pertes en ligne sont faibles lorsque la même puissance est fournie. En revanche, plus la tension est élevée, plus la technologie requise est coûteuse. Par conséquent, la tension de sortie de la centrale électrique est considérablement augmentée et la tension est progressivement réduite à mesure qu'elle se rapproche de l'utilisateur final[2].

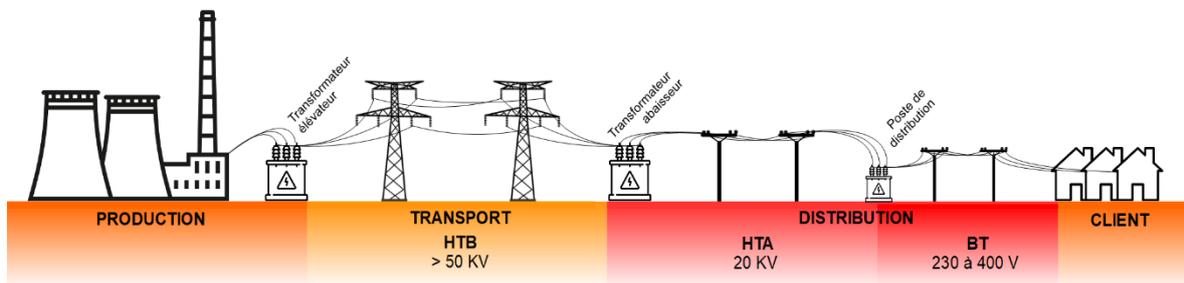


Figure 3: descriptif d'un réseau électrique, de la production à la clientèle.

III.1.2. Principe de fonctionnement

L'énergie électrique générée avant d'être utilisée par les consommateurs transite par les réseaux HTB (supérieur à 50 kV), HTA (de 1 kV à 50 kV) et BT (moins de 1 kV), en passant par les postes transformateurs. Ces centrales constituent les principales composantes du réseau électrique. Ils reçoivent de l'énergie, la transforment (en passant d'un niveau de tension à un autre) et la distribuent (en assurant le raccordement des différents réseaux électriques). Lors de son introduction dans le réseau de distribution, l'électricité haute tension HTA est fournie directement aux clients industriels. Pour les autres clients (habitat, professionnel, éclairage public...), il est converti en Basse Tension (BT) par les postes de distribution publique avant d'être livré.

III.1.3. Classification des réseaux par niveaux de tension

Les lignes électriques sont classées selon quatre critères : niveau de tension, topologie, propriétés et fonctions. Pour cette étude, nous nous concentrerons sur leur classification selon le niveau de stress. La norme « C18 510 » distingue quatre niveaux de tension dont le détail est donné dans le **Tableau 1** ci-dessous.

Tableau 1: Classification des réseaux selon le niveau de tension

Domaines de tension		Valeur de la tension nominale U_n exprimée en volts	
		en courant alternatif	en courant continu lisse (1)
Très basse tension (domaine TBT)		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Basse tension (domaine BT)		$50 < U_n \leq 1\ 000$	$120 < U_n \leq 1\ 500$
Haute	Domaine HTA	$1\ 000 < U_n \leq 50\ 000$	$1\ 500 < U_n \leq 75\ 000$
Tension	Domaine HTB	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

(1) Le courant continu lisse est celui défini conventionnellement par un taux d'ondulation non supérieur à 10 % en valeur efficace, la valeur maximale de crête ne devant pas être supérieure à 15 %. Pour les autres courants continus, les valeurs des tensions nominales sont les mêmes que pour le courant alternatif.

III.1.4. Réseau électrique ivoirien

Le réseau électrique de la Côte d'Ivoire est composé d'éléments de différentes tensions, comprenant un réseau principal de 400 kV et de 225 kV, un réseau régional de 90 kV, et un réseau de distribution. Ce dernier se divise en deux catégories de tension, soit 33 kV pour les zones rurales éloignées, et 15 kV pour les zones urbaines. Le 33 kV dessert les installations industrielles dans les zones rurales, tandis que le 15 kV est destiné à la distribution en milieu urbain. Des réseaux de 5,5 kV sont également présents pour les installations industrielles. Un projet est en cours à Abidjan pour convertir le réseau urbain de 15 kV à 20 kV, visant à augmenter la capacité de distribution et à réduire les pertes. La distribution électrique s'effectue à travers des transformateurs de distribution à haute tension de 33 kV et 15 kV pour les gros clients, et à basse tension de 380 V et 220 V pour les clients généraux. Certaines parties du réseau de distribution comprennent des sous-stations équipées d'interrupteurs connectés à des transformateurs pour réduire la tension de 33 kV à 15 kV.[3]

Le réseau électrique est représenté sur la carte ci-dessous (voir **Figure 4**)

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2



Figure 4: Carte du réseau électrique ivoirien

III.1.5. Réseau électrique du Grand Abidjan

L'approvisionnement en électricité de la ville d'Abidjan provient d'un réseau électrique circulant de 225 kV. Ce réseau électrique se compose de 2 itinéraires. On part du poste d'Abobo (relié au poste Taabo par deux circuits), en passant par le poste d'Azito, puis retour à poste d'Abobo via les postes de Vridi, de Riviera et de la Djibi, puis depuis le poste 225 kV Yopougon 2 nouvellement construit dans la Zone industrielle de Yopougon (connecté électriquement au poste Taabo avec un circuit) jusqu'à aux postes d'Abobo et d'Azito.

L'alimentation est fournie à partir de ce réseau électrique de circuit de 225 kV et réduite à 15 kV via trois systèmes de transformation :

- Baisser la tension à 90 kV dans les 4 postes de 225 kV puis baisser à 15 kV pour la distribution urbaine ;
- Baisser à 90 kV dans les postes de 225 kV puis dans les 6 postes de distribution de 90 kV dans la ville d'Abidjan (Plateau, Bia Nord, Yopougon, Treichville, Anoumabo et Bia sud) jusqu'à 15 kV ;
- Baisser directement de 225 kV à 15 kV dans un poste de 225 kV comme au poste de Djibi, et ce troisième système est la tendance pour devenir au futur le standard de l'alimentation dans les zones urbaines.

III.2. Les différents composants d'une ligne aérienne d'un réseau HTB

Les principaux composants des lignes aériennes sont :

- Les conducteurs (phases + câble(s) de garde) ;
- Les isolateurs ;
- Le pylône ;
- Les fondations ;
- Autres accessoires (pinces de suspension, jonctions de connecteurs, amortisseurs dynamiques,).

III.2.1. Conducteur

Le transport du courant électrique se fait à travers des conducteurs, généralement en configuration triphasée avec au moins trois conducteurs par ligne. Pour réduire les pertes et augmenter la puissance, des faisceaux de conducteurs (2 à 4) sont parfois utilisés au lieu d'un

seul. En raison du coût élevé du cuivre, les conducteurs en alliage d'aluminium ou en aluminium-acier sont préférés, ces derniers étant composés d'une âme centrale en acier tressée de brins d'aluminium. Ces conducteurs sont souvent utilisés dans les lignes aériennes haute tension basse, où la corrosion est un problème. [4]

Deux principaux types de conducteurs sont couramment utilisés dans la conception des lignes aériennes haute tension basse : les conducteurs en alliage d'aluminium (AAAC) et les conducteurs en aluminium-acier (ACSR et AACSR).

 **Conducteur en alliage d'aluminium (AAAC) (voir Figure 5) [5] :**

- Utilisé comme conducteur aérien nu pour la distribution primaire et secondaire ;
- Fabriqué en alliage d'aluminium à haute résistance pour un rapport résistance/poids élevé ;
- Convient aux zones côtières sujettes à la corrosion ;
- Conforme aux normes ASTM B39, BS EN50183, BS 3242, DIM 48201 et IEC 61089.

 **Conducteur en aluminium acier (ACSR) (voir Figure 6) [6]:**

- Fabriqué en torsadant des fils d'aluminium autour d'un noyau en acier ;
- Utilisé pour les lignes de transmission principales ;
- Offre une bonne conductivité électrique, une résistance mécanique élevée et une résistance à la tension ;
- Permet l'extension de la distance entre les poteaux ;
- Conforme aux normes ASTM B 232, BS 215 Part 2, IEC 61089 et DIN 48204 ;

 **Conducteur en aluminium acier AACSR (Steel-Reinforced Aluminum Alloy Conductor) (voir Figure 7) [7]:**

- Possède une résistance à la traction plus élevée, un poids plus léger et de meilleures propriétés de déflexion par rapport aux conducteurs ACSR traditionnels ;
- Réduit la hauteur des pylônes, augmente la portée et diminue les coûts lors de l'installation ;

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

- Adapté aux lignes électriques de longue portée dans des conditions climatiques difficiles ;
- Conforme aux normes ASTM B 711, IEC 61089 et DIN 48206.



Figure 5: Conducteur AAAC



Figure 6 : Conducteur ASCR



Figure 7: Conducteur AACSR

III.2.2. Câble de garde [8]

Situés au-dessus des conducteurs, ils sont plus tendus que ceux-ci pour assurer une bonne protection contre la foudre. Cependant, malgré leur faible section, ils doivent présenter une sécurité mécanique équivalente à celle des conducteurs en cas de vent violent ou de surcharge de givre ou de neige. Il est donc impératif qu'ils soient calculés avec les mêmes hypothèses climatiques que les conducteurs et que les efforts qu'ils génèrent dans les supports soient pris en compte dans leur totalité.

Électriquement, ils doivent assurer l'interconnexion des mises à terre des supports et tolérer les échauffements provoqués par les courants de court-circuit. Pour satisfaire à ces conditions, les câbles de garde comportent toujours une section importante d'acier et, autour de l'âme d'acier, une couche ou exceptionnellement deux couches de fils d'aluméc.

Deux types de câbles de garde sont utilisés :

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

III.2.3. Isolateur

La fixation et l'isolation entre le conducteur et les pylônes sont assurées par l'isolant, qui a à la fois des fonctions mécaniques et électriques. Ceux-ci sont en verre, en céramique ou en plastique. Les isolants en verre ou en céramique se présentent généralement sous forme d'assiettes empilées. Il en existe deux types : les isolateurs rigides (panneaux collés) et les éléments de chaîne (panneaux isolés).

Plus la tension de secteur est élevée, plus il y aura d'assiettes. Les chaînes peuvent être simples (pour les câbles de suspension légers), doubles droites (horizontales pour les câbles en amarrage et verticales pour les câbles de suspension lourds), doubles en V (pour les câbles de suspension anti-balancement), ou encore triples (supportant plusieurs câbles).[9]

Les isolateurs sont réalisés en verre, en céramique ou en matériau synthétique (isolateur composite). Le **Tableau 2** donne les avantages et inconvénients des isolateurs en fonction du matériau de fabrication.

Tableau 2: Avantages et inconvénients des isolateurs en fonction du matériau de fabrication

Matériaux	Avantage	Inconvénient
Céramique	Grande contrainte mécanique	Coût élevé
Verre	Coût faible, Peut supporter des variations, brusque de température, Observation des défauts facile.	Ne peut pas supporter de grandes contraintes mécaniques, difficilement manipulables, car son poids est élevé.
Composite	Grande résistance mécanique, adaptée aux zones fortement polluées, facilement manipulable, car poids faible	Vieillessement invisible.

III.2.4. Pylône

Un pylône est un support vertical qui supporte les conducteurs des lignes électriques à haute tension. Le plus souvent fabriqué en métal, il sert à maintenir une ou plusieurs lignes électriques aériennes à une distance suffisante du sol pour assurer la sécurité des personnes et des biens, et à isoler les conducteurs du sol. Il est conçu de tel sort qu'il résiste aux intempéries, aux risques sismiques (y compris la foudre) et aux vibrations des câbles[10].

III.2.5. Fondation [11]

On appelle fondation, la partie d'un ouvrage qui se trouve en contact direct avec le terrain d'assise et qui a pour fonction de transmettre à celui-ci le poids et les différentes

surcharges appliquées à la superstructure, appelées sollicitations. Leur nature dépend du type de pylône. Nous pouvons distinguer :

- **Les fondations massives de type monobloc** (voir **Figure 8**) sont destinées à ancrer soit des supports monopodes (poteaux en bois, en béton ou métalliques dit « muguet », soit des supports tétrapodes à petit empattement). Les poteaux sont encastrés dans des massifs bétonnés à pleine fouille, dont les valeurs dimensionnelles sont fonction du terrain et des efforts à reprendre.
- **Les fondations multipodes de type dalle(s) et cheminée** (voir **Figure 9**) sont destinées à ancrer les supports tétrapodes à pieds séparés (supports treillis) dans le sol à raison d'une fondation par pied. La particularité de ces fondations est d'être constituée d'un massif, formé d'une semelle rectangulaire ou carrée en fond de fouille, munie d'un redan ou non, parfois rehaussé d'une ou plusieurs dalles et terminé par une cheminée en tronc de pyramide ou cylindrique émergeant du sol et enrobant l'embase du pylône.

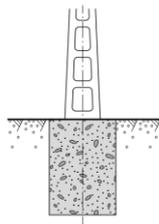


Figure 8: fondation monobloc

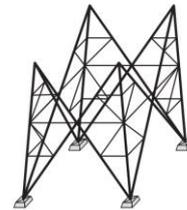


Figure 9: fondation multipode pour pylône

IV. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE

IV.1. Étude de trace pour le passage de la ligne 225 kV ANANI 1- ANANI 2- BASSAM 2 et du poste ANANI 2.

Le but de cette étude est de ressortir le corridor de la ligne 225 kV ANANI1-ANANI2-BASSAM 2 et le terrain qui abritera le poste d'ANANI 2 qui seront les moindres impactant sur notre aire d'étude. Pour aboutir à cela, nous avons suivi une certaine procédure qui est répartie en 3 étapes :

✚ Étape 1 : Analyse de l'aire d'étude

Elle est détaillée comme suit :

- Collecte des données ;
- Analyse les caractéristiques de l'état initial de notre aire d'étude ;
- Identification des zones les plus sensibles des sites. Ces zones sensibles peuvent être des secteurs habités, des aires protégées, des forêts sacrées, des plantations, des cimetières, des monuments historiques, des paysages ;
- Présentation d'une carte d'occupation du sol.

✚ Étape 2 : Étude des corridors de passage des lignes et des sites de postes potentiels

Elle est détaillée comme suit :

- Propositions des différentes options possibles pour le passage des lignes électriques et du choix des futurs sites de postes ;
- Identification des contraintes environnementales, socio-économiques et techniques ;
- Analyses comparatives des différentes options possibles pour le passage des lignes et de choix des sites des postes électriques ;
- Choix du corridor de passage des lignes et des futurs sites des postes

✚ Étape 3 : Tracé et levée d'itinéraire du corridor de passage de la ligne

Elle est détaillée comme suit :

- Levé topographique du tracé choisi ;
- Élaboration du profil en long du tracé de la ligne.

IV.2. Dimensionnement électrique de la ligne 225 kV ANANI 1-ANANI 2-BASSAM 2

Les méthodes de dimensionnement électrique sont la spécification des procédures ou des étapes à suivre pour la conception et la sélection des divers dispositifs d'une ligne électrique.

Cette partie décrit comment dimensionner les conducteurs de phase, câble de garde, dimensionner l'isolation et modélisation de la ligne électrique.

✚ Méthode de dimensionnement du conducteur et des câbles des gardes

Elle est détaillée comme suit :

- Faire le choix du type de conducteur de ligne (matériaux du conducteur) ;
- Faire le choix de la section du conducteur en prenant en compte :
 - Le critère de courant nominal ;
 - Le critère de courant de court-circuit ;
 - Le critère de la chute de tension.
- Faire le choix des différents câbles de gardes en fonction du conducteur de ligne sélectionné.

✚ Méthode de dimensionnement des isolateurs

La méthode de dimensionnement des isolateurs est la suivante :

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

✚ Méthodologie de la modélisation d'un réseau

La modélisation de notre réseau consistera à utiliser le logiciel ETAP pour représenter chaque élément de notre réseau en lui fournissant les paramètres appropriés pour étudier le comportement du réseau à un instant donné.

Dans le cadre de ce projet, elle est détaillé comme suit :

- Modéliser le réseau amont à la ligne ;
- Modéliser les transformateurs ;
- Modéliser la ligne ;
- Modéliser les nœuds ;
- Modéliser la charge.

IV.3. Dimensionnement mécanique de la ligne 225 kV ANANI 1-ANANI 2-BASSAM 2

Dans cette partie, nous développons des hypothèses basées sur les différentes conditions climatiques de la Côte d'Ivoire, notamment de la région d'Abidjan, en prenant en compte toutes les contingences climatiques possibles. Sur la base de ces hypothèses, nous allons déterminer d'abord le poids équivalent des différents câbles (conducteur de phase et câble de garde) et l'angle de balancement de la chaîne d'isolateurs. Ensuite, déterminez la région critique et maintenez un « a » constant pour le pire des cas. Nous allons l'utiliser pour déterminer divers paramètres pour d'autres cas. Nous inspectons ensuite l'état du câble dans les conditions extrêmes afin de déterminer la tension maximale qu'il subira. Cela permet, d'une part, de déterminer la flèche maximale et, d'autre part, les distances de sécurité horizontales et verticales minimales ou les distances d'isolement à respecter. D'autre part, vous pouvez déterminer la hauteur du point de raccordement du câble et la profondeur d'encastrement du pylône. Enfin, sélectionnez le type de pylône et spécifiez le modèle de pylône à utiliser. Par conséquent, la recherche est effectuée conformément aux réglementations techniques et aux normes applicables.

V. ÉTUDE DE TRACE POUR LE PASSAGE DE LA LIGNE 225 kV ANANI 1- ANANI2- BASSAM 2 ET DU POSTE ANANI 2

V.1.Étape 1 : Analyse de l'aire d'étude

V.1.1. Analyse des caractéristiques physiques, biologiques et socio-économiques de l'état initial de l'aire d'étude.

