



**ETUDE DE FAISABILITE SUR L'INTEGRATION DES POSTES SOURCES A
ENVELOPPE METALLIQUE DANS LE RESEAU ELECTRIQUE
IVOIRIEN :
CAS DU POSTE SOURCE 225 kV DE YOPOUGON 3**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE MASTER, SPECIALITE GENIE
ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 02 Juillet 2018 par

KONAN Yao Ange Vinny

Travaux dirigés par:

M. MOUSSA KADRI Sani
Assistant d'Enseignement et de
Recherche, 2iE

M. BROU Koissi
Chef de Service Prévision de la demande
et Planification

M. ADJEI Kouakou Odi Jean-Marc
Ingénieur Planification,
CI-ENERGIES

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Ahmed BAGRE

Membres et correcteurs : Ing. Justin BASSOLE

Ing. Sani MOUSSA KADRI

Ing. Jean-Marc ADJEI

Promotion [2016/2017]

Réalisé par : KONAN Yao Ange Vinny
Élève ingénieur en génie Électrique, Énergétique et Industriel/ 2016-2017



DEDICACE

A cœur vaillant rien d'impossible
A conscience tranquille tout est accessible

Quand il y a la soif d'apprendre
Tout vient à point à qui sait attendre

Quand il y a le souci de réaliser un dessein
Tout devient facile pour arriver à nos fins

Malgré les obstacles qui s'opposent
En dépit des difficultés qui s'interposent

Les études et la planification selon DIEU sont avant tout
Notre unique et seul atout

Ils représentent la lumière de notre existence
L'étoile brillante de notre réjouissance

Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal
Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal

Espérant des lendemains épiques
Un avenir glorieux et magique

Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis
Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri

A l'Alpha et l'Omega le DIEU tout puissant, celui qui est ma force et mon abri,
A toute ma famille en particulier mon Père et ma Mère,
A toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de cette formation.

Merci infiniment



AVANT-PROPOS

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) est un établissement d'enseignement supérieur et de recherche basé à Ouagadougou au Burkina Faso. Sa création en 2006, résulte de la fusion et restructuration des écoles inter-États EIER (École d'Ingénieurs de l'Équipement Rural) et ETSHER (École des Techniciens de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural), créées respectivement en 1968 et 1970 par 14 États d'Afrique de l'Ouest et Centrale pour former des ingénieurs spécialisés dans les domaines de l'équipement et de l'hydraulique.

2iE dispense une formation de pointe dans les domaines de l'Eau, de l'Énergie, du Génie Civil et de l'Environnement conformément au Processus de Bologne : Licence, Master, Doctorat ; en partenariat avec les meilleures universités du monde, offrant ainsi une grande mobilité aux étudiants.

En Afrique, les diplômés de 2iE sont reconnus par le Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur (CAMES). En Europe, ils sont labélisés EUR-ACE à travers l'accréditation par la Commission des Titres d'Ingénieur (CTI).

Dans un souci de former des Ingénieurs de Conception et des Techniciens Supérieurs hautement qualifiés et aptes à relever les challenges, les étudiants bénéficient d'une formation théorique et d'une formation pratique qui consiste en des travaux pratiques et visites sur site.

Les formations pour le niveau master sont sanctionnées par des stages de production en entreprise ou dans un laboratoire de recherche en vue de la rédaction d'un mémoire. Ce mémoire intervient dans le domaine de formation de l'étudiant, qui est mis à l'épreuve pendant une période d'au moins vingt semaines sur un problème d'actualité dans la structure d'accueil. C'est pour s'inscrire dans le même ordre d'idée que nous avons été reçus au sein du Service Prévision de la Demande et Planification (SPDP) de Côte d'Ivoire Energie pour la rédaction du mémoire d'ingénieur. Ce stage s'est déroulé dans la période du 02 Janvier 2018 au 01 Juin 2018 et a eu pour thème : « **ETUDE DE FAISABILITE SUR**

L'INTEGRATION DES POSTES SOURCES A ENVELOPPE METALLIQUE DANS LE RESEAU ELECTRIQUE IVOIRIEN : CAS DU POSTE SOURCE 225 kV DE YOPOUGON 3.»

Le présent rapport en est la parfaite illustration et rend compte des travaux effectués.



REMERCIEMENTS

Nous ne saurions entamer la rédaction de ce mémoire sans au préalable adresser nos remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de notre stage et ont été d'un apport appréciable à l'élaboration de ce travail. Nous tenons donc à exprimer notre gratitude à :

M. Amidou TRAORE, Directeur Général de COTE D'IVOIRE ENERGIES (CI-ENERGIES) pour son avis favorable quant à notre demande de stage auprès de l'entreprise qu'il dirige ;

Mme Inzata SOUMAHORO, Responsable de la Cellules Ressources Humaine, pour sa compréhension et son aide quant aux activités déroulées dans le cadre de notre stage ;

M. Serge AHOUSOU, Directeur des Études et de la Planification (DEP) pour ses orientations et ses encouragements dans l'exécution de ce stage ;

Mme Françoise Esther ASSA, Chef de service formation et parcours professionnels pour son aide quant à notre insertion au sein de (CI-ENERGIES) pour la réalisation de notre stage ;

M. Louis Koissi BROU, Chef de service Prévision de la demande et de la Planification, pour ses sages conseils dans l'apprentissage des rudiments de l'entreprise et son insistance sur la rigueur dans le travail et ce en temps requis ;

M. Jean-Marc ADJEI Ingénieur Planification, pour son encadrement, sa grande disponibilité, ses conseils et sa compréhension qui ont été d'un soutien de tous les instants, de tous les jours, de tous nos moments de doute, tout au long de ce travail.

Tout le personnel de la Direction des Études et de la Planification.

À tous mes enseignants qui m'ont assuré une bonne base théorique en particulier une pensée à l'endroit de **M. Sani MOUSSA KADRI** Assistant d'Enseignement et de Recherche à 2iE pour son encadrement, sa compréhension, ses conseils et son encouragement au travail, sa promptitude mais surtout sa disponibilité m'ont beaucoup apporté.

J'adresse également mes remerciements à mes collègues stagiaires et toutes les personnes avec lesquelles j'ai eu le plaisir de collaborer et qui ont pu par la même occasion participer de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS

ABREVIATIONS	DEFINITIONS
ABB	ASEA Brown Boveri
AIS	Air Insulated Switchgear (Poste électrique à isolation dans l'air)
ANARE - CI	Autorité Nationale de Régulation du secteur de l'Electricité de Côte d'Ivoire
BT	Basse Tension (tension inférieure à 1 kV)
CIE	Compagnie Ivoirienne d'Electricité
CI-ENERGIES	Côte d'Ivoire Energies
DEP	Direction des Etudes et de la Planification
EECI	Energie Electrique de Côte d'ivoire
GIS	Gaz Insulated Switchgear (Poste électrique à isolation dans le Gaz ou sous enveloppe métallique)
HTB	Haute Tension B (tension supérieure à 50 kV)
HTA	Haute Tension A (tension comprise entre 1 et 50 kV)
kV	Kilovolt
MVA	Méga-Volt-Ampère
MVar	Méga-Volt-Ampère-Réactif
MW	Méga-Watt
PDPT	Plan Directeur Production Transport
PDD	Plan Directeur Distribution
PIB	Produit Intérieur Brut
TFO	Transformateur
TRIE	Taux de Rentabilité Interne Economique
RSI	Retour Sur Investissement
UEMOA	Union des Economique et Monétaire Ouest Africaine
VAN	Valeur Actualisée Nette
YOP3	Yopougon 3



RESUME

Ce mémoire rend compte de l'étude de faisabilité sur l'introduction des postes sources blindés dans le réseau électrique ivoirien à travers le projet de construction du poste source 225 kV de YOPOUGON 3(YOP 3).

Il mentionne, dans un premier temps, des notions sur le réseau électrique et les différences principales entre les postes sources AIS et postes sources GIS appelés communément postes blindés. Ensuite, la faisabilité technique du projet qui a montré que la technologie GIS optimise plus l'espace et offre un meilleur impact sur l'environnement. Cependant le coût de réalisation en technologie GIS (**7 882 MFCFA**) est un peu plus élevé que la technologie AIS (**7 646 MFCFA**).

Enfin l'analyse économique qui est une méthode d'aide à la décision, a été établie en considérant une durée d'exploitation des équipements sur 20 ans. Cette analyse a comparé deux situations données (situation AIS et situation GIS) et les indicateurs de rentabilité ont montré que le GIS est plus avantageux. Ces indicateurs sont:

- Le Taux de Rendement Interne Economique (**TRIE**): **50,44 % > 10%**
- Le rapport Avantage Coût (**RA/C**) : **4,1 > 1**
- La Valeur Actualisée Nette (**VAN**): **742 MFCFA > 0**
- Le Retour Sur Investissement (**RSI**): **2 ans < 10**

Cette Etude de faisabilité prouve donc que le projet d'intégration des postes sources blindés de capacité 225 kV sur le réseau électrique ivoirien est techniquement et économiquement viable.

Mots clés

- Postes sources
- Technologie AIS
- Technologie GIS
- Indicateurs de rentabilité (TRIE, RA/C, VAN et RSI)



ABSTRACT

This dissertation reports on the feasibility study on the introduction of Gaz Insulated Switchgear (GIS) in the Ivorian electricity network through the construction project of the YOPOUGON 3 (YOP 3) 225 kV substation.

First, it mentions notions on the electrical network and the main differences between the Air Insulated Switchgear (AIS) and the Gaz Insulated Switchgear (GIS). Then, the technical analyzes showed that the GIS technology optimizes the space more and offers a better impact on the environment. However, the cost of realization in GIS technology (7 882 MFCFA) is a bit higher than the AIS technology (7 646 MFCFA).

Finally, the economic analysis, which is a method of decision support, was established by considering an equipment operating life over 20 years. This analysis compared two given situations (AIS situation and GIS situation) and the profitability indicators showed that the GIS is more advantageous. These indicators are:

- The Economic Internal Rate of Return (EIRR): $50.44\% > 10\%$
- Advantage Cost Report (AR / C): $4.1 > 1$
- Net Present Value (NPV): $742 \text{ MFCFA} > 0$
- Return On Investment (ROI): $2 \text{ years} < 10$

This feasibility study proves that the project to integrate the 225 kV GIS substations on the Ivorian electricity network is technically and economically viable.

Keywords

- Substations
- AIS technology
- GIS technology
- Profitability indicators (EIRR, AR/C, NPV and ROI)



TABLE DES MATIERES

Dédicace	i
AVANT-PROPOS	ii
REMERCIEMENTS	iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	iv
RESUME.....	v
ABSTRACT	vi
TABLE DES MATIERES	1
Liste des tableaux	5
Liste des figures	6
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET DU THEME	8
1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	9
1.1 Présentation de CI-ENERGIES	9
1.2 Présentation de la Direction des Etudes et de la Planification (DEP).....	10
2. PRESENTATION DU THEME.....	11
2.1 Contexte du thème.....	11
2.2 Objectif du thème	12
2.3 Cahier de charges	12
2.4 Résultats attendus	12
CHAPITRE 2 : GENERALITES	13
1. GENERALITES SUR LES POSTES ELECTRIQUES.....	14
1.1 Réseau électrique.....	14
1.1.1 Définition	14
1.1.2 Caractéristiques du réseau électrique Ivoirien	14
1.2 Postes électriques	17
1.2.1 Définition	17
1.2.2 Les différents types de postes électriques	17
2. Poste source.....	18
2.1 Définition	18



2.2	Eléments constitutifs d'un poste source	18	
2.3	Les principaux schémas utilisés	19	
2.3.1	Les postes à un disjoncteur par départ	19	
2.3.2	Les postes à plusieurs disjoncteurs par départ	20	
2.3.3	Les postes en boucle.....	20	
2.4	Technologie des postes sources.....	20	
2.4.1	Postes à isolation dans l'air (AIS)	21	
2.4.2	Postes à isolation dans le gaz (GIS)	21	
3.	TECHNOLOGIES DES POSTES GIS	22	
3.1	Technologie SF6	22	
3.2	Technologie d'isolation.....	22	
3.3	Equipements et impact environnemental	23	
3.4	Technologies mixtes : GIS dans un poste électrique conventionnel.....	23	
4.	DIFFERENCES PRINCIPALES ENTRE UN AIS ET UN GIS	24	
4.1	Espace occupé	24	
4.2	Construction civile et technique.....	25	
4.3	Maintenance	26	
4.4	Evaluation du coût de cycle de vie.....	26	
4.5	Synthèse	27	
CHAPITRE 3 : ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE D'UN POSTE SOURCE : CAS			
DU POSTE SOURCE 225kV DE YOPOUGON 3			28
1.	LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU PROJET	29	
1.1	Carte et information géographique de la zone du projet	29	
1.2	La population.....	29	
1.3	Description environnementale succincte.....	30	
1.4	Activités économiques	30	
2.	ETAT DES LIEUX DU SYSTEME ELECTRIQUE DE LA ZONE	30	
2.1	Réseau électrique de la zone	30	
2.1.1	Poste 90 kV de YOPOUGON 1	30	
2.1.2	Poste 225 kV de YOPOUGON 2	31	



2.1.3	Poste 225 kV d'AZITO	31
3.	ETUDE DE LA DEMANDE	31
3.1	La prévision de la demande	31
3.2	Charge existante dans la zone d'étude	31
3.3	La prévision de la charge électrique à l'horizon 2020, 2025, 2030	32
3.4	Détermination de la capacité des transformateurs du poste source de YOPOUGON 3	32
3.1.1	Capacité des transformateurs du poste source.....	32
3.1.2	Choix des transformateurs.....	33
3.1.3	Résultats de l'analyse des taux de charge des transformateurs	33
4.	CONCEPTION DU POSTE 225 kV DE YOPOUGON 3	34
4.1	Recherches et identification de sites pour le poste 225 kV de YOPOUGON3.....	34
4.2	Identification des différentes options de raccordement au réseau électrique.....	34
4.3	Analyse technique	35
4.3.1	Hypothèses de simulation.....	35
4.3.2	Critères techniques d'acceptation des résultats	36
4.4	Option1 : alimentation du poste en coupure sur l'une des lignes 225kV SONGON- AKOUBE ZEUDJI	37
5	COÛT DE CONSTRUCTION DU POSTE SOURCE 225 kV	40
5.1	Technologie AIS	40
5.2	Technologie GIS	42
CHAPITRE 4 : ETUDE ECONOMIQUE		45
1	ANALYSE ECONOMIQUE	46
1.1	Méthodologie	46
1.2	Paramètres économiques	46
1.2.1	Durée économique du projet	46
1.2.2	Coût de l'investissement	46
1.2.3	Taux d'actualisation	46
1.2.4	Valeur économique de l'Energie électrique	46
1.2.5	Coût d'exploitation.....	47
1.2.6	Taux de fiabilité	47



