

ÉTUDE DE L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DE L'AÉROPORT DE DON SIN

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE
OPTION : Électricité

Présenté et soutenu publiquement le 27/10/2015 par
Farid BOCOUM

Travaux dirigés par : Moussa Kadri SANI
Assistant d'Enseignement
Département GEEI, 2iE

Maitre de mémoire : Roger OUEDRAOGO
Chef de Service Etudes Electriques
SONABEL

Jury d'évaluation du stage :

Président : Justin BASSOLÉ

Membres et correcteurs : Moussa Kadri SANI
Jacques KONANE

Promotion 2014/2015

REMERCIEMENTS

L'étude de notre thème de fin de cycle n'aurait pu aboutir sans le concours précieux et multiforme d'un certain nombre de personnes. Qu'il me soit donc permis de traduire toute ma gratitude à tous ceux qui ont participé d'une manière ou d'une autre à la réalisation des travaux de ce mémoire de fin d'cycle. Je voudrais nommément dire merci à :

- ❖ Monsieur Moussa Kadri SANI, Assistant d'Enseignement au 2iE*
- ❖ Monsieur Abdoulaye SAWADOGO, Chef du DIPI, SONABEL*
- ❖ Monsieur Roger OUÉDRAOGO, Chef de Service Etudes Electriques au DIPI, SONABEL*
- ❖ Monsieur Oger DIPAMA, Chargé d'Études au DIPI, SONABEL*
- ❖ Monsieur Saidou NANA, Chargé d'Études au DIPI, SONABEL*

RESUME

Ouagadougou est dotée d'un aéroport international situé en plein centre-ville. Une implantation source de nuisances et qui pose des problèmes de sécurité. Elle limite également les possibilités d'extension pour l'aérogare, qui ne pourra plus faire face au trafic prévu dans les années à venir. Le gouvernement du Burkina Faso a décidé de construire un nouvel aéroport à Donsin. L'étude a porté sur l'alimentation électrique du site aéroportuaire à partir du réseau électrique national. Pour cela, plusieurs possibilités s'offraient à savoir le raccordement à partir des postes électriques de Zagtouli, Ouaga 1, Ouaga 2 et Kossodo. D'abord, des simulations électriques ont été menées en utilisant le logiciel Neplan afin de savoir dans un premier temps lesquels de ces raccordements respectent les critères électriques imposés par le réseau. Les raccordements retenus ont été ensuite analysés et comparés selon des contraintes techniques, économiques et environnementales. Il en est ressortit que l'option d'alimentation par Kossodo est la plus avantageuse à travers une ligne d'alimentation principale aérienne 90 kV et une ligne secours souterraine en 33 kV. Un tracé de la ligne Kossodo-Donsin a été réalisé ainsi qu'une description des travaux à réaliser pour l'ensemble du projet d'alimentation électrique de l'aéroport.

Mots clés :

1. Donsin
2. Alimentation
3. Simulations
4. Neplan
5. Kossodo

ABSTRACT

Ouagadougou is endowed with an international airport located in downtown. This location is a source of harmfulness and causes insecurity. It also reduces the possibilities of expanding the terminal, which will not meet the demand for the coming years. Therefore, the government of Burkina Faso decided to build a new airport in Donsin. This research is based on the electrical supply of the site from the national electricity network. Furthermore, many possibilities are available, such as the connection from the electrical sites of Zagtoui, Ouaga 1, Ouaga 2 and Kossodo. First of all, electrical simulations have been carried out through the Neplan software in order to know which of the connections is appropriate for the electricity's criteria imposed by the network. The connections chosen have then been analyzed and compared according to the technical, economical and environmental constraints. It is found that the option of supplying through Kossodo is the more advantageous through a principal aerial supply line of 90 kV and a rescue underground line of 33 kV. A tracing line between Kossodo-Donsin has been done; also a description of the realization of the overall electrical connection project of the airport is been done.

Key Words:

1. Donsin
2. Supply
3. Simulations
4. Neplan
5. Kossodo

LISTE DES ABBREVIATIONS

A :	Ampère
BTB :	Basse Tension catégorie B
BTA :	Basse Tension catégorie A
C :	Capacité linéique
CPL :	Courant Porteur en Ligne
CRCO :	Centre Régional de Consommation de Ouagadougou
G :	Conductance
HTA :	Haute Tension catégorie A
HTB :	Haute Tension catégorie B
I :	Intensité du courant
kVA :	Kilo Volt Ampère
kWh :	Kilo Watt heure
km :	Kilomètre
kV :	Kilo Volt
L :	Longueur de la ligne
L :	Inductance
m :	Mètre
mm² :	Millimètre carré
MOAD :	Maitrise d'Ouvrage de l'Aéroport de Donsin
MVA :	Méga Volt Ampère
MVA_r :	Méga Volt Ampère réactif
MW :	MégaWatt
NFC33-223 :	Norme Française pour les câbles souterrains de distribution publique
R :	Résistance
RGIE :	Règlement général des Installations Électriques
RN :	Route Nationale
RNI :	Réseau National Interconnecté
RTU :	Remote Terminal Unit (Unité Terminale Distante)
SONABEL :	Société Nationale Burkinabé d'Électricité
TBT :	Très Basse Tension
TSA :	Transformateur Service Auxiliaires
U :	Tension entre phases

V :	Volt
V :	Tension simple
Vcc :	Volt courant continu
VA :	Volt Ampère, unité de puissance apparente S
Var :	Volt Ampère réactif, unité de puissance réactive Q
W :	Watt, unité de puissance active
Wh :	Watt heure, unité d'énergie

Sommaire

REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
CHAPITRE I : INTRODUCTION	1
1.1 Contexte général.....	1
1.2 Contexte d'étude	1
1.3 Objectif général	2
1.4 Objectifs spécifiques.....	2
CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET PRESENTATION DU THEME	3
2.1 Présentation de la SONABEL	3
2.2 Présentation du thème	5
CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES ET CAS DU BURKINA	6
3.1 Généralités réseaux électriques	6
3.1.1 Structure d'un système production-transport-distribution.....	6
3.1.2 Les réseaux d'énergie électrique.....	6
3.1.3 Les lignes	10
3.2.1 Conditions de qualité et fiabilité d'un réseau électrique	11
3.2 Réseau électrique du Burkina Faso.....	12
CHAPITRE IV : SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET BESOINS EN ENERGIE ELECTRIQUE	14
4.1 Situation Géographique du site et accessibilité	14
4.2 Besoins en puissance électrique.....	15
CHAPITRE V : METHODOLOGIE	16
5.1 Analyse des possibilités de raccordement	16
5.1.1 Poste électrique de Zagtouli.....	16
5.1.2 Poste électrique de Ouaga 2	17
5.1.3 Poste électrique de Ouaga 1	17
5.1.4 Poste électrique de Kossodo.....	18
5.2 Etude technique	19
5.2.1 Simulations électriques avec Neplan : fonctionnement du logiciel et hypothèses de calcul.....	19
5.3 Méthode de comparaison des différentes possibilités.....	23
5.3.1 Contraintes techniques	24
5.3.2 Contraintes environnementales.....	24
5.3.3 Contraintes économiques	24
CHAPITRE VI : PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS ET COMPARAISON DES RACCORDEMENTS	25
6.1 Résultats obtenus après simulation	25
6.1.1 Option Zagtouli-Donsin	25
6.1.2 Option Ouaga 1- Donsin.....	26
6.1.3 Option Ouaga 2- Donsin.....	28
6.1.4 Option Kossodo- Donsin.....	31

6.2 Comparaison des différentes options	38
6.2.1 Option Zagtouli-Donsin	38
6.2.2 Option Ouaga 2-Donsin.....	39
6.2.3 Option Kossodo-Donsin 33 kV souterrain.....	40
6.2.4 Option Kossodo-Donsin 90 kV.....	40
6.3 Conclusion.....	41
CHAPITRE VII : TRACE PROPOSE ET CONSISTANCE DES OUVRAGES.....	42
7.1 Coordonnées des points du tracé	42
7.2 Consistance des ouvrages.....	43
7.2.1 Extension du poste 90 kV de Kossodo	43
7.2.2 Construction des lignes 90 et 33 kV	44
7.2.3 Construction et équipement du poste 90/33 kV de l'aéroport.....	47
7.2.4 Construction du mini réseau 33 kV de l'aéroport.....	50
7.3 Estimation du coût des Ouvrages	51
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	52
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	53
<u>ANNEXES</u>	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification des réseaux en fonction de la tension (RGIE)	7
Tableau 2: Contraintes techniques.....	24
Tableau 3: Contraintes environnementales.....	24
Tableau 4: Contraintes économiques.....	24
Tableau 5: Résultats sur la liaison 90 kV Zagtouli-Donsin	25
Tableau 6: Résultats aux nœuds pour l'option Zagtouli-Donsin	25
Tableau 7: Résultats sur la liaison 33 kV Ouaga 1-Donsin.....	26
Tableau 8: Résultats aux nœuds pour l'option Ouaga1-Donsin.....	27
Tableau 9: Résultats sur la liaison 33 kV Ouaga 2-Donsin.....	28
Tableau 10: Résultats aux nœuds pour l'option Ouaga 2-Donsin	29
Tableau 11: Résultats sur la liaison 90 kV Ouaga 2-Donsin	30
Tableau 12: Résultats aux nœuds pour l'option 90 kV Ouaga 2-Donsin.....	30
Tableau 13: Résultats sur la liaison aérienne 33 kV Kossodo-Donsin.....	31
Tableau 14: Résultats aux nœuds pour l'option aérienne 33 kV Kossodo-Donsin.....	32
Tableau 15: Résultats sur la liaison souterraine 33 kV Kossodo-Donsin.....	33
Tableau 16: Résultats aux nœuds pour l'option souterraine 33 kV Kossodo-Donsin.....	33
Tableau 17: Résultats après compensation, sur la liaison souterraine 33 kV Kossodo-Donsin	34
Tableau 18: Résultats sur la liaison aérienne 90 kV Kossodo-Donsin.....	35
Tableau 19: Résultats aux nœuds pour l'option aérienne 90 kV Kossodo-Donsin.....	35
Tableau 20: Résultat après compensation au nœud 33 kV de Donsin pour l'option aérienne 90 kV Kossodo-Donsin	36
Tableau 21: Contraintes techniques ligne 90 kV aérienne Zagtouli-Donsin.....	38
Tableau 22: Contraintes environnementales ligne 90 kV aérienne Zagtouli-Donsin.....	38
Tableau 23: Contraintes économiques ligne 90 kV aérienne Zagtouli-Donsin.....	39
Tableau 24: Contraintes techniques ligne 90 kV souterraine Ouaga 2-Donsin.....	39
Tableau 25: Contraintes environnementales ligne 90 kV souterraine Ouaga 2-Donsin.....	39
Tableau 26: Contraintes économiques ligne 90 kV souterraine Ouaga 2-Donsin.....	39
Tableau 27: Contraintes techniques ligne 33 kV souterraine Kossodo-Donsin.....	40
Tableau 28: Contraintes environnementales ligne 33 kV souterraine Kossodo-Donsin	40
Tableau 29: Contraintes économiques ligne 33 kV souterraine Kossodo-Donsin	40
Tableau 30: Contraintes techniques ligne 90 kV aérienne Kossodo-Donsin	41
Tableau 31: Contraintes environnementales ligne 90 kV aérienne Kossodo-Donsin	41
Tableau 32: Contraintes économiques ligne 90 kV aérienne Kossodo-Donsin	41
Tableau 33: Coordonnées cartésiennes de la ligne proposée.....	42
Tableau 34: Devis financier du projet.....	51

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Exemple de réseaux : Radial et en Boucle ouverte.....	9
Figure 2: Exemple réseau maillé.....	10
Figure 3: Modélisation d'une ligne électrique : phénomène de superposition.....	10
Figure 4: Carte électrique du CRCO	14
Figure 5: Situation actuelle du réseau 15 kV	18
Figure 6: Possibilités de raccordement	19
Figure 7: Exemple d'un réseau unifilaire.....	20
Figure 8: Calcul de répartition de puissance	22
Figure 9: Résultats du calcul de répartition de puissances sur le graphique	22
Figure 10: Affichage des différents résultats.....	23
Figure 11: Simulation liaison 90 kV Zagtouli-Donsin 20 MW	26
Figure 12: Simulation liaison 33 kV Ouaga 1-Donsin 10 MW	27
Figure 13: Simulation liaison 90 kV Ouaga 1-Donsin 1 MW	28
Figure 14: Simulation liaison 33 kV Ouaga 2-Donsin 15 MW	29
Figure 15: Simulation liaison 90 kV Ouaga 2-Donsin 20 MW	31
Figure 16 : Simulation liaison aérienne 33 kV Kossodo-Donsin 10 MW.....	32
Figure 17: Simulation liaison souterraine 33 kV Kossodo-Donsin.....	33
Figure 18: Simulation après compensation pour l'option souterraine 33 kV Kossodo-Donsin 15 MW	34
Figure 19: Simulation liaison aérienne 90 kV Kossodo-Donsin 20 MW.....	36
Figure 20: Simulation après compensation pour l'option aérienne 90 kV Kossodo-Donsin....	37
Figure 21: Tracé de la ligne 90 kV Kossodo-Donsin.....	42
Figure 22: Illustration des aménagements à réaliser pour la ligne 90 kV	45

CHAPITRE I : INTRODUCTION

1.1 Contexte général

Le projet aéroportuaire de Donsin dans sa globalité est situé dans un contexte général de la situation actuelle et du développement futur de la ville de Ouagadougou. Il ne s'agit pas uniquement d'un projet aéroportuaire, mais d'une partie du développement urbain et du plan de sécurité de la ville. L'aéroport actuel pose des difficultés à l'harmonisation du centre de la ville. En outre, sa position constitue un sérieux handicap en termes de trafic et d'infrastructures, vu que la circulation doit être adaptée, créant congestion du trafic routier et retards. C'est à cet effet que ce projet de construction aéroportuaire vise à :

- Améliorer de la compétitivité du transport aérien au Burkina Faso,
- Améliorer de la qualité de vie dans la ville de Ouagadougou
- Construire, en 2015, 41,50 de km de routes bitumées pour faciliter l'accès à l'aéroport international de Ouagadougou-Donsin
- Construire, à l'horizon 2017, un complexe aéroportuaire offrant de meilleures capacités opérationnelles et des perspectives de développement pour y déplacer l'actuel aéroport,
- Atténuer et bonifier les impacts humains et biophysiques du programme dans sa zone.

Le manque de grands axes routiers (nord-sud et est-ouest) pourrait être résolu en utilisant le site de l'aéroport actuel. Selon le plan de développement urbain de Ouagadougou, la population de la ville atteindra 11 millions d'habitants en 2025, ce qui aura pour effet d'empirer les problèmes actuels.

En outre, la localisation actuelle de l'aéroport constitue un risque important pour la sécurité des quartiers environnants puisque les atterrissages et décollages impliquent un survol du centre-ville. Si l'on considère l'environnement de l'aviation en Afrique, cette situation constitue une menace permanente sécuritaire.

1.2 Contexte d'étude

Le gouvernement du Burkina Faso a donc décidé de déplacer l'actuel Aéroport de Ouagadougou, en construisant un nouvel aéroport à Donsin, une localité située à une trentaine de kilomètres de la capitale.

Ainsi, il a confié à la Maitrise d'Ouvrage de l'Aéroport de Donsin (MOAD), la conduite du projet de construction du nouvel aéroport.

Pour le fonctionnement des installations aéroportuaires et les commodités de ce cadre de vie, il est prévu un approvisionnement électrique du site à travers le réseau national de la SONABEL, l'opérateur national de l'électricité au Burkina Faso.

La mission de maîtrise d'œuvre a été alors confié à la SONABEL.

1.3 Objectif général

Ce travail a pour but de déterminer tous les moyens à mettre en œuvre pour assurer une alimentation électrique efficace du nouvel aéroport à partir du réseau électrique de la SONABEL. Et ce, en tenant compte des contraintes techniques, économiques et environnementales. Le volet interne c'est à dire la distribution électrique au sein de l'aéroport ne fait pas partie de ce travail.

1.4 Objectifs spécifiques

Pour atteindre l'objectif, il faudra :

1. Analyser les différentes possibilités de raccordement à partir du réseau électrique existant,
2. Réaliser une étude technique de chacune des options envisagées,
3. Comparer et retenir le raccordement optimal en tenant compte des contraintes techniques, économiques et environnementales,
4. Effectuer le tracé de la ligne,
5. Décrire les travaux à réaliser (consistance des ouvrages),
6. Estimer le coût total du projet.

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET PRESENTATION DU THEME

2.1 Présentation de la SONABEL

La société nationale d'électricité du Burkina (SONABEL) est une Société d'Etat depuis le 14 avril 1995. Son capital est de 63,3 milliards de francs CFA. Elle a son siège social à Ouagadougou. Avant de devenir en 1976 un des Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC), la SONABEL a connu de nombreuses transformations tant au niveau de sa structure financière que de sa dénomination. Elle fut appelée successivement Energie de l'Afrique Occidentale Française (ENERGIE AOF), ensuite société africaine d'électricité (SAFELEC), puis Société Voltaïque d'Électricité (VOLTELEC). La SONABEL détient le monopole du transport de l'énergie au Burkina Faso. Les marchés de la production et de la distribution ont été libéralisés depuis 1998.

En fin d'études Master 2 Génie Electrique, j'ai eu a effectuer un stage au Département Ingénierie des Projets d'Investissements (DIPI) plus précisément au Service Études Électriques.

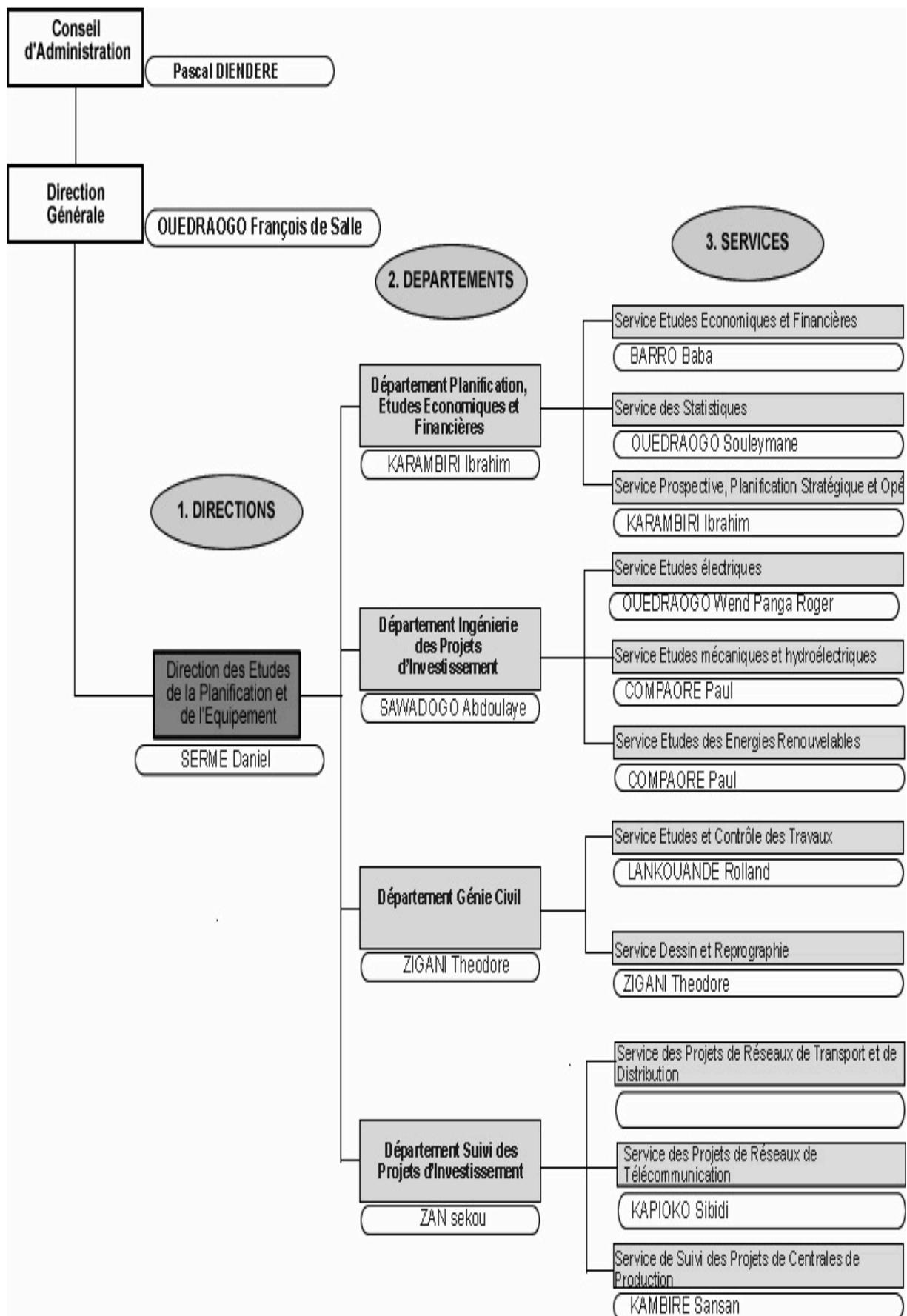


Figure 1: Organigramme de la DEPE

2.2 Présentation du thème

L'intitulé du stage est « Etude de l'alimentation électrique de l'aéroport de Donsin ».

Ce travail consiste à évaluer les différentes possibilités de raccordement du nouvel aéroport en effectuant des simulations à partir du réseau électrique national, en comparant les différentes options en vue de retenir le raccordement électrique le plus avantageux sur le plan technique, économique et environnemental.

Après avoir retenu le raccordement optimal, il s'agira de définir le tracé exact de la ligne électrique alimentant le site de Donsin, de décrire les ouvrages à réaliser et déterminer le coût global du projet.

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES ET CAS DU BURKINA

3.1 Généralités réseaux électriques

3.1.1 Structure d'un système production-transport-distribution

Les groupes générateurs d'énergie sont, pour des raisons techniques et économiques, rarement installés juste à côté des appareils consommant l'énergie qu'ils produisent.

Pour réaliser les liaisons entre les groupes de production et les groupes de consommateurs, on construit des lignes. Les tronçons de ligne sont raccordés entre eux dans des postes.

Un poste comprend des jeux de barre, des transformateurs, des sectionneurs, des disjoncteurs, des appareils de mesure, de contrôle, de réglage et de commande ; et bien d'autres appareils auxiliaires nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble.

Les postes constituent les nœuds du réseau.

3.1.2 Les réseaux d'énergie électrique

Il existe des multiples critères permettant de différencier ou de regrouper les réseaux, nous en retiendrons quatre dont l'intérêt est évident.

Le premier critère est la tension car elle limite les puissances transportées et fixe les dimensions des lignes et du matériel des postes.

Le second, et le plus important, c'est la fonction que le réseau doit remplir. Celle-ci détermine les quantités d'énergie, les puissances qu'il recevra ou fournira. Elle influence de façon essentielle le choix de sa tension et les contraintes imposées au fonctionnement du réseau.

Le troisième définit la topologie du réseau. Il fixe son mode d'exploitation normale et les possibilités de secours en cas de défaillance.

Le quatrième indique le système utilisé, c'est-à-dire pour les courants alternatifs le nombre de phases et, en alternatif comme en continu la position du neutre par rapport à la terre. Ce critère, moins apparent pour l'observateur extérieur qui reconnaît cependant le nombre de « fils de phase » des lignes, est lié surtout au fonctionnement interne des appareils installés, tant dans le réseau que chez l'utilisateur. Dans tous les cas où l'on pourra en faire abstraction, on utilisera des « schémas unifilaires », plus simple que les schémas polyphasés.