V.1.1.1. Milieu physique

Les caractéristiques physiques qui sont étudiées dans notre étude sont :

✚ Climat et pluviométrie

Le district autonome d'Abidjan présente un climat tropical, caractérisé par des périodes chaudes et sèches de décembre à février, suivies de périodes pluvieuses de mars à novembre. Les précipitations atteignent leur pic en mai et juin, diminuant significativement en août malgré un ciel souvent nuageux. La température moyenne annuelle oscille entre 25,2 °C en août et 28,8 °C en mars, avec une moyenne de 2150 heures d'ensoleillement par an. La pluviométrie annuelle est abondante, totalisant 1441 mm par an, avec une hausse maximale de 266 mm en juin, le mois le plus pluvieux, et une augmentation minimale de 57 mm en janvier, le mois le moins pluvieux (entre 1991 et 2020). [12]

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	26.7	27	27.2	27.1	26.4	25.3	24.6	24.1	24.5	25.4	26.1	26.6
Température minimale moyenne (°C)	24.9	25.4	25.6	25.5	24.9	24	23.5	23	23.3	23.9	24.5	25
Température maximale (°C)	29.1	29.2	29.4	29.2	28.3	26.9	26.1	25.7	26.3	27.3	28.3	28.7
Précipitations (mm)	57	62	87	119	217	266	147	74	100	123	111	78
Humidité(%)	81%	83%	83%	84%	85%	86%	85%	87%	88%	86%	85%	83%
Jours de pluie (jrée)	12	13	16	18	21	20	16	13	16	20	19	16
Heures de soleil (h)	8.2	8.1	8.1	7.9	7.0	6.0	5.6	4.6	5.5	6.7	7.2	7.6

Figure 10: Tableau climatique Abidjan (data: 1991 - 2021 Températures minimales moyennes (°C), Températures maximales (°C), Précipitations (mm), Humidité, Jours de pluie Data: 1999 - 2019: Heures de soleil)

✚ Topographie

La zone du projet présente un relief généralement plat, caractérisé par des pentes horizontales, comme confirmé par des observations sur le terrain et une carte topographique. Trois types de pentes sont identifiés sur la carte (voir **Figure 11**):

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

- **Pentes de moins de 5%** : prédominantes dans l'ensemble du projet, couvrant toute la zone du projet.
- **Pentes de 5% à 10%** : Présente de manière dispersée sur l'ensemble du territoire de la zone d'étude.
- **Pentes de 11% à 25%** : Faiblement représentées, principalement au nord de la zone d'étude, en bordure de la lagune Ébrié et sur l'île.

Les pentes plus rudes de 26% à 55% sont quasiment inexistantes dans la zone du projet.

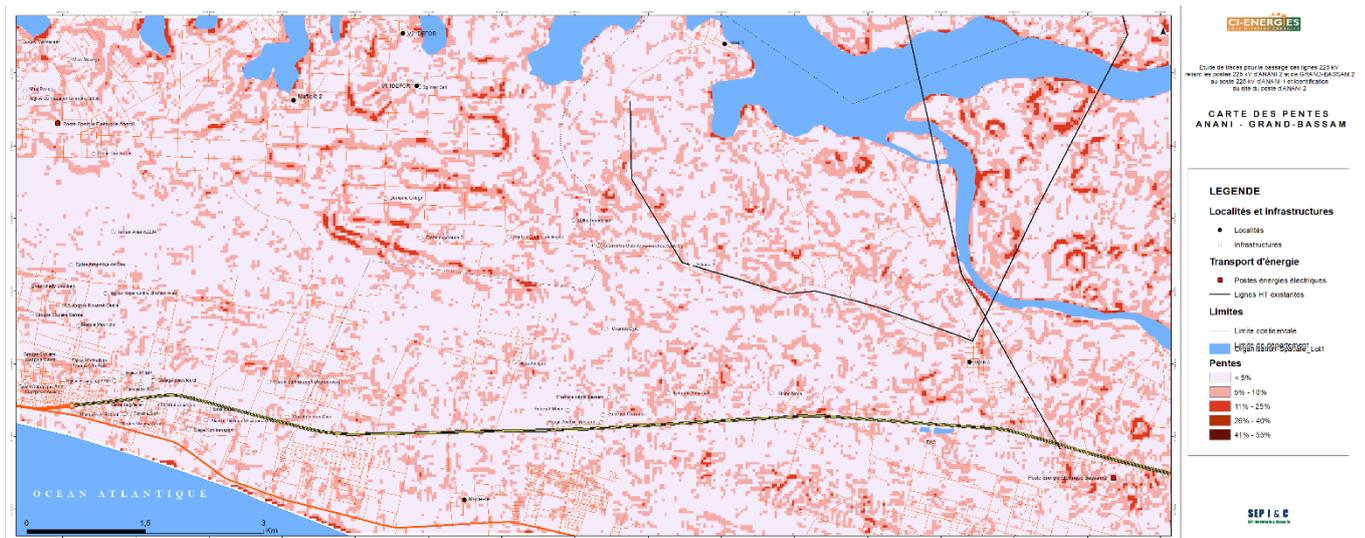


Figure 11: Illustration du relief de zone d'étude par une carte des pentes

➤ Géologie

La zone d'étude, d'environ 30 km², repose sur un sol qui s'est développé selon la topographie et la profondeur de la nappe phréatique. Cette zone se localise dans la zone centrale du bassin sédimentaire où on observe du Nord au Sud les formations miopliocène à quaternaire. [13]

En définitive, l'aire d'étude appartient au Bassin sédimentaire émergé constitué, d'une part, de sables des cordons marins, des vases et sables lessivés des dépressions fluviolagunaires et des vases des marécages permanents et d'autre part de sables et d'argiles fluviatiles.

➤ Hydrographie

L'hydrographie dans la région du Sud-Comoé est dominée par un système lagunaire (lagune Ébrié) parallèle à l'Océan Atlantique (voir **Figure 12**)

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

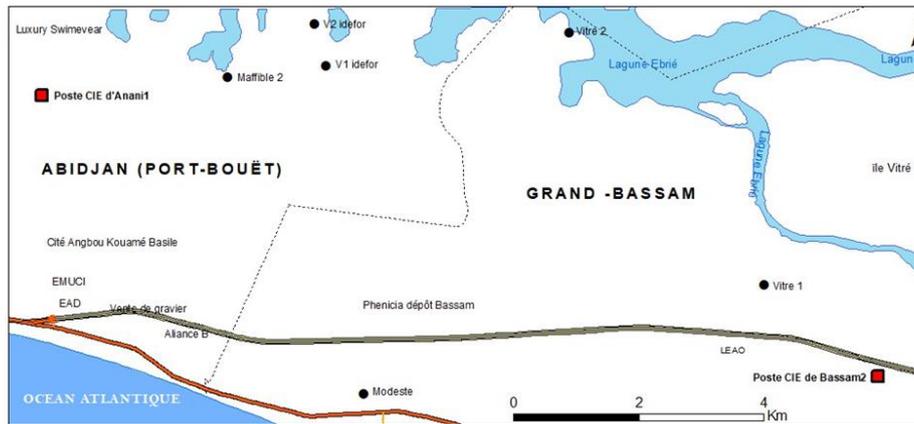


Figure 12: Aperçu général du système lagunaire dans notre aire d'étude

V.1.1.2. Réseau électrique HTB existant dans l'aire d'étude.

Dans l'aire d'étude de la future ligne HTB 225 kV ANANI 1 – BASSAM 2, il existe deux lignes HTB qui sont :

- La ligne HTB 90 kV RIVIERA - BASSAM 2, reliant les Postes 225/90/15 kV de la RIVIERA et 90/30/15 kV de GRAND-BASSAM ;
- La ligne biterne 225 kV BINGERVILLE-ANANI 1, reliant les postes de Bingerville 225/90/30/15 kV et 225/16kV d'ANANI 1.

🚧 Description des postes sources de l'aire d'étude

Les postes sources encadrant l'aire d'étude sont les postes 90/33/15 kV de GRAND-BASSAM 2 et 225/16 kV d'ANANI 1.

Le poste source de Grand-Bassam 2 est constitué de :

- Un côté HTB :
 - ✓ 02 travées ligne 90 kV avec les départs RIVIERA et ABRABAKRO.
 - ✓ 01 travée Transfo avec un transfo 90/15 kV de 50 MVA ;
 - ✓ 01 travée Transfo avec un transfo 90/30 kV de 40 MVA .

Et d'un côté HTA qui comporte 03 départs en 33 kV et 08 départs en 15 kV. Les départs HTA du poste source de Grand-Bassam qui sont dans l'aire d'étude sont :

- ✓ Départ HTA 15 kV aérien Eloka 2 ;

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

- ✓ Départ HTA 15 kV aérien Kita ;
- ✓ Départ HTA 15 kV souterrain VITIB et ZONE FRANCHE.

Le poste source d'Anani 1 est constitué de :

- Un côté HTB :
 - ✓ 02 travées en ligne 225 kV avec 02 départs 225 kV de Bingerville ;
 - ✓ 02 travées Transfo avec 02 transformateurs 225/15 kV de 50 MVA.

Et d'un côté HTA qui comporte 2 départs en 15 kV. Ces départs sont dans l'air d'étude :

- ✓ Départ HTA 15 kV aérien ABOUABOU ;
- ✓ Départ HTA 15 kV aérien MAFIBLE.

V.1.1.3. Milieu biologique

Flore et Végétation

Concernant la flore et la végétation, les milieux naturels protégés ainsi que les espèces végétales et animales protégées sont également des critères pour la définition de l'aire d'étude. Au sein de la zone d'étude, aucune zone de protection n'est recensée. Mais l'on note la présence des cocoteraies expérimentales du CNRA (voir **Figure 13**). Les inventaires réalisés dans l'aire d'étude ont permis d'identifier quatre grandes catégories d'habitat : les plantations de cocotiers, les prairies, les jeunes jachères, les marécages (voir **Figure 14**) et les bas-fonds.



Figure 13: Illustration des cocoteraies de la CNRA



Figure 14 : Illustration d'une forêt de marécage près de Vitre

Faune

Concernant, la faune, l'ensemble de l'aire d'étude a été fortement modifié par la société humaine, ce qui constitue un habitat défavorable pour plusieurs espèces animales sauvages. Par contre, des reptiles (Margouillats, serpent, lézards) ont été observés dans les plantations de cocotiers et à proximité de formations marécageuses. Toutefois, aucune de ces espèces ne présente un état particulier nécessitant la préservation des habitats visités.

V.1.1.4. Milieu humain

Limites administratives

La zone d'étude s'inscrit sur les territoires de deux (2) communes, deux (2) départements et une région, à savoir :

- Les communes de Grand-Bassam et de Port Bouët ;
- Les départements d'Abidjan et du Sud-Comoé ;
- La région des Lagunes.

Habitat et urbanisme

Le secteur concerné est un territoire urbain/rural marqué par un habitat principalement regroupé dans les quartiers des communes.

Port-Bouët est caractérisée par :

- Des habitats principalement regroupés en quartiers ;
- Un plan de lotissement moderne avec maisons individuelles, habitats en cours communes, et habitations collectives construites par des opérations immobilières privées ;
- Présence de quartiers précaires sans infrastructures de base, souvent en raison de leur emplacement difficile.

Grand-Bassam est caractérisée:

- Ville coloniale du XIXe-XXe siècle, organisé en quartiers spécialisés ;
- Architecture coloniale fonctionnaliste adaptée au climat tropical, avec une conservation globale de l'authenticité du tissu urbain ;
- Village de pêcheurs de N'zima illustrant la persistance des cultures autochtones ;
- Le quartier historique, "quartier France," est classé au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2012, avec des mesures de protection et de gestion du patrimoine.

V.1.1.5. Paysage et patrimoine

Le **Error! Reference source not found.** ci-dessous est le récapitulatif des monuments historiques, sites inscrits et classés se trouvant dans notre aire d'étude. (Voir

Annexe 1)

V.1.2. Présentation d'une carte d'occupation de notre aire d'étude.

V.1.2.1. Description des différentes zones de notre aire d'étude en fonction de leurs natures.

Les différentes visites effectuées sur le terrain et l'analyse de la carte de notre aire d'étude (voir **Figure 2**), nous ont permis de partitionner notre aire en différentes zones en fonction de leurs natures ou de leurs aménagements :

Les zones aménagées sont composées de plusieurs éléments façonnés par l'homme dans le but de satisfaire leurs besoins vitaux. Ces zones sont à la fois des espaces habités et des milieux aménagés pour l'exploitation agricole (CNRA). Les détails des éléments des zones aménagées sont consignés dans le tableau 3 ci-dessous (Source : ministère de la Construction du Logement et de l'Urbanisme (MCLU)).

Tableau 3: Différents types de zone d'aménagement se trouvent sur notre aire

Désignation	Localisation	Superficie (ha)
Zone à faible densité d'habitation	Presque l'ensemble du territoire du lot 1	5358,94
Zone à usage mixte	Au sud-ouest en bordure de l'océan Atlantique	131,52
Zone à moyenne densité d'habitation	Au sud-ouest	789,80
Locaux administratifs d'État	Au sud-ouest avant le poste Anani 1	13,63
Équipements éducatifs	Une université au nord en bordure de la lagune Ébrié. Un lycée à l'Est voisin du post de Bassam 2	222,13
Espace vert	Au Sud	414,52
Zone d'activité industrielle	À l'extrémité sud-ouest après le poste de Bassam 2	205,81
Zone d'aménagement différé	En bordure de la lagune Ébrié dans le Nord-Est	1505,56

Aussi on trouve d'autres zones comme :

- La zone agricole CNRA est située au nord de l'espace du projet en bordure de la lagune Ébrié. Elle se tend sur une superficie de 686,12ha ;
- Le milieu aquatique regroupe le plan d'eau lagunaire au nord sur une superficie de 751,52ha et les zones marécageuses dispersées sur l'ensemble l'espace du projet du lot 1 ;

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

- Les sites des postes de 225 kV D'ANANI 1 bâti sur 4,7 ha et du poste 90 kV de Bassam 2 sur 3 ha ;
- On y trouve également des localités et des voies de communication (une autoroute et des voies secondaires).

V.1.2.2. Carte d'occupation de notre aire d'étude

À partir des informations énumérées ci-dessus, on a pu générer une carte d'occupation de notre aire d'étude. (Voir Error! Reference source not found.)

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

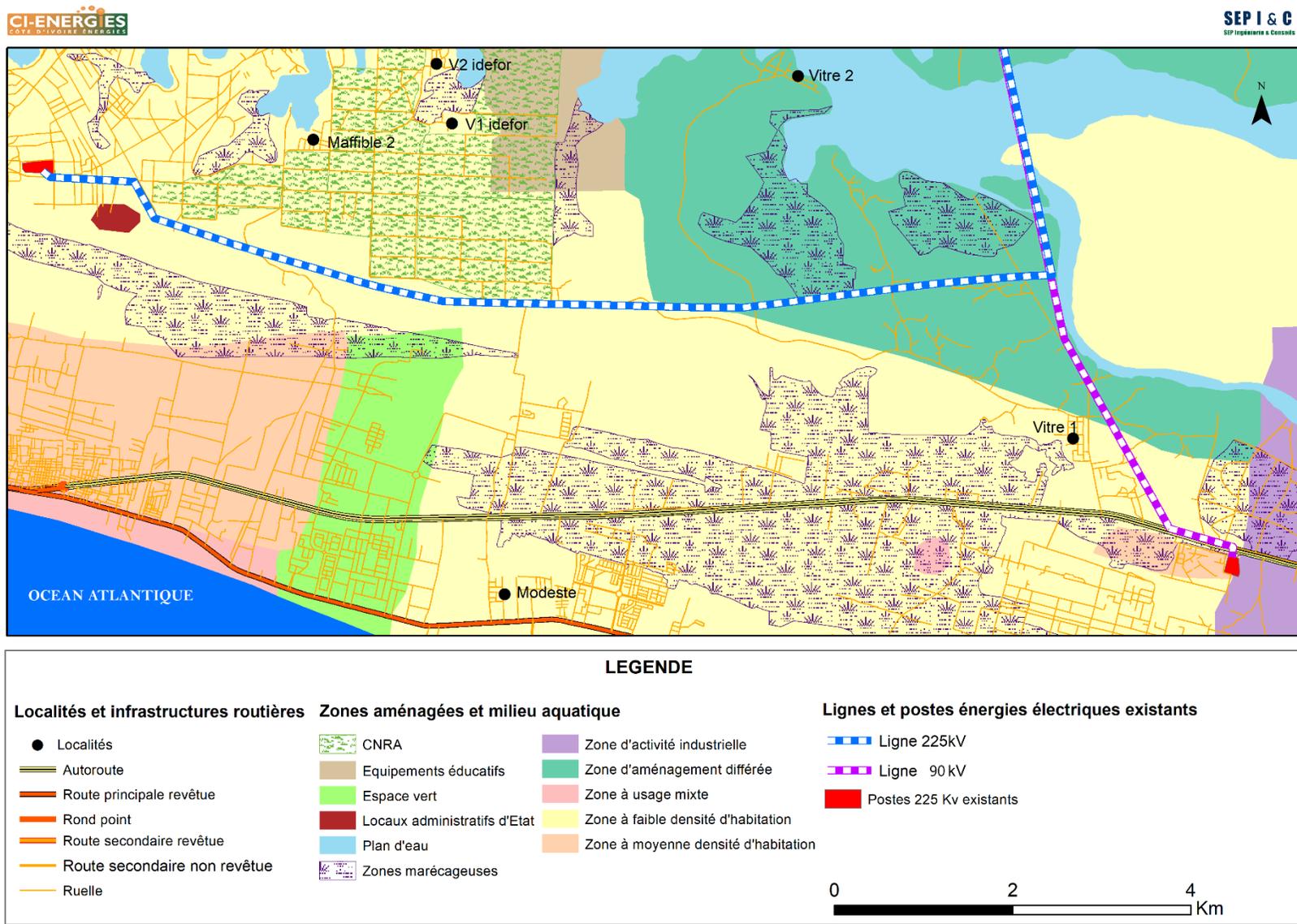


Figure 15: Carte d'occupation de notre aire d'étude

V.2.Étape 2 : Recherches des différentes possibilités de passage des lignes et choix des futurs sites pour le poste ANANI 2 en fonction de la sensibilité de l'aire d'étude ANANI 1 – GRAND BASSAM 2

V.2.1. Les critères de sélection

Les critères utilisés pour la sélection des zones de passage des tracés et des sites du poste sont présentés ci-dessous :

- Privilège dans les zones à faible densité d'habitation ;
- Éviter les aires protégées ;
- Éviter les zones marécageuses ;
- Privilège dans les zones à faible intensité agricole ;
- Privilège dans les zones à relief moins accidenté ;
- Absence des équipements et infrastructures ruraux.

V.2.2. Proposition des différentes options possibles pour le passage des lignes électriques et choix des futurs sites de postes

En ce qui concerne les tracés de lignes, nous avons proposé trois (3) tracés. Ces trois tracés proposés traversent des zones aménagées, le domaine agricole du CNRA et des zones marécageuses et en ce qui concerne le site pressenti pour la construction du poste d'ANANI 2 deux propositions de sites ont été identifiées. Ces deux sites sont localisés dans la zone à faible densité d'habitation.

La Error! Reference source not found. présente les zones aménagées, le milieu aquatique, les propositions de tracés et les propositions des sites pour la construction du poste d'ANANI 2.

V.2.3. Identification des différentes contraintes pour la sélection du corridor et le site du poste avec le moindre impact.

Les contraintes pour la sélection du corridor avec le moindre impact sont présentées ci-dessous :

- **Techniques** : Longueur du corridor, zone d'angle du corridor, relief et croisement ;
- **Environnemental** : Zones marécageuses, espace vert et zones protégées ;
- **Socio-économique** : Aménagement urbain et Aménagement agricole.

Le site recherché pour la création du poste 225 kV doit obéir à un certain nombre d'impératifs :

- Le site du futur poste 225 kV d'ANANI 2 ne doit pas être trop éloigné du couloir de la future ligne 225 KV ANANI 1- GRAND BASSAM 2 afin de minimiser la longueur du réseau de raccordement.
- Le futur poste d'ANANI 2 doit disposer de suffisamment d'espace avec un impact environnemental et social supportable ;
- Le choix du site du futur poste d'ANANI 2 doit permettre de répondre aux impératifs d'une alimentation de qualité sur de long terme, compte tenu de la croissance en surface et en profondeur de la charge de la zone.