1.3	Indicateurs de rentabilité	47
1.3.1	Valeur Actuelle Nette (VAN)	47
1.3.2	Rapport avantages-coûts (RA/C)	47
1.3.3	Taux de rendement interne économique (TRIE).....	48
1.3.4	Retour sur investissement (RSI).....	48
2	Résultats de l'analyse économique sur la période 2019-2039	48
2.1	Indicateurs de rentabilité	48
2.2	Tests de sensibilité	49
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	50
	BIBLIOGRAPHIE	51
	WEBOGRAPHIE.....	52
	ANNEXES.....	53



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Données caractéristiques du réseau électrique ivoirien.....	15
Tableau2: Différents types de postes électriques	17
Tableau3: Evolution du Coût du Cycle de vie de l'AIS et du GIS	27
Tableau 4 : Prévion de la charge à l'horizon 2020, 2025, 2030.....	32
Tableau 5 : Niveaux maximum des courants de court-circuit.....	36
Tableau 6:Résultats des simulations option 1, situation N: puissances	37
Tableau 7:Résultats des simulations option1, situation N: tensions	38
Tableau 8:Résultats des simulations option 1, situation N-1: puissances	39
Tableau 9:Résultats des simulations option 1, situation N-1: tensions	39
Tableau 10:Coût des équipements AIS	41
Tableau 11:Coût des équipements GIS	43
Tableau 12:Résultats de l'analyse économique	48



LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de CI-ENERGIES	10
Figure 2 : Organigramme de la DEP	10
Figure 3: Schéma simplifié d'un réseau électrique.....	14
Figure 4: Réseau de transport d'énergie électrique de la Côte d'Ivoire - 2017	16
Figure 5: Poste source d'Azito	18
Figure 6: Postes à un disjoncteur par départ.....	19
Figure 7: Poste à deux disjoncteurs par départ.....	20
Figure 8: Poste en boucle	20
Figure 9: Illustration d'un poste AIS.....	21
Figure 10: Illustration d'un poste GIS.....	22
Figure 11: Illustration d'un GIS dans un poste électrique conventionnel (Poste Mixte).....	24
Figure 12: Comparaison en termes d'espace occupé	25
Figure 13: Vue google commune de yopougon , sites des postes sources.....	29
Figure 14: Schema de raccordement option SONGON-AKOUPE ZEUDJI	37



INTRODUCTION GENERALE

La Côte d'Ivoire vient de terminer la confection d'un ensemble de Plans Directeurs pour le développement de son système électrique de Production, Transport et Distribution d'énergie sur la période 2014-2030. Le plan d'investissements résultant comporte un certain nombre de projets qui présentent un caractère urgent sur la période 2015-2020. Au nombre de ces projets urgents, figure la création du poste 225 kV de YOPOUGON 3.

En effet la demande est caractérisée par une croissance des activités économiques et des infrastructures avec le développement de bâtiments en hauteur (R+3 voire 5). La zone d'étude se situe à l'interface de la grande zone industrielle et de la localité de SONGON où plusieurs dizaines de milliers de logements sont en cours de réalisation.

Cependant, d'importantes contraintes économiques et environnementales apparaissent dans l'obtention des sites de réalisation des différents postes AIS, d'une superficie comprise entre 5 et 15 hectares.

Avec un gain substantiel d'espace, l'adoption des postes blindés dits à isolation dans un gaz (GIS) pourrait constituer une alternative aux postes classiques dans le but de minimiser l'impact environnemental et social tout en garantissant le plus haut niveau de sécurité et de fiabilité technique des postes électriques.

C'est donc de cette problématique, qu'une étude au sein de CI-ENERGIES nous a été confiée sur le thème : « **ETUDE DE FAISABILITE SUR L'INTEGRATION DES POSTES SOURCES A ENVELOPPE METALLIQUE DANS LE RESEAU ELECTRIQUE IVOIRIEN : CAS DU POSTE SOURCE 225 kV DE YOPOUGON 3.** »

Pour y parvenir, il s'agira pour nous dans ce mémoire de présenter d'abord CI-ENERGIES, faire une généralité sur les typologies de postes sources AIS et GIS. Ensuite, proposer une étude de faisabilité technique et enfin réaliser une analyse économique sur une durée de 20 ans de sorte à adopter le meilleur choix entre la réalisation d'un poste source AIS et GIS.



CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET DU THEME



1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

1.1 Présentation de CI-ENERGIES

Côte d'Ivoire Energies en abrégé « CI-ENERGIES » a pour objet, en République de Côte d'Ivoire et à l'étranger, d'assurer le suivi de la gestion des mouvements d'énergie électrique, la maîtrise d'œuvre des travaux revenant à l'Etat en tant qu'Autorité Concédante ainsi que la production d'électricité et toute autre activité du secteur de l'électricité qui pourrait lui être confiée par l'Etat.

A cet effet, CI-ENERGIES est en charge de :

- La planification de l'offre et de la demande en énergie électrique, en coordination avec le ministère en charge de l'Énergie ;
- La maîtrise d'œuvre des investissements en matière d'extension, de renforcement et de renouvellement du réseau de transport et d'électrification rurale ;
- Le suivi de la gestion des fonctions d'achat, de transport et de mouvement d'énergie électrique ;
- La gestion administrative, comptable et financière de l'ensemble des éléments formant le domaine public et privé, les ouvrages et équipements constituant les actifs et immobilisations de l'État ;
- Le suivi de la gestion de l'exploitation du service concédé ;
- La maîtrise d'ouvrage des travaux relatifs aux infrastructures, ouvrages et équipements du secteur de l'électricité ;
- La gestion au nom et pour le compte de l'État de la redevance prévue par la convention de concession de service public de production, transport, distribution, importation et exportation de l'électricité ;
- La tenue des comptes consolidés et le contrôle de l'équilibre financier du secteur de l'électricité.

Ainsi, la société compte depuis 2017, 281 employés répartis sur trois sites : le siège au plateau, le parc matériel à Yopougon-Niangon et le barrage hydroélectrique de Soubré. Son siège social est situé à Abidjan précisément à l'immeuble EECI dans la commune du Plateau.

Elle est organisée selon l'organigramme ci-après :

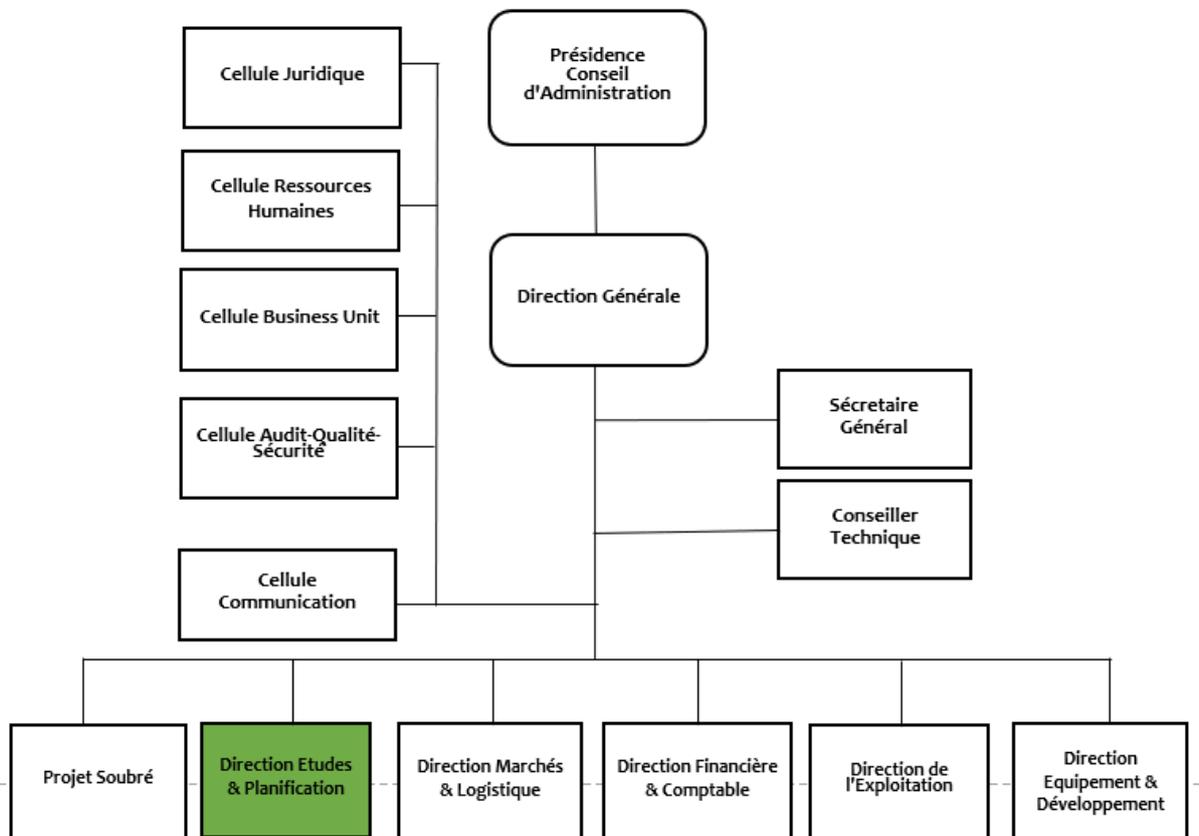


Figure 1: Organigramme de CI-ENERGIES

1.2 Présentation de la Direction des Etudes et de la Planification (DEP)

La direction de la DEP est située au 9eme étage de la tour EECI, les services opérationnels au 7eme et l'infothèque au hall du bâtiment. La DEP est organisée comme suit :

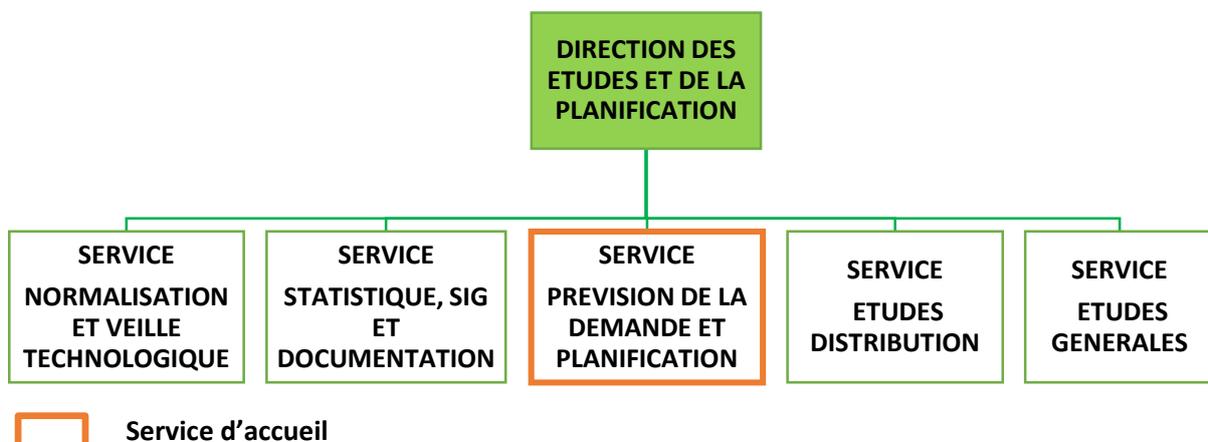


Figure 2 : Organigramme de la DEP



La Direction des Etudes et de la Planification (DEP) est en charge de :

- la prévision de la demande en énergie électrique;
- la planification et la programmation des investissements dans le Secteur de l'électricité ;
- la réalisation des études de faisabilité, d'Avant-projet détaillé et de préparation des dossiers d'appels d'offres ;
- la collecte de données statistiques et leur analyse ;
- la conception et la gestion d'un Système d'Information Géographique (SIG) ;
- la mise à disposition de la documentation technique nécessaire aux métiers de l'électricité et l'archivage (physique et électronique) des documents ;
- le suivi des innovations technologiques, la définition de doctrine, la sélection des normes et le suivi de leur application ;
- la standardisation, la normalisation et l'homologation des équipements électriques utilisés sur le système électrique ivoirien.

2. PRESENTATION DU THEME

2.1 Contexte du thème

Le plan de développement du réseau électrique a prévu la construction de plusieurs postes électrique à isolation dans l'air. Cependant, des contraintes économiques et environnementales apparaissent dans la recherche des sites pour la réalisation des différents postes d'une superficie comprise entre 5 et 15 hectares majoritairement localisés dans les zones urbaines et péri-urbaines.

Avec un gain substantiel d'espace, l'adoption des postes à enveloppe métallique dits à isolation dans un gaz (GIS) pourrait constituer une alternative aux postes classiques dans le but de minimiser l'impact environnemental et social tout en garantissant le plus haut niveau de sécurité et de fiabilité technique des postes électriques. C'est dans ce cadre que s'inscrit le thème de ce stage : « **ETUDE DE FAISABILITE SUR L'INTEGRATION DES POSTES SOURCES A ENVELOPPE METALLIQUE DANS LE RESEAU ELECTRIQUE IVOIRIEN : CAS DU POSTE SOURCE 225 kV DE YOPOUGON 3.** »



2.2 Objectif du thème

L'objectif visé par ce stage est de réaliser une étude comparative entre les postes électriques à isolation dans l'air (AIS) et ceux à isolation dans un gaz (GIS) communément appelé postes à enveloppe métallique (blindés) dans le contexte de modernisation des infrastructures du réseau électrique ivoirien. La construction du poste 225 kV de YOPOUGON 3 sera pris comme cas pratique au chapitre 3.