3.1.2.1 Classification suivant la tension

Le RGIE prévoit une classification selon les niveaux de tensions comme suit :

Tableau 1: Classification des réseaux en fonction de la tension (RGIE)

Type de tension	HTB	HTA	BTB	BTA	TBT
Continu	$U > 75.000V$	$1.500 < U \leq 75.000V$	$750 < U \leq 1.500$ V	$120 < U \leq 750V$	$0 < U \leq 120V$
Alternatif	$U > 50.000V$	$1.000 < U \leq 50.000V$	$500 < U \leq 1.000$ V	$50 < U \leq 500V$	$0 < U \leq 50V$

3.1.2.2 Classification selon la fonction du réseau

Les réseaux sont construits pour acheminer l'énergie de l'usine génératrice à l'appareil d'utilisation. Les conditions de ce transit ne sont cependant pas rigoureusement les mêmes d'un bout à l'autre de la chaîne des installations nécessaires. Les puissances en jeu et les répercussions de tout incident présentent des différences qui permettent de délimiter des fonctions spécifiques.

Nous avons six (06) types de réseaux selon leur fonction : les réseaux d'utilisation, les réseaux industriels, les réseaux de distribution, les réseaux de répartition, les réseaux de transport et les réseaux d'interconnexion.

- Les réseaux d'utilisation

Ces réseaux sont destinés à alimenter directement un grand nombre d'appareils domestiques ou de petits moteurs.

- Les réseaux industriels

Ces réseaux sont des réseaux d'utilisation nécessitant des puissances relativement élevées. Ils sont généralement intérieurs aux usines.

- Les réseaux de distribution

Les réseaux de distribution ont pour fonction de fournir aux réseaux d'utilisation la puissance dont ils ont besoin.

- Les réseaux de répartition

Les réseaux de répartition fournissent la puissance aux réseaux de distribution, mais ne peuvent la transiter que sur de petites distances limitées à quelques dizaines de kilomètres.

Les puissances qu'ils transitent sont de plusieurs dizaines de mégawatts, ce qui nécessite l'utilisation de hautes tensions, généralement entre 33 et 110 kV.

- Les réseaux de transport

Les réseaux de transport assurent l'alimentation de l'ensemble du territoire, grâce à des transits de puissances importants sur des distances atteignant cent ou plusieurs centaines de kilomètres.

- Les réseaux d'interconnexion

Ces réseaux constituent des liaisons entre les réseaux de deux (02) pays ou plusieurs pays.

3.1.2.3 Classification suivant la structure topologique

Si les réseaux doivent assurer le transit d'une certaine puissance, ils doivent le faire avec une sécurité suffisante. Or, les appareils qui les composent sont sujets à des avaries, et les lignes et postes sont soumis à toute sorte d'agressions externes, telles que la pluie, la pollution, la foudre, le choc d'engins divers.

On augmente la sécurité d'alimentation :

- Soit par des lignes ou d'appareillages plus solides ;
- Soit par des circuits plus nombreux.

De toute façon, augmenter la sécurité est très onéreux. Il y a donc un compromis entre le coût d'investissement supplémentaire et la valeur de ceux qu'il permet de sauver. Ce compromis n'est certainement pas le même suivant les types de réseaux et d'utilisateurs. Il conduira donc à des topologies de réseaux différentes.

- Les réseaux radiaux

Ces réseaux sont, à partir d'un poste d'alimentation, constitués de plusieurs artères, dont chacune va en se ramifiant, mais sans jamais retrouver de point commun.

Les réseaux radiaux sont de structure simple et peuvent être contrôlés et protégés par un appareillage simple.

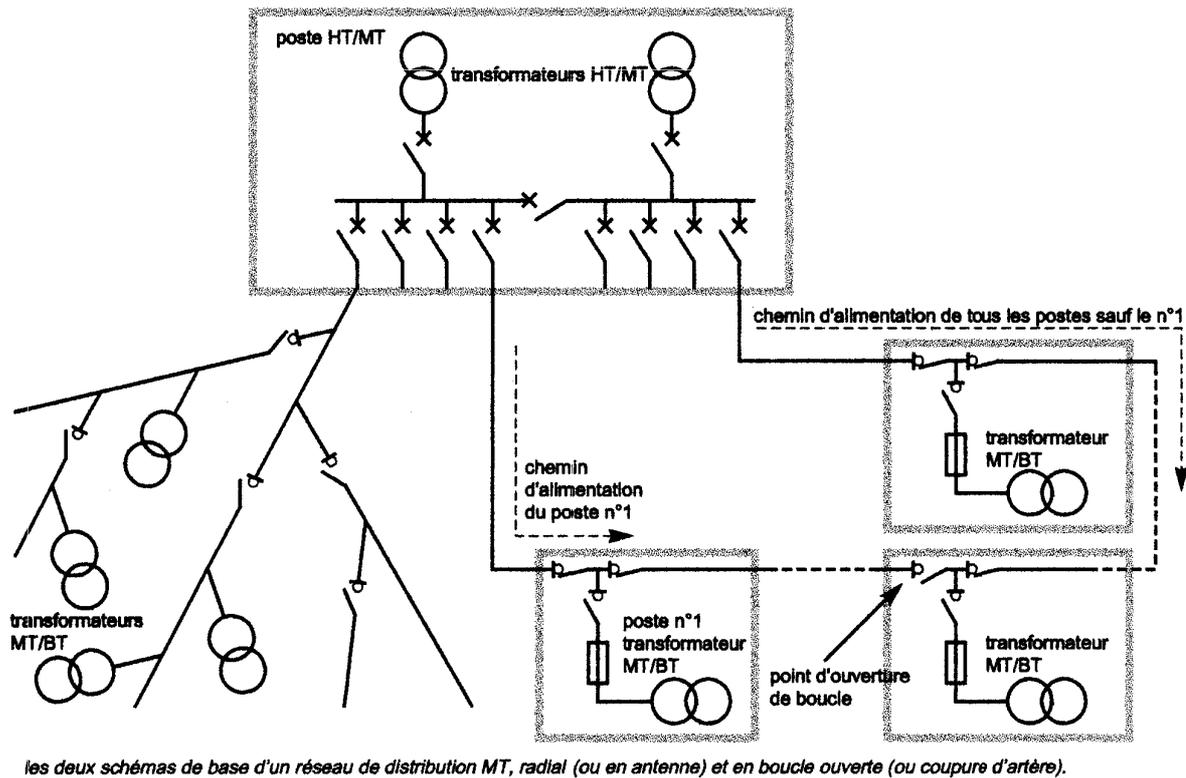


Figure 1: Exemple de réseaux : Radial et en Boucle ouverte

- Les réseaux bouclés

Les réseaux bouclés sont alimentés à la fois par plusieurs sources. Les lignes les reliant appelées « boucles » n'ont pas de discontinuité, de sorte que ces sources débitent en parallèle. Le contrôle et la protection de ces réseaux nécessitent des dispositifs plus complexes donc plus chers que pour les réseaux radiaux.

- Les réseaux maillés

Les réseaux maillés sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées, formant ainsi une structure analogue aux mailles d'un filet.

On obtient la meilleure sécurité, mais au prix le plus élevé.

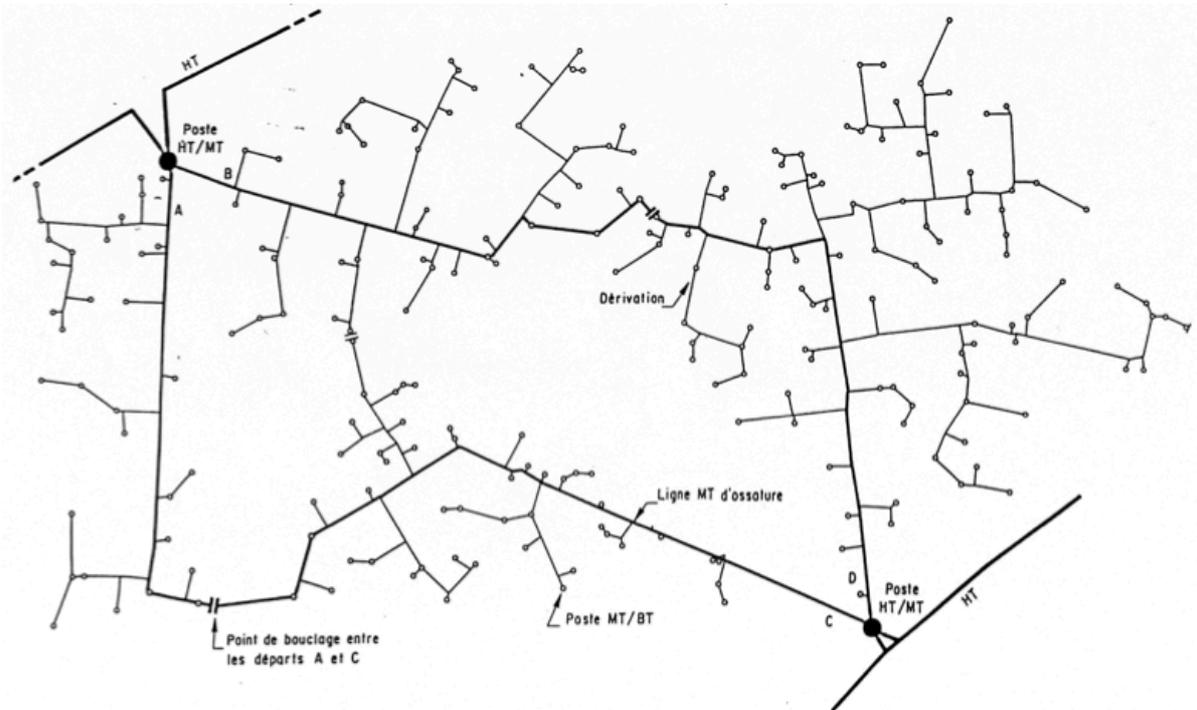


Figure 2: Exemple réseau maillé

3.1.2.4 Classification suivant le système utilisé

On peut transiter de l'énergie, soit par du courant continu, soit par du courant alternatif à fréquence plus ou moins élevée. Le nombre de possibilités est même plus large, si l'on différencie les systèmes polyphasés. Ces systèmes sont nés du besoin de créer des champs tournants, ce qui est facile dès qu'il y a au moins trois (03) phases.

3.1.3 Les lignes

3.1.3.1 Phénomène de superposition

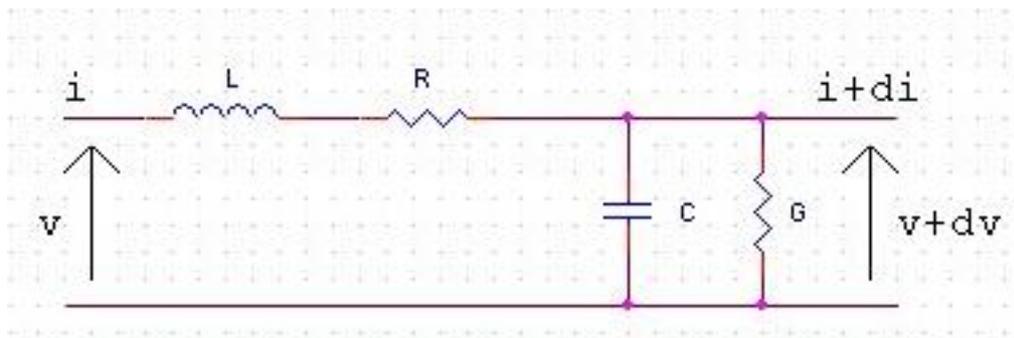


Figure 3: Modélisation d'une ligne électrique : phénomène de superposition

A travers un élément de la ligne de longueur Dx , il existe la superposition de deux (02) phénomènes : la chute de tension et la perte de courant.

Les fuites de courants sont dues aux conductances G et aux capacités linéiques C , et les

chutes de tension sont dues aux résistances R et aux inductances linéiques L.

3.1.3.2 Classification des lignes

Les lignes sont classées en fonction de leur longueur. On distingue trois (03) types de lignes :

- Les lignes courtes

La longueur d'une telle ligne ne dépasse pas 50 km ($L \leq 50$ km) et le courant de fuite capacitif ne dépasse pas 5%(négligeable), $U \leq 60$ kV.

- Les lignes moyennes

La longueur des lignes moyennes est inférieure à 150 km. Dans de telles lignes on tient compte des courants de fuite capacitifs.

- Les lignes longues

La longueur des lignes longues est supérieure à 150 km. Dans l'étude de telles lignes, non seulement on tient compte des courants de fuite capacitifs, mais également des phénomènes de propagation des ondes de courant et de tension. A vide ou à faible charge, elles se comportent comme une charge capacitive.

5.2.1 Conditions de qualité et fiabilité d'un réseau électrique

Face à une demande en énergie croissante et aux exigences des consommateurs finaux d'électricité, les réseaux électriques se doivent être de qualité et fiable malgré leur architecture de plus en plus complexe. Leurs caractéristiques (fréquence, tension) doivent restés le plus stable possible sur toute la longueur du réseau. La fiabilité d'un système électrique est caractérisée par la probabilité de fonctionner correctement sur une longue période de temps. C'est donc la capacité du système électrique à fournir une énergie électrique répondant à des normes de qualité avec peu d'interruptions par unité de temps.

L'adéquation est la première condition de fiabilité d'un réseau électrique. Il s'agit de l'adéquation du système de production face à la demande, tenant compte de la probabilité d'indisponibilité programmée ou non d'une partie de la puissance installée.

C'est aussi l'adéquation du réseau de transport, sa capacité à transporter l'énergie totale demandée par les consommateurs sur une longue période. Cette adéquation doit tenir compte des aléas du système pouvant causer d'énormes pertes sur le réseau.

Ensuite vient la stabilité, seconde condition de fiabilité. C'est la capacité du réseau à résister à un ensemble de perturbations crédibles et soudaines (tels que des court-circuit ou la perte inattendue de certains composants) sans interrompre la fourniture d'énergie. Il est assimilable à la continuité de service. Cette condition de stabilité est sous deux (2) types :

- Stabilité Statique : elle s'intéresse à la qualité du point de fonctionnement atteint dans la configuration après un incident. On vérifie que les capacités thermiques des équipements ne sont pas dépassées et que les tensions restent dans des intervalles spécifiés.
- Stabilité Dynamique : elle s'intéresse à la transition du système vers un nouveau point de fonctionnement, en particulier sa capacité à répondre de manière stable. Pour ce type de stabilité, les trois paramètres électriques évalués sont la tension, la fréquence et l'angle rotorique des générateurs.

3.2 Réseau électrique du Burkina Faso

Le réseau de la SONABEL est un réseau interconnecté qui s'étend d'Ouest en Est. Il y a trois centres régionaux de consommation : le centre régional de consommation de Bobo-Dioulasso, le centre régional de consommation de Ouagadougou avec l'Est et le centre régional de consommation du Nord. Le parc de production de la SONABEL est composé de groupes thermiques avec une puissance installée de 252,6 MW, de turbines hydro-électriques de 32,4 MW comme puissance installée et enfin de l'interconnexion avec la Côte d'Ivoire d'une capacité de 50 MW qui a été réalisée depuis 2000, dans une première phase pour alimenter le centre de consommation de Bobo.

Plus tard en 2009, il a été réalisé toujours à partir de l'interconnexion en 225 kV, une ligne reliant Bobo au centre régional de consommation de Ouagadougou via le poste de Zagtouli où la tension est abaissée à 90 kV. Un réseau de répartition en 33 kV fournit la puissance aux différents réseaux de distribution en 15 kV.

Les centrales hydro-électriques de Bagré, Kompienga fournissent une puissance qui est transportée par une ligne de 132 kV vers Ouagadougou.

Le site de Donsin est situé dans la région du centre de consommation de Ouagadougou.

Au sein du CRCO, il y a l'arrivée de l'interconnexion en 90 kV à partir du poste de Zagtouli. Zagtouli relie le poste électrique de Ouaga 2 d'une part et d'autre part le poste de Komsilga.

De Ouaga 2, une liaison électrique en 90 kV relie Ouaga 1 puis une autre de Ouaga 1 à Kossodo. Toutes ces liaisons forment la boucle 90 kV du CRCO. C'est à partir de cette boucle, que l'interconnexion vient en appui aux centrales de production électrique de Ouaga 2, Ouaga 1, Kossodo et Komsilga dont les groupes thermiques débitent sur les jeux de barres 33 kV qui sont également reliés entre eux par des liaisons électriques qui forme la boucle 33 kV du réseau de répartition du CRCO.

Des transformateurs abaissent en 15 kV pour le réseau de distribution.

Avec ces deux boucles 90 et 33 kV, la répartition de puissances se fait aisément au sein du CRCO. A chaque poste électrique, on peut bénéficier de la puissance produite par toutes les centrales et de l'interconnexion.

CHAPITRE IV : SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET BESOINS EN ENERGIE ELECTRIQUE

4.1 Situation Géographique du site et accessibilité

Le site de l'aéroport se trouve à une trentaine de kilomètres au Nord de la ville de Ouagadougou. Durant la première phase du projet, l'aéroport sera accessible à l'Est par une bretelle longue de 12 km le reliant à la route nationale RN3, et à l'Ouest par une bretelle longue de 7 km le reliant à la route nationale RN22.

Il est prévu ultérieurement la réalisation d'une voie expresse reliant directement l'aéroport à la ville de Ouagadougou par le rond-point « Place de l'UA » longue d'environ 24 km et la réalisation d'un accès ferroviaire par un embranchement sur le chemin de fer Ouagadougou-Kaya.



Figure 4: Carte électrique du CRCO

LEGENDE	
OUVRAGES EXISTANTS :	
	Liaison électrique 225 kV
	Liaison électrique 132 kV
	Liaison électrique 90 kV
	Liaison électrique 33 kV
	Grand centre de consommation
	Chef-lieu de commune électrifié
	Village électrifié
	Poste électrique HT/MT
	Poste électrique MT
	Centrale hydroélectrique
	Centrale thermique - Puis. inst. >2 MW
OUVRAGES EN PROJET :	
	Liaison électrique 330 kV
	Liaison électrique 225 kV
	Liaison électrique 132 kV
	Liaison électrique 90 kV
	Liaison électrique 33 kV - Projet TEAM9
	Liaison électrique 33 kV - Projet SINCO
	Liaison électrique 33 kV - Projet PSCE
	Liaison électrique 33 kV - Projet AFD
	Liaison électrique 33 kV - Projet FDE
	Liaison électrique 33 kV - PRIELER
	Poste électrique HT/MT
	Poste électrique MT
	Centrale solaire - Puis. inst. > 10 MW

4.2 Besoins en puissance électrique

Les besoins en puissance de l'aéroport sont estimés d'après la MOAD à 10 MW en 2018, 15 MW en 2040 et 20 MW en 2060. Elle a également décidé que le niveau de tension distribué par l'alimentation du concessionnaire sera de 33 kV (tension HTA).

La MOAD a formulé également le besoin d'une ligne électrique secours en cas d'indisponibilité de la ligne électrique principale.

CHAPITRE V : METHODOLOGIE

Cette partie représente une pré-étude pour disposer d'éléments précis relatifs à la solution de raccordement

Elle est menée :

- sur la base du réseau existant et des prévisions de travaux dans la mesure où ceux-ci seront compatibles avec la réalisation du projet,
- par l'analyse du respect des contraintes de transit et de tension sur les réseaux publics de distribution et le cas échéant sur le réseau public de transport,
- par l'analyse des conséquences du raccordement de l'installation relatives au respect des niveaux de perturbation au point de livraison, au fonctionnement du plan de protection.

Le raccordement de référence doit :

- être nécessaire et suffisant pour satisfaire l'alimentation en énergie électrique des installations de l'aéroport à la puissance de raccordement demandée ;
- emprunter un tracé techniquement et administrativement réalisable, en conformité avec les dispositions du cahier des charges de la concession ;
- être conforme à la documentation technique de référence publiée par la SONABEL ;
- minimiser les coûts de réalisation des ouvrages de raccordement.

Tout d'abord nous analyserons les différentes possibilités de raccordement électrique à partir du réseau SONABEL pour alimenter l'aéroport de Donsin.

5.1 Analyse des possibilités de raccordement

Pour raccorder l'aéroport de Donsin au réseau électrique national, les possibilités suivantes s'offrent : Zagtouli-Donsin, Ouaga 2-Donsin, Ouaga 1-Donsin et Kossodo-Donsin.

5.1.1 Poste électrique de Zagtouli

Le poste électrique 225 kV/90 kV de Zagtouli peut fournir une puissance de 140 MVA grâce aux deux transformateurs 225/90 kV de 70 MVA chacun. Zagtouli reçoit directement l'énergie de l'interconnexion avec la Côte d'Ivoire par l'arrivée de la ligne de transport 225kV longue de 200 km provenant de Pâ. A partir du jeu de barres 90 kV, il y a deux départs

vers l'intérieur du CRCO qui relie Zagtouli aux postes électriques de Komsilga et Ouaga 2 par des lignes aériennes 90 kV.

Les données de la SONABEL montre que le poste de Zagtouli est exploité à 80 % ce qui laisse une marge de 28 MVA encore exploitable. Il serait donc possible d'alimenter l'aéroport par ce poste. Zagtouli est située à 43 km de Donsin.

5.1.2 Poste électrique de Ouaga 2

Ouaga 2 est située en pleine agglomération dans la zone nord-ouest et est traversée par les boucles 33 et 90 kV du CRCO. Ouaga 2 dispose également d'une centrale thermique diesel de 35 MW comme puissance installée. Mais il est impossible de trouver un couloir aérien pour réaliser une liaison électrique jusqu'au poste électrique de Donsin que ce soit en HTA ou en HTB à cause de la situation géographique de Ouaga 2 en zone urbaine. Ouaga 2 est situé à 30 km de Donsin.

5.1.3 Poste électrique de Ouaga 1

Le poste de Ouaga 1 est situé à environ 25 km de Donsin. Il fait également partie de la boucle du CRCO à travers ses liaisons avec les postes électriques de Ouaga 2 et Kossodo. La centrale de Ouaga 1 a une puissance installée de 6 MW environ. Comme Ouaga 2, il est difficile de trouver un couloir aérien pour réaliser une liaison électrique jusqu'au poste électrique de Donsin.

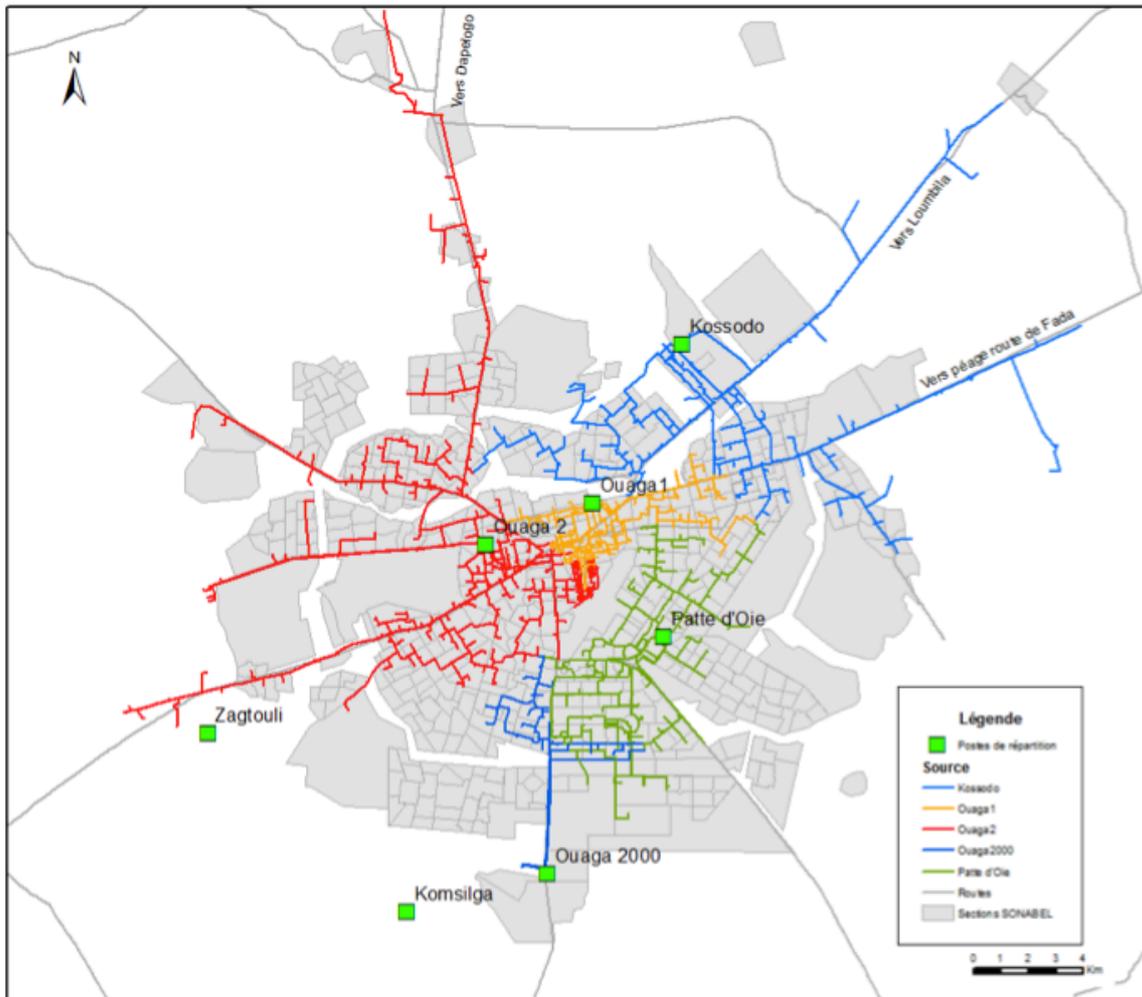


Figure 5: Situation actuelle du réseau 15 kV

5.1.4 Poste électrique de Kossodo

Le poste de Kossodo est alimenté d'une part par l'interconnexion à travers la liaison électrique 90 kV qui le relie au poste électrique de Ouaga 1. Un transformateur de puissance de 40 MVA abaisse la tension en 33 kV pour les deux jeux de barres 33 kV interconnectés qui alimentent le réseau de répartition.