V.2.4. Analyse comparative et choix de l'option de moindre impact

Les contraintes énumérées ci-dessus ont été recensées pour chaque option de corridor et de site de poste (voir **Tableau 4**). Sur cette base, une analyse comparative des différentes variantes pour le corridor de passage des lignes ainsi que l'exploration des différentes options d'insertion des ouvrages électriques (ligne et poste électriques) est présentée.

Au niveau technique

Idéalement, une ligne de transport suivrait une trajectoire droite entre les postes. Toutefois, les obstacles nécessitent l'introduction de points d'angle. Notre étude vise à minimiser ces points d'angle.

Il est crucial d'éviter les croisements avec d'autres lignes HTB. En cas de nécessité, des solutions comme le surplombement ou la coupure en artère seront envisagées.

L'analyse du **Tableau 4** indique que le **tracé 2** présente le moins de contraintes techniques. Il émerge ainsi comme le choix optimal, minimisant les points d'angle et assurant une cohérence avec les exigences de non-croisement avec d'autres lignes HTB.

Au niveau environnemental

Lors de la planification du tracé de la ligne, une priorité essentielle a été d'éviter les parcs naturels et les zones protégées afin de préserver l'équilibre écologique de la faune et de la flore. À la lumière de l'étude biologique de notre aire (voir **V.1.1.3 Milieu biologique**) et des informations fournies en **Tableau 4**, il est constaté que les trois tracés sont soumis aux mêmes contraintes environnementales.

Ainsi, il n'y a pas de distinction significative entre les tracés en termes d'impact sur les zones naturelles protégées.

Au niveau socio-économique

Dans le cadre de la planification du tracé de la ligne électrique haute tension, plusieurs critères ont été pris en compte. L'évitement des zones à grande densité d'habitation, des équipements éducatifs, des zones sensibles comme les cimetières, les sites religieux et patrimoniaux était une priorité.

L'analyse comparative des tracés proposés indique que les tracés 1 et 3 présentent le moindre impact sur les zones à faible habitation. Cependant, étant donné qu'ils traversent un domaine privé sous la tutelle du CNRA (Centre National de Recherche Agronomique ivoirien), cela pourrait engendrer des litiges juridiques.

Ainsi, après une évaluation approfondie, le tracé 2 émerge comme la meilleure option. Ce tracé présente le moins d'impact dans notre aire d'étude tout en évitant les zones sensibles. Par conséquent, nous recommandons la proposition 2 du site pour accueillir le futur poste d'ANANI 2. (Voir **Figure 17**)

Cette décision est le résultat d'une analyse minutieuse visant à minimiser l'impact social, environnemental et juridique dans la région d'étude.

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

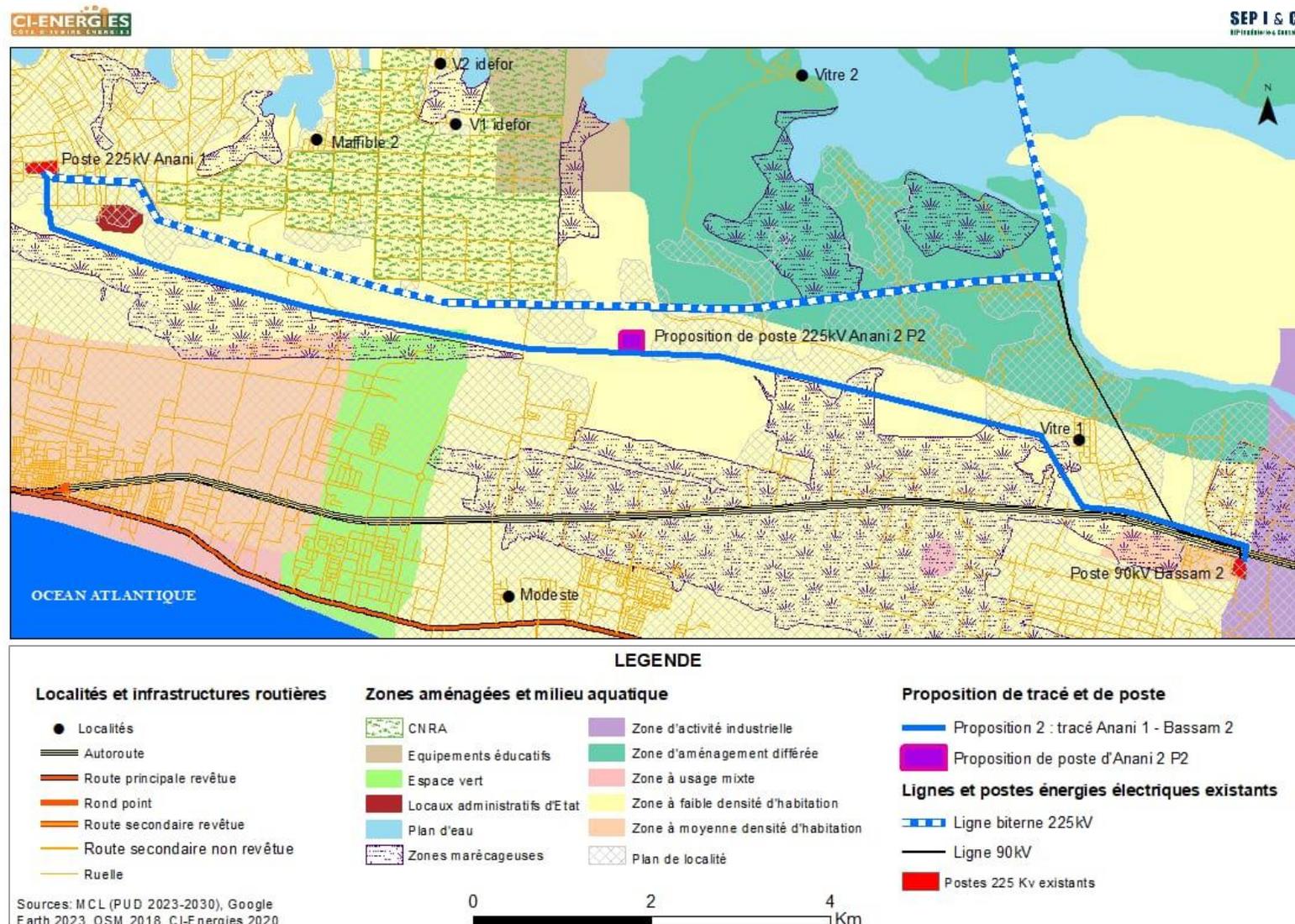


Figure 17: Proposition retenu

V.3.Étape 3 : Tracé et levée d'itinéraire du corridor de passage de la ligne

V.3.1. Méthodologie

Dans cette section, notre objectif est de proposer un profil en long pour notre tracé, en le subdivisant en cantons conformément à la norme NFC 11-201, qui stipule qu'un canton ne doit pas dépasser les 2 km. Avec une longueur totale de 15 km et 6 points d'angle, cela conduit à 13 points d'arrêt et 12 cantons selon le logiciel Google Earth (**Annexe 2**).

Nous allons utiliser le logiciel Google Earth pour créer un fichier KMZ de ces 13 points d'arrêt. Ce fichier sera ensuite importé dans le logiciel Global Mapper pour générer des semis de points au format CSV. Ces derniers seront transformés en format texte afin d'être utilisés dans le logiciel COVADIS 2D pour la création de semis de points topographiques. À partir de ces semis de points topographiques, le calcul du Modèle Numérique du Terrain (MNT) sera effectué.

Le processus se poursuivra par la création d'un projet, suivi de la délimitation des axes entre chaque point d'arrêt. Ces axes permettront de générer les profils en long spécifiques à chaque canton, offrant ainsi une représentation détaillée du tracé.

V.3.2. Profil en long du tracé de la ligne

Le tracé 2 a été sélectionné et divisé en 12 cantons pour faciliter l'analyse et la planification le long de la ligne. Chaque canton présente des caractéristiques topographiques uniques, telles que des pentes ascendantes, descendantes ou plates (voir l'**Annexe 3** pour les résultats).

V.4.Conclusion de l'étude de trace

En conclusion, notre étude préconise la sélection de la proposition 2 pour la réserve foncière de la ligne et la proposition du site 2 pour le poste d'ANANI 2. Ces choix éclairés visent à optimiser l'efficacité opérationnelle, tout en minimisant les impacts environnementaux. L'approche stratégique adoptée reflète une vision à long terme, favorisant la connectivité fluide entre ANANI 1, ANANI 2 et BASSAM 2. Ces décisions, ancrées dans une analyse approfondie des besoins futurs et des avantages logistiques, constituent les fondations d'un développement énergétique durable, conciliant exigences opérationnelles et préservation environnementale.

Tableau 4:Tableau récapitulatif de l'analyse comparative

CONTRAINTES TRACÉES	Contrainte technique				Contrainte environnementale			Contrainte socio-économique	
	Longueur (km)	Nombre point d'angle	Relief	Croisement	Zones marécageuses	Espace vert	Zones protégées	Aménagement urbain	Aménagement agricole
Tracé 1	15,4	10	Les observations sur le terrain montrent que le relief est dans son ensemble plat	Ce tracé croise la ligne HTB 225 kV ANANI 1 - BINGERVILLE	0,25 ha sont impactés par le tracé	Aucune zone n'est impactée par le tracé	Aucune zone n'est impactée par le tracé	Les zones impactées par le tracé sont : Zone à faible habitation : 5,25 ha ; Zone d'aménagement différé : 6 ha.	Les zones impactées par le tracé sont : Domaine CNRA : 4 ha.
Tracé 2	15	6		Aucun croisement	0,73 ha sont impactés par le tracé	0,37 sont impactés par le tracé	Aucune zone n'est impactée par le tracé	Les zones impactées par le tracé sont : Zone à faible habitation : 13,9 ha.	Aucune zone n'est impactée par le tracé

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

Tracé 3	15,2	10		Ce tracé croise la ligne HTB 225 kV ANANI 1 - BINGERVILLE	1,35 ha sont impactés par le tracé	Aucune zone n'est impactée par le tracé	Aucune zone n'est impactée par le tracé	Les zones impactées par le tracé sont : Zone à faible habitation : 6,95 ha ; Zone d'aménagement différé : 6 ha.	Les zones impactées par le tracé sont : Domaine CNRA : 3,5 ha.
----------------	------	----	--	---	------------------------------------	---	---	---	--

VI. DIMENSIONNEMENT ÉLECTRIQUE ET MÉCANIQUE DE LA LIGNE 225 kV

VI.1. Dimensionnement électrique

VI.1.1. Détermination des principaux paramètres électriques de la ligne 225 kV

La future ligne 225 kV, destinée à relier les postes sources 225 kV d'ANANI 1 et de Bassam 2 dans le cadre de l'extension en projet, s'étendra sur une distance de 15 km. Cette ligne opérera à un niveau de tension de 225 kV.

VI.1.1.1. Détermination de la puissance transitée

Pour assurer que le câble peut supporter le courant nominal tout au long de sa durée de vie, partons du scénario initial avec une puissance de départ de 50 MVA. Pour déterminer la puissance circulant dans le câble après 20 années d'utilisation, nous utiliserons la relation suivante.[14]:

$$P_n = P_0 \times (1 + a)^T \quad (1)$$

Où :

- P_n : Charge électrique après n années d'utilisation [MW] ;
- P_0 : Charge électrique à l'année de référence [MW] ;
- a : Taux de croissance annuelle de la charge électrique pris à 5 % pour Bassam ;
- $T=20 \text{ ans}$: durée [année].

On obtient une puissance transitée pendant une durée de 20 ans de **132.67 MW**

VI.1.1.2. Détermination du courant nominal

Nous en déduisons le courant circulant alors dans chaque phase du câble :

$$I_n = \frac{P_{\max}}{U_L \times \sqrt{3} \times \cos \varphi} \quad (2)$$

Où :

- $\cos \varphi = 0,9$: le facteur de puissance ;
- $U_l = 225 \text{ kV}$: la tension de notre ligne

Donc on obtient un courant nominal de **378,26 A**.

VI.1.1.3. Détermination du courant de court-circuit.

Nous déduisons directement ce courant de la formule donnant la puissance de court-circuit :

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U_L} \quad (3)$$

Où : S_{cc} qui est la puissance de court-circuit [MVA].

Pour calculer la puissance de court-circuit, nous utiliserons l'équation de tendance dont sa tolérance d'erreur est de (-1,7962 ; 2,2291) [15]

$$y = 0,2193x^2 + 20,503x - 9,116 \quad (4)$$

Pour une tension x de 225 kV, nous avons obtenu $S_{cc} = y$ d'environ **15706 MVA**.

Donc, on trouve un courant de court-circuit de **40,30 kA**.

VI.1.2. Choix du matériau à utiliser et de la section des conducteurs

VI.1.2.1. Choix des types de câbles à utiliser comme conducteurs de phase

Notre niveau de tension de 225 kV, combiné à l'absence de givre dans la zone géographique de notre ligne, oriente notre choix vers des câbles de type Almelec (AAAC), communément appelés ASTER en tant que conducteurs de phase. En **Annexe 4.**, vous trouverez la présentation de quelques types de câbles Almelec, accompagnée de leurs caractéristiques spécifiques.

VI.1.2.2. Détermination de la section de câble à utiliser comme conducteur

La section du conducteur est choisie en fonction du niveau de tension, en tenant compte des critères de courant nominal, de courant de court-circuit et de chute de tension.

Tableau 5: Tableau des conducteurs utilisés pour les lignes HTB suivant les zones du givre. Source [16]

Tension (kV)	Givre léger	Givre moyen	Givre lourd
63 ou 90	Aster 228 Aster 366 Aster 570	Pastel 288 Pastel 299 Pastel 412 Pétunia 612	Pastel 299 Pastel 412 Pétunia 612
225	Aster 366 Aster 570	Pétunia 612 2 Pétunia 612	Pétunia 612 2 Pétunia 612 ou 1 Aster 1 600
400	2 Aster 570 3 Aster 570 4 Aster 570 (1)	2 Pétunia 612 2 Aster 1 144 2 Aster 1 600	2 Pétunia 612 2 Aster 1 600
(1) Par suite des contraintes d'environnement et des difficultés de construction d'ouvrages neufs, les ouvrages à 400 kV sont, le plus souvent, équipés de faisceaux de 4 Aster 570.			

Le **Tableau 5** ci-dessus permet de choisir la section des conducteurs en fonction du niveau de tension et de la présence ou non de gel dans la zone. [16]

Pour une tension de 225 kV, nous avons deux (2) câbles associés à cette tension qui sont l'**Aster 366** et l'**Aster 570**. Les caractéristiques de ces câbles sont présentées ci-dessous :

Tableau 6: Caractéristiques des câbles Aster 366 et 570

	Aster 366	Aster 570
Caractéristiques électriques	Valeurs	
Section (mm ²)	366,2	570.2
Diamètre extérieur (mm)	24,85	31,05
Charge de rupture nominale du câble (daN)	11535	18530
Résistance électrique à 20°C (Ω/km)	0.0905	0.0583
Masse approximative du câble (kg/km)	1009	1574
Module d'élasticité du câble (MPa)	5700	5700
Coefficient de dilatation des câbles (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	23	23

Le choix du câble sera guidé par des vérifications pointues, incluant le courant admissible, le courant de court-circuit, et la chute de tension. Nous prendrons également en compte le paysage spécifique du transport d'énergie en Côte d'Ivoire. Cette approche garantit une sélection alignée tant sur les critères techniques que sur les besoins locaux du secteur

énergétique.

VI.1.2.3. Vérification du courant admissible par la section de câble

Le but est de vérifier si les câbles (l'Aster 366 et l'Aster 570) peuvent absorber le courant nominal. La formule suivante peut être utilisée pour déterminer le courant admissible d'un câble de section transversale S (S en mm^2) :

$$I_{admissible} = K \times S^{0,62} \quad (5)$$

On a : K dépend du type de câble, avec $K=17,1$ pour l'almelec (Aster)[17]

En appliquant la formule ci-dessus, on obtient une valeur de **664,51 A** pour l'Aster 366 et une valeur **875,45 A** pour l'Aster 570.

Nous pouvons voir que I_n (**378,26 A**) $< I_{admissible}$ de chaque câble.

VI.1.2.4. Détermination du courant de court-circuit maximal des câbles choisis

Le courant de court-circuit maximum admissible dans un câble de section S (mm^2) est calculé selon la formule :

$$I_{CC,max} = \frac{a \times S}{\sqrt{t_{CC}}} \quad (t < 5s) \quad (6)$$

Où :

- S : Section de câble en mm^2 ;
- t_{CC} : Temps d'élimination des défauts pour les lignes à 225 kV et est égal à 0,5 s.
- a : Paramètre qui dépend de la nature du conducteur (voir **Tableau 7**).

Tableau 7: Valeur du paramètre a en fonction de la nature du câble. Source[14]

Nom du conducteur	a
Cuivre	105,3
Almélec	61,98
Aluminium	55,07

En appliquant la formule ci-dessus, on obtient une valeur de **32081 A** pour l'Aster 366 et une valeur de **49962,19 A** pour l'Aster 570.

VI.1.2.5. Détermination du courant de court-circuit

Le courant de court-circuit est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{cc}} \quad (7)$$

Où :

- Z_{cc} est l'impédance équivalente de toutes les impédances parcourues par I_{cc} depuis le point de défaut jusqu'à la source ;
- U est la tension de la ligne en kV.

Z_{cc} étant encore inconnu, il sera déterminé à partir de cette formule ci-dessous :

$$Z_{cc} = \sqrt{(R_a + R_l)^2 + (X_a + X_l)^2} \quad (8)$$

Où :

- R_a est la résistance du réseau amont ;
- X_a est la réactance du réseau amont ;
- R_l est la résistance de ligne ;
- X_l est la réactance de la ligne.

🚦 Détermination de la résistance, réactance et impédance du réseau amont

Pour l'impédance du réseau amont, on a :

$$Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}} \quad (9)$$

Où :

- U est la tension de la ligne en kV ;
- S_{cc} est une puissance de court-circuit maximale et est donnée dans **VI.1.1.3 Détermination du courant de court-circuit.**

En appliquant la formule (9), on obtient : $Z_a = 3,14 \Omega$

Pour la réactance et la résistance, la norme NF EN 60909-0 donne :

$$R_a = 0,1X_a \quad (10)$$

Et

$$X_a = 0,995Z_a \quad (11)$$

On obtient : $X_a = 3,124 \Omega$ et $R_a = 0,312 \Omega$

✚ Déterminons la résistivité de la ligne à la température de construction ($T=45^\circ\text{C}$)

La résistivité linéique de la ligne est de $R_l = 0,0905 \Omega/\text{km}$ à 20°C pour l'ASTER 366 et de $R_l = 0,0583 \Omega/\text{km}$ à 20°C pour l'ASTER 570[18]. Pour les lignes aériennes, l'inductance est comprise entre 1 et 2 mH/km, ce qui donne une valeur de la réactance comprise entre 0,3 et 0,7 Ω/km . Pour le cas de ce projet, nous allons choisir une valeur de $X_1 = 0,4 \Omega/\text{km}$ à 20°C .