2.3 Cahier de charges

Le cahier de charges soumis à notre étude est le suivant :

- faire une revue/recherche documentaire sur les typologies des postes sources AIS et GIS;
- faire une description technique détaillée de la configuration des postes sources en technologie AIS et GIS;
- réaliser l'estimation du coût de construction d'un poste source AIS et GIS selon la capacité du poste;
- réaliser une analyse comparative destinée à adopter le meilleur choix entre la réalisation d'un poste source AIS et GIS sur le plan technique, environnemental et économique, dans une perspective long terme (20 ans) et faire ressortir les paramètres décisionnels, techniques et économiques (TRI, VAN, Valeur Actuelle Net et RSI.) ;

2.4 Résultats attendus

Au terme de ce stage de fin de cycle ingénieur, les résultats attendus doivent nécessairement comprendre l'étude comparative des systèmes GIS et AIS pour les réseaux de transport HTB et les recommandations sur la technologie à retenir pour les futurs postes planifiés.



CHAPITRE 2 : GENERALITES

1. GENERALITES SUR LES POSTES ELECTRIQUES

1.1 Réseau électrique

1.1.1 Définition

Un réseau électrique est organisé autour de trois segments principaux :

- Production ;
- Transport ;
- Distribution.

A chacune de ces étapes, les niveaux de tension sont différents. Le fonctionnement du réseau électrique ressemble à celui du réseau routier avec ses voies principales (lignes à très haute et haute tension), ses voies secondaires (lignes moyenne et basse tension) et ses échangeurs (postes électriques).

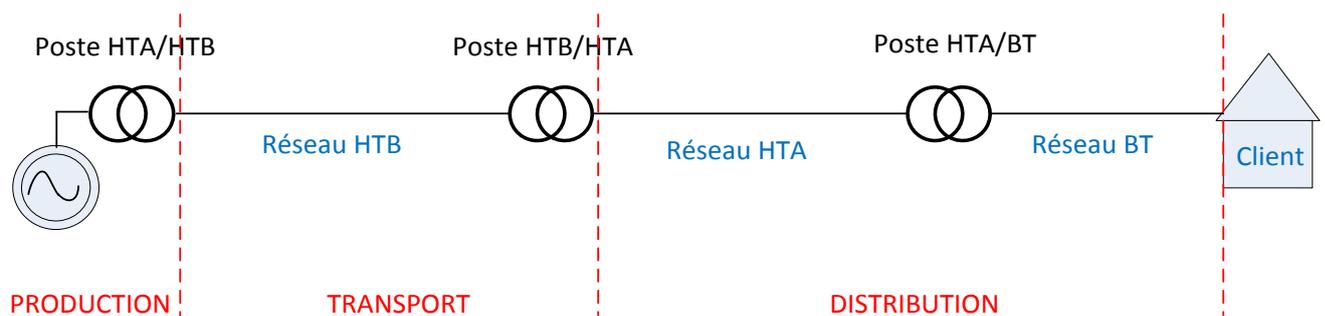


Figure 3: Schéma simplifié d'un réseau électrique

L'énergie électrique produite avant d'être utilisée par les consommateurs parcourt respectivement les réseaux HTB (supérieur à 50 kV), HTA (entre 1 kV et 50 kV) et BT (inférieur 1 kV) en passant par les postes de transformation. Ces postes sont des éléments clés du réseau électrique. Ils reçoivent l'énergie, la transforment (en passant d'un niveau de tension à un autre) et la répartissent (en assurant la jonction des différents réseaux électriques). Une fois sur le réseau de distribution, l'électricité Haute Tension HTA alimente directement les clients industriels. Pour les autres clients (domestiques, professionnels, éclairage public...), elle est convertie en Basse Tension (BT) par des postes de distribution publique avant d'être livrée.

1.1.2 Caractéristiques du réseau électrique Ivoirien

Le réseau électrique ivoirien, de la production (centrales thermiques et hydrauliques) à la distribution en passant par le transport, se présente comme suit :

Le réseau de transport ivoirien est un réseau constitué d'un ensemble de lignes et de postes 225 kV et 90 kV alimentant le réseau de distribution (33 kV et 15 kV) et interconnecté avec les pays limitrophes que sont le Ghana, le Burkina Faso, le Mali et à terme, avec le Liberia, la Sierra Leone et la Guinée. Il est alimenté par des centrales thermiques principalement localisées dans la zone d'Abidjan à Vridi et à Azito ainsi que par des centrales hydro-électriques localisées dans le pays.

Les données caractéristiques du réseau sont résumées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1: Données caractéristiques du réseau électrique ivoirien

Réseau	Unité	2018
Production		
• Centrales hydrauliques	MW	879
• Centrales Thermiques	MW	1320
Transport		
• Poste haute tension 400 kV (en projet)	Nbre	-
• Poste haute tension 225 kV et 90 kV	Nbre	48
• Transformateurs abaisseurs	Nbre	154
Distribution		
• Postes HTA/BTA	Nbre	11 353
• Postes HTA/HTA	Nbre	49
• Ligne moyenne tension 33 kV et 15 kV	Km	23 516
• Ligne moyenne tension 20 kV (en projet)	Km	
• Ligne basse tension 400/230 V	Km	20 746
Demande en Puissance		
• Puissance installée	MW	2 199
• Pointe de charge	MW	1 342

La figure4 présente une carte géographique du réseau électrique de transport ivoirien.



Figure 4: Réseau de transport d'énergie électrique de la Côte d'Ivoire - 2017

1.2 Postes électriques

1.2.1 Définition

Les postes électriques sont des éléments du réseau électrique (des nœuds) servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité. Ils reçoivent l'énergie électrique, la transforment et la répartissent en vue de sa consommation par les utilisateurs (particuliers ou industriels).

Ces postes réalisent les actions suivantes :

- l'évacuation de l'énergie des sources de production vers le réseau ;
- la liaison entre des réseaux de tensions différentes ;
- le raccordement d'un tiers au réseau d'électricité (aussi bien consommateur que producteur).

1.2.2 Les différents types de postes électriques

Il existe plusieurs types de postes électriques et les critères pour les différencier sont nombreux. Cependant, en suivant le fonctionnement et la répartition d'un réseau électrique, on distingue trois grandes catégories de postes électriques :

- les postes d'évacuation ;
- les postes sources ;
- les postes de distribution.

Tableau2: Différents types de postes électriques

Types de Postes	Niveaux de Tension	Position du poste	Rôle principal
Evacuation	HTA/HTB	Centrale de production	Elever la tension pour le transport
Source	HTB/HTA	Entre le réseau de transport et le réseau de distribution	Baisser la tension et alimenter le réseau de distribution
Distribution	HTA/BT	Réseau de distribution	Baisser la tension et alimenter les clients

Dans la suite du document, nous nous intéresserons particulièrement aux postes sources.

2. Poste source

2.1 Définition

Le poste source constitue l'interface entre le réseau de transport HTB et le réseau de distribution d'électricité (réseaux HTA et BT). D'une certaine façon, il peut être vu comme un nœud du réseau de transport sur lequel le réseau de distribution prend sa source. Son rôle est de transformer la tension du niveau HTB vers le niveau HTA, depuis une ou plusieurs lignes HTB et par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs transformateurs HTB/HTA et d'alimenter ensuite des consommateurs ou des industriels à partir de plusieurs départs HTA (figure5).

Sur le réseau ivoirien, les postes sources sont alimentés en 90 kV pour la quasi-totalité et en 225 kV pour le reste. Ils desservent ensuite le réseau de distribution en 33 kV et en 15 kV.



Figure 5: Poste source d'Azito

2.2 Eléments constitutifs d'un poste source

Un poste source est constitué de plusieurs éléments qui participent à son bon fonctionnement.

Il s'agit principalement :

- des jeux de barres HTB et HTA;
- des transformateurs HTB/HTA ;
- des disjoncteurs ;
- des sectionneurs (ligne, barre, mise à la terre) ;
- des cellules de couplage ;
- des auxiliaires (transformateur de tension, transformateur de courant...)

- des cellules de protections ;
- des parafoudres ;
- des câbles de liaison aériens et souterrains ;
- des équipements de surveillance et commande à distance ;
- des batteries de condensateur.

2.3 Les principaux schémas utilisés

Les postes les plus répandus dans le monde peuvent être caractérisés par trois principes de conception. Il s'agit :

- des postes à un disjoncteur par départ ;
- des postes à plusieurs disjoncteurs par départ ;
- des postes en boucle.

2.3.1 Les postes à un disjoncteur par départ

Ils peuvent contenir un ou plusieurs jeux de barres. Le schéma simple à un jeu de barres présente de sérieux inconvénients lorsqu'il faut assurer la continuité du service en toutes circonstances. En effet, un incident sur le jeu de barres (ou l'entretien de celui-ci) entraîne la mise hors tension de tout le poste. Par contre, les schémas à jeux de barres multiples avec un disjoncteur par départ permettent d'assurer la continuité du service en cas d'indisponibilité de l'un d'eux et la marche en réseau séparé après séparation électrique des jeux de barres. Les postes à un disjoncteur par départ sont utilisés en Côte d'Ivoire.

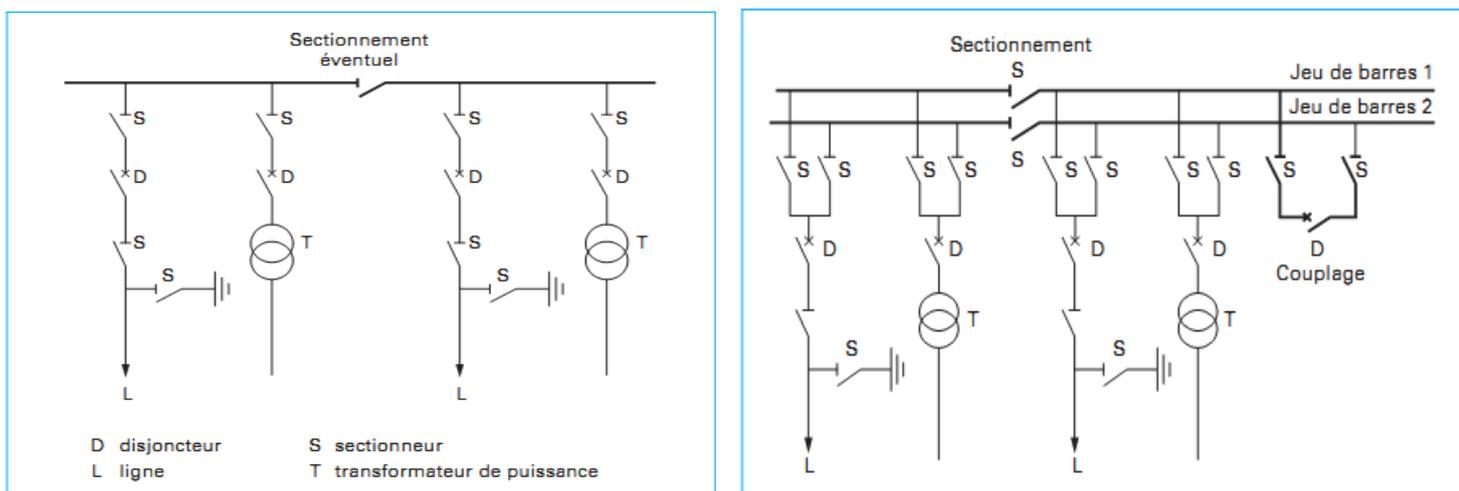


Figure 6: Postes à un disjoncteur par départ

2.3.2 Les postes à plusieurs disjoncteurs par départ

Ils permettent, en cas de défaut sur un jeu de barres, de déconnecter les cellules raccordées à ce jeu de barres et de conserver l'alimentation par l'autre jeu de barres sans interruption de service.

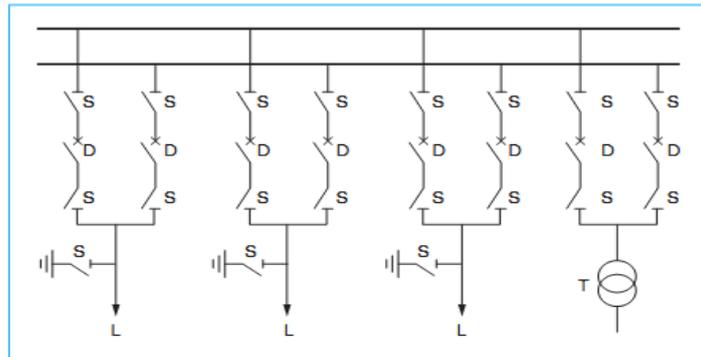


Figure 7: Poste à deux disjoncteurs par départ

2.3.3 Les postes en boucle

Les postes en boucle comportent des disjoncteurs placés en série sur un ou plusieurs jeux de barres bouclés. L'élimination d'un défaut sur un départ exige l'ouverture de deux disjoncteurs et scinderait alors le poste en deux parties. Ce schéma est utilisé notamment en Amérique du Nord pour les ouvrages comprenant un nombre limité de cellules.

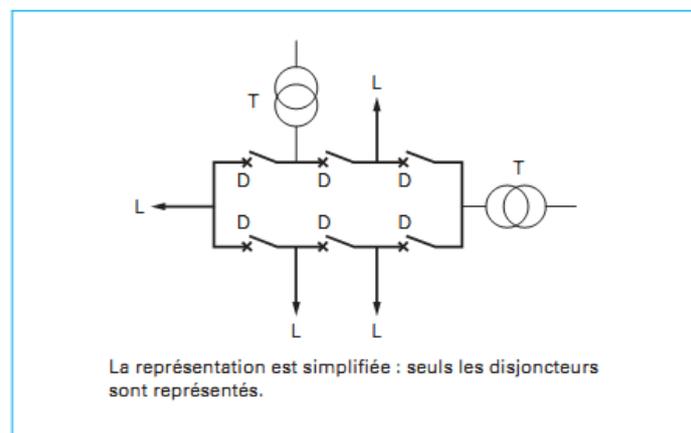


Figure 8: Poste en boucle

2.4 Technologie des postes sources

Il existe deux principales technologies pour les postes électriques Haute Tension à savoir les postes isolés à l'air (**AIS : Air Insulated Switchgear**) et les postes blindés (**GIS : Gaz Insulated Switchgear**).