D'autre part, il y a la centrale de production thermique installée sur place de puissance installée 64 MW. Les groupes thermiques débitent sur le jeu de barres 33 kV faisant partie de la boucle 33 kV du CRCO.

Le poste de Kossodo se révèle être une possibilité de raccordement de par son avantage de disposer d'une centrale de production et d'un jeu de barres 90 kV interconnecté avec ceux des autres centrales. Kossodo se situe à 17 kilomètres de Donsin.

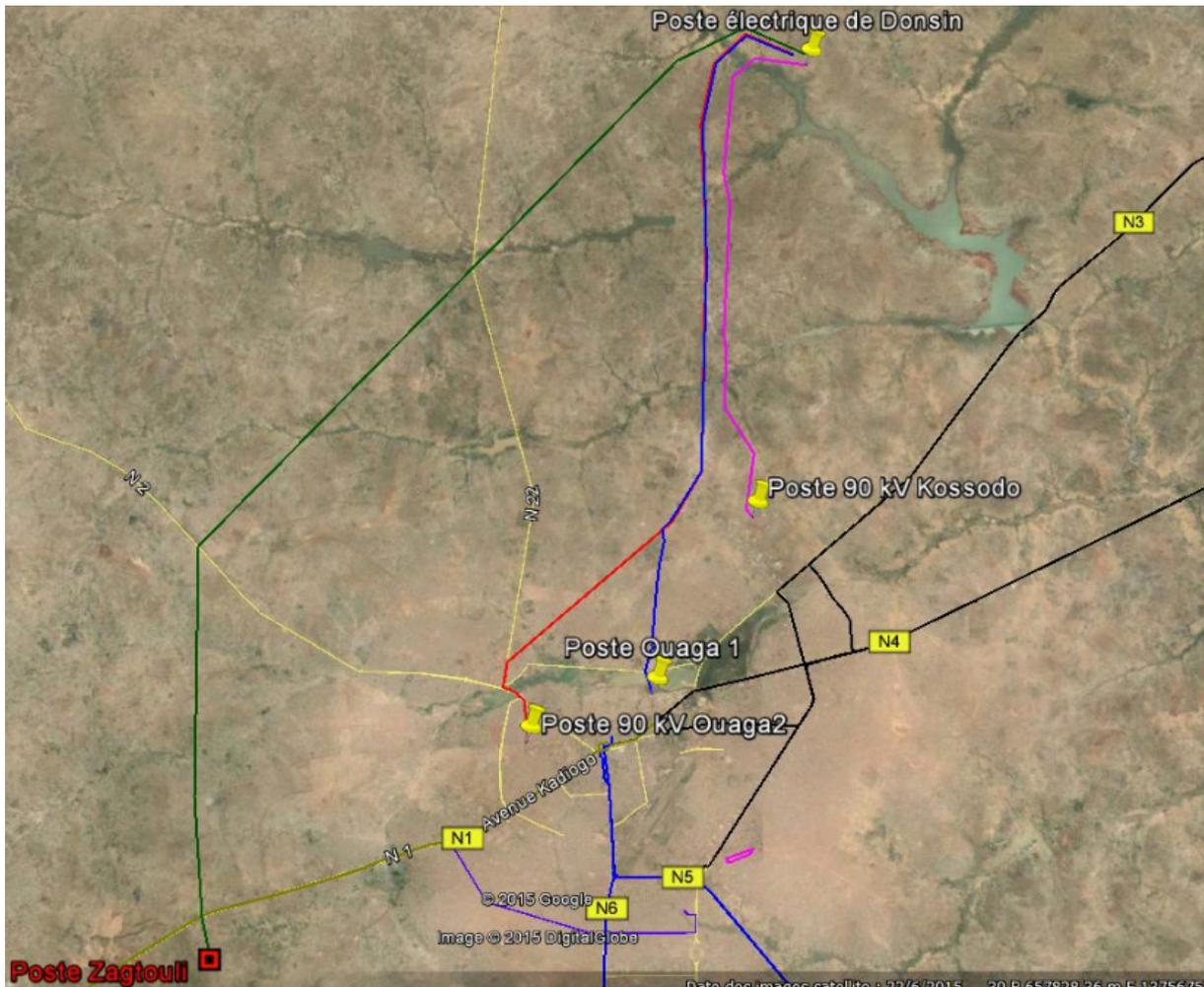


Figure 6: Possibilités de raccordement

5.2 Etude technique

L'étude technique a pour objectif de déterminer les moyens à mettre en œuvre pour assurer la demande en énergie de l'aéroport de Donsin et ce, dans des conditions de stabilité et de sécurité de l'ensemble du réseau. Pour cela, nous analyserons chacune des possibilités envisagées et effectuerons des simulations de ces différentes possibilités de raccordement en vue de retenir le raccordement optimal pour l'alimentation de Donsin.

5.2.1 Simulations électriques avec Neplan : fonctionnement du logiciel et hypothèses de calcul

Dans le souci d'assurer une alimentation électrique fiable, seront effectuées des simulations basées sur le réseau national interconnecté en 2014, à partir du logiciel de simulation des réseaux Neplan afin d'analyser l'impact d'une nouvelle ligne sur le réseau. C'est à dire connaître si les différents raccordements analysés ci-dessus respectent les contraintes électriques imposées par le réseau. Il faut dire que les contraintes électriques concernent les

chûtes de tension en ligne, les surcharges des lignes électriques et la fréquence du réseau.

Ces simulations permettent de :

- Déterminer les moyens de renforcement à mettre en œuvre pour que la demande soit satisfaite tout en respectant les critères de planification (chute de tension et charge des équipements),
- Déterminer les pertes en réseau,
- Fournir tous les éléments nécessaires à la comparaison des différentes solutions de raccordement.

5.2.2.1 Présentation du logiciel Neplan

NEPLAN est un outil très convivial pour les utilisateurs de système de planification et d'information pour les réseaux électriques.

Afin de comprendre l'environnement de NEPLAN, il est essentiel de décrire certains concepts utilisés.

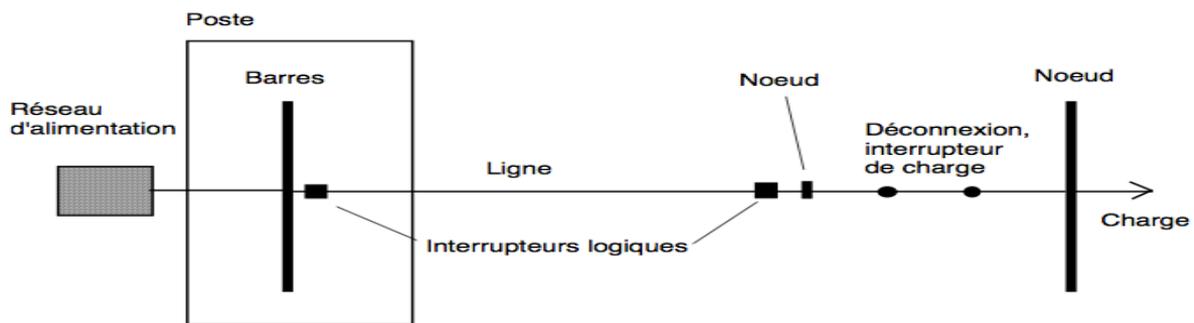


Figure 7: Exemple d'un réseau unifilaire

Un système d'énergie électrique se compose de nœuds et d'éléments.

➤ Les nœuds

Un nœud est le point de connexion de deux éléments, ou un lieu de consommation ou d'injection de puissance électrique (charge, générateur). Il est décrit par les données suivantes:

- son nom et son identité affectée automatiquement,
- la tension nominale du système en V ou kV,
- sa zone ou région d'appartenance,
- son type (jeu de barres principales, jeu de barres, manchon, nœud spécial),
- sa description.

La tension nominale du système (U_n) est la tension composée pour laquelle le système a été

conçu et sur laquelle on se réfère pour les nombreuses caractéristiques du système. Dans NEPLAN, la tension nominale du système doit être entrée pendant la saisie des données des nœuds. Chaque tension est saisie comme une tension composée (tension delta).

➤ Les éléments

Un élément correspond à une composante du réseau, telles qu'une ligne, un transformateur ou une machine électrique. Il y a des éléments actifs et passifs. Un élément est décrit de façon conceptuelle par un nœud de départ et un nœud d'arrivée. Pour les transformateurs à trois enroulements, un troisième nœud doit être donné. Les éléments sont électriquement décrits par :

- Leur courant nominal, leur puissance nominale, leur tension nominale et
- Leurs paramètres tels que les pertes, les réactances, ...

Dans NEPLAN, ces paramètres sont saisis à l'aide d'un masque de données d'entrée.

Les éléments actifs sont les réseaux d'alimentation, les machines asynchrones et synchrones, ainsi que les stations ou groupes d'alimentation. Un réseau d'alimentation représente un réseau voisin.

Les éléments passifs sont les lignes, les éléments de couplage, les éléments de coupure, les transformateurs à deux (2) et trois (3) enroulements, les shunts et les charges.

a) Calcul de répartition des puissances

Après avoir intégré tous les nœuds et les éléments du réseau dans le schéma unifilaire, on peut procéder au calcul de répartition de puissance.

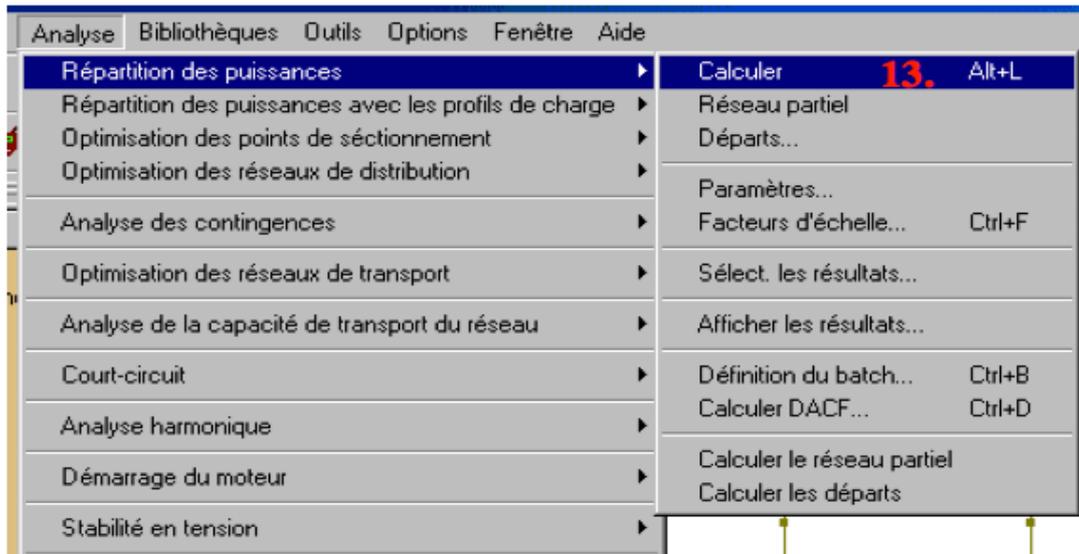


Figure 8: Calcul de répartition de puissance

b) Analyse des résultats dans le schéma unifilaire

Les résultats peuvent être directement analysés dans le schéma unifilaire.

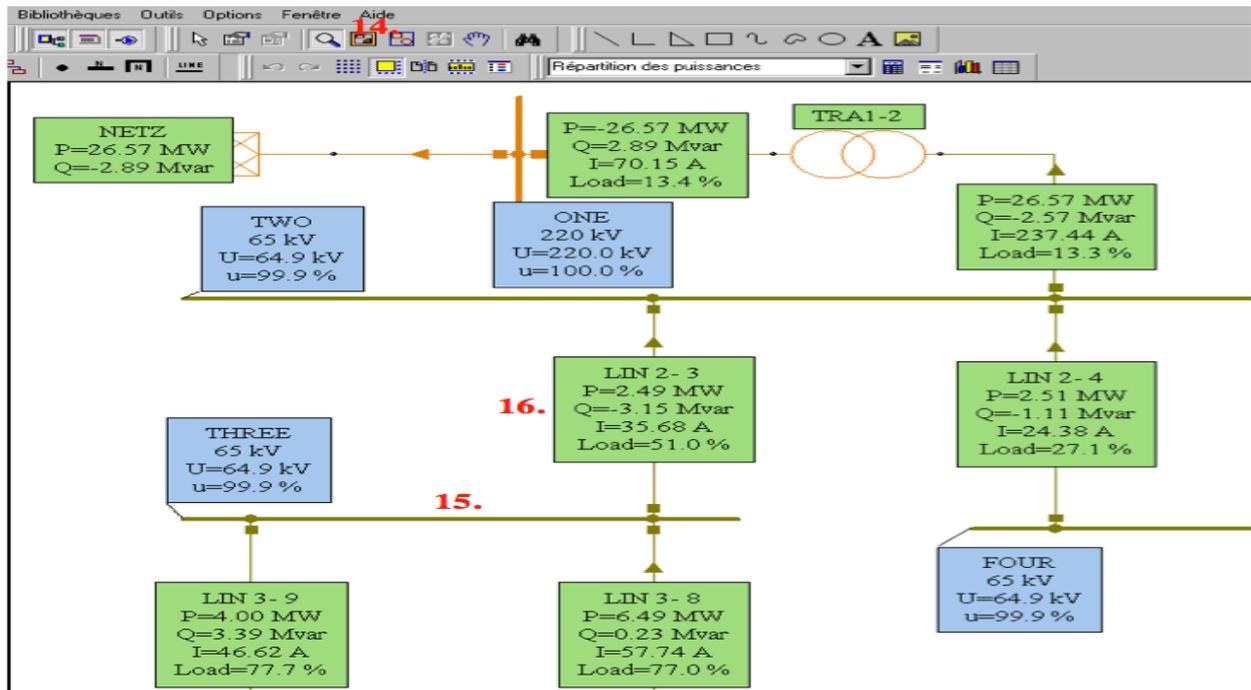


Figure 9: Résultats du calcul de répartition de puissances sur le graphique

c) Analyse des résultats en utilisant les tableaux de sortie

Les résultats peuvent être affichés sous forme de tableau pouvant être exporté vers une feuille Excel et traité comme on veut. Pour cela, on clique sur l'onglet « Analyse - Répartition des puissances - Afficher les résultats » pour obtenir la présentation des résultats en tableaux. En

cliquant sur Tous les résultats, on peut obtenir des tableaux récapitulatifs des résultats pour les nœuds, les éléments et l'ensemble des calculs.

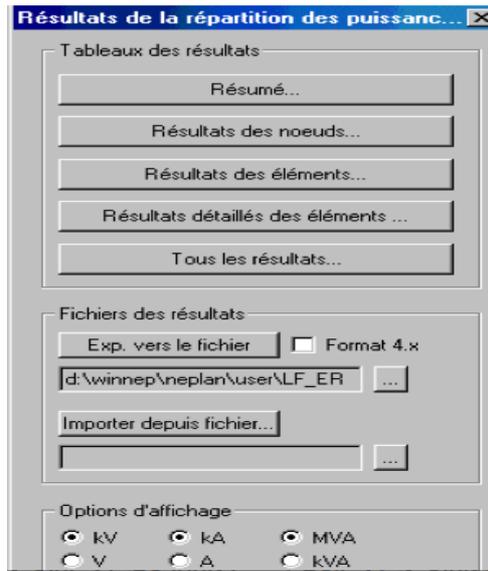


Figure 10: Affichage des différents résultats

5.2.2.2 Hypothèses de simulation

a) Réseau électrique

Le réseau de référence est le réseau électrique interconnecté de l'année 2014 car il n'y a pas eu de changement en 2015.

Le RNI 2014 est le réseau électrique interconnecté de l'année 2013 intégrant les projets de renforcement de la centrale de Komsilga par la troisième phase avec un apport de 30,5 MW et la centrale électrique de Bobo 2 par deux tranches additionnelles de 20 MW chacune soit un total cumulé de 40 MW.

b) Charge

La pointe de charge nationale estimée en 2015 est de 230 MW. Cette estimation est basée sur les hypothèses de prévision de la demande.

Les simulations sont réalisées pour chaque phase de l'évolution de l'aéroport de Donsin.

Un poste électrique comprenant un jeu de barres 33 kV, un jeu de barres 90 kV ainsi qu'un transformateur 90/33 kV de puissance 40 MVA sont configurés à Donsin. Cette puissance est choisie pour anticiper d'éventuelles charges futures sur le transformateur.

b) Critères de Planification

La tolérance de tension admissible sur les différents nœuds et jeux de barres est de : $95\%U_{nom} < U_{adm} < 105\%U_{nom}$.

5.3 Méthode de comparaison des différentes possibilités

Les différentes possibilités seront analysées selon des contraintes techniques,

environnementales et économiques

5.3.1 Contraintes techniques

Tableau 2: Contraintes techniques

Type de contraintes	Description
Longueur de connexion	Choix de la longueur optimale de la liaison
Stabilité de la ligne	Nombre de défauts par unité de longueur, lié à la sensibilité aux conditions atmosphériques et aux conditions d'exploitations
Complexité des opérations de maintenance	Surveillance des paramètres du réseau, possibilité d'effectuer un monitoring des composants sans déplacer les personnes,

5.3.2 Contraintes environnementales

Tableau 3: Contraintes environnementales

Types de contraintes	Description
Impact visuel	Modification de l'aspect du territoire
Occupation permanente du terrain	Paramètre tenant compte des dérangements après la mise en service de la ligne, zone non utilisable pour les activités humaines
Impacts sur la flore	Impact sur l'environnement

5.3.3 Contraintes économiques

Tableau 4: Contraintes économiques

Type de contrainte	Description
Coût de réalisation de l'ouvrage	Investissements à faire pour la réalisation de la ligne
Niveau de pertes	Energie perdue le long de la connexion et les coûts annexés à ces pertes (100 fCF/kWh)

CHAPITRE VI : PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS ET COMPARAISON DES RACCORDEMENTS

6.1 Résultats obtenus après simulation

6.1.1 Option Zagtouli-Donsin

A partir de Neplan, on réalise une ligne aérienne 90 kV longue de 43 km reliant les jeux de barres 90 kV du poste électrique de Zagtouli à celui de Donsin avec une section de câbles 228 mm².

Le calcul de répartition de puissances donne les résultats au niveau des liaisons et des nœuds :

Tableau 5: Résultats sur la liaison 90 kV Zagtouli-Donsin

Liaison	RNI : 230MW+ 10MW		RNI : 230MW+ 15MW		RNI : 230MW+ 20MW	
	Pertes	Charge	Pertes	Charge	Pertes	Charge
Zagtouli-Donsin	0,3 MW	13,9 %	0,4 MW	21 %	0,6 MW	28,5 %

Tableau 6: Résultats aux nœuds pour l'option Zagtouli-Donsin

Principaux nœuds 90 kV	RNI : 230 MW + Donsin 10 MW		RNI : 230 MW + Donsin 15 MW		RNI : 230 MW + Donsin 20 MW	
	Tension		Tension		Tension	
	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}
JDB 90 kV Zagtouli	90,65	100,7	90,46	100,5	89,81	99,8
JDB 90 kV Donsin	89,55	99,5	88,67	98,5	87,27	97

On constate un respect du plan de tension et un transit normal sur la ligne électrique.

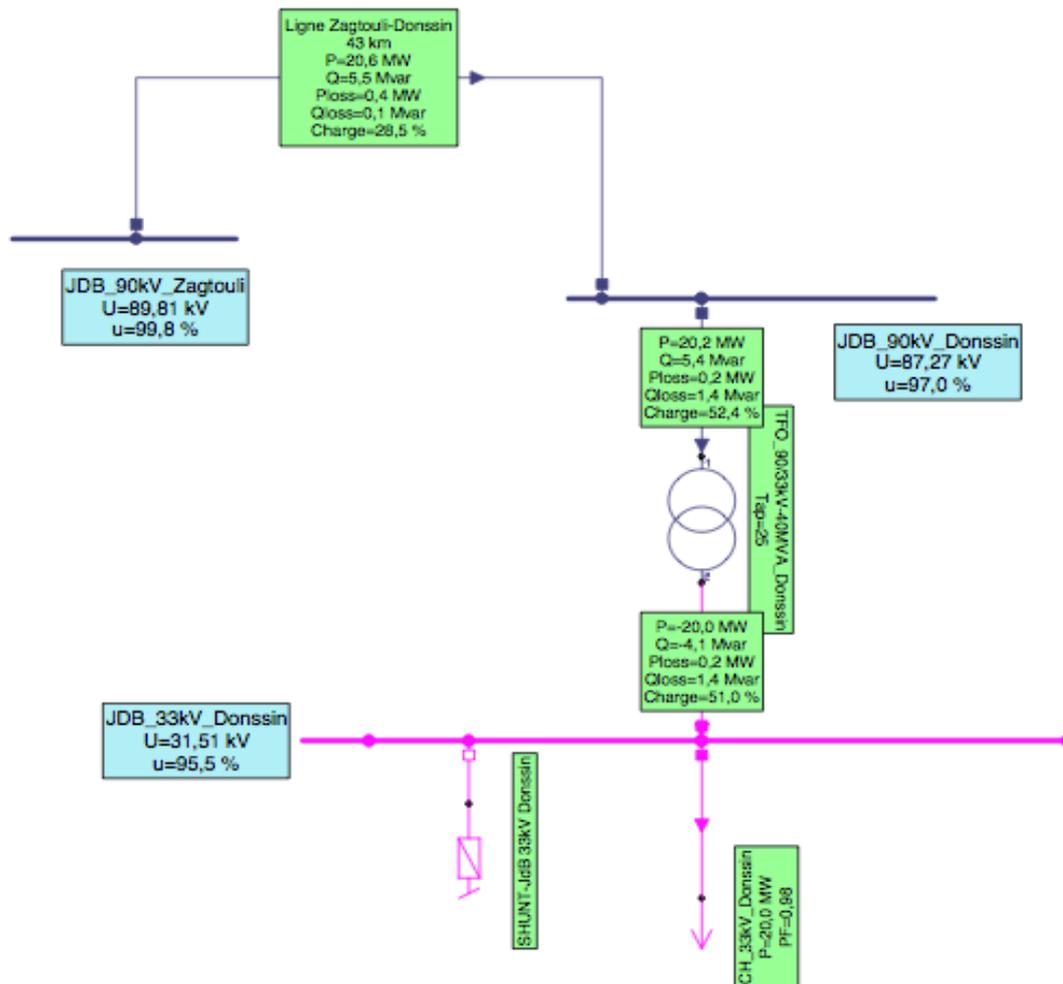


Figure 11: Simulation liaison 90 kV Zagtouli-Donsin 20 MW

6.1.2 Option Ouaga 1- Donsin

6.1.2.1 Ligne 33 kV

On alimente Donsin par une ligne souterraine 33 kV longue de 25 km reliant le jeu de barre 33 kV de Ouaga 1 à celui de Donsin. La ligne est de section 240 mm² en aluminium.