On a :

$$R_{45^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} \times [1 + \alpha(\Delta T)] \quad (12)$$

Où :

- $\alpha = 0,0036$ pour l'almélec ;
- ΔT la différence de températures.

On obtient une valeur de $0,0984 \Omega$ pour l'Aster 366 et une valeur de $0,0635 \Omega$ pour l'Aster 570.

✚ Déterminons la résistance et la réactance de notre ligne

On a :

$$R_1 = R_{45^\circ\text{C}} \times L \quad (13)$$

Et

$$X_1 = X_l \times L \quad (14)$$

Avec : L qui est la longueur de la ligne qui est de 15 km

On obtient pour :

- L'Aster 366, un R_1 de $1,48 \Omega$ et un X_1 de $7,5 \Omega$;

- L'Aster 570, un R_1 de **0,96 Ω** et un X_1 de **7,5 Ω** ;

Donc L'impédance totale est de **10,77 Ω** pour l'Aster 366 et de **10,70 Ω** pour l'Aster 570.

On peut déduire le courant de court-circuit qui est de **12061,635 A** pour l'Aster 366 et de **12140,54 A** pour l'Aster 570.

$I_{cc} < I_{ccmax}$ de chaque câble, donc les câbles ASTER 366 ET 570 pourront supporter le courant de court-circuit durant 1 seconde.

VI.1.2.6. Vérification de la chute de tension

La chute de tension dans le câble est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_n (R_{70^\circ C} * \cos \varphi + X_1 \sin \varphi) \quad (15)$$

Où :

- ΔU est la chute de tension en V ;
- $R_{70^\circ C}$ est la résistance du conducteur à 70 °C en Ω/km ;
- X_1 est la réactance du conducteur en Ω/km ;
- I_n est le courant nominal en A ;
- φ est l'angle de déphasage entre le courant et la tension.

✚ Déterminons la résistance du conducteur à 70°C

$$R_{70^\circ C} = [1 + (\alpha * \Delta T)] * L * R_{20^\circ C} \quad (16)$$

Où :

- α est le coefficient de température pris égale à 0,0036 K^{-1} pour l'aluméc ;
- ΔT est la variation de la température de la résistance et la température de service (°C) ;
- $R_{20^\circ C}$ est la résistance du conducteur à 20 °C (Ω/km).

On obtient une valeur de **1,601 Ω** pour l'Aster 366 et une valeur de **1,123 Ω** pour l'Aster 570.

On peut déduire la chute de tension qui est de **6933,365 V** ou **3,08 %** pour l'Aster 366 et de **5140,865 V** ou **2,285 %** pour l'Aster 570

VI.1.2.7. Conclusion

Les réalités actuelles sur le terrain ivoirien doivent être prises en compte. Bien que ce soit possible d'utiliser l'ASTER 366 au niveau ligne 225 kV, mais d'un point de vue général on constate qu'il n'est pas utilisé. La tendance est à l'utilisation de l'ASTER 570, car il est généralement recommandé par la norme pour la construction de toute nouvelle ligne 225 kV HT.

VI.1.3.Choix du câble de garde

Le choix du câble de garde doit s'aligner avec le câble de phase pour éviter les risques d'amorçage et d'interférences liés à des rapprochements dangereux comme les vibrations et l'étirement sous les conditions climatiques. En Côte d'Ivoire, l'usage courant associe au câble de garde classique un câble de garde avec un circuit de télécommunication intégré. Cette configuration facilite la transmission d'ordres ou de données entre postes haute tension, combinant ainsi protection et communication dans le réseau électrique.

La **Tableau 8** présente diverses combinaisons recommandées entre les conducteurs et les câbles de gardes.

Tableau 8:combinaison entre conducteurs et câbles de gardes. source[19]

Givre (clm)	Niveau de tension	Conducteurs	Câbles de garde	
			classiques	à circuits de télécommunication incorporé
2	HT	Aster 228	Phlox 94,1	Thym 107
		Aster 366	Phlox 116,2	Thym 157,4
		Aster 570	Phlox 116,2	Thym 107 Thym 157,4
	225 kV	Aster 366	Phlox 116,2	Thym 157,4
			Phlox 147,1	
		Aster 570	Phlox 147,1	Thym 157,4
	400 kV	Aster 570	Phlox 228	Thym 157,4
4	HT	Pastel 299	Phlox 181,6	Thym 268
		Pastel 412		
		Pétunia 612	Phlox 228	Thym 268

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

	225 kV	Pastel 412	Phlox 288	Thym 268
		Pétunia 612	Phlox 288	Thym 268
	400 kV	Aster 1 144	Phlox 288	Thym 268
6	HT	Pastel 299	Phlox 181,6	Thym 268
		Pastel 412	Phlox 228	Thym 268
		Pétunia 612	Phlox 288	Thym 268
	225 kV	Pastel 412	Phlox 288	Thym 268
		Pétunia 612	Phlox 376	Thym 268
		Aster 1 600	Phlox 376	Thym 268
	400 kV	Aster 1 600	Phlox 376	Thym 268

Donc pour le conducteur **Aster 570**, on a comme câble de garde classique le **Phlox 147,1** et comme câble de garde à circuit de télécommunication incorporé le **Thym 157,4**.

Les caractéristiques de ces câbles sont présentées ci-dessous d'après NF EN 50182 :

Tableau 9: Caractéristique du Phlox 147,1 et du Thym 157,4

		Phlox 147,1	Thym 157,4
Caractéristiques électriques		Valeurs	
Diamètre du circuit de télécommunication (mm)		 	10
Résistance linéique en continu à 20°C (Ω/km)		0,467	0,330
Section	Almélec (mm^2)	71,57	100,9
	Acier (mm^2)	75,54	56,5
Composition	Almélec (mm)	18*2,25	19*2,60
	Acier (mm)	19*2,25	18*2,0
Diamètre extérieur		15,75	19,2
Masse linéique sans graisse (kg/m)		0,790	0,90
Charge de rupture assignée (daN)		13280	11500
Module d'élasticité (MPa)		124000	103000
Coefficient de dilatation des câbles (10^{-6}K^{-1})		14,2	15,8

VI.1.4. Dimensionnement des isolateurs[14]

Cette partie se concentrera sur les isolateurs, une recherche essentielle au dimensionnement électrique. Nous nous concentrerons sur la méthode développée par la faculté

des Science Appliquées de l'Université de Liège pour déterminer la longueur de la chaîne des isolateurs. Voici les prochaines étapes à suivre :

VI.1.4.1. Choix du matériau

Les types d'isolateurs utilisés sur les lignes aériennes sont décrits dans la partie III.2.3 **Isolateur**. En comparant les matériaux isolants, nous avons constaté que les isolants en verres présentent de nombreux avantages par rapport aux deux autres types d'isolants. Ces isolateurs ont des contraintes mécaniques élevées et un coût moyen. Par conséquent, les isolateurs de types verres sont sélectionnés pour ce projet.

VI.1.4.2. Détermination de la tension de contournement

Nous déterminons dans un premier temps la tension de contournement de l'isolateur en fonction de la zone de salinité et de pollution choisie pour notre projet. Le **Tableau 10** provenant de la norme CEI 61466 qui s'applique aux isolateurs composites nous permet de faire ce choix.

Tableau 10: Tension de contournement en fonction du niveau de pollution et de degré de salinité

Zones	I	II	III
Degré de salinité [kg/m ³]	7	20	80
Niveau de pollution	Faible	Moyenne	Élevée
Localisation	Majeure partie du territoire	Zones éloignées de quelques kilomètres du bord de mer ou des industries	Bord de mer et proximité d'industries
β [cm/kV]	1,48	1,83	2,34

Étant donné que notre zone se trouve au bord de l'océan atlantique qui a un degré de salinité compris en [33,5 – 37,4] g/l ou kg/m³ [20], nous allons considérer que c'est une zone de classe III. Nous retiendrons donc une tension de contournement $\beta = 2,34 \text{ cm/kV}$.

VI.1.4.3. Détermination de la longueur de la ligne de fuite des isolateurs

La ligne de fuite des isolateurs est calculée selon la formule ci-dessous :

$$L_f = 1,1 \times U_M \times \beta \quad (17)$$

Avec : U_M est la tension la plus élevée pour le matériel. Pour une tension nominale donnée.

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

Donc on $U_M = 245 \text{ kV}$ pour une tension nominale U de **225 kV**.

On obtient : $L_f = 630.63 \text{ cm}$ ou **6306.3 cm**

VI.1.4.4. Détermination de la tension de la tenue de choc de foudre (BIL)

La tension de tenue de choc de foudre (BIL) est déterminée en fonction de l' U_M à partir du **Tableau 11** ci-dessous

Tableau 11: Tension nominale de tenue aux chocs de foudre (BIL) en fonction de la tension maximale

	Tension la plus élevée pour le matériel U_M (kV)	Tension nominale de tenue aux chocs de foudre BIL ($kV_{\text{crête}}$)
Classe A : $1 \leq U_M \leq 52$	3,6	40
	7,2	60
	12	75
	17,5	95
	24	125
	36	170
Classe B : $52 \leq U_M \leq 300$	52	250
	72,5	325
	123	450
	145	550
	170	650
	245	750

Nous obtenons ainsi une tension de tenue aux chocs de foudre de 750 kV.

VI.1.4.5. Détermination de la tension exercée par les conducteurs

Après avoir déterminé le niveau de pollution (β) et la tension nominale de tenue aux chocs de foudre (BIL), nous allons déterminer l'effort de traction maximal (T_{MAX}) pour choisir le type d'assiette et que la chaîne devra supporter pour notre projet.

La norme exige que l'effort de tête des isolateurs soit supérieur au tiers de la tension de rupture du conducteur. Nous avons donc :

$$T_{MAX} \geq \frac{1}{3} \times T_{Rupture} \quad (18)$$

On a : $T_{Rupture}$ est la charge de rupture (pour l'ASTER 570, elle est de **18 530 daN**)

On obtient une tension maximale admissible (T_{MAX}) de **6176,66 daN** ou **61,8 kN**.

VI.1.4.6. Choix de la chaîne d'isolateurs

D'abord, on considéra des assiettes de type « standard » et en fonction de notre effort traction qui sont de 61,8 kN, nous choisirons parmi les modèles d'assiettes convenant, celui de pas le plus petit parmi la liste proposée par le **Tableau 12**

Tableau 12: Caractéristiques d'assiettes standard

Type standard	Effort en tête [kN]						
	70	100	120	160	210	240	300
Caractéristiques d'une assiette	F70/12 7	F100/12 7	F120/12 7	F160/14 6	F210/17 0	F240/17 0	F300/19 5
Pas [mm]	127	127	127	146	170	170	190
Ligne de fuite [mm]	320	318	315	380	380	380	485
Masse [kg]	3,5	3,7	3,8	6	7,1	7,4	10,9

L'assiette du type standard F70/127 sera notre choix.

En nous référant au **tableau 6.8**, nous déterminons le nombre 'N₁' d'assiettes nécessaires via le modèle d'assiette (le pas) et le 'BIL'

Tableau 13: BIL vs Nbre d'assiettes (standard)

Pas [mm]	127	146	170
Nombre d'assiettes	BIL [kV]		
2	190	190	205
3	260	270	285
4	320	340	340
5	380	410	440
6	435	480	520
7	490	550	600
8	550	620	675
9	615	690	755
10	675	760	835
11	735	830	915

12	795	900	990
-----------	------------	------------	------------

Pour un pas de 127 mm et une BIL de 750 kV, nous obtenons par interpolation environ 12 assiettes ; on a : $N_1 = 12$ assiettes.

Nous déterminons le nombre 'N₂' en vérifiant que la longueur de la ligne de fuite est suffisante :

$$N_2 = \frac{F_l}{\text{longueur de fuite effective d'une assiette}} \quad (19)$$

On a : $N_1 = 19,7$ assiettes.

Nous avons :

$$|N_1 - N_2| < 5 \Leftrightarrow |12 - 19,7| = 7,7$$

Dans ce cas nous considérons que les conditions sont néfastes et avons recours à des assiettes de type « antifog ». Ces dernières sont surdimensionnées au point de vue de la ligne de fuite par rapport aux assiettes « standard »

Choix de l'assiette de type « antifog »

Tableau 14: Caractéristiques d'assiettes antibrouillard

Type antifog	Effort en tête [kN]					
	100	120	160	210	240	300
Caractéristiques d'une assiette	F100P/146	F120P/146	F160P/170	F210/170	F240P/170	F300P/195
Pas [mm]	146	146	170	170	170	195
Ligne de fuite [mm]	445	445	545	530	530	690
Masse [kg]	5,6	6,7	8,5	9,5	10,4	15,2

L'assiette du type antifog F100P/146 sera notre choix.

En nous référant au tableau, nous déterminons le nombre d'assiettes nécessaires via le modèle d'assiette (le pas) et le 'BIL'.

Tableau 15: BIL vs Nbre d'assiettes (Antifog)

Pas [mm]	146	170	195
Nombre d'assiettes	BIL [kV]		
2	235	270	280
3	320	370	390
4	390	450	495
5	465	540	600
6	545	625	700
7	620	710	810
8	695	800	910
9	775	890	1015
10	855	980	1120
11	935	1070	1230
12	1015	1170	1340

Pour un pas de 146 mm et une BIL de 750 kV, nous obtenons par interpolation environ **9 assiettes**.

VI.1.4.7. Conclusion

Les spécifications de notre chaîne d'isolateurs, basée sur des assiettes de type F100P/146, sont les suivantes :

- Type d'Isolateurs : F100P/146 ;
- Pas (pas entre les Isolateurs) : 146 mm ;
- Nombre d'Assiettes : 9 ;
- Longueur de la Chaîne : $146 \text{ mm} * 9 = 2032 \text{ mm}$;
- Longueur de la Ligne de Fuite : $445 \text{ mm} * 9 = 4005 \text{ mm}$;
- Tenue de la chaîne aux Chocs : $9 * 70 = 630 \text{ kN}$;
- Masse de la Chaîne : $5,6 \text{ kg} * 9 = 50,9 \text{ kg}$

VI.1.5. Modélisation du réseau

La stabilité du réseau électrique est un élément fondamental pour assurer un fonctionnement fiable et optimal du système. Dans le cadre de cette étude, nous nous penchons spécifiquement sur le réseau en aval du poste source 90 kV de BASSAM 2, en considérant l'intégration d'une ligne 225 kV reliant ce poste au poste 225 kV d'ANANI 1.

L'objectif principal de cette analyse est d'évaluer l'impact de cette nouvelle ligne sur la stabilité du réseau électrique. Pour mener à bien cette étude, nous avons choisi d'utiliser le logiciel ETAP, reconnu pour ses capacités avancées en simulation et analyse de systèmes électriques.

Cette section abordera en détail les différentes analyses qui sont le Load Flow Analysis, le Voltage Drop Analysis et le Short Circuit Analysis.

VI.1.5.1. Méthodologie de modélisation avec ETAP

✚ Au niveau du poste 225 kV de BASSAM

Le poste d'ANANI sera représenté par un 'jeu de bar' d'une tension nominale de 225 kV et la ligne 225 kV en amont du poste sera représentée par un 'Power Grid' avec un Scc de 15706 MVA.

✚ Au niveau de la ligne 225 kV ANANI 1- BASSAM 2

La ligne sera par une 'Transmission line' dont le son extrémité en amont sera raccordée au jeu de bar 225 kV du poste d'ANANI 1 et l'extrémité en aval sera connecté sur un jeu de 225 kV qui sera créée dans le poste de BASSAM 2.

✚ Au niveau du poste 90 kV de BASSAM 2

Le poste de BASSAM 2 sera représenté par un 'jeu de bar' d'une tension nominale de 90 kV et la ligne 90 kV en amont du poste sera représentée par un 'Power Grid' avec un Scc de 2000 MVA. À partir de l'étude du poste de BASSAM 2, il y'a deux transformateurs (50 MVA-90/33 kV et 40 MVA-90/15 kV) en aval de ce jeu de bar 90kV. Au niveau du jeu de bar 33 kV, il y'a 3 départs HTA et au niveau du jeu de bar 15 kV, il y'a 8 départs HTA. Le jeu de bar 90 kV sera connecté au futur jeu de bar 225kV créer au poste de BASSAM 2 par le biais d'un transformateur dont on supposera la puissance (50MVA).

Au niveau du jeu de bar 15 kV, les 8 départs auront des charges de 2 MVA et au niveau du jeu de bar de 33 kV, les 3 départs auront des charges de 4 MVA. (Voir **Annexe 5**)

VI.1.5.2. Analyse de court-circuit

L'analyse de court-circuit est une procédure essentielle dans le domaine de l'ingénierie électrique. Elle consiste à évaluer les conditions qui pourraient survenir en cas de court-circuit dans le réseau électrique. Elle permet de déterminer les niveaux de courant qui pourrait circuler dans le système en cas de court-circuit. L'analyse de court-circuit examine généralement les différents points de connexion (buses) dans le réseau électrique pour évaluer le niveau de court-circuit à chacun de ces points. Ceci est crucial pour concevoir et dimensionner correctement les équipements de protection, tels que les disjoncteurs, afin de minimiser les dommages en cas d'incident

⚡ défaut sur le jeu de bar 30 kV de BASSAM 2.

- La tension au niveau Jdb 90 kV augmente à 100,5 % ou 92,42 kV ;
- Au niveau du Jdb 15kV, la tension est à 103,05% ou 33,31 kV;
- Le courant au niveau du Jdb 30 kV est de 8,889 kA.

Donc le disjoncteur au niveau du Jdb aura un **Ib 8,889 kA**.

⚡ Défaut sur le jeu de bar 15 kV de BASSAM 2

- La tension sur le Jdb de 90 kV augmente à 102,5 % ou 90,43 kV ;
- Au niveau du Jdb 30 kV, la tension est à 104% ou 34.31 kV ;
- Le courant au niveau du Jdb 15 kV est de 20,045 kA.

Donc le disjoncteur au niveau du Jdb aura un **Ib 20,045 kA**.

⚡ Défaut sur le jeu de bar 90 kV de BASSAM 2

- La tension sur le Jdb de 15 kV chute à 36,96 % ou 5,54 kV ;
- Au niveau du Jdb 30 kV, la tension est à 19,1% ou 6,3 kV ;
- Le courant au niveau du Jdb 15 kV est de 14,064 kA.

Donc le disjoncteur au niveau du Jdb aura un **Ib 17,064 kA**.

VI.1.5.3. Analyse de l'écoulement de charge

C'est une analyse qui évalue la manière dont la puissance électrique est distribuée et consommée dans un réseau électrique. Le but principal du load flow est d'assurer l'équilibre entre la production et la consommation d'énergie, en tenant compte des contraintes du réseau.