2.4.1 Postes à isolation dans l'air (AIS)

Les postes AIS utilisent « l'air » comme diélectrique pour l'isolation phase-phase, et phase-terre. Les équipements sont par conséquent montés à l'air libre. La majorité des postes dans le monde et particulièrement en Côte d'Ivoire sont de type AIS d'où le qualificatif de « conventionnel » ou « classique ». L'installation est généralement réalisée à l'extérieur (outdoor).

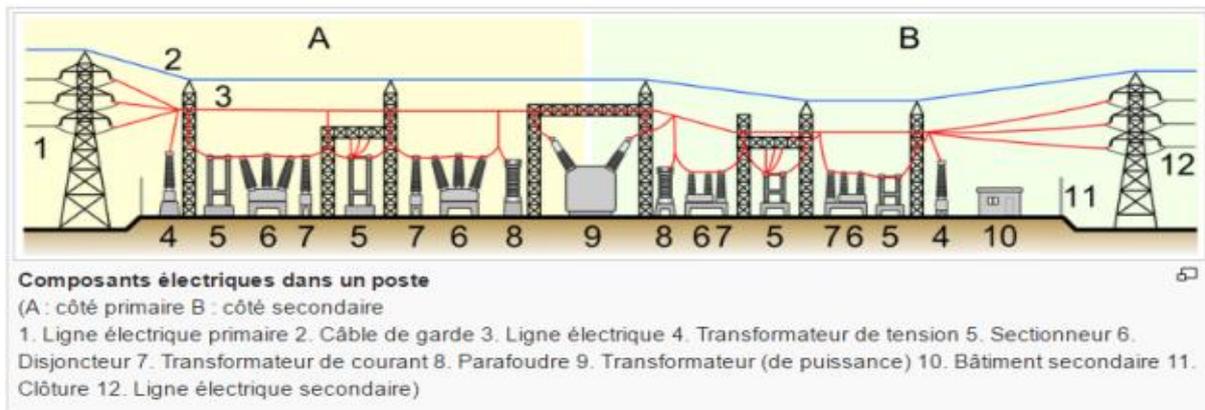


Figure 9: Illustration d'un poste AIS

2.4.2 Postes à isolation dans le gaz (GIS)

Les postes électriques sous enveloppe métallique (PSEM) ou (Gas Insulated Substation en anglais), souvent dénommé poste blindé, sont des postes électriques dont l'isolation phase-phase et phase-terre est réalisée par un gaz qui joue le rôle de diélectrique, typiquement de l'hexafluorure de soufre (SF_6). Ils s'opposent aux postes électriques isolés dans l'air (Air Insulated Switchgear en anglais, AIS).

Le gaz est contenu dans une capsule étanche qui contient en générale les conducteurs, les transformateurs de courant et de tension, les disjoncteurs, les sectionneurs et les parafoudres dont l'ensemble est mise à la terre.

- ① Jeu de barres avec sectionneur-sectionneur de mise à la terre à fonction combinée
- ② Disjoncteur
- ③ Transformateur de courant
- ④ Transformateur de tension
- ⑤ Sectionneur de ligne-sectionneur de mise à la terre à fonction combinée
- ⑥ Sectionneur de terre à pouvoir de fermeture sur court-circuit
- ⑦ Boîte à câble
- ⑧ Armoire de commande

- Composants actifs sous haute tension
- Enveloppes métalliques
- Gaz SF₆
- Matériel isolant
- Pièces mécaniques, structures
- Pièces à basse tension

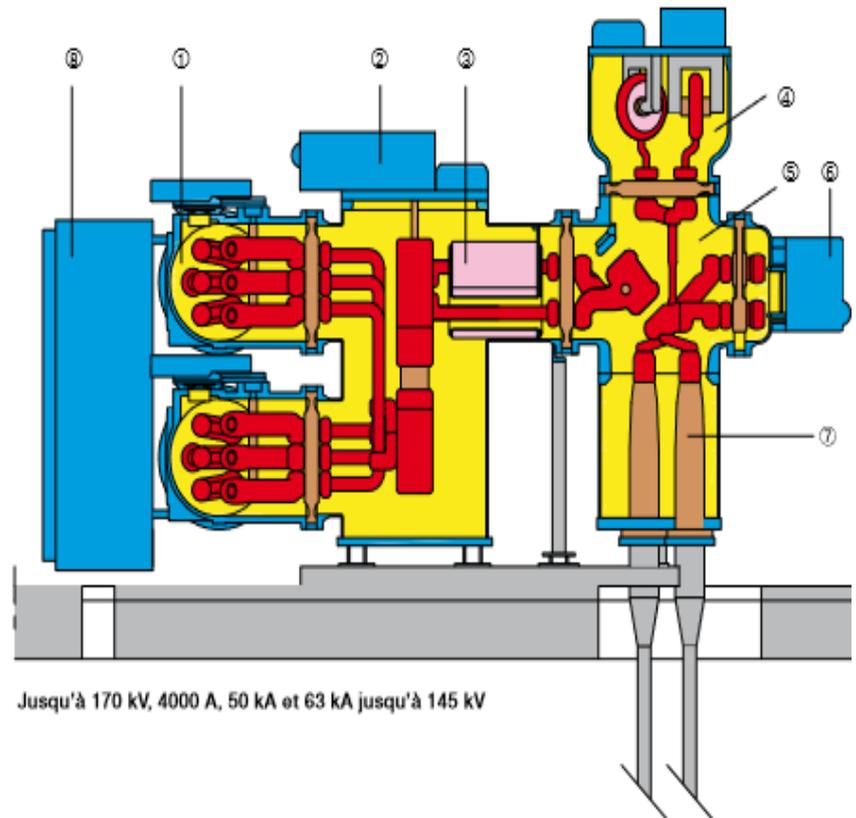


Figure 10: Illustration d'un poste GIS

3. TECHNOLOGIES DES POSTES GIS

3.1 Technologie SF₆

Le SF₆ est un gaz extrêmement électronégatif. Insufflé sur un arc au passage à zéro du courant il éteint la conduction par capture d'électrons. Les très bonnes propriétés du SF₆ ont entraîné l'extension de la technique SF₆ au cours des années 1960 et son utilisation pour le développement de disjoncteur a fort pouvoir de coupure sous des tensions de plus en plus élevées allant jusqu'à 800 kV et 1100 kV depuis 2009 en Chine.

3.2 Technologie d'isolation

Il existe deux types de technologie d'isolation, nous avons la technologie isolée dans l'air, dite aussi conventionnelle et la technologie à isolation gazeuse dite blindé.

La technologie utilisée pour les GIS est celle à isolation gazeuse. Les conducteurs électriques sont encapsulés dans une enveloppe métallique remplie d'un gaz, l'hexafluorure de soufre (SF₆),



dont les propriétés diélectriques très supérieures à celles de l'air permettent de réduire les distances d'isolation.

3.3 Equipements et impact environnemental

Les équipements montés en GIS viennent en bloc, généralement déjà fixé par le concepteur et les différents compartiments internes ne sont pas accessibles comparés au AIS où tous les équipements sont accessibles. Les postes GIS résistent plus aux conditions environnementales (intempéries), ils contribuent à embellir l'espace car installés dans un bâtiment et sont sans bruits. Le SF6 contribue fortement au réchauffement climatique.

Du fait que les équipements GIS sont montés en bloc et plus compacts, elle maximise sur :

- la continuité de service
- sécurité de fonctionnement
- optimisation de l'espace

Dans le point suivant nous allons nous réserver l'exclusivité de parler des postes mixtes dont la technologie n'est pas loin des postes blindés mais assemble les technologies AIS et GIS.

3.4 Technologies mixtes : GIS dans un poste électrique conventionnel

Les appareillages à technologie mixte appelés Mixed Technology Switchgear (MTS) en anglais ou encore Hybrid Insulated Switchgear (HIS) qui traduit appareillages à isolation hybride sont des appareils électriques dont la conception est intermédiaire entre le matériel conventionnel isolé par l'air ambiant et les GIS. Ce faisant, ils cumulent certains des avantages des deux technologies compacité comme les GIS, facilité de maintenance comme les disjoncteurs conventionnels par exemple. Ils sont apparus récemment, dans les années 2000 environ, pour permettre d'étendre facilement des postes classiques sans occuper une surface trop grande. Ils peuvent être en effet très facilement incorporés dans un poste classique sans devoir revoir toute l'ingénierie.



Figure 11: Illustration d'un GIS dans un poste électrique conventionnel (Poste Mixte)

4. DIFFERENCES PRINCIPALES ENTRE UN AIS ET UN GIS

Les différences entre un poste conventionnel et un poste blindé sont multiples. Cependant, celles-ci peuvent être analysées sur la base de quatre critères majeurs que sont : l'espace, la construction civile et technique, la maintenance et le coût de cycle de vie.

4.1 Espace occupé

L'économie et la population continuent de croître avec bien sûr l'augmentation des besoins en énergie électrique. Aujourd'hui nous sommes confrontés à un problème d'espace dû à cette croissance (urbanisation). Cependant l'une des solutions pour réduire l'occupation de l'espace est de construire des postes blindés. En terme de ratio, les postes conventionnels font cinq fois l'espace occupé par les postes blindés.

$$\frac{AIS}{GIS} = 5$$

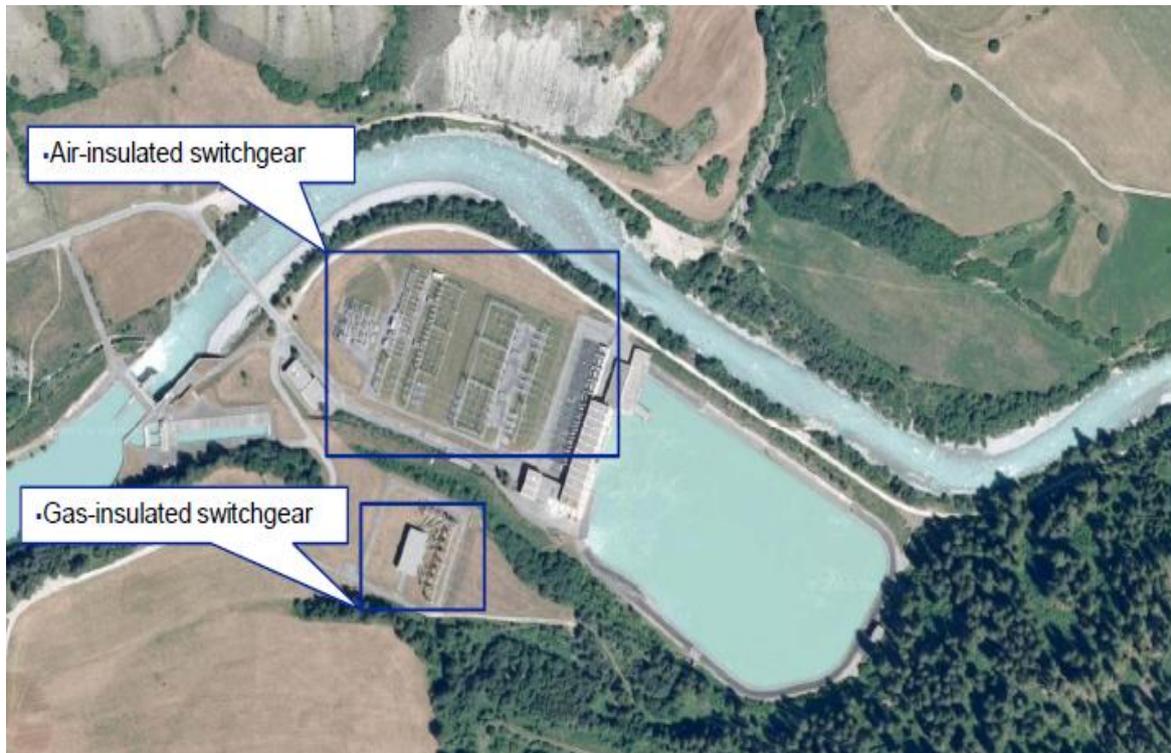


Figure 12: Comparaison en termes d'espace occupé

En Côte d'Ivoire concernant l'espace nous sommes confrontés à deux situations majeures que sont :

- **Dans la ville d'Abidjan et ses périphéries** : Il y a pratiquement plus d'espace, nous assistons à une très rapide et forte urbanisation d'année en année. Le coût d'un mètre carré est estimé à trente mille au minimum, parfois cette somme triple tel est le cas de certaine commune (Yopougon, Plateau etc.)
- **A l'intérieur du Pays**: Nous avons encore d'énormes espaces et le prix d'un mètre carre n'est pas cher, il est estimé à deux mille. S'il s'agissait d'espace comme seul critère de construction des postes sources alors nous dirons déjà qu'à l'intérieur l'état peut continuer à construire les postes classiques dits AIS sans aucune crainte.

4.2 Construction civile et technique

L'installation d'un poste blindé est considérablement plus simple que celle d'un poste conventionnel, le travail de BTP est beaucoup plus limité et les pièces peuvent déjà être préassemblées en usine. Dans la mise en place d'un poste AIS il faut déployer d'énormes



moyens dans le génie civil, cela conduit à un coût élevé. Ainsi la construction civil coûte au moins deux fois plus cher que celui du GIS.

L'ingénierie des Postes haute tension du GIS utilise l'hexafluorure de soufre gazeux comme isolant, tandis que l'AIS utilise l'isolation à partir de l'air. L'hexafluorure de soufre est cinq fois plus lourd que l'air et offre un excellent comportement d'extinction. Une autre différence significative basée sur la construction entre les deux commutateurs est qu'un AIS à revêtement métallique utilise des disjoncteurs débroschables. Les systèmes GIS quand à eux utilisent des disjoncteurs fixes et montés, ils sont scellés à vie d'où le nom de technologie «scellée à vie», ils sont bien évidemment plus chers.