Après répartition de puissance on constate les résultats suivants :

Tableau 7: Résultats sur la liaison 33 kV Ouaga 1-Donsin

Liaison	RNI : 230MW+ 10MW		RNI : 230MW+ 15MW		RNI : 230MW+ 20MW	
	Pertes	Charge	Pertes	Charge	Pertes	Charge
Ouaga 1-Donsin	0,4 MW	43,9 %	0,9 MW	68,7 %	1,6 MW	92,2 %

Tableau 8: Résultats aux nœuds pour l'option Ouaga1-Donsin

Principaux nœuds 33 kV	RNI : 230 MW + Donsin 10 MW		RNI : 230 MW + Donsin 15 MW		RNI : 230 MW + Donsin 20 MW	
	Tension		Tension		Tension	
	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}
JDB 33 kV Ouaga 1	30,98	93,9	30,79	93,3	31,66	95,9
JDB 33 kV Donsin	29,74	90,1	28,5	86,4	28,32	85,8

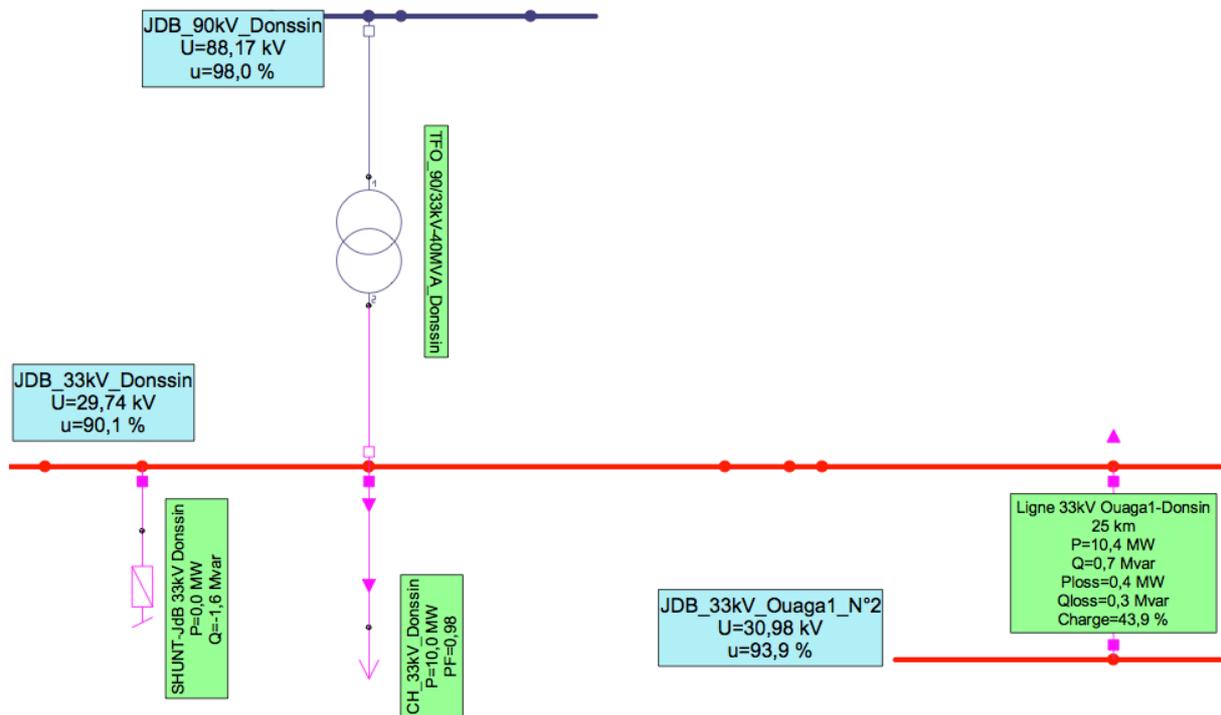


Figure 12: Simulation liaison 33 kV Ouaga 1-Donsin 10 MW

On constate une dégradation du plan de tension aux nœuds 33 kV de Ouaga 1 et Donsin. Il n'est pas donc possible d'alimenter l'aéroport de Donsin par une liaison souterraine 33 kV Ouaga 1- Donsin. La simulation sera reprise avec une ligne aérienne de 90 kV.

6.1.2.2 Ligne 90 kV

Le site de Donsin est alimenté par une ligne souterraine 90 kV en Alu de section 630 mm² reliant les jeux de barres 90 kV de Ouaga 1 et Donsin.

On constate avec cette configuration que l'on ne peut pas alimenter une charge excédant 1 MW à Donsin. Lorsque la charge dépasse 1 MW, la répartition de puissance ne converge pas. Le poste de Ouaga 1 est à la limite de sa capacité.

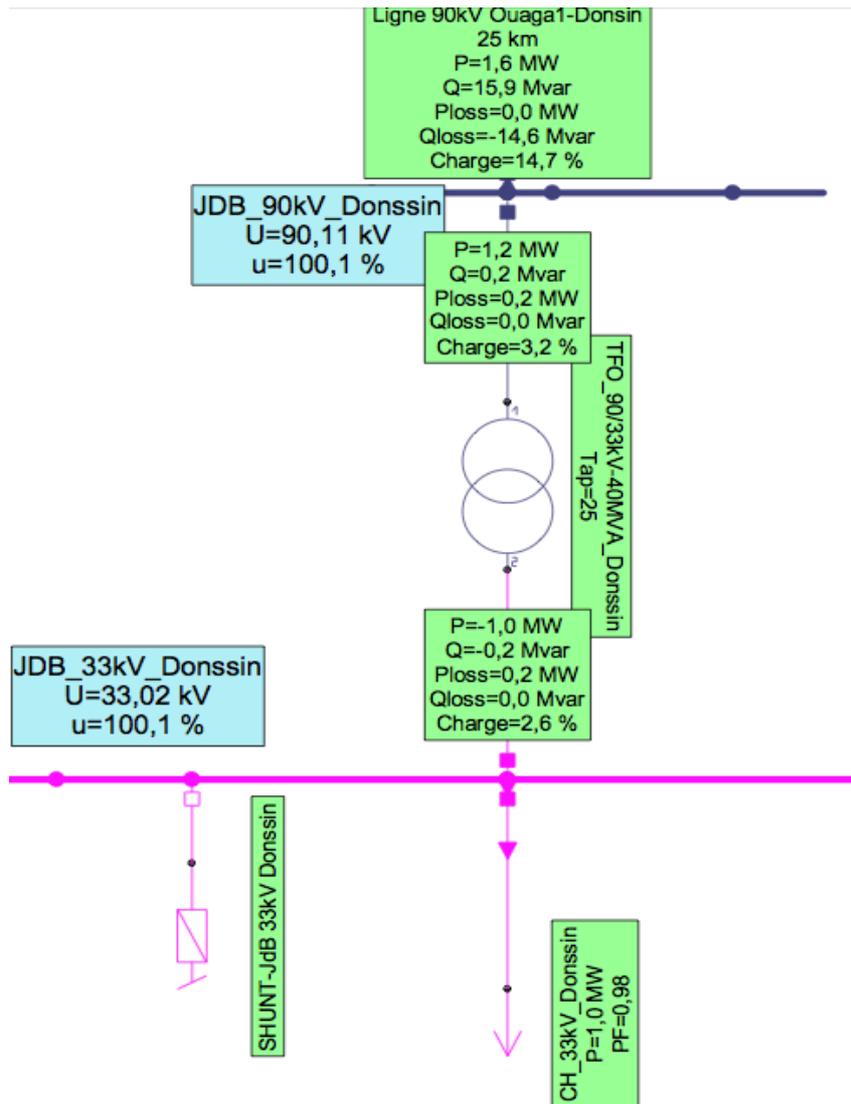


Figure 13: Simulation liaison 90 kV Ouaga1-Donsin 1 MW

6.1.3 Option Ouaga 2- Donsin

6.1.3.1 Ligne souterraine 33 kV

A partir de Neplan on réalise une ligne souterraine de 33 kV, de longueur 30 km en aluminium 240 mm² reliant les jeux de barres 33 kV de Ouaga 2 et Donsin.

Après le calcul de répartition de puissance, on observe les résultats suivants pour chaque niveau de charge.

Tableau 9: Résultats sur la liaison 33 kV Ouaga 2-Donsin

Liaison	RNI : 230MW+ 10MW		RNI : 230MW+ 15MW		RNI : 230MW+ 20MW	
	Pertes	Charge	Pertes	Charge	Pertes	Charge
Ouaga 2-Donsin	0,4 MW	41,3 %	0,9 MW	64,2 %	1,9 MW	93,7 %

Tableau 10: Résultats aux nœuds pour l'option Ouaga 2-Donsin

Principaux nœuds 33 kV	RNI : 230 MW + Donsin 10 MW		RNI : 230 MW + Donsin 15 MW		RNI : 230 MW + Donsin 20 MW	
	Tension		Tension		Tension	
	kV	% U_{nom}	kV	% U_{nom}	kV	% U_{nom}
JDB 33 kV Ouaga 2	33,06	100,2	32,88	99,6	32,30	97,9
JDB 33 kV Donsin	31,79	96,3	30,66	92,9	28,06	85,0

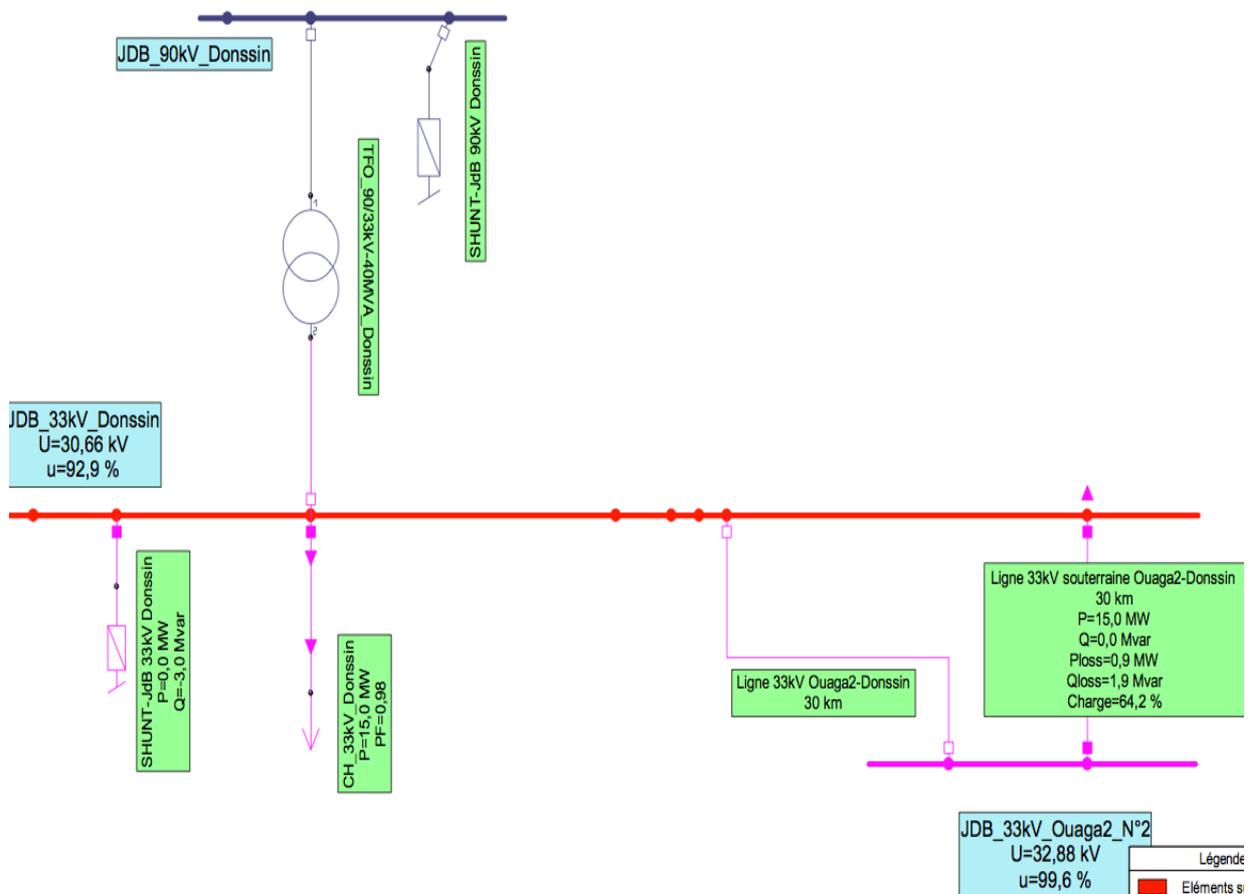


Figure 14: Simulation liaison 33 kV Ouaga 2-Donsin 15 MW

Ces résultats tiennent compte des compensations d'énergie réactive au niveau du jeu de barre de Donsin à chaque niveau de charge.

- 10 MW : compensation à 2 MVar
- 15 MW : compensation à 3 MVar
- 20 MW : compensation à 3 MVar

On constate une dégradation du plan de tension au nœud de Donsin lorsque la charge atteint 15 MW.

Une ligne 33 kV Ouaga 2-Donsin ne pourrait pas ainsi assurer l'alimentation électrique de Donsin à partir de la deuxième phase du projet.

6.1.3.2 Ligne souterraine 90 kV

Le site de Donsin est raccordé au réseau par une liaison souterraine 90 kV longue de 30 km reliant les jeux de barres 90 kV de Ouaga 2 et Donsin avec des câbles en Aluminium de section 630 mm².

Tableau 11: Résultats sur la liaison 90 kV Ouaga 2-Donsin

Liaison	RNI : 230MW+ 10MW		RNI : 230MW+ 15MW		RNI : 230MW+ 20MW	
	Pertes	Charge	Pertes	Charge	Pertes	Charge
Ouaga 2-Donsin	0 MW	17,3 %	0 MW	18,7 %	0,1 MW	21,6 %

Tableau 12: Résultats aux nœuds pour l'option 90 kV Ouaga 2-Donsin

Principaux nœuds 90 kV	RNI : 230 MW + Donsin 10 MW		RNI : 230 MW + Donsin 15 MW		RNI : 230 MW + Donsin 20 MW	
	Tension		Tension		Tension	
	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}
JDB 90 kV Ouaga 2	94,26	104,7	87,89	97,7	90,07	100,1
JDB 90 kV Donsin	94,39	104,9	87,83	97,6	89,89	99,9

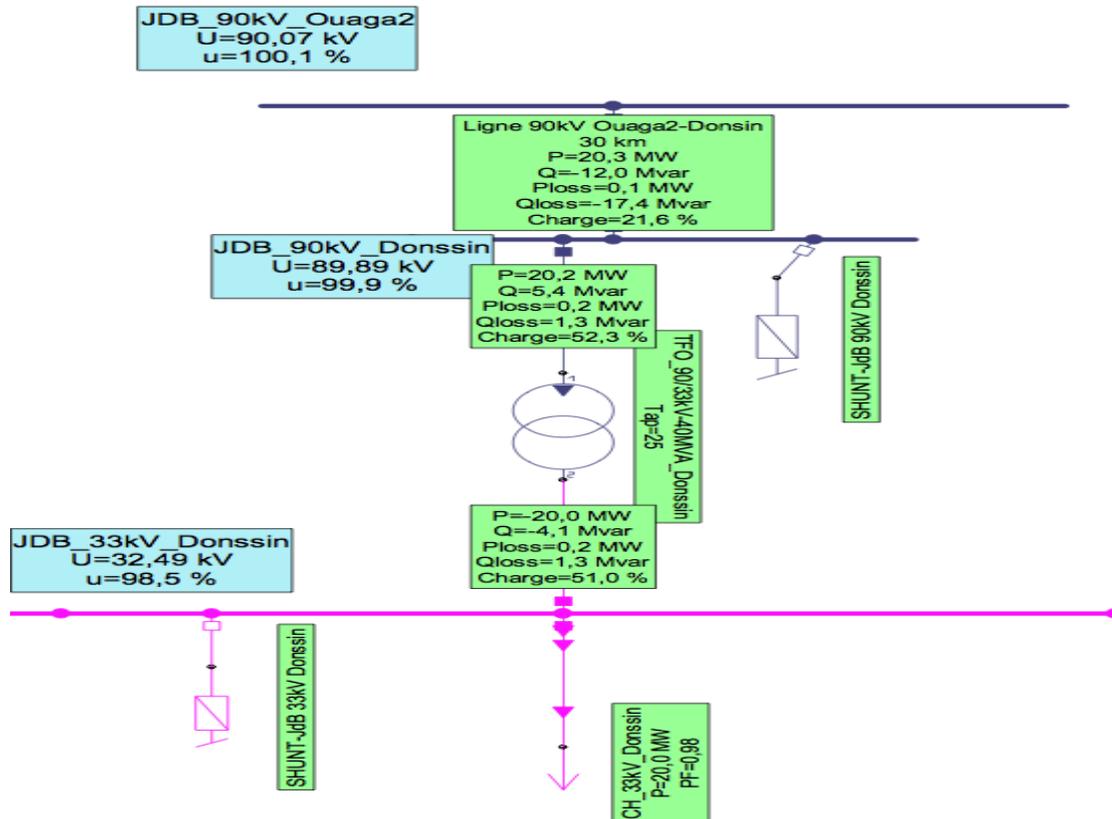


Figure 15: Simulation liaison 90 kV Ouaga 2-Donsin 20 MW

Avec la ligne 90 kV, on constate une amélioration du plan de tension.

6.1.4 Option Kossodo- Donsin

6.1.4.1 Ligne aérienne 33 kV

On alimente la charge de Donsin par une ligne aérienne 33 kV avec des câbles en Almélec de section 148 mm². Celle-ci est la section maximale en aérien 33 kV.

Après calcul de répartition de puissances, on obtient les résultats suivants :

Tableau 13: Résultats sur la liaison aérienne 33 kV Kossodo-Donsin

Liaison	RNI : 230MW+ 10MW		RNI : 230MW+ 15MW		RNI : 230MW+ 20MW	
	Pertes	Charge	Pertes	Charge	Pertes	Charge
Kossodo-Donsin	0,4 MW	51,6 %	1 MW	80,2 %	1,9 MW	111,4 %

Tableau 14: Résultats aux nœuds pour l'option aérienne 33 kV Kossodo-Donsin

Principaux nœuds 33 kV	RNI : 230 MW + Donsin 10 MW		RNI : 230 MW + Donsin 15 MW		RNI : 230 MW + Donsin 20 MW	
	Tension		Tension		Tension	
	kV	% U_{nom}	kV	% U_{nom}	kV	% U_{nom}
JDB 33 kV Kossodo	32,92	99,8	32,8	99,4	32,59	98,8
JDB 33 kV Donsin	31,26	94,7	30,1	91,2	28,86	87,5

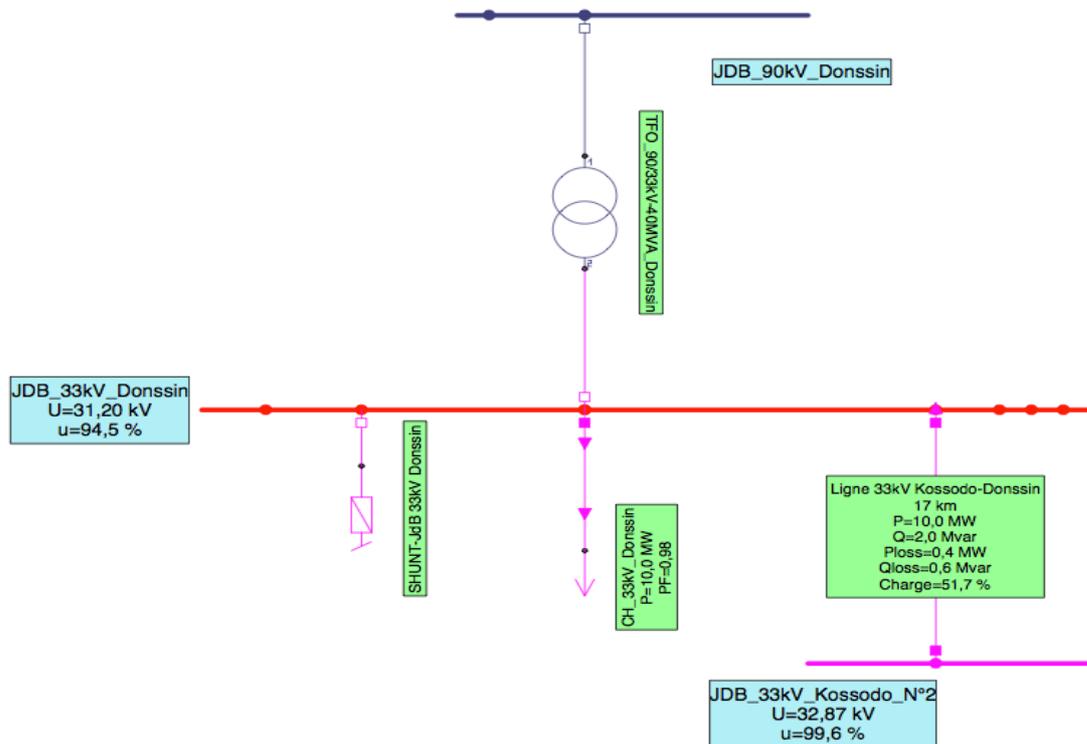


Figure 16 : Simulation liaison aérienne 33 kV Kossodo-Donsin 10 MW

On constate une dégradation du plan de tension et une surcharge sur la ligne de transit à 10 MW de charge.

Il ne sera pas alors bénéfique d'alimenter l'aéroport par une ligne aérienne 33 kV.

6.1.4.2 Ligne souterraine 33 kV

On simule l'alimentation de Donsin par une ligne souterraine 33 kV en Aluminium de section 240 mm² reliant les jeux de barre 33 kV de Kossodo et Donsin.