Dans notre étude, on fera 3 simulations en faisant varier la capacité de chaque charge :

- **1^{re} simulation : cas où les charges sont à 90 % des capacités, c'est le mode normal de notre étude.**
- **2^e simulation : cas où les charges sont à 70 % des capacités, c'est le mode hiver de notre étude.**
- **3^e simulation : cas où les charges sont à 120 % des capacités, c'est le mode été de notre étude.**

En se basant sur le résultat de l'analyse (voir **Annexe 6**), les pertes de puissance sont négligeables dans les 3 simulations.

VI.1.5.4. Analyse de chute de tension

Son but principal est d'évaluer la diminution de tension le long d'un circuit électrique, généralement lorsqu'une charge importante est connectée. Son but spécifique est de s'assurer que la tension à chaque point du réseau électrique reste dans les limites acceptables. Une chute excessive de tension peut entraîner des problèmes tels que des performances médiocres des équipements électriques, une augmentation de la chaleur dans les câbles, et même des dysfonctionnements des dispositifs connectés. Par conséquent, maintenir une tension adéquate est crucial pour le bon fonctionnement du système électrique.

Le réglage effectué au niveau de la tension est de $\pm 5\%$. Cela implique que, pour chaque jeu de barres, la tension au point d'arrivée de la ligne doit se situer entre 95 % et 105 % pour être considérée comme acceptable. Cette évaluation est effectuée dans le contexte du mode Summer. Il est à noter que tous les jeux de barres respectent le réglage effectué au niveau de la tension, démontrant ainsi la conformité des paramètres dans le cadre du mode Summer. (Voir **Annexe 7**)

VI.1.6. Conclusion de l'étude électrique

Il était question dans cette partie de faire le dimensionnement électrique de la ligne. Ce dimensionnement a consisté à faire le choix du conducteur de phase, le choix du câble de garde et le choix des isolateurs. Ainsi le câble **Aster 570**, des câbles de garde (**Phlox 147,1** et **Thym 157,4**) et l'isolateur de type **F100P/146** de nature composite constitué de 9 assiettes Antifog sont retenus pour la réalisation de ce projet. Le choix de ces éléments dans le catalogue doit respecter scrupuleusement les caractéristiques énumérées. La suite du travail consistera à faire le dimensionnement mécanique de la ligne.

VI.2. Dimensionnement mécanique

VI.2.1. Méthodologie de l'étude mécanique

Le dimensionnement mécanique de nos projets comprend :

- ✚ Effectuer le dimensionnement géométrique. Cela déterminera les éléments suivants :
 - Distance minimale de sécurité par rapport au sol.
 - Distance minimale entre les conducteurs.
 - Longueur de la flèche, de la portée, du conducteur, etc.
- ✚ Vérifiez les charges sur le pylône. Se décrire comme suit :
 - Déterminer les contraintes mécaniques des conducteurs et des câbles de protection.
 - Calculer les charges transférées au pylône par les éléments extérieurs (câbles, vent, etc.).

Ces calculs doivent être effectués en tenant compte des conditions climatiques de la zone d'étude pour assurer la sécurité de l'installation.

VI.2.2. L'hypothèse générale d'étude

Les lignes électriques aériennes sont fortement influencées par les restrictions climatiques de la zone où elles sont installées. Il est donc important d'en tenir compte lors de la phase d'étude. Cela permet aux concepteurs du système, d'une part, de réduire l'impact climatique et, d'autre part, de garantir le bon fonctionnement et la longévité de ce système pendant la phase opérationnelle.

Dans le cadre de la construction de notre ligne, les charges qui doivent être considérées dans le calcul de la résistance mécanique de la structure sont celles résultant de la plus défavorable des hypothèses résumées dans le **Tableau 16**.

Tableau 16: Les hypothèses météorologiques

Hypothèses	Définition	Température (°C)	Vent (m/s)	Tension limite à respecter
A	Condition de tous les jours	Moyenne annuelle : 25,92	Nul	15-20 % de la résistance nominale à la traction
B	Condition de vent maximum	Moyenne annuelle : 25,92	Maximum : 36	≤ 40 % de la charge de rupture garantie
C	Condition de température ambiante minimale	Ambiante minimale : 23	0,6 fois le vent maximum : 21.6	≤ 40 % de la charge de rupture garantie
E	Condition de température maximale	Température maximale du conducteur : 75	Nul	

VI.2.3. Dimensionnement géométrique de la ligne

VI.2.3.1. Définitions géométriques

Le dimensionnement géométrique des lignes HTB consiste à déterminer un certain nombre de grandeurs physiques. Ces grandeurs sont essentielles à la sécurité et à la survie des lignes. Il faut donc les identifier très soigneusement. Les grandeurs les plus utiles sont :

C₁ : Distance minimale entre phases (m) ;

C₂ : Distance minimale entre phase et câble de garde (m) ;

f : La flèche ; c'est la distance entre la hauteur d'accrochage du câble et son niveau le plus bas sur la chaîne (m) ;

L_i : Longueur de la chaîne de suspension (m) ;

a : La portée ; c'est la distance entre deux supports (m) ;

P_v : La portée vent ; c'est la distance entre les milieux de deux portées consécutives (m) ;

P_p : La portée poids ; c'est la distance entre les deux points les plus bas des chaînes de deux portées consécutives (m).

Les grandeurs physiques définies précédemment sont représentées dans la **Figure 18** :

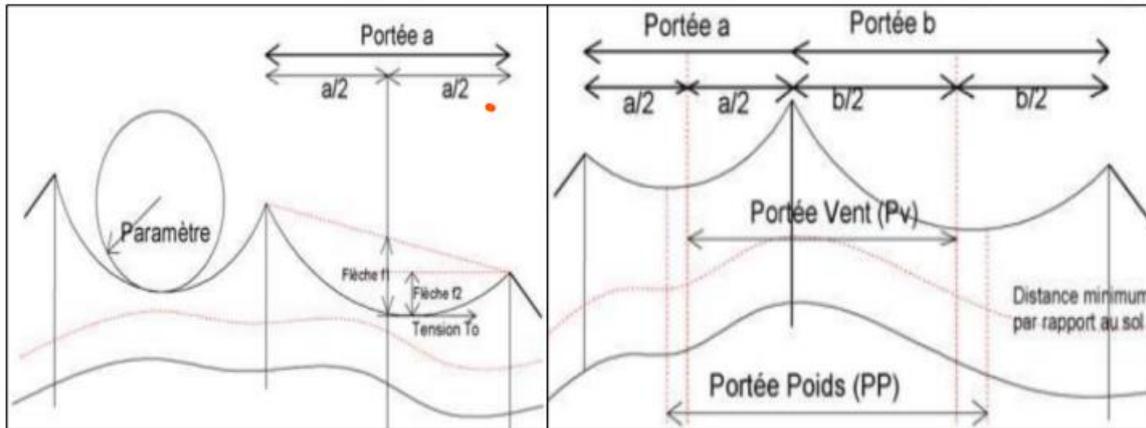


Figure 18: Illustration du profil en long d'une ligne aérienne

VI.2.3.2. Distances d'isolement

Les distances minimales à respecter entre les conducteurs et les objets environnant sont présentées dans le **Tableau 17**.

Tableau 17: Distances minimales à respecter en 225 kV [21]

Nature du surplomb	Distances minimales à respecter (m)
Distances par rapport au sol	
Sol en général	7,5
Sols cultivés	7,5
Voies de circulation normales ou croisement de routes nationales	8,5
Voie navigable	10,7
Croisement de ligne de transport (225kV-90kV)	3,5
Croisement de ligne de transport (225kV-33kV)	3,4
Croisement de ligne de transport ou de télécommunication (225kV-90kV)	3,1
Distances horizontales	
Croisement de lignes de communication	20
Chemins agricoles, chemins de terre, routes charretières	20

Chemins agricoles, chemins de terre, routes charretières	14
--	----

- ✚ Lors de la construction de la ligne, la distance minimale entre les conducteurs et le sol est fixée à 7 m, puisque la ligne traverse des terres agricoles et des zones en processus d'urbanisation. Cependant, lors de la traversée d'une voie, la limite minimale est de 8,5 m.
- ✚ La distance horizontale minimale à respecter sur les autoroutes, voies ferrées, bâtiments, canaux, lignes électriques inférieures à 161 kV, canalisations, pylônes et plans d'eau correspond à la hauteur du pylône.

VI.2.4. Calculs mécaniques sur les conducteurs

Nous nous concentrons sur les conducteurs de phase pour déterminer divers paramètres mécaniques. Dans ce cas, tous les paramètres, à l'exception de la densité p , doivent de référence initiale du câble à 20 °C et reste inchangée sous différentes hypothèses.

VI.2.4.1. Détermination du poids spécifique du conducteur : p

On a :

$$p_{\text{câble}} = m_T * g \quad (20)$$

Avec :

- m_T : c'est somme de la masse linéique totale du conducteur ajoute au poids de la graisse qui est de 48 kg/km, [kg/m];
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, intensité de pesanteur.

Les résultats pour chaque hypothèse sont présentés dans l'**Annexe 8**.

VI.2.4.2. Détermination de la pression dynamique de base : q

La pression dynamique de base est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$q = f_c \times q_b \text{ avec } q_b = 0,5 \times \rho_{\text{air}} \times V^2 \quad (21)$$

Avec :

- f_c : Facteur correctif de l'effort du vent sur les conducteurs pris =1 pour les portées > 100 m ;
- q_b : Pression dynamique de base en l'hypothèse (N/m²) ;

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

- $\rho_{air} = 1,225 \text{ kg/m}^3$, la masse volumique de l'air ;
- V : la vitesse du vent correspondante (m/s).

Les résultats pour chaque hypothèse sont présentés dans l'**Annexe 8**.

VI.2.4.3. Détermination de la force linéique du vent F_v

On a :

$$f_v = C_x \times q \times d \quad (22)$$

Avec :

- C_x : Coefficient de trainée pris égal à 1 pour l'Aster 570 et les câbles de garde ;
- d : Diamètre extérieur, qui est égal à la somme de chaque diamètre.

Les résultats pour chaque hypothèse sont présentés dans l'**Annexe 8**.

VI.2.4.4. Détermination de l'angle d'inclinaison et le poids équivalent

Nous déterminerons à présent le poids équivalent et l'angle d'inclinaison des chaînes de suspension des conducteurs sur la base de deux hypothèses extrêmes (H_B et H_C).

Angle d'inclinaison de la chaîne d'isolateurs

Dans les conditions climatiques hypothétiques et les effets du vent considérés, la chaîne isolante s'incline et forme un angle avec la direction verticale du pylône. Cet angle est appelé angle de pivotement. Ceci est déterminé en appliquant la formule suivante :

$$\varphi = \tan^{-1}(f_v/p) \quad (23)$$

Poids équivalent

On a :

$$P_{\text{équi}} = p \times \cos(\varphi) + f_v \times \sin(\varphi) \quad (24)$$

Les résultats pour chaque hypothèse sont présentés dans l'**Annexe 8**.

VI.2.4.5. Détermination de la portée critique et choix de la constante

✚ Portée critique : P_c

La portée critique est calculée à l'aide d'une équation d'état (dite de Blondel). Ceci est calculé exprimant que les tensions dans le conducteur doivent être égales pour les deux hypothèses en utilisant la tension maximale admissible, c'est-à-dire un tiers de la tension de rupture. Nous avons alors :

$$P_{C,i} = \sqrt{\frac{24 \times \alpha \times (\theta_i - \theta_{réf}) \times T_{max}^2}{(P_{équ,i}^2 - P_i^2)}} \quad (25)$$

Où :

- T_{max} : Tension maximale admissible (N), ;
- α : Coefficient de dilatation thermique ($^{\circ}C^{-1}$);
- θ_i : Température dans l'hypothèse retenue et $\theta_{réf}$, celle de de référence du câble ($^{\circ}C$);
- $P_{équ,i}$: Poids équivalent dans l'hypothèse retenue (N/m).

Les résultats pour chaque hypothèse retenue sont présentés dans l'**Annexe 8**.

Deux hypothèses sont utilisées pour calculer P_c : H_B et H_C . En effet, ils représentent deux groupes de paramètres, chacun correspondant à une condition extrême.

$$H_B \left\{ \begin{array}{l} \theta_B = 25,92^{\circ} \\ P_{équ,B} = 29,3 \text{ N/m} \end{array} \right. ; \quad H_C \left\{ \begin{array}{l} \theta_C = 23 \\ P_{équ,C} = 18,2 \text{ N/m} \end{array} \right. \quad \text{et} \quad \left\{ \begin{array}{l} T_{max} = 61800 \text{ N} \\ \alpha = 23.10^{-6} \end{array} \right.$$

✚ La constante a

sur la base des résultats de la portée critique, dérivez l'hypothèse la plus restrictive entre les deux températures et calculez la constante a à partir de là. Cette constante est utilisée pour déterminer les paramètres du deuxième cas de température.

Supposons pour notre projet, notre ligne a une portée moyenne de 300 m. Dans le cas où $P_{moy} < P_c$, c'est la constante associée à l'hypothèse C qui sera retenue, sinon ce sera celle associée à l'hypothèse B.

La portée moyenne étant supérieure à la portée critique de l'hypothèse C, donc, c'est la constante "a" associée à l'hypothèse B qui est retenue. Nous avons alors :

$$a = \frac{P_{\text{équi}}^2 \times \text{Portée}^2}{24 \times T_{\text{max}}^2} - \frac{T_{\text{max}}}{E \times S} - (\alpha \times \theta) \quad (26)$$

Où :

- $P_{\text{équi}}$ est le poids équivalent dans l'hypothèse retenue [N/m] ;
- Portée est la portée moyenne [m] ;
- $T=T_{\text{max}}$ est l'effort de traction maximal admissible [N] ;
- E est le module de Young qui est égale à 56.10^3 N/mm² ;
- S est la section [mm²] ;
- α est le coefficient de dilatation thermique [°C⁻¹] ;
- θ est la température dans l'hypothèse retenue [°C].

On obtient : $a = -1,69 \cdot 10^{-3}$

Les résultats pour chaque hypothèse sont présentés dans l'**Annexe 8**.

VI.2.4.6. Détermination de la flèche maximale (f_{max})

La flèche maximale est déterminée en tenant compte des conditions caniculaires définies dans le tableau d'hypothèses. Cela signifie hypothétiquement que la vitesse du vent est nulle, ce qui correspond à une température de 75°C. Le vent nul impose au fil d'être vertical. Nous devons tout d'abord déterminer la tension qui règne dans notre portée. Pour cela, nous devons déterminer la tension qui règne dans notre portée en utilisant l'équation **Error! Reference source not found.** obtenue à partir de l'équation précédente. L'équation ainsi obtenue **Error! Reference source not found.** est appelée l'équation de changement d'état, de l'hypothèse qui a été considérée :

$$-\frac{T^3}{E \times S} - (a + \alpha\theta) \times T^2 + \frac{P_{\text{équi}}^2 \times \text{Portée}^2}{24} = \quad (27)$$

La résolution de cette équation donne toujours 03 solutions, une solution réelle et deux solutions complexes. Ce sont les solutions réelles qui représenteront les valeurs de tensions dans les câbles dans les différentes hypothèses. Les solutions complexes ne sont pas considérées.

La flèche maximale est donc donnée en fonction de la tension, sous l'hypothèse de canicule (HD, la plus contraignante à ce niveau :75°C, sans vent) par la formule suivante :

$$f_{max} = \frac{P_{\text{équ,HD}} \times \text{Portée}^2}{8 \times T_{HD}} \quad (28)$$

Cherchons d'abord la tension T_{HE} dans l'hypothèse de canicule dans l'équation de changement d'état en utilisant la constante a de l'hypothèse. Après la résolution de l'équation du 3e ainsi obtenue, nous avons retenu la seule solution réelle qui est : $T_{HD} = 30794,3 \text{ N}$.

On obtient finalement : $f_{max} = 5,8 \text{ m}$.

Les résultats pour chaque hypothèse sont présentés dans l'**Annexe 8**.

VI.2.5. Calcul mécanique sur les câbles de gardes ; le Phlox 147,1 et le Thym 157,4

La méthodologie est identique à celle du conducteur de phase vue précédemment (voir **Calculs mécaniques sur les conducteurs**)

Les résultats sont présentés dans l'**Annexe 9** pour le Phlox 147,1 et dans l'**Annexe 10** le Thym 157,4

VI.2.6. Détermination des distances minimales relatives aux câbles et aux structures

✚ La distance verticale entre phases

On a :

$$d_{V-P,P} = CFI \times \sqrt{f_{max} + SL} + \frac{U_n}{150} \quad (29)$$

Où :

- U_n : Tension nominale (kV)
- CFI : Coefficient qui dépend de la nature du conducteur pris égal à 1 pour le câble AMS
- f_{max} : Flèche maximale ou du câble de garde à $T = 75^\circ\text{C}$ (m)
- SL : Longueur de la chaîne d'isolateur (m)

Le résultat est présent dans le **Tableau 18**.

✚ La distance verticale entre phases et câble de garde

On a :

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

$$d_{V-P,CDG} \geq 0,678 \times \sqrt{f_{max} \times L} + C \quad (30)$$

Où :

- **L** : Longueur de la chaîne d'isolateurs (m) ;
- **C** : Constante prise égale à 0,6 entre phase et câble de garde en 225 kV.

Le résultat est présent dans le **Tableau 18**.

La distance verticale entre phase et terre

On a :

$$d_{P,N} = \frac{U_n}{150} \quad (31)$$

Le résultat est présent dans le **Tableau 18**.

La distance horizontale entre phases et câble de garde- câble de garde

On a :

$$E_H = \frac{0,8 \times d_{V-p,p}}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (32)$$

Où : β : Déflexion en degré nous allons considérer la déflexion maximale au niveau des pylônes qui est de 80 °[17]

N. B. : La distance horizontale entre câble de garde sera la distance horizontale la plus grande entre la distance horizontale séparant deux câbles Phlox 147,1 et la distance horizontale séparant deux câbles Thym 157,4

Le résultat est présent dans le **Tableau 18**.

La hauteur des conducteurs au-dessus du sol

Il est important de déterminer cette hauteur de façon à respecter les distances de sécurité entre conducteurs et le sol et tout obstacle environnant. Les conducteurs devront être accrochés à une hauteur supérieure à :

$$H_{min} = f_{max} + G_{sol} + majoration \quad (33)$$

On :

- $G_{sol} = 7,5 \text{ m}$ est la garde au sol ;
- $Majoration = 1 + \frac{U_N - 50}{100}$ Pour $U_N > 50 \text{ kV}$;
- f_{max} est la flèche maximale.

Le résultat est présent dans le **Tableau 18**.

Profondeur d'enfouissement : Prof (m)

Pour toute tension supérieure à 1 kV, le pylône bénéficie d'une fondation dont la profondeur d'enfouissement est la suivante :

$$P_{rof} = \frac{H_{min}}{10} + 1 \quad (34)$$

Le résultat est présent dans le **Tableau 18**.