4.3 Maintenance

Les postes GIS nécessitent beaucoup moins d'entretien. En moyenne, les systèmes GIS doivent uniquement être inspectés visuellement tous les quatre ans ou plus, selon les recommandations spécifiques du fabricant pour votre appareil. Les disques GIS ne doivent être graissés qu'après environ 20 ans (là encore, cela varie d'un fabricant à l'autre).

Les systèmes AIS doivent être inspectés visuellement chaque année (toujours en fonction des recommandations spécifiques du fabricant). Lors de l'inspection, tous les compartiments doivent être vérifiés et en moyenne un disjoncteur AIS aura besoin d'environ quatre heures de maintenance.

En termes de maintenance, les systèmes AIS nécessitent beaucoup plus d'efforts, notamment en raison de la rigueur des inspections. Les inspections comprennent le serrage d'un technicien, l'extraction, le nettoyage, la lubrification et l'aspiration de l'unité. Ils doivent également être vérifiés pour détecter des signes de corrosion du cuivre, ce qui ne se produit pas dans les GIS en raison des unités scellées. Cette étanchéité protège également les composants contre les dommages environnementaux.

4.4 Evaluation du coût de cycle de vie

Les études faites par quelques leaders mondiaux tels que ABB et SIEMENS ont démontré que les avantages du GIS sont nombreux. Ils sont fiables, flexibles et économiques. Ces avantages sont quelques facteurs qui déterminent l'évolution du marché des GIS.

En effet, l'équipement GIS est initialement plus cher que l'équipement AIS. Cependant, la prise en compte des coûts du cycle de vie montre que le GIS est moins cher et offre une meilleure

performance. Les coûts du cycle de vie comprennent l'équipement, les terrains, le développement du site, les coûts d'exploitation et d'entretien et les coûts d'interruption forcée. C'est pourquoi il est nécessaire d'examiner plus que les coûts initiaux en tenant compte des autres dépenses sur la durée de vie de l'équipement. Ce facteur économique renforce l'attrait du GIS. Il est à préciser que les GIS ont généralement une durée de vie minimale de 30 ans.

Une évaluation générale du coût de cycle de vie (sur une durée de 10 ans) des postes AIS et GIS est mise en exergue dans le tableau ci-dessous (étude faite par ABB).

Tableau3: Evolution du Coût du Cycle de vie de l'AIS et du GIS

Caractéristiques	AIS	GIS
Planification et Ingénierie	100 %	80 %
Immobilier	100 %	40 %
Equipement primaire	100 %	120 %
Equipement secondaire	100 %	100 %
Terrassement, travaux de génie civil, Structure	100 %	60 %
Assemblage et montage électrique	100 %	70 %
Maintenance	100 %	50 %
Panne	100 %	50 %
Coût du Cycle de Vie après 10 ans	100 %	70 %

4.5 Synthèse

En résumé, les systèmes AIS offrent des économies initiales, mais ils nécessitent plus temps dans sa mise en place et plus de maintenances à long terme. L'ingénierie électrique avancée des postes à haute tension du GIS nécessite un investissement initial plus important, cependant leur technologie scellée réduit les coûts d'installation et de maintenance.



CHAPITRE 3 : ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE D'UN POSTE SOURCE : CAS DU POSTE SOURCE 225kV DE YOPOUGON 3

1. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU PROJET

1.1 Carte et information géographique de la zone du projet



Figure 13: Vue google commune de yopougon , sites des postes sources

Le projet de Poste 225 kV de YOPOUGON 3 est localisé dans le district d'Abidjan, département d'Abidjan, précisément dans la commune de YOPOUGON. Cette commune s'étend sur une superficie de 153,06 km². On y dénombre 14 villages : Ainsi que 8 arrondissements, eux-mêmes subdivisés en 32 quartiers. C'est donc la plus grande commune de la Côte d'Ivoire.

1.2 La population

La population de cette commune est estimée à plus de 2 000 000 d'habitant, ce qui ferait aujourd'hui une densité de 13 067 hab/km². La population compte 51 % de femmes et 49 % d'hommes ; les jeunes de moins de 20 ans représentent 56 % de la population.

La population YOPOUGONAISE est plutôt de classe moyenne à « populaire ». S'il est vrai que YOPOUGON, tout comme la commune d'Abobo, est connue pour ses quartiers populaires, il existe aussi des quartiers résidentiels qui se distinguent par un certain confort de vie, notamment



à Banco-Nord et à Niangon. Dans le reste de la commune, les logements alternent entre immeubles d'appartements et maisons basses de standing moyen.

1.3 Description environnementale succincte

La commune de YOPOUGON est une zone vallonnée, où de petites collines alternent avec des vallées. La végétation est composée de forêts parsemées de culture vivrières et industrielle notamment l'hévéa et le palmier à huile en nouvelle zone industrielle. La commune est bordée par la lagune à l'est au Sud. La baie du Banco apparaît comme une frontière naturelle avec le territoire communal du Plateau. YOPOUGON abrite en outre la forêt du Banco, patrimoine mondial.

1.4 Activités économiques

YOPOUGON est une commune très importante dans l'économie abidjanaise et ivoirienne. Tout d'abord, une grande partie de sa population travaille dans des bureaux et commerces du Plateau et de Cocody. Ensuite, elle compte deux zones industrielles d'importance, où sont installées diverses usines de ciment, plastiques (Industrielle ivoirienne de plastique, International Packing, Afric plasti, Afric Industry, etc.), sidérurgie (Sotaci), produits pharmaceutiques et cosmétiques (Ubipharma, (SIVOP) Société ivoirienne de parfumerie, Gandour), textiles (Uniwax), produits laitiers et agroalimentaire (Ivograin, Cargill, Brasseries ivoiriennes, Solibra, Eurolait), etc. On y trouve notamment le centre de recherche de Nestlé et la nouvelle chocolaterie Cémoi (la première chocolaterie du pays).

Deux installations majeures se retrouvent sur le territoire de la commune : la centrale thermique d'AZITO et l'extension du port autonome d'Abidjan. Bientôt un pont reliera YOPOUGON et le Plateau.

2. ETAT DES LIEUX DU SYSTEME ELECTRIQUE DE LA ZONE

2.1 Réseau électrique de la zone

2.1.1 Poste 90 kV de YOPOUGON 1

Le poste 90 kV de YOPOUGON1 est doté de quatre (4) TFO 90/15 kV 50 MVA et d'un (1) TFO 90/30 kV 40 MVA. Il est relié au réseau HTB par une (1) ligne 90 kV Abobo – YOPOUGON1 en Almélec 228 mm² longue de 13.2 km, d'une ligne (1) ligne 90 kV Vridi – YOPOUGON1 en Alu-acier 228 mm² longue de 15.7 km et d'un câble 90kV en ALU630 de 7.8 km de long et qui le relie au poste de YOPOUGON2.



2.1.2 Poste 225 kV de YOPOUGON 2

Le poste 225 kV de YOPOUGON2 est équipé de deux TFO 90/15 kV 50 MVA et de deux TFO225/90kV 100MVA. Il est relié au réseau HTB par cinq (5) lignes : la ligne 90kV YOPOUGON2 – Agboville en Almélec 228 mm² longue de 63.9 km, la ligne 90kV Abobo – YOPOUGON2 en Almélec 228 mm² longue de 16.5 km, la ligne 225kV AZITO-YOPOUGON2 longue de 16km, la ligne 225kV Abobo-YOPOUGON2 longue de 12km et la ligne 225kV Taabo-YOPOUGON2 longue de 160km.

2.1.3 Poste 225 kV d'AZITO

Le poste 225 kV de AZITO est un poste source depuis 2016. Il est relié au réseau HTB par quatre (4) lignes : deux (2) lignes 225 kV Abobo – AZITO en Almélec 570 mm² longue de 16.7 km chacune, une ligne (1) 225kV AZITO-YOPOUGON2 longue de 16km et d'une (1) ligne 225 kV Vridi – AZITO en Almélec 570 mm² longue de 12.3 km. Le dispose également de trois (3) transformateurs 225/15kV 50MVA et est à proximité des groupes de production de la centrale d'AZITO (2x148 MW + 1xX139 MW) dont il est le poste d'évacuation.

3. ETUDE DE LA DEMANDE

La demande en électricité à long terme, dans une localité, est effectuée à l'aide de la prévision de charge. Elle est réalisée par l'ingénieur de prévision de la demande.

3.1 La prévision de la demande

Dans l'optique de planifier de façon optimale le développement et l'exploitation d'un système électrique incluant la production, le transport et la distribution, il est important d'anticiper les besoins en alimentation électrique, le volume à délivrer, la localisation de la demande et l'évolution au cours du temps. L'objectif du processus de prévision de charge est de calculer une estimation réaliste de la demande d'énergie électrique pour une zone géographique donnée. Ce processus de la prévision tient compte, comme paramètres essentiels, du taux de croissance de la population et du produit intérieur brut (PIB).

3.2 Charge existante dans la zone d'étude

Pour la détermination de la charge d'une localité donnée, il y a deux possibilités :

- Soit directement par la pointe annuelle. La pointe est la puissance électrique maximale appelée du réseau, au cours de l'année, pour l'alimentation de la localité en électricité ;

- Soit par la consommation annuelle en énergie des abonnés de la localité.

Dans notre cas d'étude, le poste de Yopougon 3 est destiné à secourir les postes de YOPOUGON1 et d'AKOUCPE_ZEUDJI. Ce poste alimentera donc une partie de la charge assurée par le poste de YOPOUGON1 en 15kV et une partie de la charge de la zone industrielle de PK24 qui sera couverte par le poste d'AKOUCPE en 30kV. Ce poste déchargera le poste de YOPOUGON1 de 20MW et celui d'AKOUCPE-ZEUDJI de 30MW dès la première année de mise en service du poste, c'est-à-dire 2020. La charge de 20MW sera raccordée en 20kV et celle de 30MW sera raccordée en 30kV. Par conséquent la charge totale sera estimée à 50 MW.

3.3 La prévision de la charge électrique à l'horizon 2020, 2025, 2030

En considérant un facteur de puissance de 0,9 et des taux d'évolution de 5.67% (taux d'évolution moyen de YOPOUGON1), les résultats de la prévision de la demande du poste de YOPOUGON3 sont donnés ci-après :

Tableau 4 : Prévision de la charge à l'horizon 2020, 2025, 2030

Prévision de la	2020	2025	2030
demande (MW)	55,56	73,20	96,49

3.4 Détermination de la capacité des transformateurs du poste source de YOPOUGON 3

3.1.1 Capacité des transformateurs du poste source

En montage triphasé, on calcule les puissances électriques comme suit :

- La puissance active : $P = \sqrt{3}UI \cos\varphi$ (W) ;
- La puissance réactive : $Q = \sqrt{3}UI \sin\varphi$ (Var) ;
- La puissance apparente : $S = \sqrt{3}UI = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{Q}{\sin\varphi} = \sqrt{P^2 + Q^2}$ (VA).

Les transformateurs de puissance sont caractérisés par leurs puissances apparentes selon les standards internationaux. Ce qui nous permettra de déterminer la capacité des transformateurs de puissance à installer.

La charge estimée pour Yopougon 3 étant de **55,56 MW** en 2020, en considérant un facteur de puissance $\cos\varphi = 0,9$; on obtient une puissance apparente de **61,73 MVA**. Actuellement, de nombreux transformateurs avec des capacités différentes sont installés sur le réseau ivoirien



(7.5 ; 10 ; 15 ; 16 ; 20 ; 24 ; 36 ; 40 ; 50 MVA). Il est recommandé d'uniformiser les ouvrages futurs en se limitant à certaines tailles. Les transformateurs suivants ont été sélectionnés pour les ouvrages futurs :

- 10 MVA 90/30-20 kV ;
- 20 MVA 90/30-20 kV ;
- 36 MVA 90/30-20 kV ;
- 50 MVA 90/30-20 kV et 225/20 kV ;
- 60 MVA 225/30 kV ;

La limite du nombre de transformateurs par poste est fixée à quatre (4) entre deux niveaux de tensions distincts. La configuration actuelle des postes sources est telle qu'il est préférable d'installer deux transformateurs de puissance afin d'assurer la sécurité du poste source et la fiabilité de l'alimentation des consommateurs. De plus un transformateur peut fonctionner jusqu'à **110%** de sa capacité en cas de situation contraignante. Alors on pourrait dire à priori qu'il faut installer deux transformateurs de **36 MVA** pour la charge de 20 MW et deux transformateurs de **50 MVA** pour la charge de 30 MW en 2020.

3.1.2 Choix des transformateurs

Analysons les cas de surcharge des transformateurs sur 10 ans après leur installation en cas de situation où un transformateur tombe en panne (situation N-1). On se basera toujours sur les données actualisées de prévision de charge jusqu'en 2030 du Plan Directeur Production-Transport. Cette analyse a pour objectif de nous aider à choisir la capacité des transformateurs de puissance à installer dans le poste source de Yopougon 3.

3.1.3 Résultats de l'analyse des taux de charge des transformateurs

En **2030**, le transformateur de 36 MVA supportera à peine la charge de 20 MW car il fonctionnera à 107,16% de sa capacité. Ainsi pour une bonne prévision il faudra donc prendre deux transformateurs de 50 MVA.

A cette même année(2030), le transformateur qui devra assurer la charge de 30 MW lui sera à 115% de sa capacité lorsqu'il est en fonctionnement. De ce point de vu, le transformateur adéquat est celui de 60 MVA.

4. CONCEPTION DU POSTE 225 kV DE YOPOUGON 3

La définition de l'envergure des projets poste 225 kV de YOPOUGON 3 sera réalisée selon l'approche méthodologique ci-après :

- recherches et identification de sites ;
- identification des différentes options de raccordement au réseau électrique
- Analyse technique des différentes options;
- estimation des coûts du projet en technologie AIS et GIS

4.1 Recherches et identification de sites pour le poste 225 kV de YOPOUGON3

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

- n'être pas trop éloigné d'un couloir de ligne 225 kV existante afin d'optimiser la longueur du réseau de raccordement à construire. le couloir le plus proche ici est celui de la future ligne 225 kV AKOUBE-ZEUDJI- SONGON
- disposer de suffisamment d'espace avec un impact environnemental et social supportable ;
- le choix du site 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.