Tableau 15: Résultats sur la liaison souterraine 33 kV Kossodo-Donsin

Liaison	RNI : 230MW+ 10MW		RNI : 230MW+ 15MW		RNI : 230MW+ 20MW	
	Pertes	Charge	Pertes	Charge	Pertes	Charge
Kossodo-Donsin	0,2 MW	41,4 %	0,5 MW	64,2 %	0,6 MW	28,5 %

Tableau 16: Résultats aux nœuds pour l'option souterraine 33 kV Kossodo-Donsin

Principaux nœuds 33 kV	RNI : 230 MW + Donsin 10 MW		RNI : 230 MW + Donsin 15 MW		RNI : 230 MW + Donsin 20 MW	
	Tension		Tension		Tension	
	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}
JDB 33 kV Kossodo	33,04	100,1	32,79	99,4	32,73	92,2
JDB 33 kV Donsin	31,93	96,8	30,97	93,8	30,12	91,3

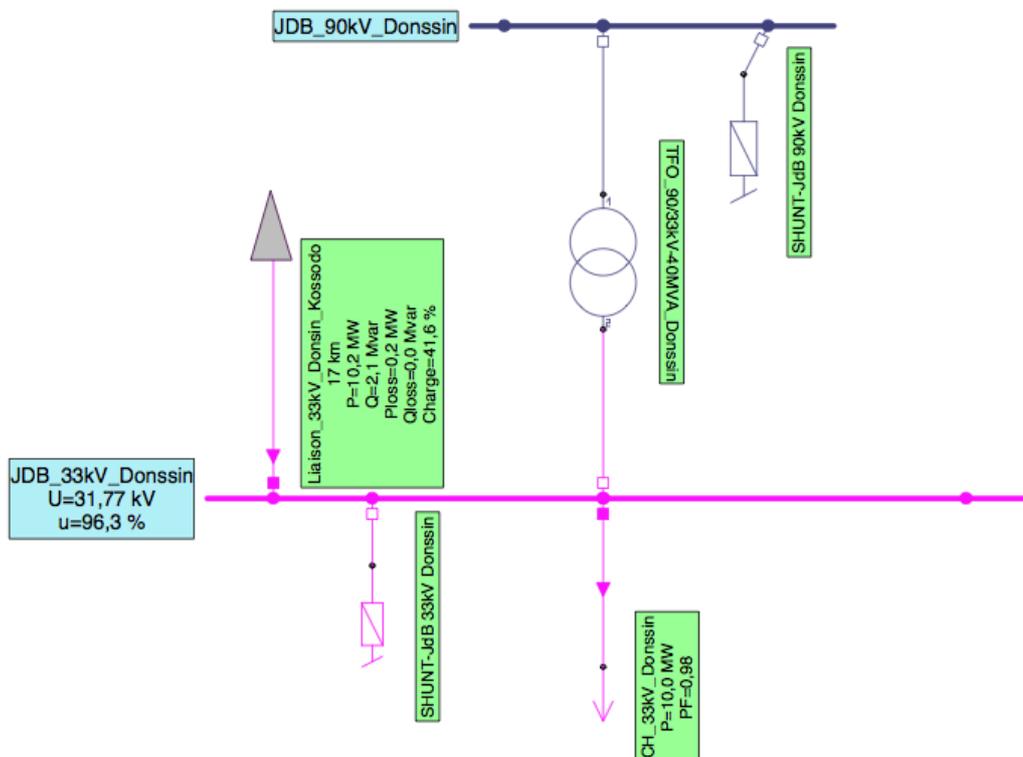


Figure 17: Simulation liaison souterraine 33 kV Kossodo-Donsin 10 MW

On constate une dégradation du plan de tension sur les différents nœuds. Pour y remédier, on

installe un banc de compensateurs au niveau du jeu de barre 33 kV de Donsin.

Le tableau suivant montre les résultats aux nœuds après compensation d'énergie réactive sur le jeu de barre 33 kV de Donsin.

Tableau 17: Résultats après compensation, sur la liaison souterraine 33 kV Kossodo-Donsin

Principaux nœuds 33 kV	RNI : 230 MW + Donsin 10 MW		RNI : 230 MW + Donsin 15 MW		RNI : 230 MW + Donsin 20 MW	
	Compensation 0MVar		Compensation 2MVar		Compensation 6MVar	
	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}
JDB 33 kV Donsin	31,93	96,8	31,61	95,8	31,6	95,7

Après compensation, le plan de tension devient satisfaisant.

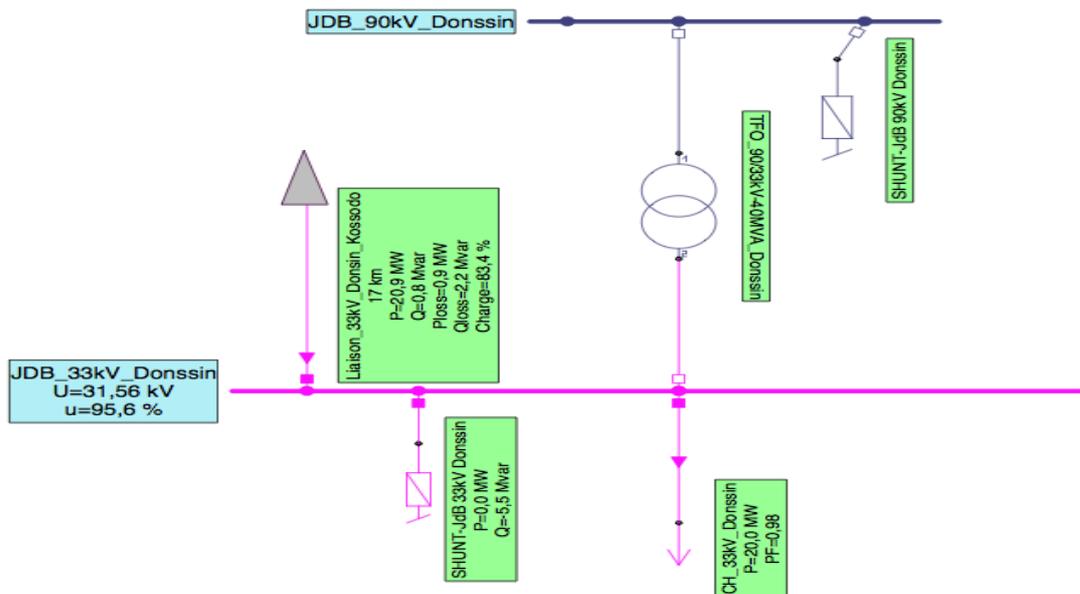


Figure 18: Simulation après compensation pour l'option souterraine 33 kV Kossodo-Donsin 15 MW

6.1.4.3 Ligne aérienne 90 kV

On alimente Donsin à travers une ligne aérienne sous une tension de 90 kV avec des câbles Almélec de section 228 mm².

Après calcul de répartition de puissance, on obtient les résultats suivants :

Tableau 18: Résultats sur la liaison aérienne 90 kV Kossodo-Donsin

Liaison	RNI : 230MW+ 10MW		RNI : 230MW+ 15MW		RNI : 230MW+ 20MW	
	Pertes	Charge	Pertes	Charge	Pertes	Charge
Kossodo-Donsin	0,3 MW	15,7 %	0,3 MW	21,5 %	0,4 MW	29,1 %

Tableau 19: Résultats aux nœuds pour l'option aérienne 90 kV Kossodo-Donsin

Principaux nœuds 90 kV et 33 kV	RNI : 230 MW + Donsin 10 MW		RNI : 230 MW + Donsin 15 MW		RNI : 230 MW + Donsin 20 MW	
	Tension		Tension		Tension	
	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}	kV	% U _{nom}
JDB 90 kV Kossodo	88,27	98,1	87,95	97,7	87,36	97,1
JDB 90 kV Donsin	87,75	97,5	87,22	96,9	86,34	95,9
JDB 33 kV Donsin	31,93	96,7	31,63	95,8	31,16	94,4

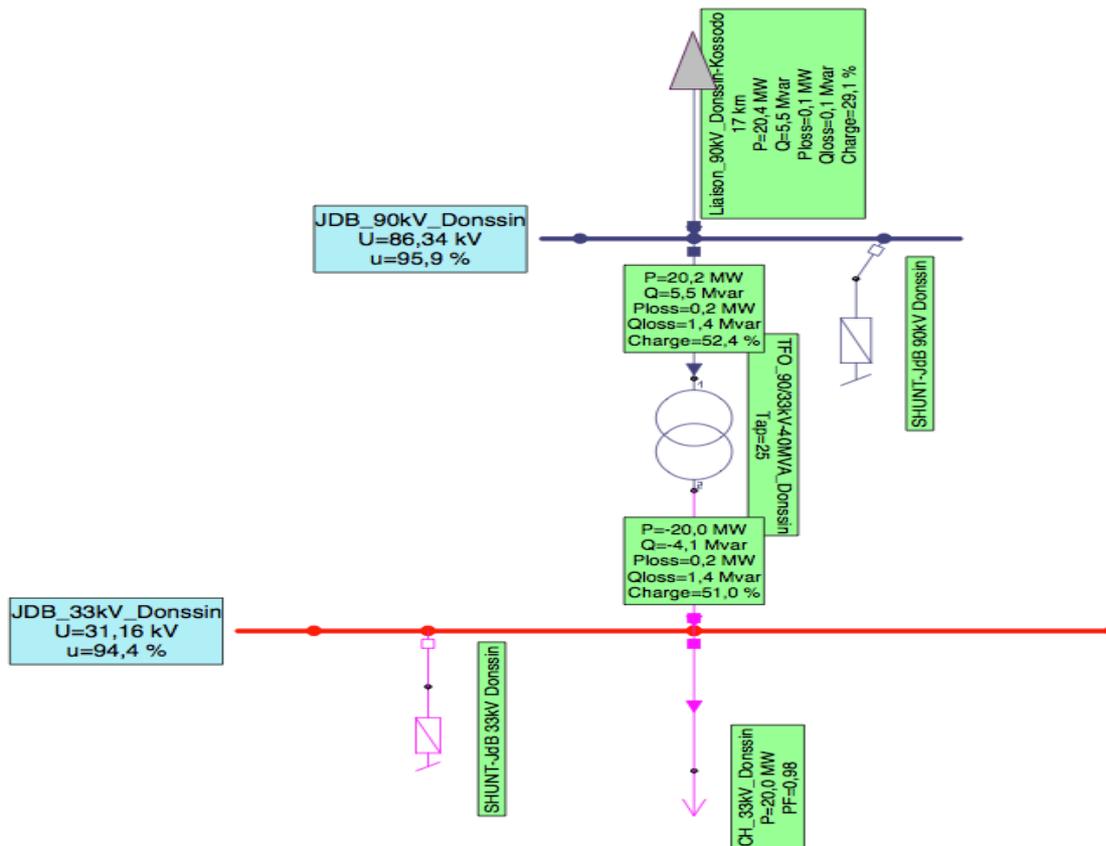


Figure 19: Simulation liaison aérienne 90 kV Kossodo-Donsin 20 MW

On observe à 20 MW de charge, que la tension au jeu de barre 33 kV de Donsin est de 94 % de la tension nominale ce qui est hors de la limite admissible. On procède alors à une compensation de 1 MVar sur le jeu de barre concerné.

Résultats après compensation de 1 MVar au jeu de barre 33 kV de Donsin :

Tableau 20: Résultat après compensation au nœud 33 kV de Donsin pour l'option aérienne 90 kV Kossodo-Donsin

Nœuds	avec 1 MVar	
	RNI:230 MW + Donsin 20 MW	
	Tension	
	kV	% U_{nom}
jDB 33 kV Donsin	31,4	95,1

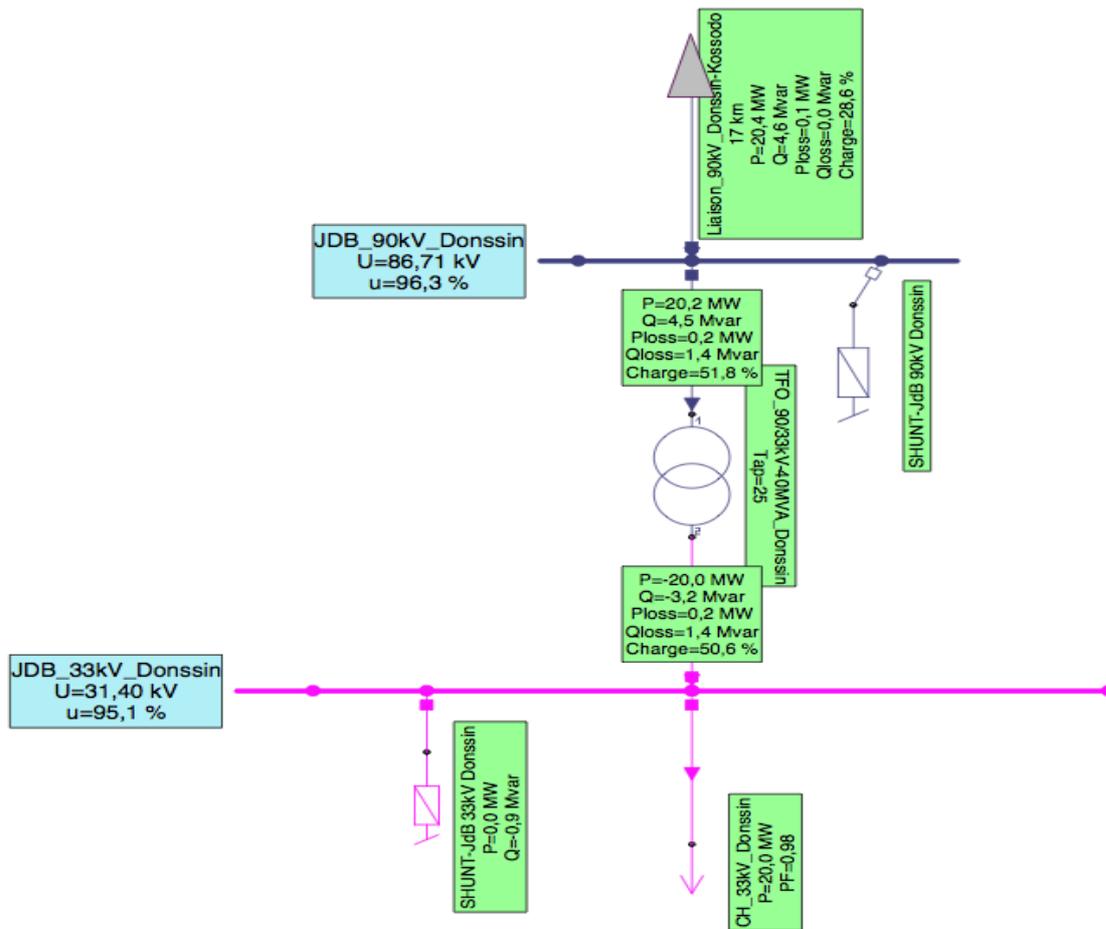


Figure 20: Simulation après compensation pour l'option aérienne 90 kV Kossodo-Donsin

Le plan de tension est respecté.

Il ressort de toutes ces simulations, les propositions suivantes pour fournir en énergie électrique l'aéroport de Donsin :

- ✓ ligne aérienne 90 kV Zagtouli-Donsin,
- ✓ ligne souterraine 90 kV Ouaga 2-Donsin,
- ✓ ligne souterraine 33 kV Kossodo-Donsin avec compensation jusqu'à 6 MVar à 20 MW,
- ✓ ligne aérienne 90 kV Kossodo-Donsin avec compensation de 1 MVar.

Nous analyserons chacune de ces possibilités du point de vue technique, économique et environnemental avant de les comparer pour déterminer le raccordement optimal.

6.2 Comparaison des différentes options

6.2.1 Option Zagtouli-Donsin

❖ Contraintes techniques

Tableau 21: Contraintes techniques ligne 90 kV aérienne Zagtouli-Donsin

Type de contraintes	Description
Longueur de connexion	Élevée (43 km)
Stabilité de la ligne	Ligne 90 kV stable : non surchargée, peu de défauts enregistrés sur les liaisons 90 kV
Complexité des opérations de maintenance	Pas de difficultés avec les équipements de contrôle commande

❖ Contraintes environnementales

Tableau 22: Contraintes environnementales ligne 90 kV aérienne Zagtouli-Donsin

Types de contraintes	Description
Impact visuel	Changement du paysage dû aux pylônes
Occupation permanente du terrain	Il faut 25 m d'espace libre de part et d'autre de l'axe de la ligne et ce, sur 43 km
Impacts sur la flore	Pas de traversée d'espace vert

❖ Contraintes économiques

Tableau 23: Contraintes économiques ligne 90 kV aérienne Zagtouli-Donsin

Type de contrainte	Description
Coût de réalisation de l'ouvrage	43.000.000 FCFA/km ¹ soit près de 2.000.000.000 FCFA
Niveau de pertes	14,4 MWh/jour soit 1.440.000 FCFA/jour

6.2.2 Option Ouaga 2-Donsin

❖ Contraintes techniques

Tableau 24: Contraintes techniques ligne 90 kV souterraine Ouaga 2-Donsin

Type de contraintes	Description
Longueur de connexion	Distance élevée (30 km), en souterrain
Stabilité de la ligne	Ligne 90 kV stable : non surchargée, peu de défauts enregistrés sur les liaisons 90 kV
Complexité des opérations de maintenance	Simple grâce aux équipements de contrôle commande

❖ Contraintes environnementales

Tableau 25: Contraintes environnementales ligne 90 kV souterraine Ouaga 2-Donsin

Types de contraintes	Description
Impact visuel	Pas d'impact, ligne souterraine
Occupation permanente du terrain	Terrain utilisable après les travaux
Impacts sur la flore	Peu de traversée d'espace vert

❖ Contraintes économiques

Tableau 26: Contraintes économiques ligne 90 kV souterraine Ouaga 2-Donsin

Type de contrainte	Description
Coût de réalisation de l'ouvrage	90.000.000 FCFA/km ² soit 2.700.000.000 FCFA
Niveau de pertes	2,4 MWh/jour soit 240.000 FCFA/jour

¹ Coût de la ligne aérienne 90 kV section 228 mm² d'après le Bordereau des Prix de la

² Coût de la ligne souterraine 90 kV section 630 mm² d'après le Bordereau des Prix de la SONABEL

6.2.3 Option Kossodo-Donsin 33 kV souterrain

❖ Contraintes techniques

Tableau 27: Contraintes techniques ligne 33 kV souterraine Kossodo-Donsin

Type de contraintes	Description
Longueur de connexion	Distance courte (17 km)
Stabilité de la ligne	Ligne 33 kV sensible : ligne 33kV surchargées, beaucoup de défauts enregistrés sur les liaisons 33 kV
Complexité des opérations de maintenance	Simple grâce aux équipements de contrôle commande

❖ Contraintes environnementales

Tableau 28: Contraintes environnementales ligne 33 kV souterraine Kossodo-Donsin

Types de contraintes	Description
Impact visuel	Pas d'impact visuel car ligne souterraine
Occupation permanente du terrain	Le terrain est occupé que pendant les travaux
Impacts sur la flore	La ligne ne traverse pas un espace vert

❖ Contraintes économiques

Tableau 29: Contraintes économiques ligne 33 kV souterraine Kossodo-Donsin

Type de contrainte	Description
Coût de réalisation de l'ouvrage	43 millions/km ³ soit 731.000.000 FCFA +177.000.000 FCFA pour les batteries de condensateurs
Niveau de pertes	14,4 MWh/jour soit 1.440.000 FCFA/jour

6.2.4 Option Kossodo-Donsin 90 kV

❖ Contraintes techniques

³ Coût de la ligne souterraine 33 kV section 240 mm² d'après le Bordereau des Prix de la SONABEL

Tableau 30: Contraintes techniques ligne 90 kV aérienne Kossodo-Donsin

Type de contraintes	Description
Longueur de connexion	Distance courte (17 km)
Stabilité de la ligne	Ligne 90 kV stable : non surchargée, peu de défauts sur les liaisons 90 kV
Complexité des opérations de maintenance	Simple grâce aux équipements de contrôle commande

❖ Contraintes environnementales

Tableau 31: Contraintes environnementales ligne 90 kV aérienne Kossodo-Donsin

Types de contraintes	Description
Impact visuel	Changement du paysage à cause des pylônes
Occupation permanente du terrain	Il faut 25 m d'espace libre de part et d'autre de l'axe de la ligne et ce, sur 17 km
Impacts sur la flore	Pas de traversée d'espace vert

❖ Contraintes économiques

Tableau 32: Contraintes économiques ligne 90 kV aérienne Kossodo-Donsin

Type de contrainte	Description
Coût de réalisation de l'ouvrage	43.000.000FCFA/km soit 730.000.000 FCFA, plus 25.000.000FCFA pour le banc de compensation 1MVar
Niveau de pertes	9,6 MWh/jour soit 960.000 FCFA/jour

6.3 Conclusion

De toutes les variantes analysées, celle de Zagtoui et Kossodo 90 kV sont les plus fiables du point de vue technique. Kossodo se révèle plus avantageuse économiquement avec un coût de réalisation de la ligne de 750 millions de FCFA comparé à Zagtoui qui revient à 2 milliards de FCFA. Aussi, le poste de Kossodo étant plus proche de Donsin, l'option de raccordement Kossodo-Donsin est plus respectueuse de l'environnement par rapport à celle de Zagtoui.

La solution optimale de raccordement est donc Kossodo-Donsin à travers une ligne aérienne de 90 kV pour l'alimentation principale. Soucieux de la continuité de service de l'aéroport, nous proposons une seconde ligne d'alimentation secours en cas de non disponibilité de la ligne principale. Le meilleur choix qui s'offre en tenant compte des contraintes techniques, environnementales est celui d'une ligne souterraine 33 kV Kossodo-Donsin.

CHAPITRE VII : TRACE PROPOSE ET CONSISTANCE DES OUVRAGES

7.1 Coordonnées des points du tracé

Tableau 33: Coordonnées cartésiennes de la ligne proposée

	X	Y
P 1	664 691,81	1 375 160,3
P 2	664 523,43	1 375 343,0
P 3	664 500,03	1 375 424,3
P 4	664 757	1 377 204
P 5	663 818	1 378 673
P 6	663 885	1 380 538
P 7	663 821	1 381 137
P 8	664 040	1 385 450
P 9	663 857	1 386 478
P 10	664 169	1 389 726
P 11	664 908	1 390 410
P 12	666 623	1 390 195



Figure 21: Tracé de la ligne 90 kV Kossodo-Donsin

7.2 Consistance des ouvrages

Cette partie a pour but de présenter les ouvrages à réaliser, tenant compte du souhait exprimé par la MOAD et des résultats des simulations effectuées.

Le poste source pour l'alimentation de l'aéroport sera le poste 90/33/15 kV de Kossodo, poste géographiquement le plus proche du site de Donsin. Il a été retenu de construire une ligne aérienne 90 kV comme source principale et une ligne 33 kV souterraine comme source de secours. Les ouvrages à réaliser dans ce cadre peuvent être résumés comme suit :

- l'extension du poste de Kossodo par la création d'une travée ligne 90 kV et la pose d'une cellule départ 33 kV ;
- la construction d'une ligne aérienne 90 kV Kossodo-Donsin d'environ 23 km ;
- la construction d'une ligne souterraine 33 kV Kossodo-Donsin longue d'environ 23 km;
- la construction et l'équipement d'un poste 90/33 kV à Donsin.

7.2.1 Extension du poste 90 kV de Kossodo

Cette extension consistera en l'équipement d'une travée ligne 90 kV dans la réservation existante. Cette nouvelle travée recevra l'arrivée Ouaga 1 de sorte à utiliser la travée existante pour connecter le départ Donsin. Cette permutation est nécessaire afin de faciliter les réalisations futures, notamment la ligne 90 kV départ Kongoussi.

La nouvelle travée ligne 90 kV sera composée des équipements de types extérieurs, à isolement dans l'air suivants :

- trois (3) parafoudres de ligne 90 kV;
- deux circuits-Bouchons ;
- trois (3) transformateurs de tension 90 kV capacitifs ;
- trois (3) transformateurs de courant 90 kV ;
- un (1) sectionneur ligne tripolaire 90 kV à commande manuelle avec son couteau de mise à la terre ;
- un disjoncteur de ligne tripolaire 90 kV à commande unipolaire ;
- un (1) sectionneur barres tripolaire 90 kV motorisé ;
- un (1) ensemble de châssis supports pour l'installation des équipements 90 kV ;
- un ensemble de barres rigides en tube Alu 50/60 pour la connexion des équipements au jeu de barres 90 kV.

En outre, il sera nécessaire de compléter les équipements de protection, de contrôle-commande, de signalisation et de télécommunication relatifs aux équipements de cette

nouvelle travée dans les installations du bâtiment technique.

Ce complément consistera en la fourniture, la pose, l'intégration dans le système existant et la mise en service de :

- un (01) ensemble de relaiage auxiliaire de tranche ligne ;
- un (01) ensemble de protections et automates numériques pour le départ ligne comprenant au minimum : 1 protection de distance, 1 protection secours directionnelle, 1 protection complémentaire, 1 ré-enclencheur mono-tri, 1 synchro check, 1 max-min tension ;
- un (01) ensemble d'équipements de contrôle commande pour la tranche ligne.

Ces dispositifs de protections seront de types numériques et compatibles avec ceux en service dans le poste.

Enfin, pour la création du départ 33 kV, la pose d'une cellule disjoncteur 33 kV à raccorder au Jeu de Barres existant est nécessaire ; pour ce faire, il faudra installer le même type de cellule que celles existantes, ou alors prévoir une gaine d'adaptation et réaliser l'extension des équipements existants pour l'intégration des circuits de contrôle commande, de signalisations et télécommunications.