Tableau 18: résultats sur les distances minimales relatives aux câbles et aux structures

	Aster 570	Phlox 147,1	Thym 157,4
Flèche maximale (m) à 75°C	5,8	2,6	2
Garde au sol (m)	7,5		
La distance verticale entre phases (m)	4,3		
La distance verticale entre phases et câble de garde (m)	2,57		
La distance verticale entre phase et terre (m)	1,5		
La distance horizontale entre phases et câble de garde- câble de garde (m)	4,3		
La hauteur des conducteurs au-dessus du sol (m)	≥15,05		
Profondeur d'enfouissement (m)	2,5		

VI.2.7.Étude mécanique relative aux pylônes

Dans cette partie, nous nous concentrons sur les charges appliquées sur le pylône afin de suggérer un gabarit de pylône adapté à l'étude.

VI.2.7.1. Détermination de la portée et choix du type de pylône

✚ Portée moyenne

La portée maximale que les câbles Aster 570 et les câbles protégés (Phlox 147,1 et Thym 157,4) peuvent supporter est de 700 m ou plus, selon le type de Pylône.

Pour augmenter la résistance mécanique, ce projet suppose une portée moyenne de 300 m.

✚ Choix du type de pylône

De l'inventaire du réseau HTB ivoirien existant, les pylônes les plus fréquemment utilisés sont :

- Les pylônes 3 triangles pour les lignes 90 kV avec un terne ;
- Les pylônes chats pour les lignes 225 kV biternes ;
- Les pylônes treille pour les lignes 225 kV biternes et les lignes 400 kV biternes.

Compte tenu de cela, notre choix se tournera sur les pylônes en treillis à double ternes, car ces types de pylônes sont moins chers, plus légers et peu encombrants que les deux autres types, car ils n'exposent pas autant de surface au vent.

VI.2.7.2. Répartition des supports par canton

Les pylônes sont repartis sur notre tracé en respectant le nombre de cantons (12) et la porte moyenne (300 m) énumérée dans la partie **V.3 Étape 3 : Tracé et levée d'itinéraire du corridor de passage de la ligne.**

Cette répartition est présentée dans le **Tableau 19**:

Tableau 19: Répartition des pylônes sur le tracé de la ligne

Canton	Limite du canton	Longueur (m)	Pylônes d'alignement	Pylônes d'arrêt	Pylônes d'angle
Canton 1	P1-P2	612,49	1	1	0
Canton 2	P2-P3	1198,07	3	0	1
Canton 3	P3-P4	1935,23	5	1	0
Canton 4	P4-P5	1140,36	2	1	0
Canton 5	P5-P6	1263,95	3	1	0
Canton 6	P6-P7	1119,52	2	0	1

Canton 7	P7-P8	988,54	2	1	0
Canton 8	P8-P9	1975,03	5	0	1
Canton 9	P9-P10	1747,56	5	1	0
Canton 10	P10-P11	1216,34	3	0	1
Canton 11	P11-P12	1454,98	3	0	1
Canton 12	P12-P13	172,38	0	1	1
TOTAL			34	7	6
			47		

La répartition des pylônes nous donne 34 pylônes de type A dont l'angle est compris entre 0° et 2°, 7 pylônes de type B dont l'angle est compris entre 0° et 30° et 6 pylônes de type C dont l'angle est compris entre 30° et 70°.

VI.2.7.3. Calcul des charges transmises au pylône

✚ Détermination des charges appliquées aux pylônes par le conducteur de phase Aster 570.

Détermination des charges verticales V_B

Ces charges sont transférées au pylône d'arrêt et au pylône d'alignement. Elle est déterminée en appliquant la formule suivante :

$$V_B = m \times \omega \times \frac{a_1 + a_2}{2} + T \left(\frac{Z}{a_1} + \frac{Z}{a_2} \right) + P_i \quad (35)$$

Où :

- **m** : Coefficient de surcharge appliqué au câble, pris égal à 1 dans les régions subsahariennes ;
- **ω** : Poids linéique du câble (daN/m) ;
- **T** : Tension horizontale appliquée aux câbles dans l'hypothèse considérée ;
- **a_1 et a_2** : Portées adjacentes du pylône considéré (m) ;
- **Z** : Élévation (m) :
 - Z, positif si le pylône considéré est au-dessus des pylônes adjacents ;
 - Z, négatif si le pylône considéré est en dessous des pylônes adjacents ;

- $Z = 0$ si le terrain est plat.
- P_i : Poids de la chaîne d'isolateurs (kg).

Détermination des charges horizontales transversale H

Ces charges sont dues à l'action du vent sur les conducteurs, les câbles de garde, les chaînes d'isolateurs et aux composantes transversales et longitudinales des charges permanentes dues à la tension des câbles et à la valeur de l'angle.

Elle est déterminée en appliquant la formule suivante :

- Pour les pylônes d'alignement :

$$H_v = F_v \times \frac{(a_1 + a_2)}{2} \quad (36)$$

- Pour les pylônes d'angle :

$$H_\alpha = 2T \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (37)$$

- Pour les pylônes d'alignement et d'angle, on obtient une charge totale de :

$$H_T = F_v \times \frac{(a_1 + a_2)}{2} + 2T \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (38)$$

Où : F_v : la force du vent (N/m).

Détermination des charges longitudinales L

Elles sont principalement causées par les variations de température et/ou les surcharges. Elles sont uniquement déterminées au niveau des pylônes d'arrêt et d'angle en appliquant la formule suivante :

$$L = (T_2 + T'_2) \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (39)$$

Ces charges seront ainsi déterminées pour les pylônes d'arrêt et d'angle nous avons et pour l'angle maximal des types B et C en prenant les angles maximaux.

Les résultats sont présentés en **Annexe 12**

VI.2.7.4. Détermination des charges appliquées aux pylônes par les câbles de garde (le Phlox 147,1 et le Thym 157,4).

La procédure est similaire à celle des conducteurs de phase ASTER 570 traité avant.

Les résultats sont présentés en **Annexe 13** et **Annexe 14**.

VI.2.8. Conclusion de l'étude mécanique

À l'issue de ce dimensionnement mécanique, la hauteur des conducteurs au-dessus du sol doit être supérieure ou égale à 15,05 m tout le long de notre ligne. Cette hauteur peut changer en fonction des obstacles environnants. Elle nous a permis d'obtenir 47 pylônes répartis sur l'ensemble de la ligne. Pour réaliser ce projet, trois types de pylônes ont été choisis. Il s'agit de supports d'alignement, de supports d'angle et de supports de blocage de ligne unique. Ces pylônes auront une hauteur hors sol de 26 m et une hauteur totale de 30 m.

Les efforts appliqués sur les différents pylônes sont présentés en **Annexe 8, Annexe 9** et **Annexe 10**. Les dimensions des différents pylônes doivent leur permettre de supporter ces charges pendant les conditions climatiques les plus rudes sans aucun inconvénient. De plus, ces efforts sont déterminés pour chaque type de câble, c'est-à-dire que l'effort déterminé pour les conducteurs de phase doit être triplé pour les lignes constituées de pylônes à double terme.

VII. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET

La mise en œuvre de l'EIES pour ce projet est soumise à un cadre politique, institutionnel, législatif et réglementaire. Dans la pratique, les ressources sont gérées par le biais des dispositions pertinentes des lois et réglementations et des accords internationaux. Il ne faut pas oublier les directives des organisations internationales (comme celles de la Banque mondiale, de la BAD, de la BOAD, etc.).

Par ailleurs, plusieurs administrations sont responsables des étapes de réalisation et de mise en œuvre du projet. Cela comprend, entre autres, la responsabilité des ministères en charge de l'environnement et du développement durable, de la salubrité urbaine et de l'assainissement, des eaux et forêts, de l'intérieur et de la sécurité, de la construction, du logement et de l'urbanisme, de l'assainissement, des mines et de la géologie, de l'équipement et de l'entretien routier. Une analyse plus détaillée des rôles et responsabilités de ces acteurs et des textes juridiques applicables lors de la phase d'étude détaillée d'impact environnemental permettra aux promoteurs de déterminer l'étendue de leurs devoirs ou obligations.

VII.1. Présentation et justification du projet

Voir la partie **II.3 Contexte et justification**.

VII.2. Cadre institutionnel et réglementaire sommaire[22]

La mise en œuvre de ce projet s'appuie, d'une part, sur le cadre défini dans la politique nationale de l'environnement, comme le Plan national d'Action pour l'environnement (PNAE) qui identifie les problèmes environnementaux de la Côte d'Ivoire et d'une part, il s'agit de texte législatif et réglementaire tel que :

- La loi n°2016-886 du 8 novembre 2016 portant Constitution de la République de Côte d'Ivoire en ses articles 9, 15, 27 et 40 ;
- La loi n° 96-766 du 3 octobre 1996 portant Code de l'Environnement ;
- La loi n°98-755 du 23 décembre 1998 portant Code de l'Eau ;
- Le décret n°96-894 du 8 novembre 1996 déterminant les règles et procédures applicables aux Études relatives à l'Impact Environnemental des projets de développement ;
- Le décret n°2005-03 du 6 janvier 2005 portant Audit Environnemental ;
- Le décret n° 98-43 du 28 janvier 1998 relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement ;

- Etc.

À ces textes nationaux, il faut ajouter les conventions, les accords et les traités internationaux relatifs à l'environnement signé et ratifiés par la Côte d'Ivoire.

VII.3. Description sommaire de l'état initial de l'environnement

Voir la partie **V.1.1V.1.1 Analyse des caractéristiques physiques, biologiques et socio-économiques de l'état initial de l'aire d'étude.**

VII.4. Description des principaux impacts et mesures de réduction.

Les principaux impacts et les mesures d'atténuation de ces impacts sont traités dans le plan de gestion environnemental.

✚ Les impacts positifs potentiels identifiés sont :

- **Création d'emplois** : La construction de la ligne nécessitera une main-d'œuvre diversifiée, englobant des ingénieurs, des ouvriers qualifiés et non qualifiés, ce qui peut créer des opportunités d'emploi pour les habitants de la région ;
- **Développement des compétences** : Les projets d'infrastructure, tels que celui-ci, peuvent contribuer au développement des compétences de la main-d'œuvre locale ;
- **Amélioration de l'accès à l'électricité** ;
- **Réduction des interruptions de service.**

✚ Les impacts négatifs potentiels identifiés sont :

- La destruction d'habitats naturels, la déforestation, la fragmentation des écosystèmes et la perturbation de la faune locale ;
- Les travaux de construction peuvent également entraîner une érosion des sols et des problèmes de gestion des déchets ;
- Réduction des superficies disponibles pour l'agriculture ;
- Déplacement de communautés locales, entraînant des perturbations sociales, culturelles et économiques importantes pour les personnes concernées ;
- Conflits communautaires.

✚ Mesures d'atténuation/de renforcement et initiatives complémentaires :

- Effectuer une évaluation environnementale approfondie pour identifier les zones sensibles sur le plan écologique et proposer des mesures pour minimiser les perturbations ;
- Mettre en place des programmes efficaces de gestion des déchets de construction pour minimiser les impacts sur les sols et les cours d'eau ;
- Favoriser la sous-traitance locale et encourager la participation d'entreprises locales pour maximiser les retombées économiques dans la communauté ;
- Maintenir une communication ouverte avec les communautés locales tout au long du projet pour recueillir des commentaires, résoudre les problèmes rapidement et favoriser une participation continue ;
- Élaborer un plan de réhabilitation des zones touchées après la construction pour minimiser les impacts à long terme.

VII.5. Conclusion et recommandations

Au terme de l'étude, il apparaît que l'exécution des travaux de notre projet comprendra comme pour tout projet de développement, des impacts à la fois positifs et négatifs. Par conséquent, nous avons proposé des mesures pour réduire l'impact négatif et proposé un plan de gestion environnementale. Afin de garantir que les objectifs du projet soient atteints, dans le cadre de l'étude de faisabilité, il est nécessaire de consulter, communiquer et impliquer les différentes parties prenantes et d'identifier les principales questions liées à la mise en œuvre du projet et de trouver un compromis qui chaque partie prenante peut se mettre d'accord.

CONCLUSION

En conclusion, l'étude approfondie du tracé et du dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV entre ANANI 1, ANANI 2 et BASSAM 2 se révèle être une étape cruciale dans la quête d'une infrastructure énergétique robuste et durable. Face à la croissance exponentielle de la consommation d'énergie et aux défis économiques et environnementaux qui en découlent, notre approche méthodique visant à anticiper les besoins futurs tout en respectant les contraintes actuelles a permis de tracer une feuille de route prometteuse.

La constitution d'une réserve foncière réfléchie, capable de répondre aux exigences potentielles du poste d'ANANI 2 et de la ligne HTB, constitue un pilier de notre proposition. Elle offre la flexibilité nécessaire pour s'adapter aux évolutions ultérieures, tout en minimisant les retombées négatives sur l'environnement. Parallèlement, notre dimensionnement électrique et mécanique a été élaboré avec précision, intégrant les dernières avancées technologiques et les normes environnementales, afin d'assurer l'efficacité opérationnelle tout en réduisant l'impact sur les écosystèmes.

En adoptant une approche intégrée et prospective, notre étude vise à jeter les bases d'une infrastructure énergétique moderne et résiliente, alignée sur les impératifs du développement durable. Nous espérons que ces recommandations contribueront à guider la mise en œuvre future de ce projet, offrant ainsi à la région une source d'énergie fiable, économique et respectueuse de l'environnement, capable de soutenir la croissance continue de la demande énergétique et de répondre aux besoins des générations futures.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] « Production - Transport - COTE D'IVOIRE ENERGIES ». Consulté le: 20 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cinergies.ci/test/production-transport/>
- [2] « Topologie des réseaux électriques – Apprendre en ligne ». Consulté le: 13 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.clicours.com/topologie-des-reseaux-electriques/>
- [3] « 12333894.pdf ». Consulté le: 13 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12333894.pdf>
- [4] « Ligne à haute tension », *Wikipédia*. 7 juin 2023. Consulté le: 15 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Ligne_%C3%A0_haute_tension&oldid=204995737
- [5] « Conducteur en alliage d'aluminium AAAC,Câble de mine,Câble de soudage ». Consulté le: 19 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://tongdacables.fr/1-4-aaac.html>
- [6] « Conducteur ACSR,Conducteur en aluminium acier,Fil isolé au PVC ». Consulté le: 19 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://tongdacables.fr/1-1-acsr.html>
- [7] « Conducteur en alliage d'aluminium-acier AACSR,Fil isolé au PVC,Conducteur aérien en faisceau ». Consulté le: 20 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://tongdacables.fr/1-7-aacsr.html>
- [8] « Câbles de garde », *Techniques de l'Ingénieur*. Consulté le: 10 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/problematiques-communes-des-reseaux-electriques-ingenierie-42267210/lignes-aeriennes-materiels-d4422/cables-de-garde-d4422niv10002.html>
- [9] « Isolateur », *Wikipédia*. 15 mai 2023. Consulté le: 20 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Isolateur&oldid=204284094>
- [10] « Pylône électrique », *Wikipédia*. 16 août 2023. Consulté le: 25 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Py%C3%B4ne_%C3%A9lectrique&oldid=206980696

- [11] D. Naud, « Lignes aériennes : matériels - Fondations des supports », *Réseaux électriques et applications*, févr. 2004, doi: 10.51257/a-v1-d4425.
- [12] « Climat Abidjan: température, pluie, quand partir - Climats et Voyages ». Consulté le: 3 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur:
<https://www.climatsetvoyages.com/climat/cote-d-ivoire/abidjan>
- [13] « Memoire Online - Etude des propriétés hydriques de la zone non saturée de la nappe du quaternaire au sud de la Côte d'Ivoire: zone de Grand- Bassam - Marius KOLIA », Memoire Online. Consulté le: 4 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur:
<https://www.memoireonline.com/11/13/7679/Etude-des-proprietes-hydriques-de-la-zone-non-saturee-de-la-nappe-du-quaternaire-au-sud-de-la-C.html>
- [14] « lilien jean-louis. « transport et distribution de l'énergie électrique ». 2000 1999 - Recherche Google ». Consulté le: 7 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur:
<https://www.google.com/search?q=lilien+jean-louis.+%C2%AB+transport+et+distribution+de+l%E2%80%99energie+electrique+%C2%BB.+2000+1999&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- [15] T. Al-Aziz, « DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE ET MECANIQUE D'UNE LIGNE AERIENNE 225 kV : CAS DE LA LIGNE ZINIARE - KAYA », [En ligne]. Disponible sur: http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=3632
- [16] « Conducteurs et câbles de garde ». Consulté le: 22 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur:
https://sitelec.org/download_page.php?filename=cours/conducteurs_cables_garde.pdf
- [17] D. M. K. HOUSSAMATOU, « ÉTUDE DE LA CONSTRUCTION D'UNE LIGNE HAUTE TENSION CATÉGORIE A (20 KV) ET LA CONCEPTION D'UN RÉSEAU HTA/BT POUR L'ALIMENTATION EN ÉNERGIE ÉLECTRIQUE DE LA CITÉ MAOUREY. » Consulté le: 7 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur:
http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2799
- [18] « Conducteurs et câbles de garde ». Consulté le: 27 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur:
https://sitelec.org/download_page.php?filename=cours/conducteurs_cables_garde.pdf
- [19] « Conducteurs et câbles de garde ». Consulté le: 22 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur:
https://sitelec.org/download_page.php?filename=cours/conducteurs_cables_garde.pdf

- [20] P. Souchu, « Salinité de l'eau de mer », Site documentaire du Lerm. Consulté le: 9 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://doc.lerm.fr/salinite-leau-mer/>
- [21] Yumpu.com, « cahier des charges general lignes aeriennes htb (ccg - la) - RTE », yumpu.com. Consulté le: 18 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.yumpu.com/fr/document/view/16654228/cahier-des-charges-general-lignes-aeriennes-htb-ccg-la-rte>
- [22] « RAPPORT-FINAL_-EIES-TOUR-F-_ -22-07-2019.pdf ». Consulté le: 12 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.boad.org/wp-content/uploads/2016/10/RAPPORT-FINAL_-EIES-TOUR-F-_ -22-07-2019.pdf
- [23] « HOMOGENES-EN-ALMELEC.pdf ». Consulté le: 12 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cableriesdumaroc.com/images/cdm1/haute%20tention/HOMOGENES-EN-ALMELEC.pdf>

ANNEXE

Annexe 1: Récapitulatif des monuments historiques.....	V
Annexe 2 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents cantons de notre passage choisi.	VIII
Annexe 3: Profil en long du Tracé 2.....	IX
Annexe 4: Quelques câbles homogènes en alliage d'aluminium (almélec) et leurs caractéristiques.	XVI
Annexe 5: Modélisation du réseau avec le logiciel ETAP	XVII
Annexe 6 : Résultat de l'écoulement de charge.....	XVIII
Annexe 7: Résultat de l'analyse de chute de tension.....	XIX
Annexe 8: Résultats des calculs de poids spécifique, de pressions dynamiques, de forces du vent, de poids équivalents et de flèches maximales pour chaque hypothèse pour l'Aster 570.	XX
Annexe 9: Résultats des calculs de poids spécifique, de pressions dynamiques, de forces du vent, de poids équivalents et de flèches maximales pour chaque hypothèse pour le Phlox 147,1.....	XXI
Annexe 10: Résultats des calculs de poids spécifique, de pressions dynamiques, de forces du vent, de poids équivalents et de flèches maximales pour chaque hypothèse pour le Thym 157,4.....	XXII
Annexe 11: Les différents types des supports obtenus avec leurs portées adjacentes	XXIII
Annexe 12: Résultats de calcul des efforts appliqués aux pylônes d'arrêt dû à l'action du vent par le conducteur de phase Aster 570.....	XXIV
Annexe 13: Résultats de calculs des efforts appliqués aux pylônes d'arrêt dû à l'action du vent par le câble de garde Phlox 147,1.....	XXVII
Annexe 14: Résultats de calculs des efforts appliqués aux pylônes d'arrêt dû à l'action du vent par le câble de garde Thym 157,4	XXX