Remarque1: Au vu des impératifs cités il nous serait très difficile de construire un poste AIS car il n'ya pas assez d'espace et il faut aussi tenir compte de l'impact environnemental.

4.2 Identification des différentes options de raccordement au réseau électrique

La structure du poste reste inchangée dans les différentes options. Seul le raccordement au réseau fait la différence.

Le raccordement pourra s'envisager selon l'un des deux schémas suivants :

Option 1 : alimentation du poste en coupure sur l'une des lignes 225kV SONGON-AKOUBE ZEUDJI

- Poste en coupure d'artère sur la double ligne 225 kV SONGON, AKOUBE-ZEUDJI ;
- Longueur estimée des liaisons : AKOUBE-ZEUDJI-YOPOUGON 3 : 25 km ;
YOPOUGON 3-SONGON : 15 km ;

- Réseau à construire : 10 km d'entrée en coupure double terre 225 kV.
- Impact environnemental : traversée de zone forestière avec présence de cultures ; rares bâtis ;

Option 2 : alimentation par les postes d'AZITO et d'AKOUE ZEUDJI

- Poste raccordé en boucle sur le futur poste 225 kV d'AKOUE ZEUDJI et AZITO
- Longueur estimée des liaisons : AZITO-YOPOUGON 3 : 15 km ; YOPOUGON 3-AKOUE ZEUDJI : 25 km ;
- Réseau à construire : 40 km en simple terre 225 kV.
- Impact environnemental : traversée de zone forestière avec présence de cultures ; zone très urbanisée et en bordure de lagune sur le tronçon AZITO- YOPOUGON3 ;

Remarque2 : Quel qu'en soit la technologie utilisée, le raccordement au réseau reste le même. Pour notre étude, l'analyse technique se fera uniquement sur l'option1 pour deux raisons, cette option réduit beaucoup plus le réseau électrique à construire par rapport à l'option 2 et elle est plus favorable au plan impact environnemental.

4.3 Analyse technique

Il s'agira de faire des écoulements de charge en situation normale et en situation de contingence (N-1) pour l'année 2020. Ces analyses se feront avec les modules d'écoulement de charge du logiciel SMART FLOW, version 2.0.

4.3.1 Hypothèses de simulation

➤ Hypothèses de réseau

Les simulations seront réalisées pour l'année 2020, avec prise en compte de tous les ouvrages programmés jusqu'à cette date conformément au plan directeur production-transport 2014-2030. L'évolution des charges est conforme aux prévisions du secteur adoptées dans le plan directeur cité plus haut.

➤ Hypothèse de charge au poste de YOPOUGON3

Le poste de YOPOUGON3 devra servir à décharger le poste de YOPOUGON1 et aidé à l'alimentation de SONGON et de la zone industrielle de PK24. Pour ce faire il a été considéré une charge de 30MW au nœud 30kV (industrielle) et une charge de 20MW au nœud 20kV (domestique). Pour les deux charges le facteur de puissance a été pris égale 0,9.

➤ Hypothèses sur les lignes de transport

Il sera admis que les lignes 225kV considérées ici sont équipées de conducteurs aster 570 avec un seul conducteur par phase. Les longueurs suivantes seront également admises :

- AZITO-YOPOUGON3 : 15 km
- AKOUBE – YOPOUGON3 : 25 km
- SONGON – YOPOUGON3 : 15 km

4.3.2 Critères techniques d'acceptation des résultats

➤ Contraintes thermiques

Les ouvrages (câbles, lignes et transformateurs) doivent pouvoir être exploités dans les limites suivantes, lorsque le client utilise sa puissance maximale.

- 100% de la capacité des lignes aériennes et souterraines
- 100% de l'intensité nominal des cellules HTA au poste source
- 100% de la capacité des transformateurs en régime normale et 110% en régimes dégradés (en situation de secours)

➤ Contrainte de tension

Les chutes de tension doivent être comprises dans les plages suivantes :

- +/- 10% en HTB (90 et 225kV)
- +/- 7,5% en HTA (15 et 30kV)

➤ Niveau maximum des courants de court-circuit

Tableau 5 : Niveaux maximum des courants de court-circuit

Tension nominal (kV)	Icc Max (KA)
225	40
90	31.5
30	12.5
20	12.5

4.4 Option1 : alimentation du poste en coupure sur l'une des lignes 225kV SONGON-AKOUBE ZEUDJI

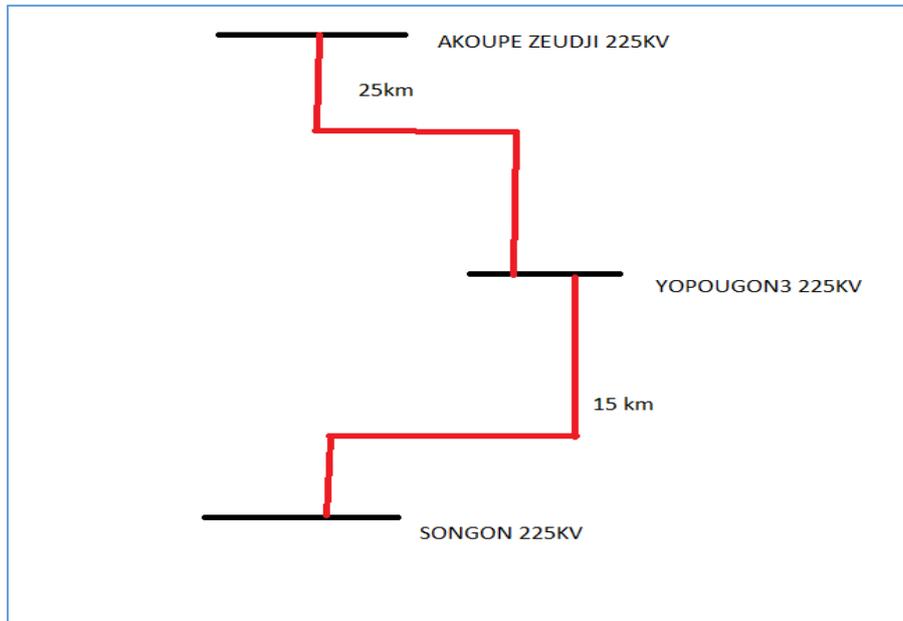


Figure 14: Schema de raccordement option SONGON-AKOUBE ZEUDJI

➤ Ecoulement de charge en situation N

Tableau 6: Résultats des simulations option 1, situation N: puissances

	Situation N avec production à SONGON			Situation N sans production à SONGON		
	charge (%)	P (MW)	Q (MVAr)	charge (%)	P (MW)	Q (MVAr)
AZITO-yop3 225kV	15	47	12	3.38	11	01
AKOUBE-yop3 225kV	1.5	04	-03	12.17	39	08
AZITO-Yop2 225kV	33.35	109	03	34.72	113	11
AZITO-Abobo 225kV	32.5	91	-55	33	95	-51
TFO 225/33kV 60MVA	26	15	4.5	26.10	15	4.5
TFO 225/20kV 50MVA	20.6	10	2.5	20.88	10	03

Tableau 7: Résultats des simulations option1, situation N: tensions

	Situation N avec production à SONGON		Situation N sans production à SONGON
	U (kV)	$\Delta U/U$ (%)	$\Delta U/U$ (%)
Yop3 225kV	225	-2.8	-2.09
AKOUBE 225kV	225	-2.67	-1.78
AZITO 225kV	225	-3.11	-1.87
Yop3 33kV	33	0.12	0.03
Yop3 20kV	20	-0.2	-0.30

➤ Analyses et commentaires

Les tableaux de résultats montrent que les taux de charge sont faibles voir très faible, notamment pour la ligne 225kV AKOUBE-Yop3 dont le taux est de 1,5% lorsqu'il y'a la production à SONGON. Les chutes de tension de la zone restent très satisfaisantes.

➤ Ecoulement de charge en situation N-1

Tableau 8: Résultats des simulations option 1, situation N-1: puissances

	Indisponibilité d'AKOUE ZEUDJI – YOP3, avec prod à SONGON			Indisponibilité d'AKOUE ZEUDJI – YOP3, sans production à SONGON			Indisponibilité d'AZITO – YOP3		
	charge (%)	P (MW)	Q (MVAr)	charge (%)	P (MW)	Q (MVAr)	charge (%)	P (MW)	Q (MVAr)
SONGON-YOP3	16	50	13	15.8	50	13			
AKOUE-YOP3							16	50	12
AZITO-YOP2	33.34	109	02	34.72	113	11	33.34	109	02
AZITO-ABOBO	32.35	91	-54	33	95	-51	32.36	91	-54
TFO 225/33kV 60MVA	26	15	4.5	26	15	4.5	26	15	4.5
TFO 225/20kV 50MVA	20.6	10	2.5	20.6	10	2.5	20.6	10	2.5

Tableau 9: Résultats des simulations option 1, situation N-1: tensions

		Indisponibilité d'AKOUE ZEUDJI – YOP3, avec production à SONGON	Indisponibilité d'AKOUE ZEUDJI – YOP3, sans prod à SONGON	Indisponibilité d'AZITO – YOP3
	U (kV)	$\Delta U/U$ (%)	$\Delta U/U$ (%)	$\Delta U/U$ (%)
Yop3 225kV	225	-2.6	-1.11	-2.2
AKOUE 225kV	225	-2.67	-2.04	-2.7
AZITO 225kV	225	-2.9	-1.47	0.31
Yop3 33kV	33	0.3	-0.30	-0.67
Yop3 20kV	20	0	-0.65	-0.35

○ Analyses et commentaires

Les résultats indiquent que l'indisponibilité de l'une des lignes 225kV ne perturbe pas la qualité d'alimentation du poste de Yop3, avec ou sans production à SONGON. En effet, les taux de charges restent faibles et le plan de tension est toujours satisfaisant.

➤ Conclusion partielle

Les résultats ci-dessus montrent que l'option de raccordement du poste de YOPOUGON3 par entrée en coupure sur l'une des lignes AKOUE-SONGON est très intéressante des points de vue contraintes thermique et plan de tension. En effet, les taux de charges sont nettement en dessous des 40% et les chutes de tensions restent proches de zéro.

5 COÛT DE CONSTRUCTION DU POSTE SOURCE 225 kV

5.1 Technologie AIS

Les éléments constitutifs du poste sont résumés dans le tableau ci-dessous :



Tableau 10: Coût des équipements AIS

Désignations	Unité	Quantité	Prix Unitaire(MFCFA)	Montant(MFCFA)
EQUIPEMENTS 225kV				2328,05
Travée ligne AIS 225kV	U	2	114	228
Travée TFO 225/HTA	U	4	80	320
Transformateurs 225/30 kV 60 MVA	U	2	465	930
Transformateurs 225/20 kV 50 MVA	U	2	365	730
Jeu de Barres 225kV	U	2	28,15	56,3
Travée Couplage 225kV	U	1	63,75	63,75
EQUIPEMENTS 30kV				714,5
TSA	U	1	10	10
Banc de condensateurs	U	2	45	90
Rame	U	2	262,5	525
RMALT	U	2	16	32
Grille HTA	U	2	10	20
Cable de raccordement TFO	ENS	1	37,5	37,5
EQUIPEMENTS 20kV				741
TSA	U	1	10	10
Banc de condensateurs	U	2	45	90
Rame	U	2	262,5	525
BPN	U	2	33	66
Grille HTA	U	2	10	20
Cable de raccordement TFO	ENS	1	30	30
CONTRÔLE COMMANDE, TELECOM				913

Armoire de protection ligne	U	2	40	80
Armoire de protection TFO	U	4	55	220
Armoire Tranche Générale	U	1	30	30
Armoire couplage 225kV	U	1	34	34
Armoire protection diff barre	U	1	60	60
Système de contrôle commande	U	1	127	127
Passerelle de communication	U	1	85	85
Armoire de comptage	U	2	16	32
Terminaux Fibre Optique	U	1	57	57
Système de gardiennage	U	1	25	25
Autocommutateur + 4 postes	U	1	27	27
Service auxiliaire	U	1	35	35
Atelier d'énergie	U	1	101	101
DIVERS				2949,25
Coût d'acquisition du terrain	m2	15 000	0,03	450
Coût construction civil	ENS	1	2499,25	2499,25
TOTAL POSTE AIS 225/HTA				7645,8

5.2 Technologie GIS

Le tableau ci-dessous mentionne les coûts unitaires des différents équipements en technologie GIS, il est important de signifier que ces différents équipements sont montés en bloc ce qui fait la particularité du GIS.

Les coûts totaux obtenus sont hors taxe, hors douane.

Tableau 11: Coût des équipements GIS

Désignations	Unité	Quantité	Prix Unitaire(MFCFA)	Montant(MFCFA)
EQUIPEMENTS 225kV				3802,56
Equipement Travée GIS 225kV	U	1	688,8	688,8
Transformateurs 225/30 kV 60 MVA	U	2	465	930
Transformateurs 225/20 kV 50 MVA	U	2	365	730
Couplage GIS 225kV	U	2	726,88	1453,76
EQUIPEMENTS 30kV				714,5
TSA	U	1	10	10
Banc de condensateurs	U	2	45	90
Rame	U	2	262,5	525
RMALT	U	2	16	32
Grille HTA	U	2	10	20
Cable de raccordement TFO	ENS	1	37,5	37,5
EQUIPEMENTS 20kV				741
TSA	U	1	10	10
Banc de condensateurs	U	2	45	90
Rame	U	2	262,5	525
BPN	U	2	33	66
Grille HTA	U	2	10	20
Cable de raccordement TFO	ENS	1	30	30
CONTRÔLE COMMANDE, TELECOM				913
Armoire de protection ligne	U	2	40	80
Armoire de protection TFO	U	4	55	220

Armoire Tranche Générale	U	1	30	30
Armoire couplage 225kV	U	1	34	34
Armoire protection diff barre	U	1	60	60
Système de contrôle commande	U	1	127	127
Passerelle de communication	U	1	85	85
Armoire de comptage	U	2	16	32
Terminaux Fibre Optique	U	1	57	57
Système de gardiennage	U	1	25	25
Autocommutateur + 4 postes téléphoniques	U	1	27	27
Service auxiliaire	U	1	35	35
Atelier d'énergie	U	1	101	101
DIVERS				1711,25
Coût d'acquisition du terrain	m2	3000	0,03	90
Coût construction civil	ENS	1	1621,25	1621,25
TOTAL POSTE GIS 225/HTA				7882,31

➤ Conclusion partielle 2 :

Au terme de notre étude technique nous retenons que la construction du poste source 225 kV de Yop3 en technologie AIS est moins cher qu'en GIS. Cependant pour un souci d'acquisition d'espace et d'impact environnemental il serait plus judicieux de construire ce poste en technologie GIS.