Les schémas des annexes 1 et 2 montrent les ouvrages existants et ceux à réaliser dans le cadre de l'alimentation de l'aéroport.

7.2.2 Construction des lignes 90 et 33 kV

7.2.2.1 Le tracé

Les lignes 90 et 33 kV sont prévues être réalisées dans le même couloir, donc le même tracé. Celui-ci a été défini sur la base des photos satellitaires Google earth ainsi que des plans sur Autocad fournis par la MOAD, indiquant le tracé de la voie d'accès et la réservation foncière faite autour de cette voie.

Le tracé retenu se présente comme suit :

La ligne de Donsin débute sur le pylône P2 de la ligne existante Ouaga 1-Kossodo. La première portée longera le coté sud-ouest du domaine de l'usine BELWET jusqu'au point P3. A partir du point P3, la ligne longera sur sa droite le domaine du Larlé Naaba jusqu'au point P4 et ensuite P5 située dans la bande foncière de 1 kilomètre acquise par la MOAD. Cette partie du tracé tient compte du projet de lotissement de la zone en longeant la trame d'accueil de Kossodo-Polesgo.

A partir de P5, le tracé longe la bande réservée de 500 m par rapport à l'axe de la voie d'accès, en gardant une distance minimale de 25 m avec sa limite droite, jusqu'au point P11.

De ce point P11 au Point P12 (fin de la ligne), le tracé dévie à droite pour rejoindre le site du

poste de l'aéroport par une traversée de la route expresse de l'aéroport.

Le choix présent étant optimum, la longueur de la ligne est d'environ 23 km ; la longueur exacte sera précisée par le tracé du géomètre.

7.2.2.2 Les lignes 90 kV

Des aménagements seront réalisés à la sortie du poste pour permettre une utilisation rationnelle et optimale du couloir existant. A cet effet, il sera réalisé sur la portion L9N1-L9N2, une portée en double ternes ; un terne sera raccordé au pylône P3 pour reprendre la ligne de Ouaga 1 et l'autre terne sera en attente pour une future réalisation.

L'extrait de plan ci-après en donne une illustration.

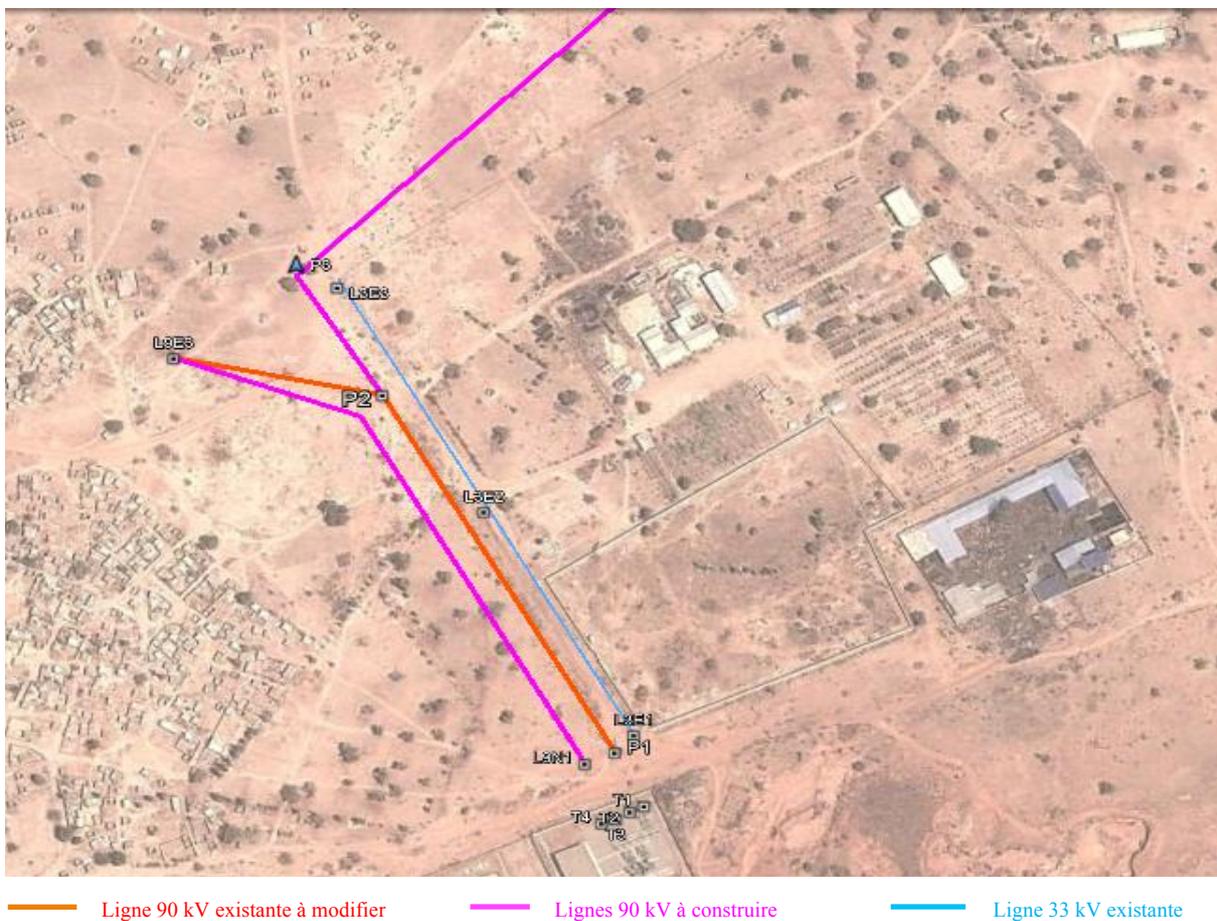


Figure 22: Illustration des aménagements à réaliser pour la ligne 90 kV

a) Pylônes 90 kV

Les pylônes à utiliser seront de deux types.

Pour la partie de ligne allant de P3 à P6 qui se situe dans une zone objet d'un projet de lotissement, les pylônes seront de types "petit-jean" ou monopode.

Pour le tronçon restant, ils seront en treillis métalliques sur quatre (4) pieds séparés ou tétrapode, noyés dans le béton.

Les armements devant recevoir les conducteurs, en un seul terne, sont disposés en triangle. Le sommet du pylône sera surmonté par un chevalet devant supporter le câble de garde pour la protection de la ligne contre les coups de foudre et l'interconnexion des mises à la terre.

b) Fondations et mises à la terre

Pour les pylônes en treillis métalliques, les fondations seront à quatre (4) pieds séparés et les massifs seront à dalle et rot ou forés cylindriques.

Pour ceux en "petit-jean", en fonction de la nature du sol, les fondations seront de deux types :

- soit superficielle avec des massifs monoblocs enterrés, en béton armé ou non
- soit spéciale avec des fondations profondes constituées d'un ou plusieurs pieux reliés ensemble par un massif de liaison.

Une étude des sols suivant le tracé de la ligne sera exécutée et les résultats transmis au bureau d'études des massifs des pylônes.

Les différents types de massifs seront déterminés en fonction des charges dues aux vents, à la superstructure et, de la nature du terrain rencontré.

La mise à la terre des supports sera réalisée sur chaque massif de fondation d'un pylône à travers deux boucles en fil métallique qui ceinturent ce massif en béton, l'une à mi-profondeur et l'autre au fond de la fouille. Ces boucles sont placées dans des rainures horizontales creusées dans les parois de la fouille remplies de terre végétales soigneusement tassées avant le bétonnage. Cette mise à la terre pourrait nécessiter une amélioration éventuelle.

c) Conducteurs

Pour des raisons de capacités de transit et de standardisation facilitant la gestion des stocks de pièces de rechange en vue des entretiens, les conducteurs des lignes 90kV, seront en Almélec homogène (ASTER) non graissé de section 228 mm² et les câbles de garde en câble à fibres optiques (OPGW) Phlox 75,5 mm².

7.2.2.3 La ligne 33 kV

La ligne 33 kV sera réalisée en câbles souterrains pour une meilleure sécurité d'exploitation et aussi pour des raisons d'esthétique comme l'a souhaité la MOAD.

Elle sera construite sur le même parcours que la ligne 90 kV. Le câble utilisé sera du type NFC33-223, en aluminium de section 630 mm². Des chambres seront aménagées au niveau de chaque boîte de jonction afin d'en faciliter l'accès en cas de nécessité d'intervention. De plus, des bornes de direction seront posées à chaque angle et tous les 500 m au moins.

7.2.3 Construction et équipement du poste 90/33 kV de l'aéroport

Les travaux au poste de l'aéroport comporteront les volets ci-après :

7.2.3.1 Génie civil

Il s'agit de réaliser tous les ouvrages de génie civil nécessaires à la mise en place des équipements électromécaniques et la facilitation de l'exploitation des ouvrages construits.

Ces travaux incluent :

- les études de sols des postes et de la ligne ;
- les études et travaux de terrassements généraux et secondaires, d'aménagement de toutes les plateformes et sites choisis, des voies d'accès, des caniveaux de câbles et d'assainissement ;
- les études et travaux pour la construction des bâtiments techniques ;
- les études et travaux pour la construction des logements d'exploitation ;
- les réseaux divers d'équipement ;
- la clôture extérieure de la plateforme ;
- l'ameublement et l'équipement des bâtiments techniques.

7.2.3.2 Equipement électrique

Les équipements électriques sont composés d'équipements extérieurs et d'équipements intérieurs.

Les équipements extérieurs sont composés de la travée départ ligne 90 kV Donsin-Kossodo, de la travée arrivée ligne 90 kV Kossodo-Donsin et de la travée transformateur 90 kV/33 kV.

a) Travée départ ligne 90 kV Donsin-Kossodo

La travée ligne 90 kV de Donsin à Kossodo sera composée des équipements suivants :

- un (1) ensemble de portiques pour l'ancrage des conducteurs et des connexions tendues ;
- un (1) ensemble de châssis supports pour l'installation des équipements 90 kV ;
- un sectionneur de ligne tripolaire 90 kV à commande manuelle avec son couteau de mise à la terre ;
- trois (3) parafoudres 90 kV ;
- trois (3) transformateurs de tension 90 kV capacitifs $90\text{kV}/\sqrt{3} / 0,1/\sqrt{3}$;
- trois (3) transformateurs de courant 90 kV-20VA ;
- deux (2) circuits bouchons ;
- un disjoncteur tripolaire 90 kV à commande unipolaire ;
- un sectionneur barres tripolaire 90 kV motorisé.

b) Travée arrivée ligne Kossodo- Donsin

La travée ligne 90 kV Kossodo à Donsin sera composée des équipements suivants :

- un (1) ensemble de portiques pour l'ancrage des conducteurs et des connexions tendues ;
- un (1) ensemble de châssis supports pour l'installation des équipements 90 kV
- un sectionneur ligne tripolaire à commande manuelle avec son couteau de mise à la terre ;
- trois (3) parafoudres 90 kV;
- trois (3) transformateurs de tension 90 kV capacitifs $90 \text{ kV}/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}$;
- un (1) transformateur de tension 90 kV selfique $90 \text{ kV}/0,1/\sqrt{3}$;
- trois (3) transformateurs de courant 90 kV-20VA ;
- deux (2) circuits bouchons ;
- un disjoncteur tripolaire 90 kV à commande unipolaire ;
- un sectionneur de barres tripolaire 90 kV motorisé.

c) Travée Transformateur 90/33 kV

Chaque travée transformateur 90 kV sera composée des équipements suivants :

- un (1) ensemble de portiques pour l'ancrage des conducteurs et des connexions tendues ;
- un (1) ensemble de châssis supports pour l'installation des équipements 90 et 33 kV ;
- un ensemble de jeu de barres 90 kV en configuration simple jeu de barres ;
- un (1) disjoncteur 90 kV tripolaire ;
- un (1) transformateur de puissance 90/33 kV-16/25 MVA équipé d'un régulateur de tension en charge ;
- un (1) transformateur de source auxiliaire 33/0,4 kV-250 kVA ;
- trois (3) parafoudres 90 kV ;
- trois (3) parafoudres 33 kV ;
- une (1) résistance de mise à la terre 66 ohms ;
- trois (3) transformateurs de courant Bushing 33 kV ;
- un sectionneur de barres tripolaires 90 kV motorisé ;
- trois (3) transformateurs de courant capacitifs 90 kV-20 VA ou Bushing 90 kV.

Les équipements intérieurs du poste sont composés des équipements pour le réseau HTA, des équipements pour les auxiliaires, contrôle commande, télécommunications et téléconduite.

a) Réseau HTA

Concernant le réseau HTA, en aval du transformateur de puissance qui sera installé, il sera créé dans le poste de livraison la partie moyenne tension du poste équipé de protection électrique câble et constituée de deux rames de cellules :

- une (1) rame de sept (7) cellules 33 kV dont :
 - o une cellule disjoncteur arrivée transformateur 90/33 kV ;
 - o une cellule disjoncteur départ transformateur des services auxiliaires ;
 - o trois (03) cellules disjoncteurs départ réseau 33 kV ;
 - o une cellule de couplage barres ;
- une (1) rame de quatre (4) cellules 33 kV dont :
 - o une cellule disjoncteur arrivée ligne souterraine 33 kV ;
 - o trois (03) cellules disjoncteurs départ réseau 33 kV.

Les cellules "arrivée transformateur 90/33 kV " et "arrivée ligne souterraine 33 kV" seront de type NSM paramétrable de façon à fonctionner en système normal-secours. Un automate d'inversion de source type easergy sera nécessaire à cet effet. En l'absence de tension sur la voie principale, le système bascule automatiquement sur la voie secours.

c) Auxiliaires, contrôle commande, télécommunications et téléconduite

Le traitement des sources auxiliaires et la réalisation des liaisons Basse Tension entre les équipements va permettre leur contrôle commande et l'intégration des informations au système de consignation d'état et de téléconduite servant au contrôle de processus en local ou à distance à partir du Centre National de Conduite.

Le poste de Donsin comprendra :

- un (1) ensemble de relayage auxiliaire de tranche ligne et de tranche transformateur;
- un (1) ensemble de protections et automates numériques pour le départ ligne comprenant au minimum :
 - une (1) protection de distance ;
 - une (1) protection secours directionnelle ;
 - une (1) protection complémentaire ;
 - un (1) ré-enclencheur mono-tri ;
 - un (1) synchro-check ;

- un (1) max-mini tension ;
- un (1) ensemble de protections et automates numériques pour la tranche transformateur comprenant au minimum :
 - une (1) protection de surintensité de phase ;
 - une (1) protection de surintensité homopolaire ;
 - une (1) protection de courant neutre 33 kV ;
 - une (1) protection différentielle ;
 - une (1) protection TSA ;
 - une (1) protection max I bushing ;
 - une (1) protection terre résistante 33 kV ;
 - une (1) protection de surcharge ;
 - un (1) régulateur de tension ;
- un (1) ensemble d'équipements contrôle commande pour chaque tranche ;
- un (1) atelier d'énergie comprenant :
 - 2 groupes de batteries 127 Vcc ;
 - 1 groupe de batteries 48 Vcc ;
 - 2 redresseurs 127 Vcc ;
 - 1 redresseur 48 Vcc ;
- une (1) armoire de distribution d'auxiliaires alternatifs 220/380 V ;
- une (1) armoire de distribution d'auxiliaires continus 127 Vcc ;
- une (1) armoire de distribution d'auxiliaires continus 48 Vcc ;
- un (1) ensemble d'équipements de télécommunications numériques comprenant au minimum :
 - 1 RTU avec consignation locale des signalisations ;
 - 1 équipement CPL pour une liaison de transmission ;
 - 1 Autocommutateur.

7.2.4 Construction du mini réseau 33 kV de l'aéroport

En plus du poste 90/33 kV, un mini réseau 33 kV souterrain en câble NFC 33-223 de section 630 mm² sera construit dans l'enceinte du domaine de l'aéroport pour desservir 3 postes de livraison 33 kV alimentant les zones civile, technique et militaire prévus dans le plan d'investissement de la MOAD. Le raccordement de ce réseau HTA issu du poste 90/33 kV de SONABEL ainsi que l'équipement de chaque poste sera réalisé par l'entreprise qui sera en charge des travaux de construction de l'aéroport.

7.3 Estimation du coût des Ouvrages

Le coût total du projet est estimé en Hors Taxes à neuf milliards, cinq cent soixante-dix-sept millions (9 577 000 000) de franc CFA et se décompose comme suit :

Tableau 34: Devis financier du projet

POSTES	DESIGNATION	MONTANTS
I.	Extension du poste de Kossodo et construction de la ligne aérienne 90 kV	3 122 060 000
II.	Construction ligne souterraine 33 kV Kossodo - Donsin	1 932 760 990
III.	Création d'un poste 90/33 kV à Donsin	3 631 737 559
IV.	Ingénierie du projet	434 327 927
V.	Imprévus	456 044 324
TOTAL HTVA (FCFA)		9 576 930 800

Cette évaluation est basée sur les coûts unitaires des ouvrages similaires réalisés dans les deux dernières années pour le compte de la SONABEL.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Disposant seulement des informations sur les besoins en puissance de l'aéroport et sa situation géographique, une étude s'imposait pour disposer de tous les éléments nécessaires en vue d'assurer une alimentation électrique fiable de l'aéroport. Ces éléments sont entre autre : le lieu par lequel raccorder le site de l'aéroport au réseau électrique, le type de ligne, la tension d'alimentation, le type de câbles ainsi que tous les équipements et travaux nécessaires à l'alimentation efficiente de la charge.

Le logiciel de simulation des réseaux électriques Neplan a joué un rôle important dans cette étude dans la mesure où il a permis de juger la faisabilité sur le plan électrique des options de raccordements proposés. Les raccordements respectant le plan de tension et la limite de surcharge des lignes ont été analysés en tenant compte des contraintes techniques, économiques et environnementales, ce qui nous a permis de déterminer le raccordement optimal qui est Kossodo-Donsin. Mais pour réaliser cette alimentation, plusieurs travaux sont nécessaires à savoir la construction des lignes 90 et 33 kV, l'équipement du poste 90/33 kV et la construction du mini réseau 33 kV de l'aéroport.

Au cours de cette étude, il aurait été convenable de procéder à un dimensionnement mécanique de la ligne aérienne 90 kV. Ceci aurait permis de déterminer les charges transmises par les conducteurs, les chaînes d'isolateurs et les câbles de garde aux pylônes de la ligne électrique haute tension en vue de choisir les pylônes adéquats.

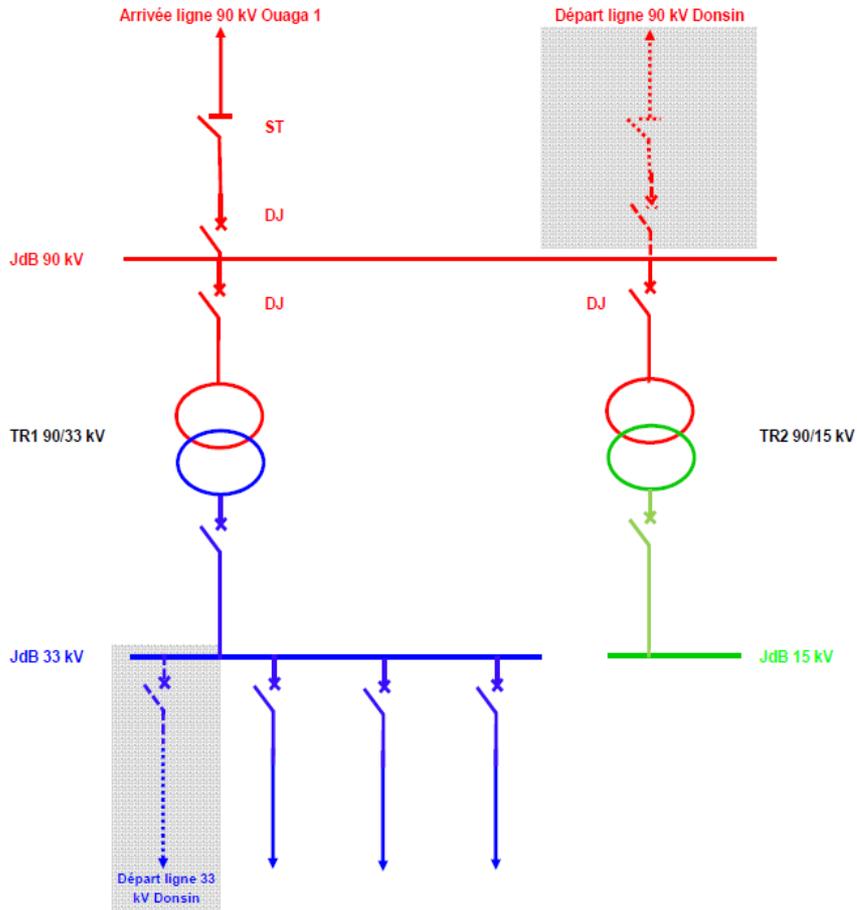
BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles :

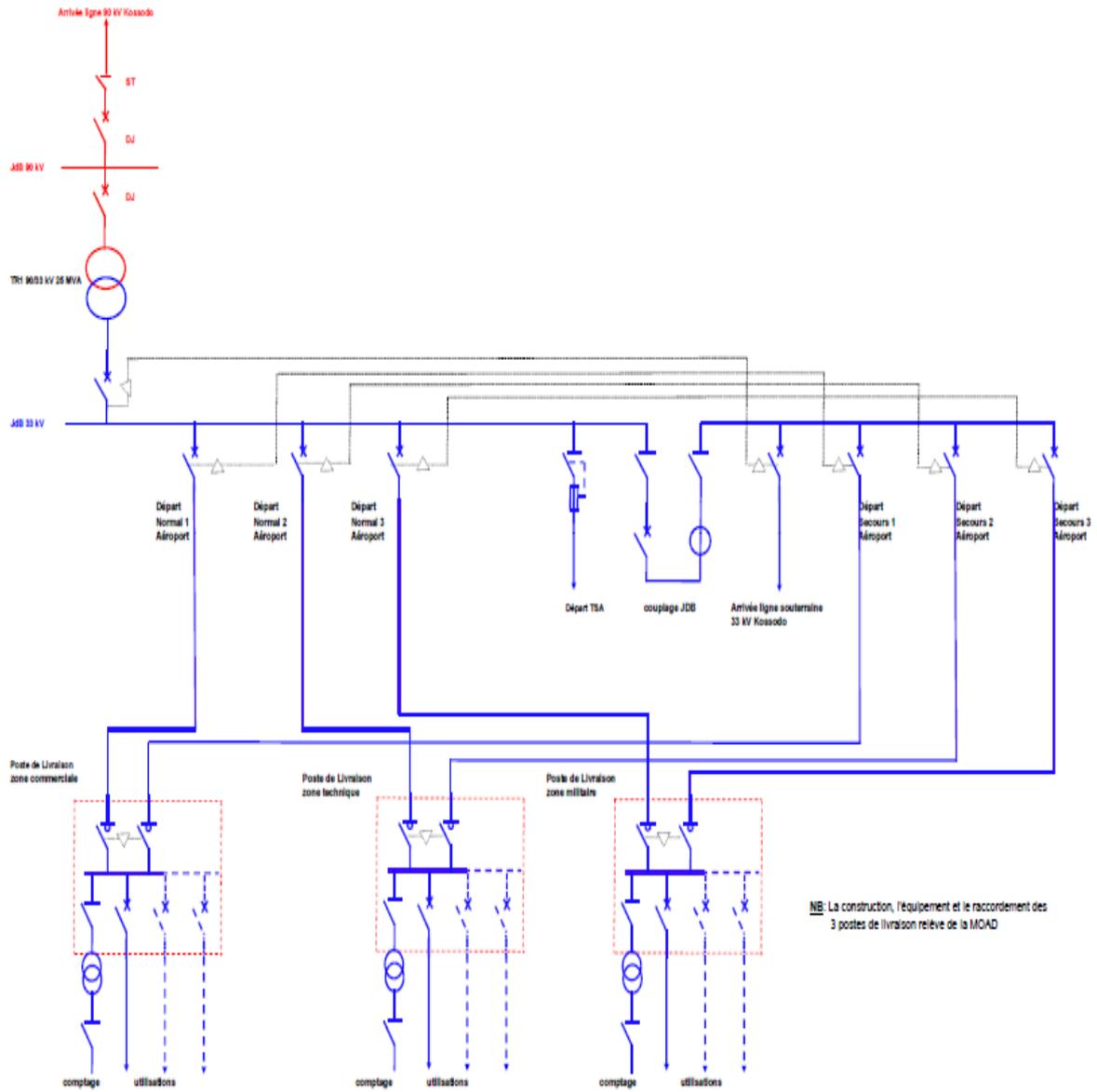
1. Jean-Louis LILIEEN (1999/2000), *Transport et distribution de l'énergie électrique*, Manuel de travaux pratiques, Université de Liège Faculté des Sciences Appliquées.
2. GRAFF, Jean Jacques, *Cours transport et distribution de 2IE*, 2011.
3. M. Nicolas RETIERE, *Modéliser et concevoir les réseaux d'énergie électrique*, thèse, LEG, novembre 2003.
4. MOAD, *Avant Projet Détaillé de l'Aéroport de Donsin*, Juin 2013
5. J.M. DELBARRE, *Postes à HT et THT - Rôle et Structure*, Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie électrique, D 4570, 2004.
6. Centro Electrotecnico Sperimentale Italiano (CESI), *Synthèse de l'étude de faisabilité technico-économique d'alternatives à la réalisation d'une ligne à très haute tension entre la France et l'Espagne*, Décembre 2002.
7. SONABEL, *Etude de faisabilité de la ligne 132 kV Zano-Koupèla*, Avril 2013.
8. SONABEL, *Etude de restructuration et d'extension des réseaux électriques de Ouagadougou*, 2012.
9. SONABEL, *DAO Poste 90 kV Ouahigouya*, Août 2011.
10. SONABEL, *DAO Ligne 90 kV Ouagadougou-Ouahigouya*, Août 2011
11. SONABEL, *Bordereau des prix*, Edition 2015.