Annexe 1: Récapitulatif des monuments historiques

Sites	Descriptifs
Le musée national de Costume de Grand-Bassam	<p>Ce musée historique est situé à l'angle des boulevards Treich-Laplène et Gabriel Angoulvant. Il présente une collection de costumes nationaux traditionnels (en écorce de bois) ou modernes (en textiles industriels). Le bâtiment abritant ce musée a une structure métallique et démontable importée de France dans les années 1893. Aussi a-t-il servi de résidence aux gouverneurs, dont Louis Gustave, premier gouverneur de la Côte d'Ivoire.</p>
Le musée national de Grand-Bassam ou le site touristique éducationnel	<p>L'un des objectifs du Musée National de Grand-Bassam est d'éduquer les jeunes générations par la culture. Cela se fait à travers des excursions, sorties d'étude, des cours etc . Ces évènements sont marqués par la dispensation des cours sur la colonisation ou les traditions des peuples.</p> <p>On a l'exemple de La SEMAINE DU COSTUME dédié à la célébration et à la promotion du costume traditionnel. Cela s'inscrit dans la mission de valorisation du patrimoine vestimentaire national et du rapprochement vers les peuples. Plusieurs activités culturelles ont lieu pendant cette semaine : des ateliers de peintures, l'opération musée propre, les défilés de mode, etc. .</p>
Le pont de la victoire	<p>Ce pont autrefois appelé Gustave Eiffel est un véritable symbole de courage des femmes dans les années 1949. En effet, elles ont marché depuis la ville d'Abidjan pour Grand-Bassam afin d'exiger la libération des militants. Il est situé sur l'étang de la lagune Ouladine reliant le Quartier- France au centre-ville. Ce pont n'est pas seulement un pont , c'est un patrimoine de L'UNESCO. Il a une histoire commune avec le monument aux femmes se trouvant à quelques mètres. C'est d'ailleurs pour cela qu'il est classé parmi les sites touristiques majeurs de Grand-Bassam.</p>

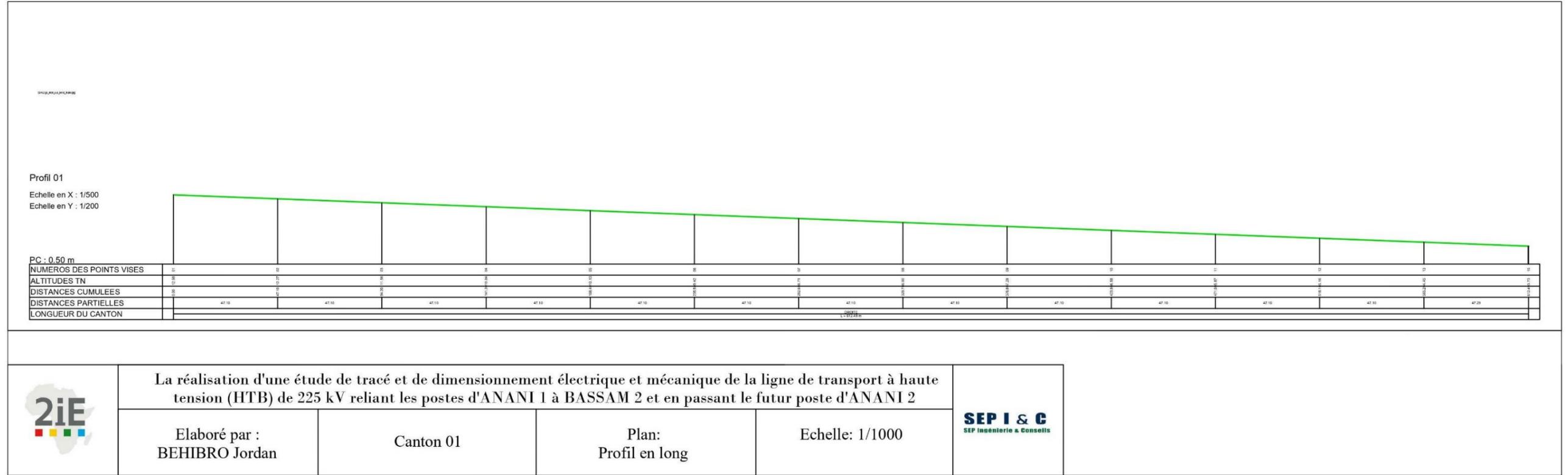
<p>Le phare de Grand-Bassam, un site touristique historique</p>	<p>Cet édifice culmine à 32 mètres et sa base rectangulaire donne accès à la tour. Elle possède 3 portes métalliques, symétriques de même dimension . Aux abords de ces ouvertures se dessinent de jolies figures décoratives réalisées dans la maçonnerie. La tour s'affine en hauteur pour se terminer par une galerie qui offre un panorama exceptionnel de la ville côtière. En 2012 , le Phare de Grand-Bassam a été classé patrimoine mondial de L'UNESCO avec la ville historique de Grand-Bassam.</p>
<p>La maison des artistes de Grand-Bassam</p>	<p>La maison des artistes est située dans la zone administrative de la ville historique de Grand-Bassam , construite au début des années 1900 et ex-directions des dockers. Ce bâtiment était un lieu de rassemblement des travailleurs, mais servait aussi aux recrutements , il était fonctionnel jusqu'en 1951. Parmi les sites touristiques de Grand-Bassam, la maison des artistes reste incontournable.</p>
<p>La maison GANAMET</p>	<p>Des sites touristiques de Grand-Bassam, la maison GANAMET est le plus évidente et remarquable par sa vétusté. C'est une maison historique située dans le quartier France de Grand-Bassam et construite en 1920. Elle figure également dans le patrimoine mondial de l'UNESCO. Elle est certes vieille, mais demeure solide et vous ouvrira ces bras pour en apprendre davantage sur la culture ivoirienne à l'époque coloniale.</p>
<p>L'Hôtel Étoile du sud de Grand-Bassam</p>	<p>Implanté sur la plage de Grand-Bassam à 15 minutes de l'aéroport et 25 minutes D'Abidjan, l'hôtel Étoile du Sud vous offre un incontournable confort d'un établissement où s'épousent harmonieusement l'architecture moderne avec un style colonial et l'essence même de l'Art Africain. Ce complexe hôtelier de Côte d'Ivoire se trouve dans la ville historique.</p>
<p>Le marché artisanal de Grand-Bassam</p>	<p>Figurant parmi les sites touristiques de Grand-Bassam, ce marché est riche en diversités et en trésors. Sur la route de Grand-Bassam, il grouille d'artisans plus fabuleux les uns que les autres. L'artisanat émanant d'œuvres manuelles regroupe également les œuvres humaines</p>

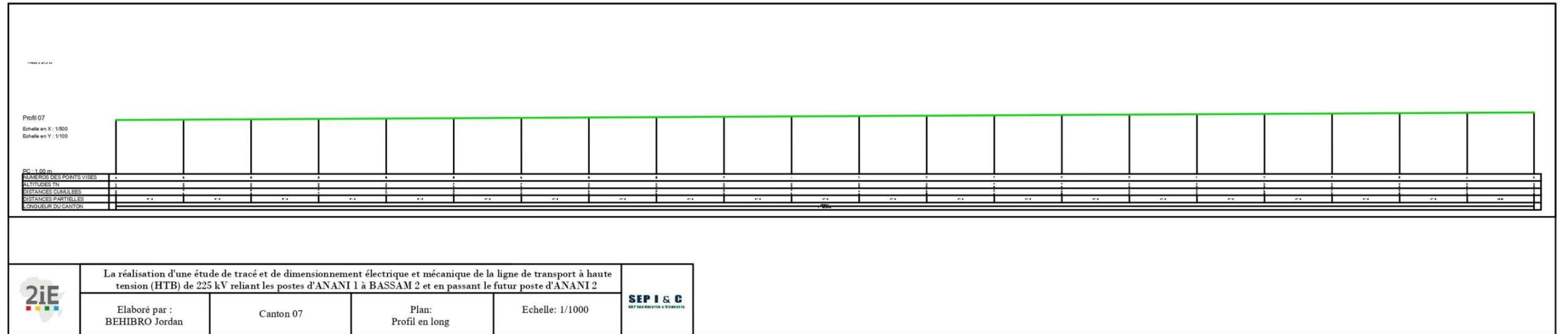
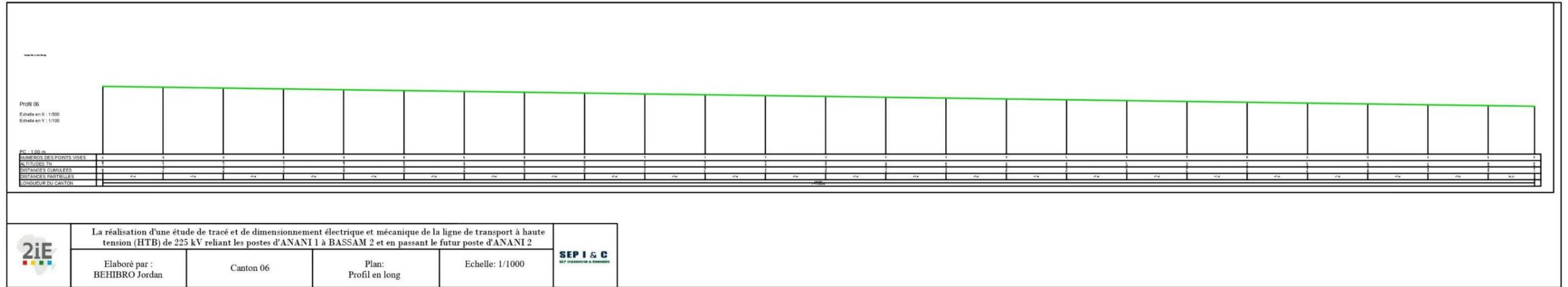
	<p>destinées à toucher la sensibilité et les émotions du public. Ainsi, il est possible de contempler des objets d'art, d'acheter des sculptures, des masques, etc.</p>
<p>Le Royaume de Moossou</p>	<p>Le village de MOOSSOU est situé en bordure de lagune et est habité par les Abourés Ehê. Il fait partie des sites touristiques de Grand-Bassam à visiter absolument. Pour la petite histoire, le royaume de MOOSSOU a vu le jour en 1715 après la fuite des Akans du Ghana. Les ravages du commerce négrier qui s'y développaient ont provoqué leur exode. Une fois en Côte d'Ivoire, ils fondent les villages de fini, Aboisso, wessebo et Ahakabro. Des années plus tard, les Abourés se voient chassés par les Agni-Brafés. Ils partent donc vers le sud-est de la zone côtière où les Ehê créent le village de MOOSSOU. Depuis le 04 mai 2022, le peuple Abouré Ehê a à sa tête sa majesté Nanan Kanga Assoumou.</p> <p>La cour royale est le creuset de visites régulières pendant lesquelles vous pourrez admirer des statuettes en bronze. On y trouve aussi des bustes de personnalités influentes de Grand-Bassam, de nombreuses statuettes de corbeaux, etc.</p> <p>Ce village semble malheureusement perdu au milieu de l'urbanisation galopante de Grand-Bassam, pourtant il garde son héritage historique. Aussi demeure-t-il " la capitale " des Abourés Ehê, une des trois tranches du peuple Abouré.</p>
<p>L'Atelier SOMIAN DESIGN</p>	<p>L'Atelier SOMIAN DESIGN. Cet atelier du célèbre sculpteur, design mobilier du nom de Jean Servais Somian se trouve à Grand-Bassam au Quartier impérial à droite du carrefour Maquis Alicia. Il ouvre du mardi au dimanche de 10 heures à 19 heures. Vous y trouvez : des sculptures hors du commun plus extraordinaires les unes que les autres dans un monde artistique et un fanatique de pièces rares et de sculptures traditionnelles. Il confectionne des masques, des tabourets lors de ces expositions ainsi que des installations mobilières. La notoriété de cet artiste dépasse les frontières du continent.</p>

Annexe 2 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents cantons de notre passage choisi.

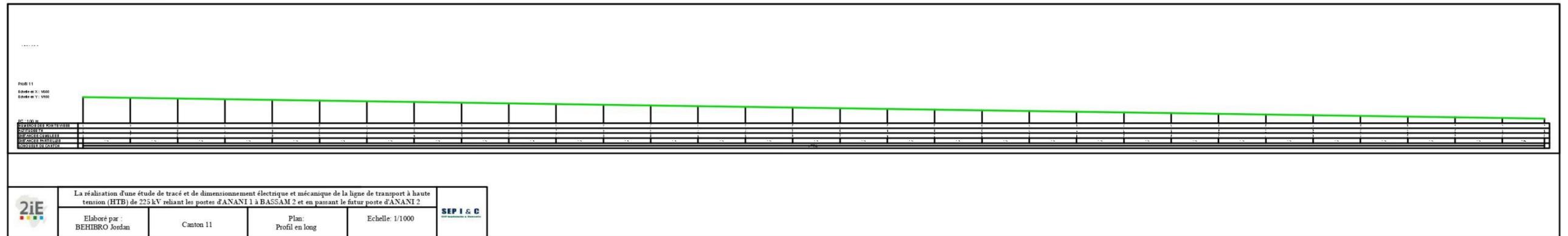
Canton	Point d'arrêt	Longueur (km)
Canton 1	P1	612,49
	P2	
Canton 2	P2	1198,07
	P3	
Canton 3	P3	1935,23
	P4	
Canton 4	P4	1140,36
	P5	
Canton 5	P5	1263,95
	P6	
Canton 6	P6	1119,52
	P7	
Canton 7	P7	988,54
	P8	
Canton 8	P8	1975,03
	P9	
Canton 9	P9	1747,56
	P10	
Canton 10	P10	1216,34
	P11	
Canton 11	P11	1454,98
	P12	
Canton 12	P12	172,38
	P13	

Annexe 3: Profil en long du Tracé 2





La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2



CovLogo_Noir_sur_fond_blanc.jpg

Profil 12

Echelle en X : 1/500

Echelle en Y : 1/100

PC : 1.00 m

NUMEROS DES POINTS VISES	01	02	03	04	05
ALTITUDES TN	1.92	3.33	4.73	6.14	7.07
DISTANCES CUMULEES	0.00	47.10	94.20	141.306.14	172.347.07
DISTANCES PARTIELLES		47.10	47.10	47.10	31.08
LONGUEUR DU CANTON	DROITE L = 172.38 m				



Elaboré par :
BEHIBRO Jordan

Canton 12

Plan:
Profil en long

Echelle: 1/1000

SEP I & C
SEP Ingénierie & Conseils

Annexe 4: Quelques câbles homogènes en alliage d'aluminium (almélec) et leurs caractéristiques.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Ancien code	Section (mm ²)	Section réelle de câble (mm ²)	Composition		Ø ext. du câble (mm)	Charge de rupture nominale du câble (daN)
			Nombre de fils	Ø nominal des fils (mm)		
Aster 22,0	22,0	21,99	7	2,0	6,0	715
Aster 34,4	34,4	34,36	7	2,5	7,5	1115
Aster 54,6	54,6	54,55	7	3,15	9,45	1775
Aster 75,5	75,5	75,54	19	2,25	11,25	2455
Aster 93,3	93,3	93,27	19	2,50	12,50	3031
Aster 117,0	117,0	116,98	19	2,8	14,0	3800
Aster 148,0	148,1	148,01	19	3,15	15,75	4810
Aster 181,6	181,6	181,62	37	2,5	17,5	5900
Aster 228,0	227,8	227,83	37	2,8	19,6	7405
Aster 288,0	288,3	288,34	37	3,15	22,05	9370
Aster 366,0	366,2	366,22	37	3,55	24,85	11535
Aster 570,0	570,2	570,22	61	3,45	31,05	18530

Ancien code	Résistance électrique à 20°C (Ω/Km)	Masse approx. du câble (kg/Km)	Masse grasse (g/m)		Module d'élasticité des câbles (hbar)	Coefficient de dilatation des câbles
			Avec couche ext	Sans couche ext		
Aster 22,0	1,50	60,2	4	--	6200	23 x 10 ⁻⁶
Aster 34,4	0,958	94,0	6	--	6200	23 x 10 ⁻⁶
Aster 54,6	0,603	149,0	8	--	6200	23 x 10 ⁻⁶
Aster 75,5	0,438	208,0	14	5	6000	23 x 10 ⁻⁶
Aster 93,3	0,354	252,0	18	6	6000	23 x 10 ⁻⁶
Aster 117,0	0,283	322,0	21	7	6000	23 x 10 ⁻⁶
Aster 148,0	0,224	407,0	25	8	6000	23 x 10 ⁻⁶
Aster 181,6	0,183	500,0	31	17	5700	23 x 10 ⁻⁶
Aster 228,0	0,146	627,0	36	21	5700	23 x 10 ⁻⁶
Aster 288,0	0,115	794,0	46	25	5700	23 x 10 ⁻⁶
Aster 366,0	0,0905	1009,0	60	31	5700	23 x 10 ⁻⁶
Aster 570,0	0,0583	1574,0	95	57	5700	23 x 10 ⁻⁶

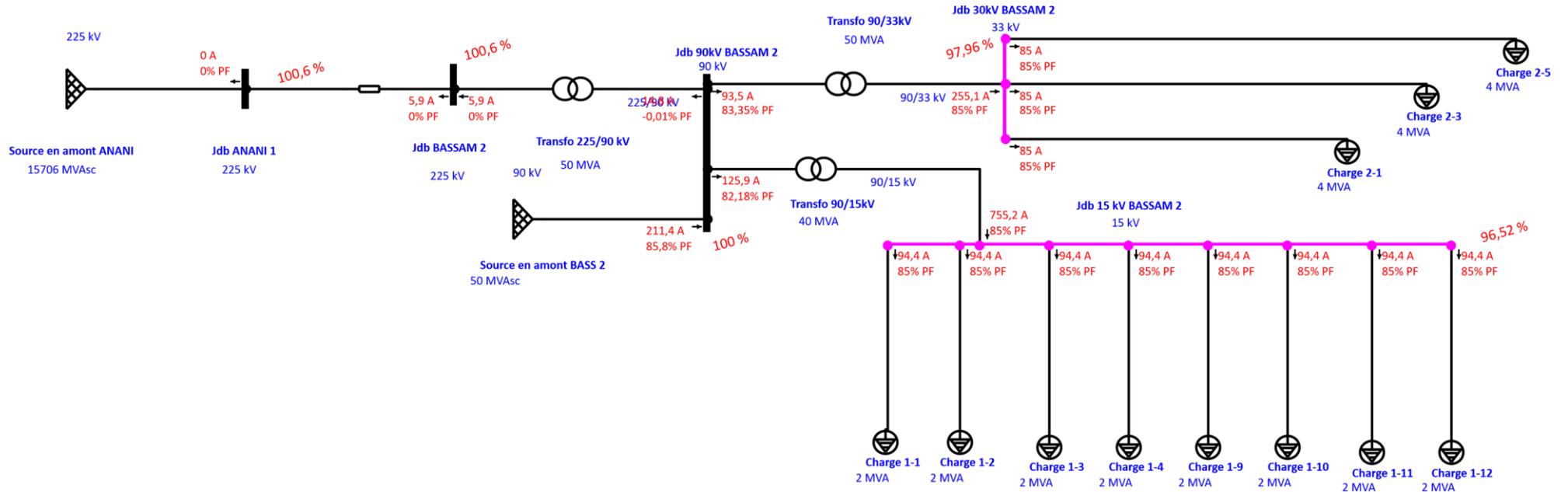
Source :[23]

Annexe 6 : Résultat de l'écoulement de charge

Study Case ID	Normal	été	Hiver
	LF	LF	LF
Data Revision	Base	Base	Base
Configuration	Normal	Normal	Normal
Loading Cat	Winter Load	Summer Load	Winter Load
Generation Cat	Design	Design	Design
Diversity Factor	Normal Loading	Normal Loading	Normal Loading
Buses	5	5	5
Branches	4	4	4
Generators	0	0	0
Power Grids	2	2	2
Loads	11	11	11
Load-MW	15,38	28,238	15,38
Load-Mvar	9,532	17,501	9,532
Generation-MW	15,391	28,277	15,391
Generation-Mvar	7,713	16,931	7,713
Loss-MW	0,0111	0,0389	0,0111
Loss-Mvar	-1,819	-0,57	-1,819
Mismatch-MW	0	0	0
Mismatch-Mvar	0	0	0

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

Annexe 7: Résultat de l'analyse de chute de tension



La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

Annexe 8: Résultats des calculs de poids spécifique, de pressions dynamiques, de forces du vent, de poids équivalents et de flèches maximales pour chaque hypothèse pour l'Aster 570.