L'analyse économique viendra conforter ou non le choix de construire ce poste en technologie GIS.



CHAPITRE 4 : ETUDE ECONOMIQUE



1 ANALYSE ECONOMIQUE

1.1 Méthodologie

L'objectif est de déterminer et d'évaluer la rentabilité du projet pour la collectivité en se basant sur des avantages quantifiables. Elle est fondée sur une Analyse Avantage-Coût (AAC) qui compare la somme des valeurs économiques actualisées de l'ensemble des avantages, d'une part, et des coûts, d'autre part, du projet sur un horizon, fonction de la durée de vie économique du projet.

1.2 Paramètres économiques

1.2.1 Durée économique du projet

L'horizon d'analyse du projet correspond à la durée de vie moyenne du projet. A CI-ENERGIES, les projets de développement sont réalisés en général sur une période 20 ans. Pour notre étude, elle s'étendra sur la période **2019-2039**.

1.2.2 Coût de l'investissement

Le coût total de l'investissement comprend les prix de chaque équipement selon la technologie utilisée. Ce coût est fonction de la capacité de poste étudié. Le coût total du projet pour chaque technologie a été donné au chapitre précédent.

1.2.3 Taux d'actualisation

Le taux d'actualisation utilisé à des fins de rentabilité économique dans cette analyse est un indicateur macro-économique unique d'intérêt général, fixé par le Ministère du Plan, qui s'applique de manière uniforme à tous les projets d'investissement publics. Le taux, généralement utilisé pour les projets de développement en Côte d'Ivoire est de 10% et une sensibilité est faite à plus ou moins deux cents points de base (± 200 PDB).

1.2.4 Valeur économique de l'Energie électrique

La valeur normative de l'END réside dans la moyenne pondérée des coûts d'END pour différents types de consommateurs, dans divers secteurs, à différentes périodes, et pour des durées variées. Ainsi, le coût économique pour la Collectivité d'un kWh non distribuée est évalué à **500 FCFA/kWh**. Ce montant comprend le manque à gagner des commerces et des industries non desservies, les revenus non gagnés par le secteur électrique et la valeur des

inconvénients causés aux clients domestiques par la non disponibilité de l'énergie électrique. Cette valeur sera utilisée dans le cadre de cette étude.

L'énergie non desservie pour l'ensemble des 48 postes sources de la Côte d'Ivoire, à fin 2017 est évaluée à 6 593,6 MWh. Nous avons supposé dans le cadre de notre rapport de stage que l'END moyen pour chaque poste est d'environ 137,4 MWh.

1.2.5 Coût d'exploitation

Les charges d'exploitation annuelles, c'est-à-dire les coûts d'exploitation incluant les coûts d'exploitation et d'entretien récurrents sont compris entre 1% et 5% du coût d'investissement. Pour la technologie AIS, nous avons évalué ces coûts à 5% et pour la technologie GIS à 3% des coûts totaux.

1.2.6 Taux de fiabilité

La fiabilité se mesure par la performance d'un poste en fonction de la technologie utilisée. Les postes sources blindés réduisent au maximum les interruptions dues à son non fonctionnement par rapport aux AIS. Ainsi dans le cadre de notre étude, l'hypothèse selon laquelle nous avons établi ce paramètre fiabilité est que les postes GIS assure au minimum la transmission de 30% des pertes électrique enregistrées par les postes AIS.

1.3 Indicateurs de rentabilité

1.3.1 Valeur Actuelle Nette (VAN)

La valeur actuelle nette d'un projet correspond au bilan de la somme de ses avantages actualisés moins la somme de ses coûts actualisés. Elle se calcule selon la formule suivante :

$$VAN = \sum_{i=1}^T \frac{Avantages\ t}{(1 + \rho)^t} - \sum_{i=1}^T \frac{Coût\ t}{(1 + \rho)^t}$$

Où ρ est le taux d'actualisation et T est la durée de la période d'analyse.

1.3.2 Rapport avantages-coûts (RA/C)

Le rapport avantages-coûts d'un projet correspond au ratio de la somme de ses avantages actualisés sur la somme de ses coûts actualisés. Il se calcule selon la formule suivante :

$$RA/C = \sum_{i=1}^T \frac{Avantages\ t}{(1 + \rho)^t} / \sum_{i=1}^T \frac{Coût\ t}{(1 + \rho)^t}$$

Où ρ est le taux d'actualisation et T est la durée de la période d'analyse.

1.3.3 Taux de rendement interne économique (TRIE)

Le taux de rendement interne représente quant à lui le taux d'actualisation pour lequel les avantages actualisés du projet égalent ses coûts actualisés. Il se calcule selon la formule suivante:

$$\text{TRIE: } \sum_{t=1}^T \frac{\text{Avantages } t}{(1 + \rho)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{\text{Coût } t}{(1 + \rho)^t}$$

Où ρ est le taux d'actualisation. La comparaison du TRIE s'opère avec le taux d'actualisation. Si le TRIE est supérieur au taux d'actualisation, alors le projet est jugé rentable.

1.3.4 Retour sur investissement (RSI)

C'est le nombre d'années à partir duquel le bénéfice économique cumulé du projet devient positif.

2 Résultats de l'analyse économique sur la période 2019-2039

2.1 Indicateurs de rentabilité

Les résultats de l'analyse économique sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 12: Résultats de l'analyse économique

Indicateurs de rentabilité	Capacité 225 kV	Contraintes à respecter
TRIE (%)	50,44%	> 10%
R A/C (u)	4,1	> 1
VAN (M FCFA)	742	> 0
RSI (Ans)	2	< 10

Les résultats des indicateurs montrent que le projet d'intégration des postes blindés 225 kV est économiquement viable sur la période 2019-2039. Les paramètres sont joints en *annexe 4* et le tableau d'analyse économique est détaillé en *Annexe 6*.



2.2 Tests de sensibilité

Des tests de sensibilité ont été réalisés sur les paramètres de base du projet à savoir : i) le taux de fiabilité ; ii) le coût de l'END et iii) le taux d'actualisation. Une variation de $\pm 10\%$ a été adoptée. On constate que toutes les contraintes sont respectées face aux variations des paramètres de base. Les résultats sont en *Annexe 7*.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CI-ENERGIES, dans le souci de satisfaire la demande nationale en électricité, a souhaité avoir l'étude de faisabilité d'intégration des postes blindés dans le réseau électrique ivoirien. L'étude menée a permis de statuer sur le futur poste sources 225 kV de Yop3 et les estimations des coûts d'investissement ont été évaluées selon les deux technologies de postes existants:

- Technologies GIS 225 kV/HTA, le coût d'investissement s'élève à **7 882 millions FCFA** ;
- Technologie AIS 225 kV /HTA, le coût d'investissement s'élève à **7 664 millions FCFA** ;

Certes, l'ingénierie électrique avancée des postes à haute tension du GIS nécessite un investissement initial un peu plus important, il est à noter que leur technologie scellée réduit les coûts d'installation et de maintenance, ce qui explique l'opportunité que nous avons d'introduire ces postes blindés dans notre réseau électrique.

De plus, l'analyse économique a prouvé la viabilité de ce projet d'intégration des postes types blindés.

A l'issue de cette étude, il convient de retenir que les postes blindés sont une solution aux problèmes d'espaces, problèmes d'ordre techniques et ceux d'ordre environnementaux car le GIS résistent beaucoup plus aux contraintes environnementales. Ainsi nous proposons cette alternative pour le renforcement de notre réseau électrique et le bien-être de la population ivoirienne. Bien évidemment l'intégration du GIS contribuera à faire de la Côte d'Ivoire le hub énergétique de la sous-région.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] CI-ENERGIES, *Plan Directeur Production Transport*, Juin 2015
- [2] Andreas Kuechler, *Hochspannungstechnik, Grundlagen, Technologie, Anwendungen*, [3]
- [3] Berlin, Springer, 2005 ([ISBN 3-540-21411-9](#), [lire en ligne](#)), p. 431
- [4] Groupe de travail B3.17, *GIS state of the art 2008*, vol. 381, CIGRÉ, coll. « brochure », juin 2009 ([ISBN 978-2-85873-068-1](#))
- [5] Groupe de travail D1.03, *Gas insulated system for HVDC: DC Stress at DC and AC Systems*, vol. 506, CIGRÉ, coll. « brochure », août 2012 ([ISBN 978-2-85873-198-5](#))
- [6] Jean-Pierre TAILLEBOIS, *Postes sous enveloppe métallique (PSEM)*, vol. D4590, Techniques de l'ingénieur, février 2001
- [7] M.S. Naidu, *Gas Insulated Substation*, New Delhi, I.K. International, 2008 ([ISBN 978-81-90694-29-2](#), [lire en ligne](#))
- [8] collectif, John D. McDonald (Editor), *Electric Power Substations Engineering, Second Edition*, CRC Press, 2007 ([ISBN 0-8493-7383-2](#))
- [9] Cour de Transformateur 2iE, Bapio BAYALA.



WEBOGRAPHIE

- [10] <http://www.rte-france.com/fr/article/recevoir-transformer-et-repartir-l-energie-electrique> consulté le 22 mars 2018.
- [11] http://www2.schneider-electric.com/documents/technical_publications/fr/shared/electrotechnique/articles-techniques/moyenne-tension/Switchgear_prefabricated_substation_MATPOST_07.pdf, consulté le 03 avril 2018.
- [12] www.es-reseaux.fr, *Postes à haute tension*, consulté le 05-avril 2018.
- [13] https://www.gegridsolutions.com/HVMV_Equipment/catalog/b65.htm, consulté le 15-avril 2018.



ANNEXES

Annexe 1 : Carte du réseau de transport

Annexe 2 : Puissance installée

Annexe 3 : Schéma du poste de YOPOUGON3

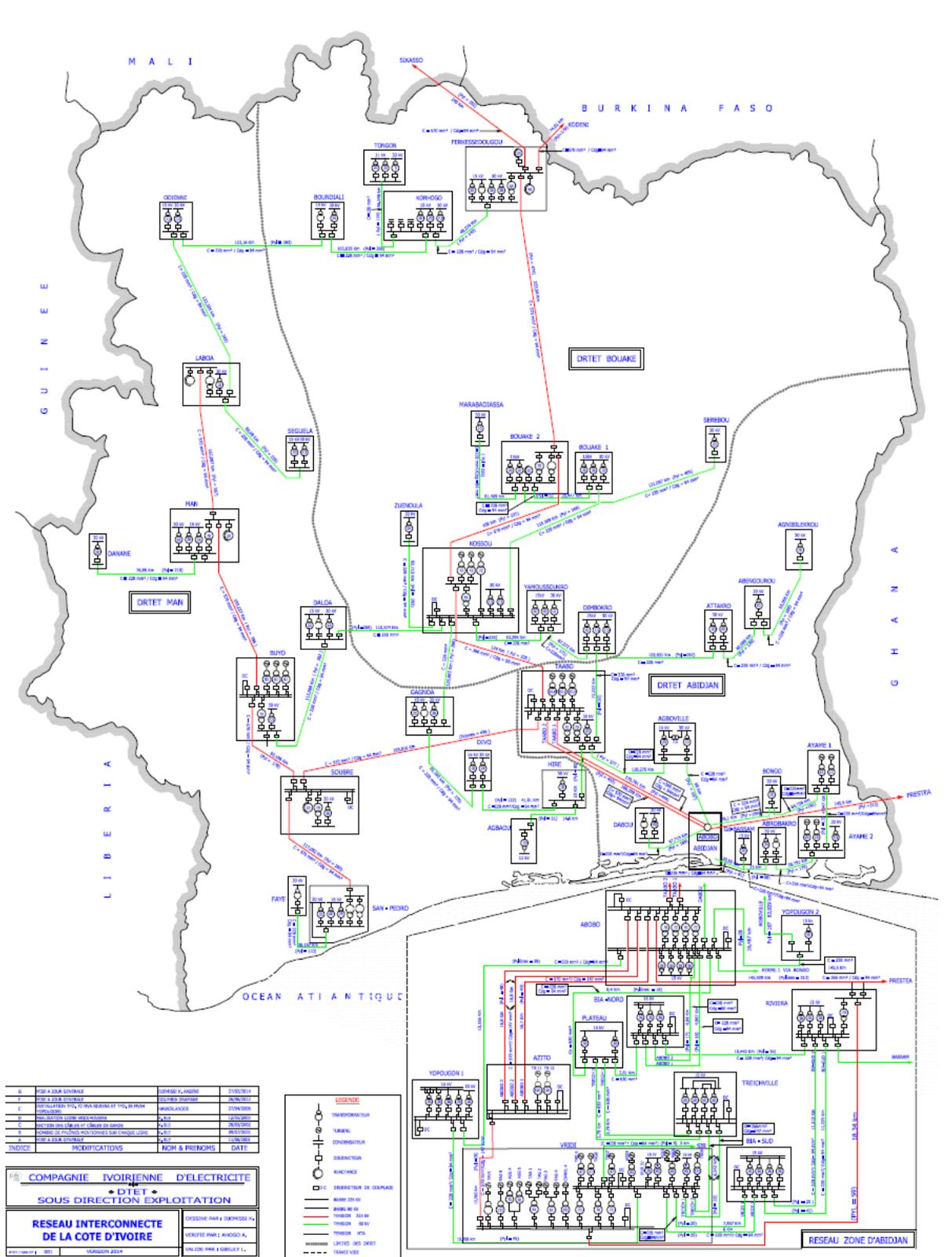
Annexe 4 : Estimation des coûts d'investissement