ANNEXES

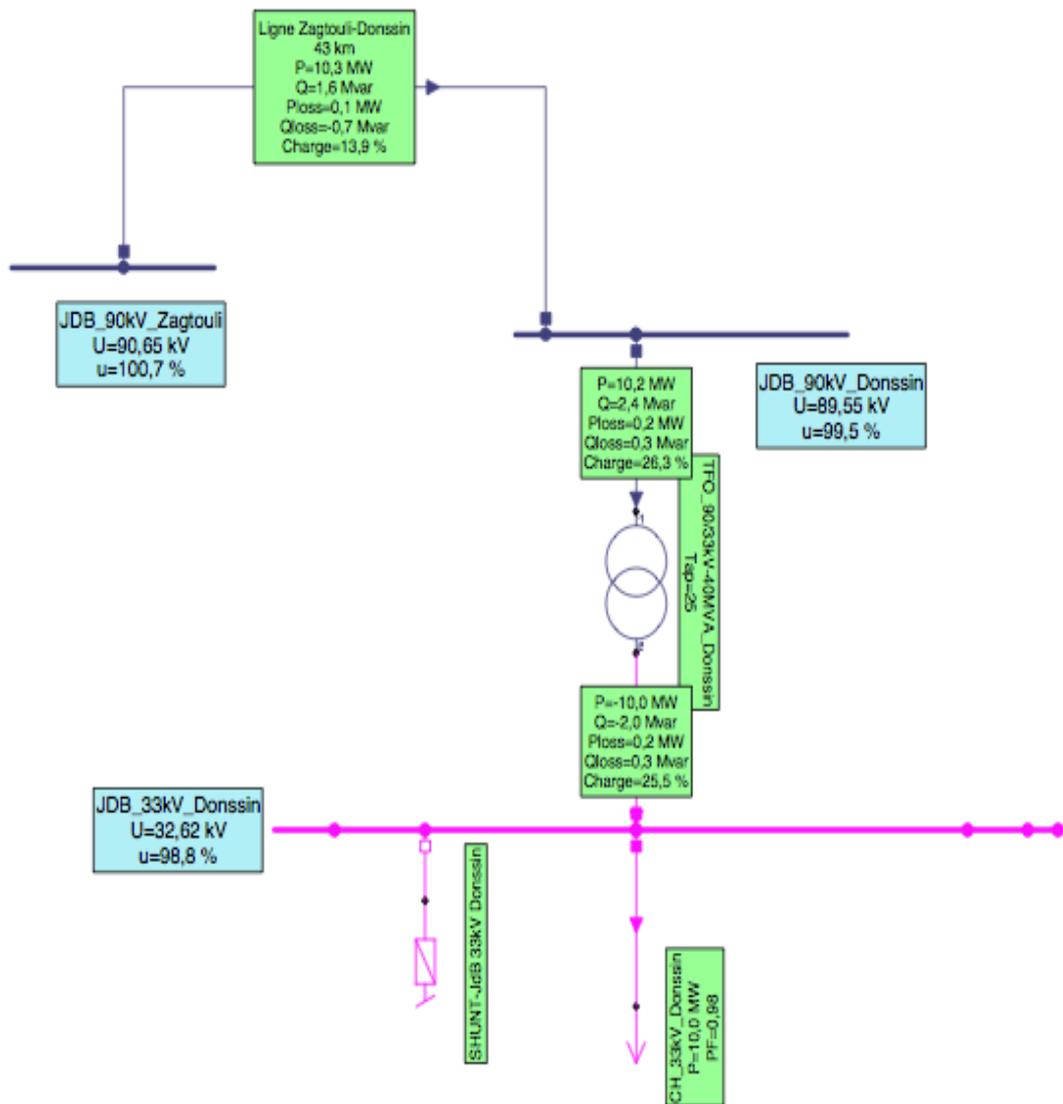
Annexe 1: Poste 90/33/15 kV de Kossodo-Création des départs 90 et 33 kV pour l'aéroport de Donsin

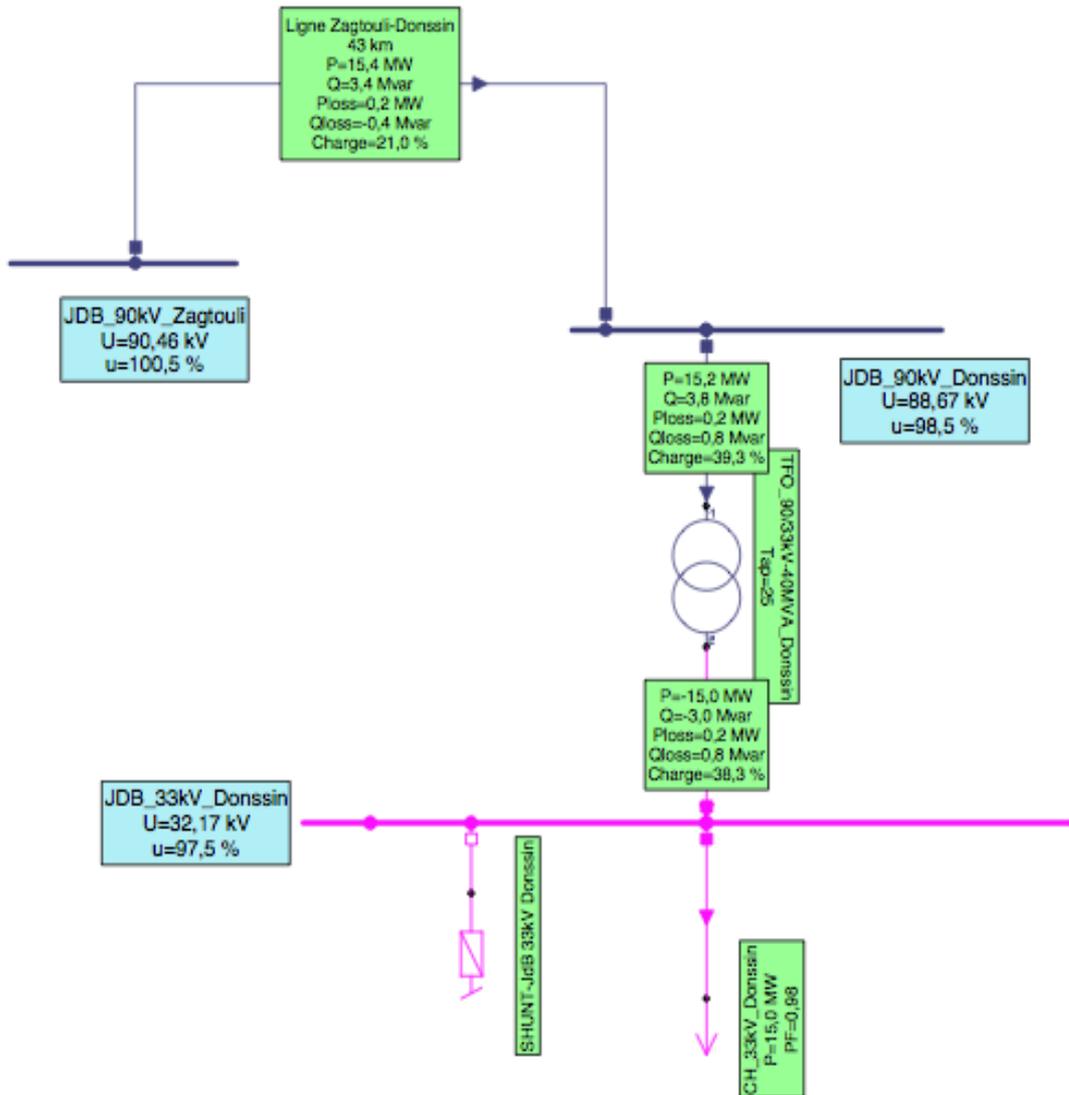


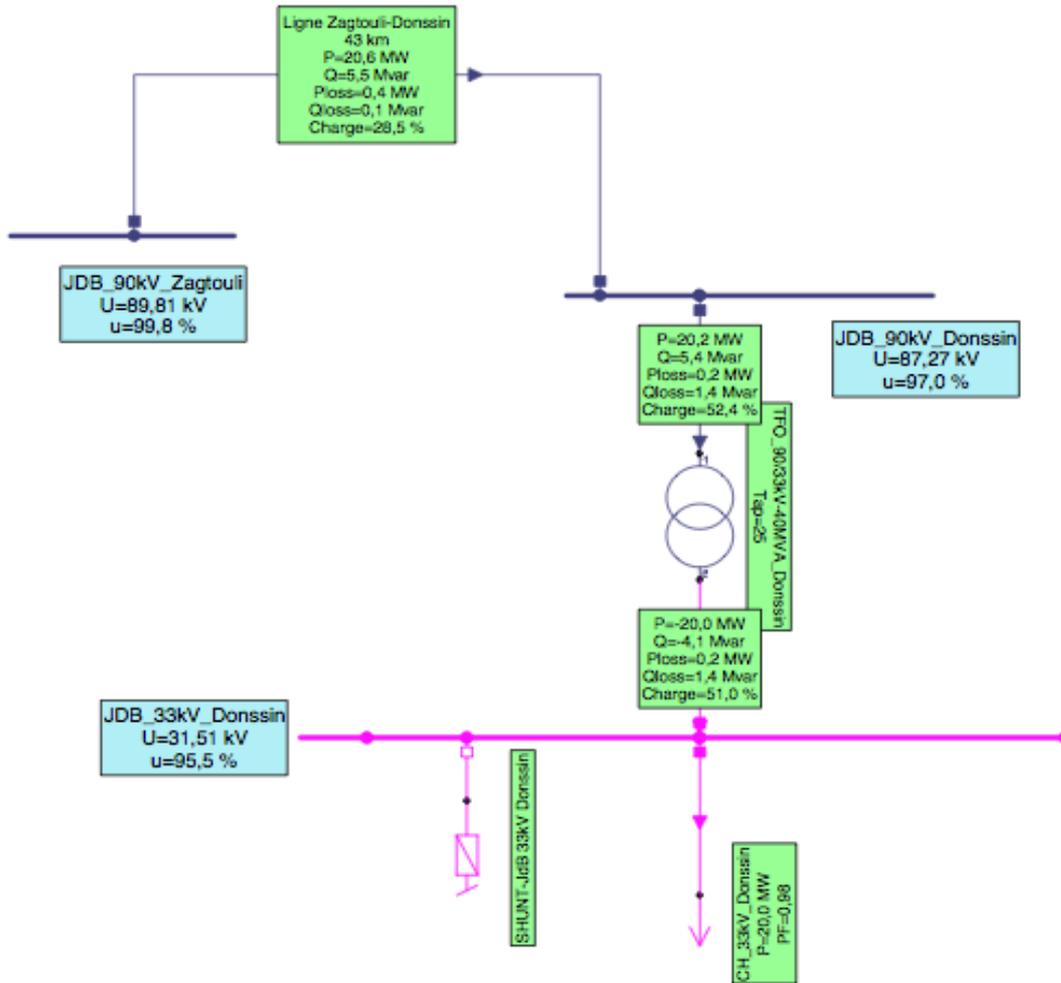
Annexe 2: Mini-réseau 33 kV de l'aéroport



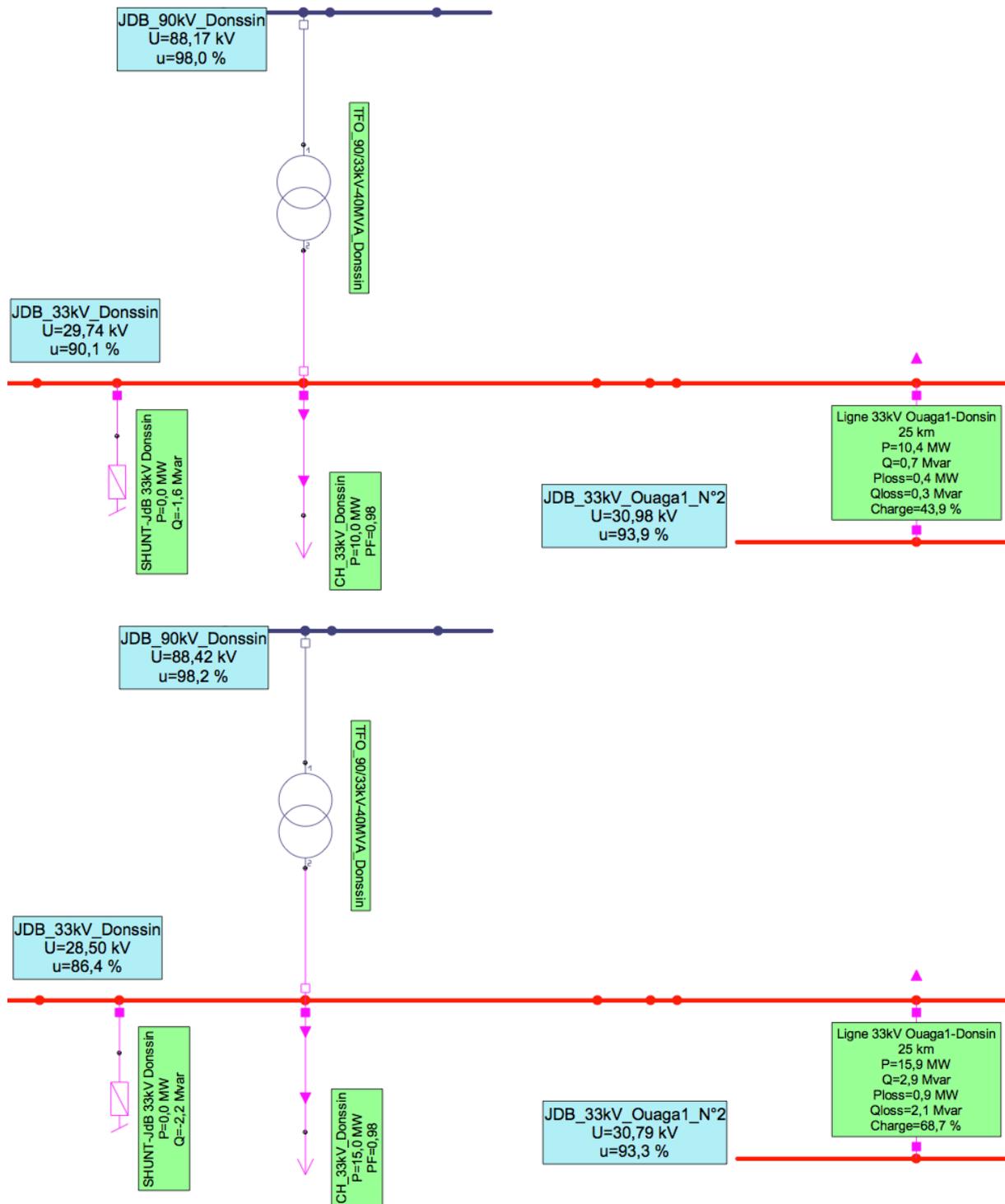
Annexe 3: Résultats des simulations pour l'option Zagtoui-Donsin