Hypothèses	Tension nominale (N)	Tension à respecter (N)	P (N/m)	q (N/m ²)	Fv (N/m)	φ (°)	Péqu (N/m)	Pc (m)	Comparaison	a	T (N)	T/Trupture (%)	fmax (m)
A	185300	15%	15,9	0,0	0,0	0,0	15,9	-	-	-2,28E-03	61873,1	33,4	2,9
		27795											
B		30%	15,9	793,8	24,6	57,2	29,3	143,3	Pmoy > Pc	-1,69E-03	61811,5	33,4	5,3
		55590											
C		30%	15,9	285,8	8,9	29,2	18,2	283,4	Pmoy > Pc	-2,14E-03	61803,4	33,4	3,3
		55590											
D Canicule		-	15,9	-	0,0	0,0	15,9	-	-	-	30794,3	16,6	5,8

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

Annexe 9: Résultats des calculs de poids spécifique, de pressions dynamiques, de forces du vent, de poids équivalents et de flèches maximales pour chaque hypothèse pour le Phlox 147,1.

Hypothèses	Tension nominale (N)	Tension à respecter (N)	P (N/m)	q (N/m ²)	Fv (N/m)	φ (°)	Péqu (N/m)	Pc (m)	Comparaison	a	T (N)	T/Trupture (%)	fmax (m)
A	132800	15%	8,2	0,0	0,0	0,0	8,2	-	-	-5,84E-03	44257,1	33,3	2,1
		19920											
B		30%	8,2	793,8	12,5	56,7	15,0	202,4	Pmoy > Pc	-5,54E-03	44271,6	33,3	3,8
		39840											
C		30%	8,2	285,8	4,5	28,7	9,4	400,2	Pmoy < Pc	-5,80E-03	44781,5	33,7	2,4
		39840											
D Canicule		-	8,2	-	0,0	0,0	8,2	-	-	-	35240,0	26,5	2,6

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

Annexe 10: Résultats des calculs de poids spécifique, de pressions dynamiques, de forces du vent, de poids équivalents et de flèches maximales pour chaque hypothèse pour le Thym 157,4.

Hypothèses	Tension nominale (N)	Tension à respecter (N)	P (N/m)	q (N/m ²)	Fv (N/m)	φ (°)	Péqu (N/m)	Pc (m)	Comparaison	a	T (N)	T/Trupture (%)	fmax (m)
A	115000	15%	9,3	0,0	0,0	0,0	9,3	-	-	-7,52E-03	61778,6	53,7	1,7
		17250											
B		30%	9,3	793,8	15,2	58,6	17,9	231,8	Pmoy > Pc	-7,29E-03	61177,2	53,2	3,3
		34500											
C		30%	9,3	285,8	5,5	30,5	10,8	458,4	Pmoy < Pc	-7,43E-03	61836,5	53,8	2,0
		34500											
D Canicule		-	9,3	-	0,0	0,0	9,3	-	-	-	51369,5	44,7	2,0

Annexe 11: Les différents types des supports obtenus avec leurs portées adjacentes

Types	Pylône d'alignement			Pylône d'arrêt			Pylône d'angle double		
	N°	a1	Désignation	a2	a1	Désignation	a2	a1	Désignation
1	306,245	T.AL.1	306,245	0	T.A. 1	306,245	306,245	A.D.1	299,5125
2	299,5125	T.AL.2	299,5125	299,5125	T.A. 2	322,555			
3	299,5125	T.AL.3	299,5125	322,555	T.A. 3	300			
4	299,5125	T.AL.4	299,5125						
5	322,555	T.AL.5	322,555						
6	322,555	T.AL.6	322,555						
7	322,555	T.AL.7	322,555						
8	322,555	T.AL.8	322,555						
9	322,555	T.AL.9	322,555						

Annexe 12: Résultats de calcul des efforts appliqués aux pylônes d'arrêt dû à l'action du vent par le conducteur de phase Aster 570

Tableau 1: Charges verticales appliquées aux pylônes d'alignement par l'Aster 570

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
T.AL1	1	1,59	306,245	306,245	50,9	537,8296
T.AL2	1	1,59	299,5125	299,5125	50,9	527,1249
T.AL3	1	1,59	299,5125	299,5125	50,9	527,1249
T.AL4	1	1,59	299,5125	299,5125	50,9	527,1249
T.AL5	1	1,59	322,555	322,555	50,9	563,7625
T.AL6	1	1,59	322,555	322,555	50,9	563,7625
T.AL7	1	1,59	322,555	322,555	50,9	563,7625
T.AL8	1	1,59	322,555	322,555	50,9	563,7625
T.AL9	1	1,59	322,555	322,555	50,9	563,7625

Tableau 2: Charges verticales appliquées aux pylônes d'arrêt par l'Aster 570

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
P.A1	1	1,59	0	306,245	50,9	294,3648
P.A2	1	1,59	299,5125	322,555	50,9	545,4437
P.A3	1	1,59	322,555	300	50,9	545,8312

Tableau 3 : Charges verticales appliquées aux pylônes d'angle par l'Aster 570

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
P.AN1	1	1,59	306,245	299,5125	50,9	532,4772

Tableau 4 : Charges horizontales transversales appliquées par l'Aster 570 sur les pylônes d'alignement et d'angle.

Pylônes d'alignement et d'angle	Hypothèses	Fv (N/m)	T (N)	a1 (m)	a2 (m)	Hv (N)	H α (N) (0° à 2°)	Ht (N)
P.AL1	A	0	61873,1	306,245	306,245	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	306,245	306,245	7533,627	2157,519	9691,146
	C	8,9	61803,4	306,245	306,245	2725,581	2157,236	4882,817
P.AL2	A	0	61873,1	299,5125	299,5125	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	299,5125	299,5125	7368,008	2157,519	9525,526
	C	8,9	61803,4	299,5125	299,5125	2665,661	2157,236	4822,897
P.AL3	A	0	61873,1	299,5125	299,5125	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	299,5125	299,5125	7368,008	2157,519	9525,526
	C	8,9	61803,4	299,5125	299,5125	2665,661	2157,236	4822,897
P.AL4	A	0	61873,1	299,5125	299,5125	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	299,5125	299,5125	7368,008	2157,519	9525,526
	C	8,9	61803,4	299,5125	299,5125	2665,661	2157,236	4822,897
P.AL5	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	322,555	322,555	7934,853	2157,519	10092,372
	C	8,9	61803,4	322,555	322,555	2870,74	2157,236	5027,976
P.AL6	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	322,555	322,555	7934,853	2157,519	10092,372
	C	8,9	61803,4	322,555	322,555	2870,74	2157,236	5027,976
P.AL7	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	322,555	322,555	7934,853	2157,519	10092,372

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

	C	8,9	61803,4	322,555	322,555	2870,74	2157,236	5027,976
P.AL8	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	322,555	322,555	7934,853	2157,519	10092,372
	C	8,9	61803,4	322,555	322,555	2870,74	2157,236	5027,976
P.AL9	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	24,6	61811,5	322,555	322,555	7934,853	2157,519	10092,372
	C	8,9	61803,4	322,555	322,555	2870,74	2157,236	5027,976

Tableau 5 : Charges longitudinales appliquées par l'Aster 570 sur les pylônes d'arrêt et les pylônes d'angle

Pylônes d'arrêt et d'angle	Hypothèses	T (N)	Tension L pour un pylône d'angle	
			30 ° (N)	70 ° (N)
P.A1	A	61873,1	16013,94	35488,95
	B	61811,5	15997,99	35453,62
	C	61803,4	15995,9	35448,97
P.A2	A	61759,63	31969,14	70847,74
	B	61724,78	31951,1	70807,76
	C	61689,93	31933,06	70767,78
P.A3	A	61655,08	15957,51	35363,9
	B	61620,23	15948,49	35343,91
	C	61585,38	15939,47	35323,92
P.AN 1	A	61550,53	31860,9	70607,87
	B	61515,68	31842,86	70567,89
	C	61480,83	31824,82	70527,91

Annexe 13: Résultats de calculs des efforts appliqués aux pylônes d'arrêt dû à l'action du vent par le câble de garde Phlox 147,1

Tableau 6: Charges verticales appliquées aux pylônes d'alignement par Phlox 147,1

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
T.AL1	1	0,82	306,245	306,245	50,9	302,0209
T.AL2	1	0,82	299,5125	299,5125	50,9	296,5003
T.AL3	1	0,82	299,5125	299,5125	50,9	296,5003
T.AL4	1	0,82	299,5125	299,5125	50,9	296,5003
T.AL5	1	0,82	322,555	322,555	50,9	315,3951
T.AL6	1	0,82	322,555	322,555	50,9	315,3951
T.AL7	1	0,82	322,555	322,555	50,9	315,3951
T.AL8	1	0,82	322,555	322,555	50,9	315,3951
T.AL9	1	0,82	322,555	322,555	50,9	315,3951

Tableau 7: Charges verticales appliquées aux pylônes d'arrêt par Phlox 147,1

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
P.A1	1	0,82	0	306,245	50,9	176,4605
P.A2	1	0,82	299,5125	322,555	50,9	305,9477
P.A3	1	0,82	322,555	300	50,9	306,1476

Tableau 8: Charges verticales appliquées aux pylônes d'angle par Phlox 147,1

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
P.AN1	1	0,82	306,245	299,5125	50,9	299,2606

Tableau 9: Charges horizontales transversales appliquées par Phlox 147,1 sur les pylônes

Pylônes d'alignement et d'angle	Hypothèses	Fv (N/m)	T (N)	a1 (m)	a2 (m)	Hv (N)	H α (N) (0° à 2°)	Ht (N)
P.AL1	A	0	44257,1	306,245	306,245	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	306,245	306,245	3828,063	1545,292	5373,354
	C	4,5	44271,6	306,245	306,245	1378,103	1545,292	2923,394
P.AL2	A	0	44257,1	299,5125	299,5125	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	299,5125	299,5125	3743,906	1545,292	5289,198
	C	4,5	44271,6	299,5125	299,5125	1347,806	1545,292	2893,098
P.AL3	A	0	44257,1	299,5125	299,5125	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	299,5125	299,5125	3743,906	1545,292	5289,198
	C	4,5	44271,6	299,5125	299,5125	1347,806	1545,292	2893,098
P.AL4	A	0	44257,1	299,5125	299,5125	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	299,5125	299,5125	3743,906	1545,292	5289,198
	C	4,5	44271,6	299,5125	299,5125	1347,806	1545,292	2893,098
P.AL5	A	0	44257,1	322,555	322,555	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	322,555	322,555	4031,938	1545,292	5577,229
	C	4,5	44271,6	322,555	322,555	1451,498	1545,292	2996,789
P.AL6	A	0	44257,1	322,555	322,555	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	322,555	322,555	4031,938	1545,292	5577,229
	C	4,5	44271,6	322,555	322,555	1451,498	1545,292	2996,789
P.AL7	A	0	44257,1	322,555	322,555	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	322,555	322,555	4031,938	1545,292	5577,229

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

	C	4,5	44271,6	322,555	322,555	1451,498	1545,292	2996,789
P.AL8	A	0	44257,1	322,555	322,555	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	322,555	322,555	4031,938	1545,292	5577,229
	C	4,5	44271,6	322,555	322,555	1451,498	1545,292	2996,789
P.AL9	A	0	44257,1	322,555	322,555	0	1544,786	1544,786
	B	12,5	44271,6	322,555	322,555	4031,938	1545,292	5577,229
	C	4,5	44271,6	322,555	322,555	1451,498	1545,292	2996,789

Tableau 10 : Charges longitudinales appliquées par Phlox 147,1 sur les pylônes d'arrêt et les pylônes d'angle

Pylônes d'arrêt et d'angle	Hypothèses	T (N)	Tension L pour un pylône d'angle 30 ° (N)	Tension L pour un pylône d'angle 70 °(N)
P.A1	A	44257,1	11454,58	25384,83
	B	44271,6	11458,33	25393,15
	C	44271,6	11458,33	25393,15
P.A2	A	44257,1	22909,16	50769,66
	B	44271,6	22916,67	50786,29
	C	44271,6	22916,67	50786,29
P.A3	A	44257,1	11454,58	25384,83
	B	44271,6	11458,33	25393,15
	C	44271,6	11458,33	25393,15
P.AN 1	A	44257,1	22909,16	50769,66
	B	44271,6	22916,67	50786,29
	C	44271,6	22916,67	50786,29

Annexe 14: Résultats de calculs des efforts appliqués aux pylônes d'arrêt dû à l'action du vent par le câble de garde Thym 157,4

Tableau 11 : Charges verticales appliquées aux pylônes d'alignement par Thym 157,4

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
T.AL1	1	0,93	306,245	306,245	50,9	335,7079
T.AL2	1	0,93	299,5125	299,5125	50,9	329,4466
T.AL3	1	0,93	299,5125	299,5125	50,9	329,4466
T.AL4	1	0,93	299,5125	299,5125	50,9	329,4466
T.AL5	1	0,93	322,555	322,555	50,9	350,8762
T.AL6	1	0,93	322,555	322,555	50,9	350,8762
T.AL7	1	0,93	322,555	322,555	50,9	350,8762
T.AL8	1	0,93	322,555	322,555	50,9	350,8762
T.AL9	1	0,93	322,555	322,555	50,9	350,8762

Tableau 12: Charges verticales appliquées aux pylônes d'arrêt par Thym 157,4

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
P.A1	1	0,93	0	306,245	50,9	193,3039
P.A2	1	0,93	299,5125	322,555	50,9	340,1614
P.A3	1	0,93	322,555	300	50,9	340,3881

Tableau 13: Charges verticales appliquées aux pylônes d'angle par Thym 157,4

Pylônes	M	w (daN/m)	a1 (m)	a2 (m)	Pi (kg)	VB (m)
P.AN1	1	0,93	306,245	299,5125	50,9	332,5772

Tableau 14 :Charges horizontales transversales appliquées par Phlox 147,1 sur les pylônes d'alignement et les pylônes d'angle
Thym 157,4

Pylônes d'alignement et d'angle	Hypothèses	Fv (N/m)	T (N)	a1 (m)	a2 (m)	Hv (N)	H α (N) (0° à 2°)	Ht (N)
P.AL1	A	0	61873,1	306,245	306,245	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	306,245	306,245	4746,798	2157,519	6904,316
	C	5,5	61803,4	306,245	306,245	1684,348	2157,236	3841,584
P.AL2	A	0	61873,1	299,5125	299,5125	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	299,5125	299,5125	4642,444	2157,519	6799,963
	C	5,5	61803,4	299,5125	299,5125	1647,319	2157,236	3804,555
P.AL3	A	0	61873,1	299,5125	299,5125	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	299,5125	299,5125	4642,444	2157,519	6799,963
	C	5,5	61803,4	299,5125	299,5125	1647,319	2157,236	3804,555
P.AL4	A	0	61873,1	299,5125	299,5125	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	299,5125	299,5125	4642,444	2157,519	6799,963
	C	5,5	61803,4	299,5125	299,5125	1647,319	2157,236	3804,555
P.AL5	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	322,555	322,555	4999,603	2157,519	7157,121
	C	5,5	61803,4	322,555	322,555	1774,053	2157,236	3931,289
P.AL6	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	322,555	322,555	4999,603	2157,519	7157,121
	C	5,5	61803,4	322,555	322,555	1774,053	2157,236	3931,289
P.AL7	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	322,555	322,555	4999,603	2157,519	7157,121

La réalisation d'une étude de tracé et de dimensionnement électrique et mécanique de la ligne de transport à haute tension (HTB) de 225 kV reliant les postes d'ANANI 1 à BASSAM 2 et en passant le futur poste d'ANANI 2

	C	5,5	61803,4	322,555	322,555	1774,053	2157,236	3931,289
P.AL8	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	322,555	322,555	4999,603	2157,519	7157,121
	C	5,5	61803,4	322,555	322,555	1774,053	2157,236	3931,289
P.AL9	A	0	61873,1	322,555	322,555	0	2159,669	2159,669
	B	15,5	61811,5	322,555	322,555	4999,603	2157,519	7157,121
	C	5,5	61803,4	322,555	322,555	1774,053	2157,236	3931,289

Tableau 15: Charges longitudinales appliquées par Thym 157,4 sur les pylônes d'arrêt et les pylônes d'angle

Pylônes d'arrêt et d'angle	Hypothèses	T (N)	Tension L pour un pylône d'angle 30 °(N)	Tension L pour un pylône d'angle 70 (N)
P.A1	A	61873,1	16013,94	35488,95
	B	61811,5	15997,99	35453,62
	C	61803,4	15995,9	35448,97
P.A2	A	61873,1	32027,87	70977,9
	B	61811,5	31995,99	70907,24
	C	61803,4	31991,79	70897,95
P.A3	A	61873,1	16013,94	35488,95
	B	61811,5	15997,99	35453,62
	C	61803,4	15995,9	35448,97
P.AN 1	A	61873,1	32027,87	70977,9
	B	61811,5	31995,99	70907,24
	C	61803,4	31991,79	70897,95