Annexe 5 : Paramètres d'analyse économique

Annexe 6 : Analyse économique poste 225 kV / HTA

Annexe 7: Tests de sensibilité de l'analyse économique poste 225 kV / HTA

Annexe 1 : Carte du réseau de transport



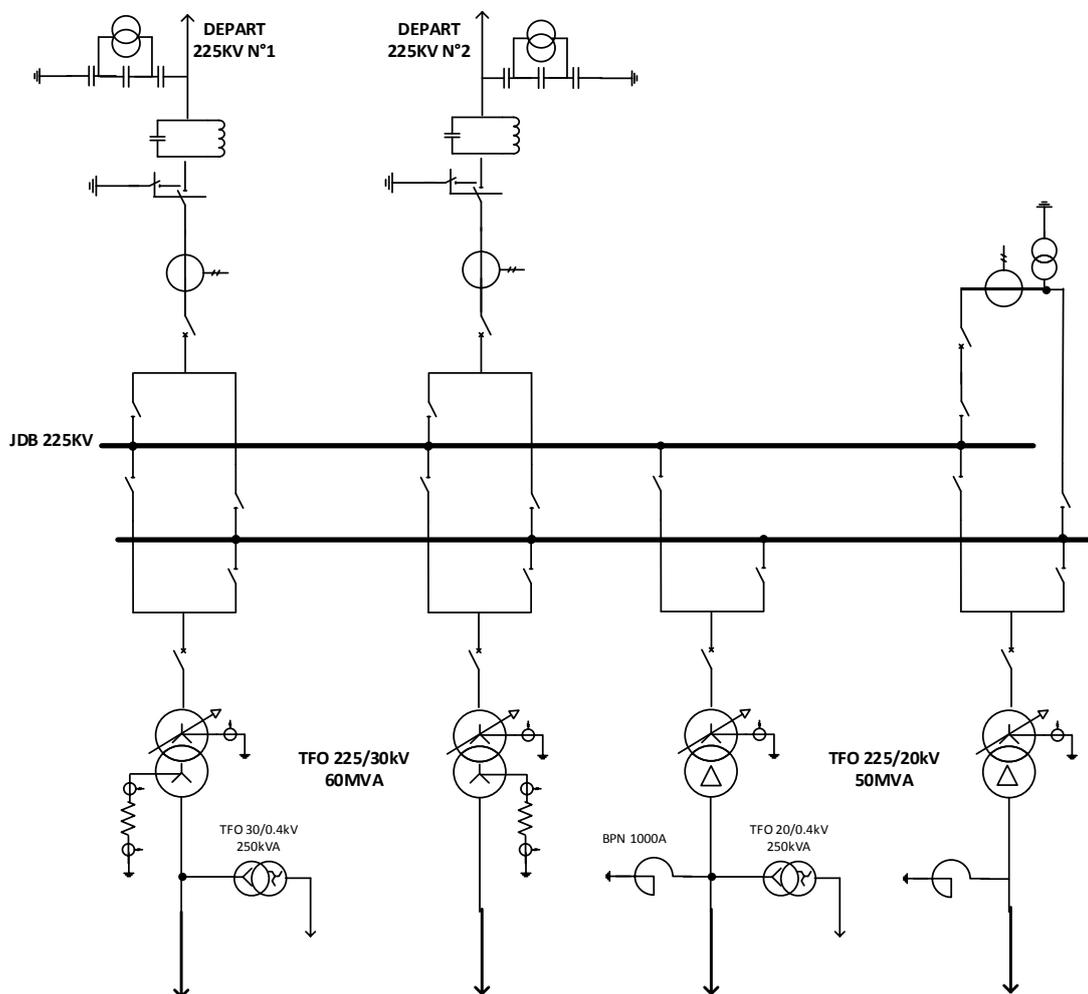
Annexe 2 : Puissance installée

PARC DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE DE LA COTE D'IVOIRE

PUISSANCES INSTALLEES A FIN 2015

CENTRALES		Puissance Installée (MW)	Année de mise en service
AYAME 1	G1	10	1959
	G2	10	1959
	<i>sous-total AYAME</i>	20	
AYAME 2	G3	15	1965
	G4	15	1965
	<i>sous-total AYAME</i>	30	
TAABO	G1	70	1979
	G2	70	1979
	G3	70	1979
	<i>sous-total TAABO</i>	210	
KOSSOU	G1	58	1972
	G2	58	1972
	G3	58	1972
	<i>sous-total KOSSOU</i>	174	
BUYO	G1	55	1980
	G2	55	1980
	G3	55	1980
	<i>sous-total BUYO</i>	165	
FAYE	G1	2,5	1984
	G2	2,5	1984
	<i>sous-total FAYE</i>	5	
TOTAL HYDRAULIQUE		604	
VRIDI 1 gaz	TAG1	25	1984
	TAG2	25	1984
	TAG3	25	1984
	TAG4	25	1984
	<i>sous-total VRIDI1</i>	100	
VRIDI 2 gaz (CIPREL)	TAG5	34	1995
	TAG6	34	1995
	TAG7	37	1995
	TAG8	115	1997
	TAG9	115	2010
	TAG10	115	2014
	TAV1	119	2015
<i>sous-total CIPREL</i>	569		
AGGREKO	TRANCHE 1	41	2010
	TRANCHE 2	33	2010
	TRANCHE 3	37	2012
	TRANCHE 4	47	2013
	TRANCHE 5	52	2013
	<i>sous-total AGGREKO</i>	210	
AZITO	TG1	148	1999
	TG2	148	2000
	TG3	145	2014
	<i>sous-total AZITO</i>	441	
<i>Achats auto producteur</i>			
TOTAL THERMIQUE		1 320	
TOTAL GENERAL		1 924	

Annexe 3 : Schéma du poste de YOPOUGON3



Annexe 4 : Estimation des coûts d'investissement

PARTIE HTB							
	Tension (kV)	Capacité (MVA)	Coût unitaire (MFCFA)		Coût unitaire (MFCFA)		
Transformateur	330/225	200	1239,84	MFCFA	1771,2	MFCFA	
Ligne simple terre	330 kV	1000	133,14	MFCFA/km	190,2	MFCFA/km	
Équipement Travée AIS	330 kV		780,64	MFCFA	1115,2	MFCFA	
Équipement Travée GIS	330 kV		1300,88	MFCFA	1858,4	MFCFA	
Couplage AIS	330 kV		826,56	MFCFA	1180,8	MFCFA	
Couplage GIS	330 kV		1817,48	MFCFA	2596,4	MFCFA	
Ouverture de chantier	330 kV		1561,28	MFCFA	2230,4	MFCFA	
Transformateur	225/90	70	568,47	MFCFA	812,1	MFCFA	
Transformateur	225/90	100	637,35	MFCFA	910,5	MFCFA	
Transformateur	225/90	120	740,67	MFCFA	1058,1	MFCFA	
Transformateur	225/33	60	465,15	MFCFA	664,5	MFCFA	
Transformateur	225/15	50	361,83	MFCFA	516,9	MFCFA	
Ligne simple terre	225 kV	327	87,22	MFCFA/km	124,6	MFCFA/km	
Ligne double terre	225 kV	2 x 327	124,88	MFCFA/km	178,4	MFCFA/km	
Équipement Travée AIS	225 kV		413,28	MFCFA	590,4	MFCFA	
Équipement Travée GIS	225 kV		688,8	MFCFA	984	MFCFA	
Couplage AIS	225 kV		436,24	MFCFA	623,2	MFCFA	
Couplage GIS	225 kV		726,88	MFCFA	1038,4	MFCFA	
Ouverture de chantier	225 kV		1377,6	MFCFA	1968	MFCFA	
Transformateur	90/33	10	189,63	MFCFA	270,9	MFCFA	
Transformateur	90/33	20	231	MFCFA	330	MFCFA	
Transformateur	90/33	36	265,44	MFCFA	379,2	MFCFA	
Transformateur	90/33	50	299,88	MFCFA	428,4	MFCFA	
Transformateur	90/15	10	182,77	MFCFA	261,1	MFCFA	
Transformateur	90/15	20	224,07	MFCFA	320,1	MFCFA	
Transformateur	90/15	36	258,51	MFCFA	369,3	MFCFA	
Transformateur	90/15	50	292,95	MFCFA	418,5	MFCFA	
Ligne simple terre	90 kV	74	69,79	MFCFA/km	99,7	MFCFA/km	
Ligne double terre	90 kV	2 x 74	99,68	MFCFA/km	142,4	MFCFA/km	
Équipement Travée AIS	90 kV		275,52	MFCFA	393,6	MFCFA	
Équipement Travée GIS	90 kV		459,2	MFCFA	656	MFCFA	
Couplage AIS	90 kV		298,48	MFCFA	426,4	MFCFA	
Couplage GIS	90 kV		497,28	MFCFA	710,4	MFCFA	
Ouverture de chantier	90 kV		826,56	MFCFA	1180,8	MFCFA	
SVC	225 kV		45,92	MFCFA/MVAR	65,6	MFCFA/MVAR	
Condensateurs	33 kV		5,53	MFCFA/MVAR	7,9	MFCFA/MVAR	
Condensateurs	15 kV		5,53	MFCFA/MVAR	7,9	MFCFA/MVAR	
Transformateur	330/225	200	1239,7	MFCFA	1771	MFCFA	
Transformateur	400/225	200	1423,52	MFCFA	2033,6	MFCFA	
Ligne simple terre	400 kV	1400	160,72	MFCFA/km	229,6	MFCFA/km	
Équipement Travée AIS	400 kV		975,8	MFCFA	1394	MFCFA	
Équipement Travée GIS	400 kV		1626,0272	MFCFA	2322,9	MFCFA	
Couplage AIS	400 kV		1033,2	MFCFA	1476	MFCFA	
Couplage GIS	400 kV		2272,1216	MFCFA	3245,9	MFCFA	
Ouverture de chantier	400 kV		1653,12	MFCFA	2361,6	MFCFA	
Condensateurs	90 kV		16,59	MFCFA/MVAR	7,9	MFCFA/MVAR	
Condensateurs	225 kV		38,71	MFCFA/MVAR	7,9	MFCFA/MVAR	
Jeux de Barre 90 kV			120				
Pièce obligatoire de rechange et Outillages spéciaux			200				
Contrôle Commande Numérique			200				
Armoire de protection et Contrôle Commande			60				
Équipements télécom (CPL-Multiplexeur-Autocom)			400				
Équipements de protection			25				
Ouvrages métalliques divers			25				
Câble OPGW Centrale-Poste 90 kV			8				
Jeux de Barre 225 kV			120				

Annexe 5 : Paramètres d'analyse économique

n°	DESIGNATION	CAPACITE 225 kV/HTA	UNITE	OBSERVATION
1	Date de référence	2019		
2	Charges d'exploitation et de maintenance	3,0%	%	1% à 5%
3	Investissement	7 882	Millions Fcfa	
4	Valeur de l'énergie non déservie (END)	41	MWh	
5	Taux de croissance moyen de l'END	3%	%	
6	Valeur de l'énergie non déservie (END)	500	FCFA/kWh	
7	Taux de Fiabilité GIS	30%		
8	Taux d'actualisation	10%	%	

Annexe 6 : Analyse économique poste 225 kV

ANALYSE ECONOMIQUE: GAMME 225KV																								
n°	DESIGNATION	Valeur	Unité	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.	SURCÔÛ INVESTISSEMENT		MFCFA	-236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1	Poste AIS	7 646	MFCFA	7 646																				
1.2	Poste GIS	7 882	MFCFA	7 882																				
2.	COÛT O&M		MFCFA	0	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146
2.1	Poste AIS	5,0%			382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382
2.2	Poste GIS	3,0%			236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236
3	ENERGIES NON DISTRIBUEES (END)		MWh																					
3.1	Poste AIS		MWh		46	47	49	50	52	53	55	56	58	60	62	63	65	67	69	71	73	76	78	80
3.2	Poste GIS	70,0%	MWh		96	99	102	105	108	111	115	118	122	125	129	133	137	141	145	150	154	159	164	169
4	AMELIORATION DU TAUX DE FIABILITE		MFCFA		-25	-26	-27	-28	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-42	-43	-44
4.1	Poste AIS	500	MFCFA		23	24	24	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
4.2	Poste GIS	500	MFCFA		48	50	51	53	54	56	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	82	84
5.	BENEFICES ECONOMIQUES		MFCFA	-236	121	120	119	118	117	117	116	115	114	113	112	111	110	109	108	107	105	104	103	102
5.1	Coût d'investissement		MFCFA	-236	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.2	Coût O&M		MFCFA	0	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146
5.3	Amélioration du taux de Fiabilité		MFCFA	0	-25	-26	-27	-28	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-42	-43	-44
6	INDICATEURS DE RENTABILITE																							
6.1	Taux de Rentabilité Interne Economique (TRIE)	50,44%	%	-236	121	120	119	118	117	117	116	115	114	113	112	111	110	109	108	107	105	104	103	102
6.2	Ratio: Bénéfices Actualisés/Coûts actualisés	4,15	u																					
6.3	Valeur Actuelle Nette	742	MFCFA																					
6.4	Délai de Retour	2	ans	-236	-115	5	124	242	359	476	592	707	821	934	1 046	1 157	1 267	1 375	1 483	1 590	1 695	1 799	1 902	2 004

Annexe 7 : Tests de sensibilité de l'analyse économique poste 225 kV / HTA

TEST DE SENSIBILITE 225 HTA										
Item	Critère	Variation du taux de fiabilité			Taux d'actualisation			Coût de l'END		
		60%	70%	80%	8%	10%	12%	450	500	550
TRIE (%)	>10%	53,6%	50,4%	47,3%	50,4%	50,4%	50,4%	51,6%	50,4%	49,3%
RAC	>1	4,450	4,146	3,842	4,760	4,146	3,652	4,257	4,146	4,034
VAN (MFCA)	>0	814	742	671	887	742	626	769	742	716
DR (ans)	<10	2	2	3	2	2	2	2	2	3