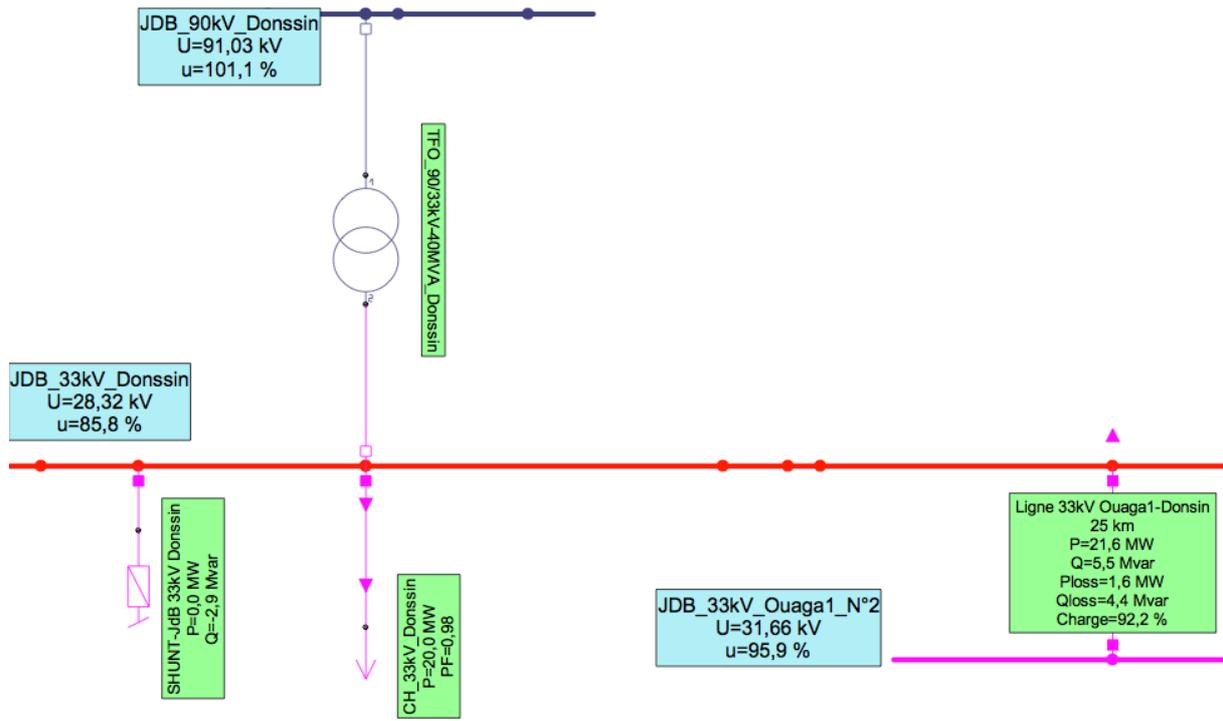




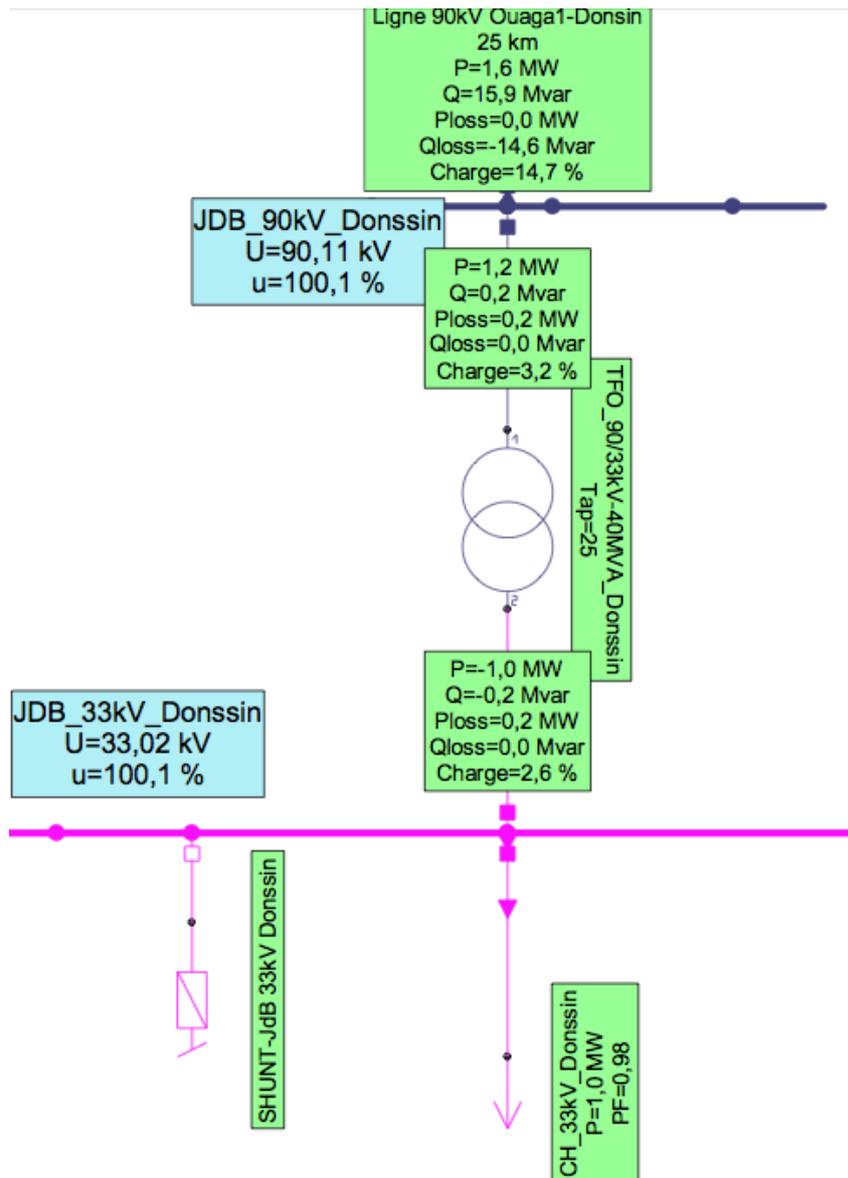


Annexe 4: Résultats des simulations pour l'option 33 kV Ouaga 1- Donsin

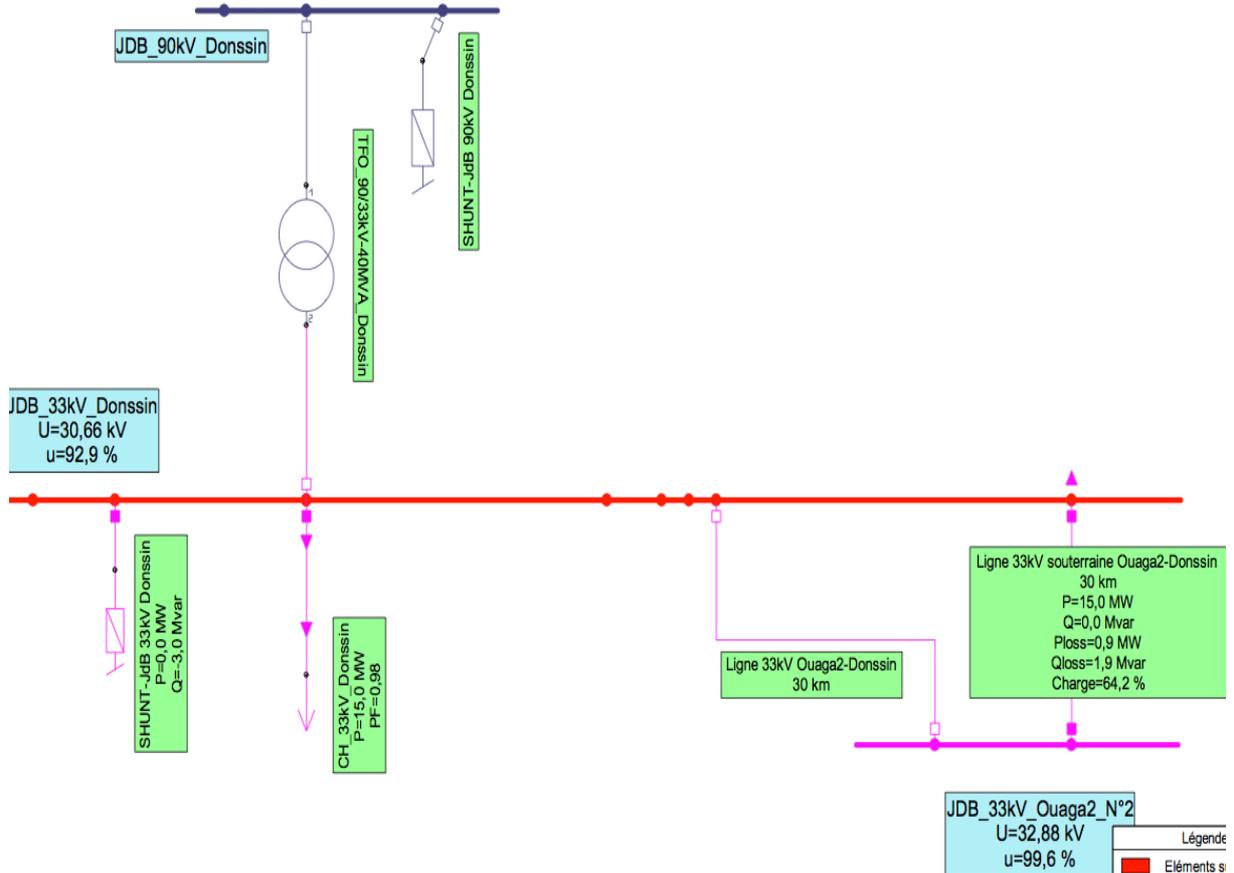
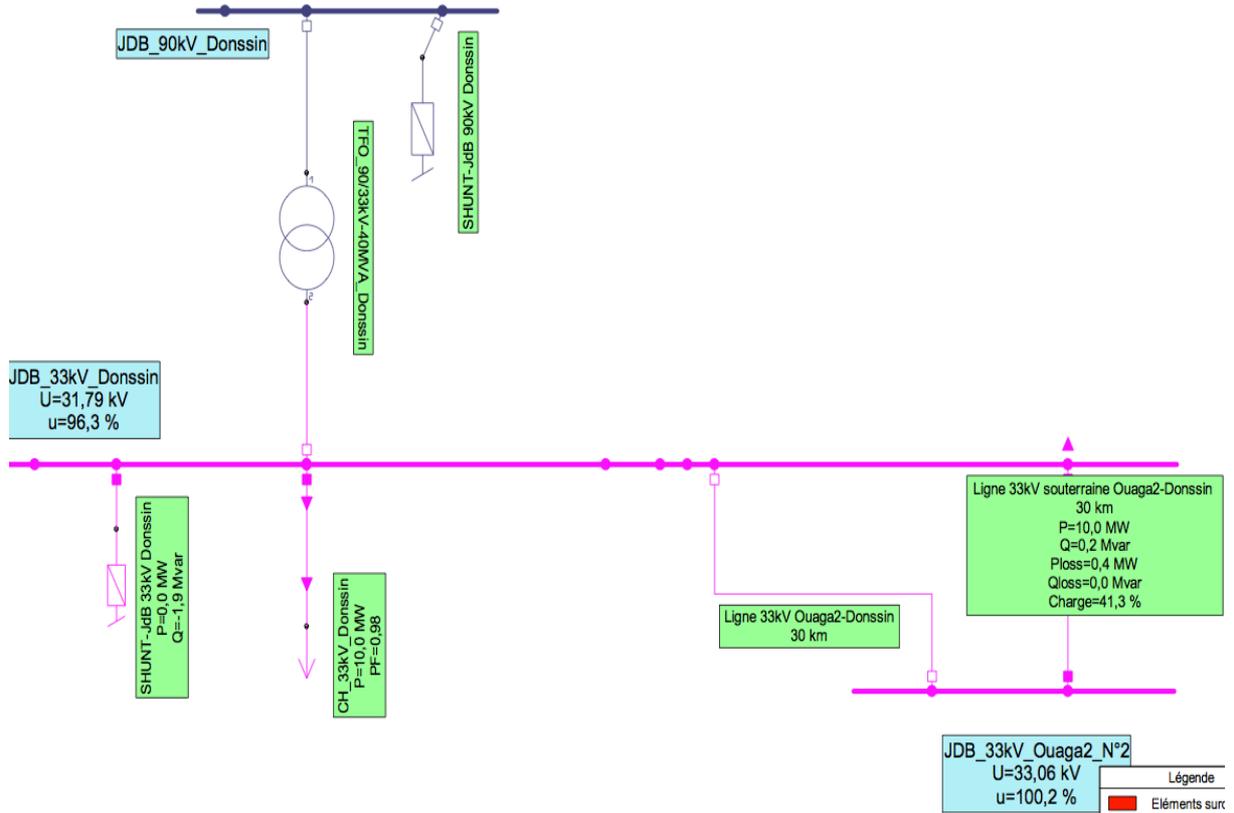




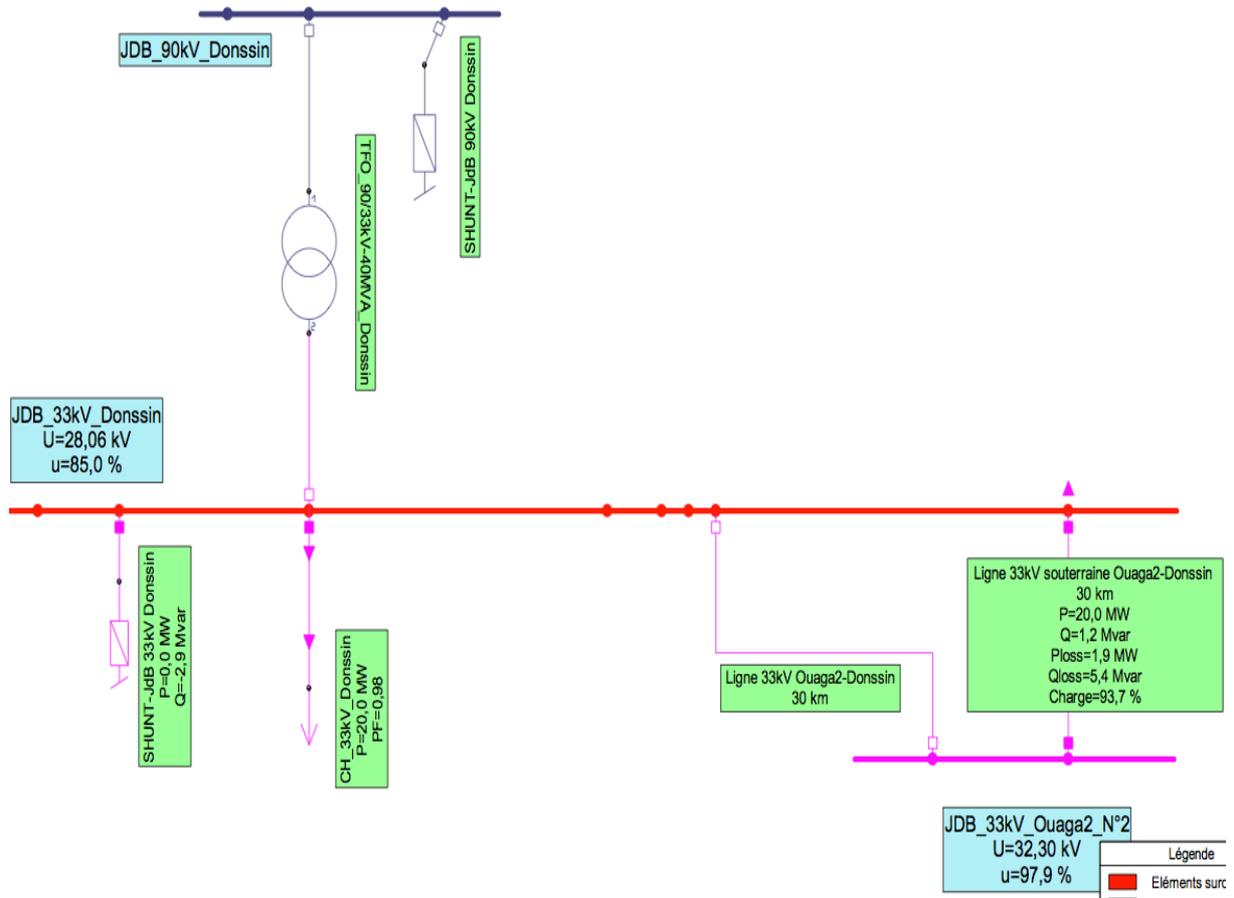
Annexe 5: Résultats de la simulation pour l'option 90 kV Ouaga 1-Donsin



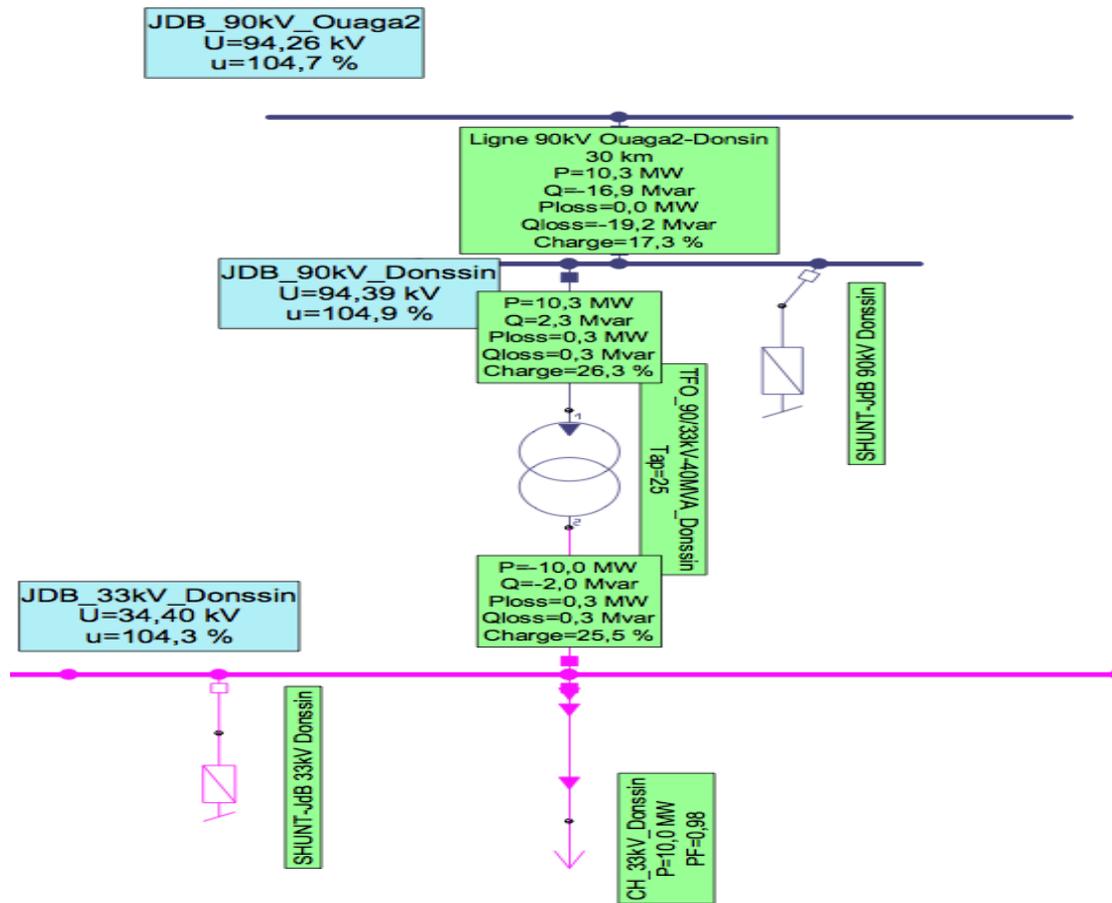
Annexe 6: Résultats des simulations pour l'option 33 kV Ouaga 2-Donsin

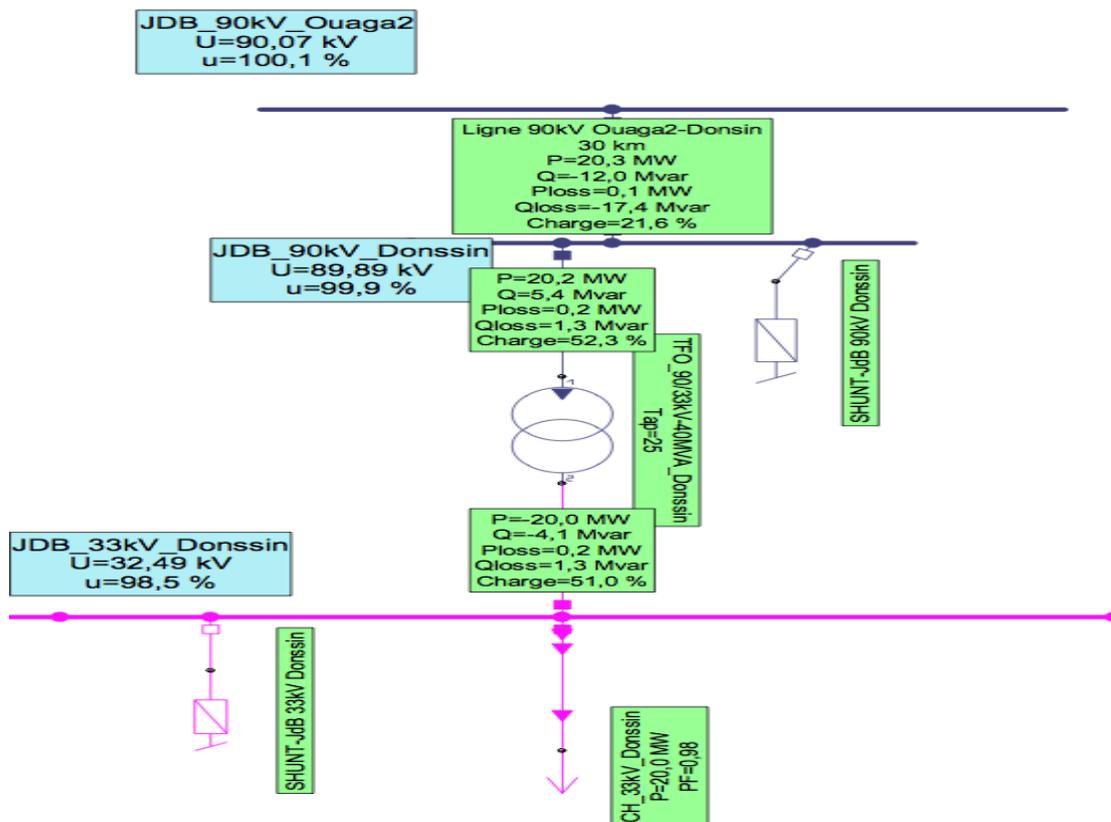
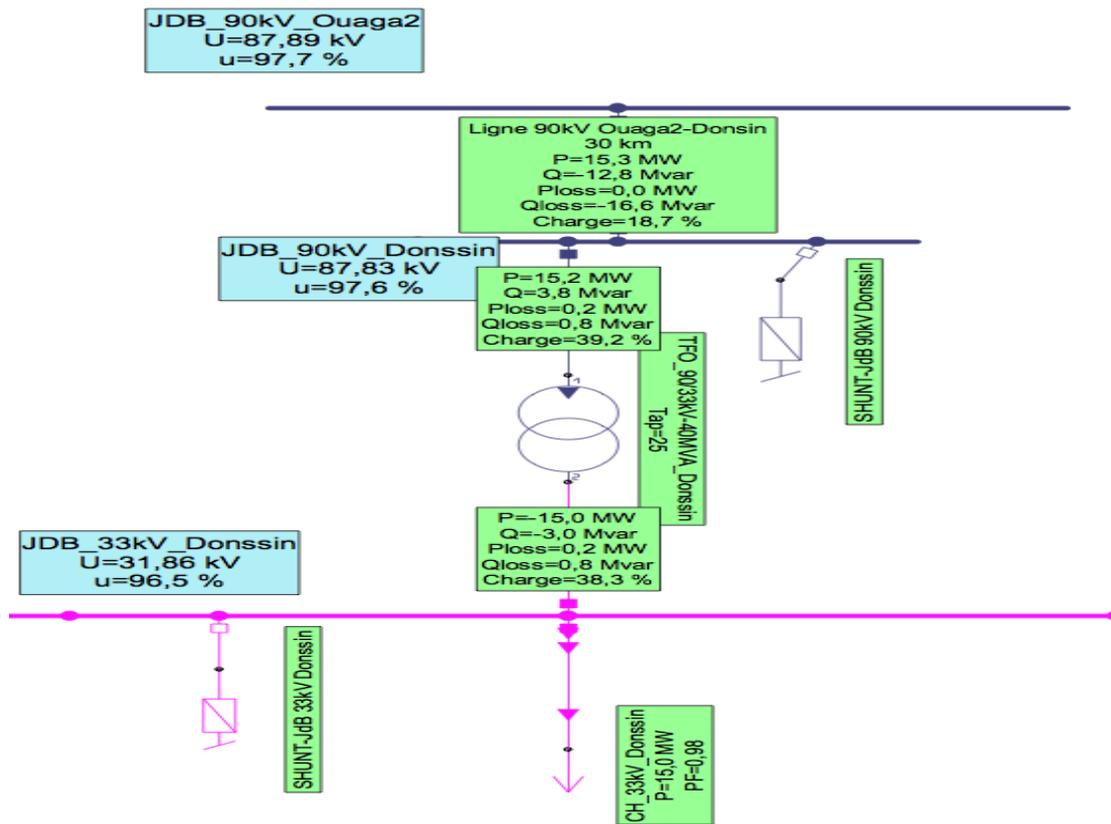


Etude de l'alimentation électrique de l'aéroport de Donssin

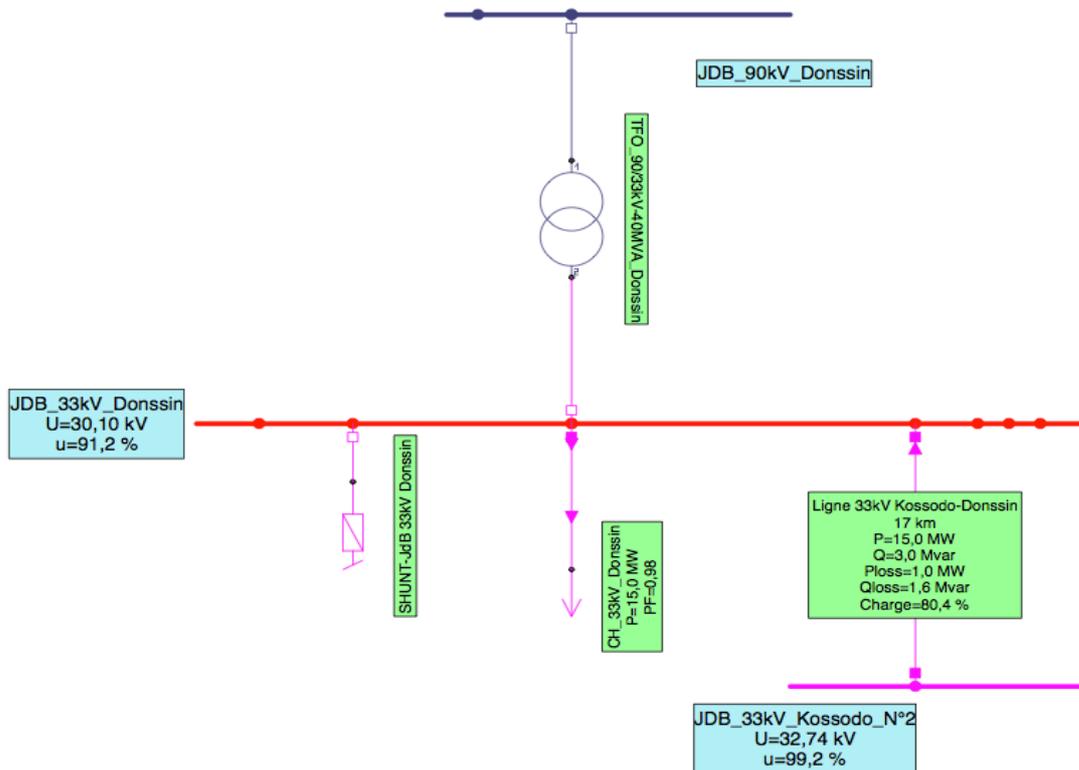
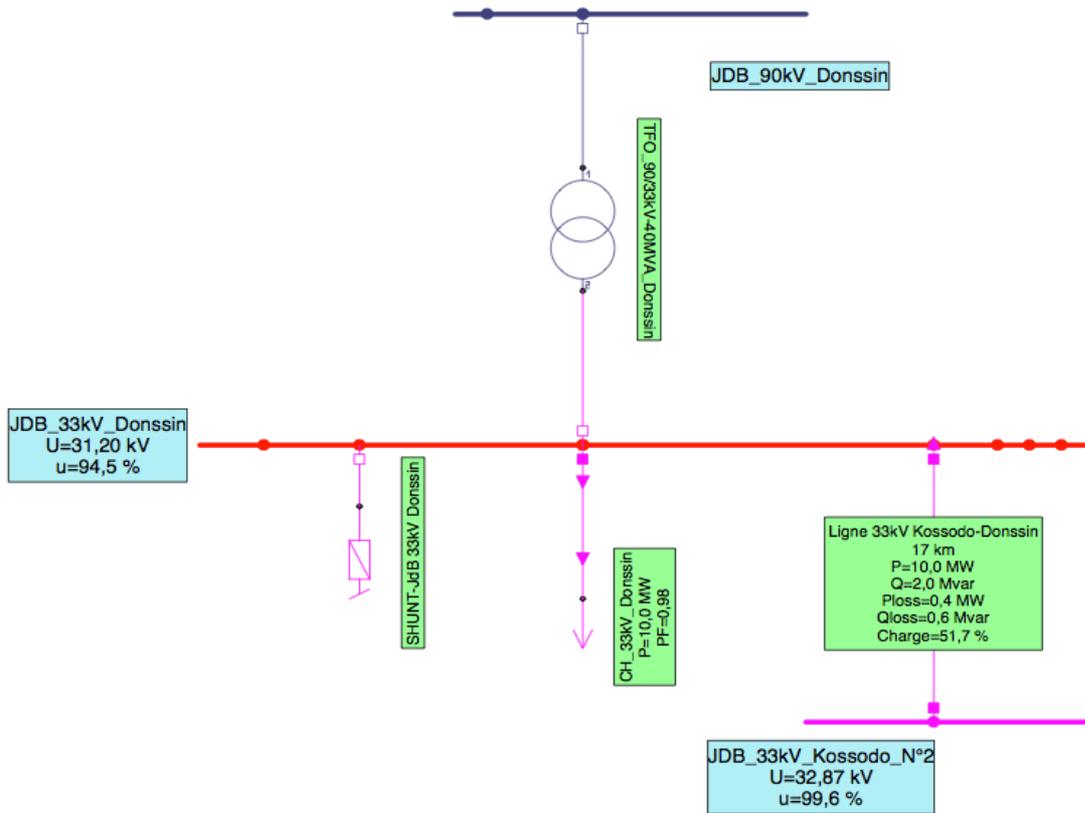


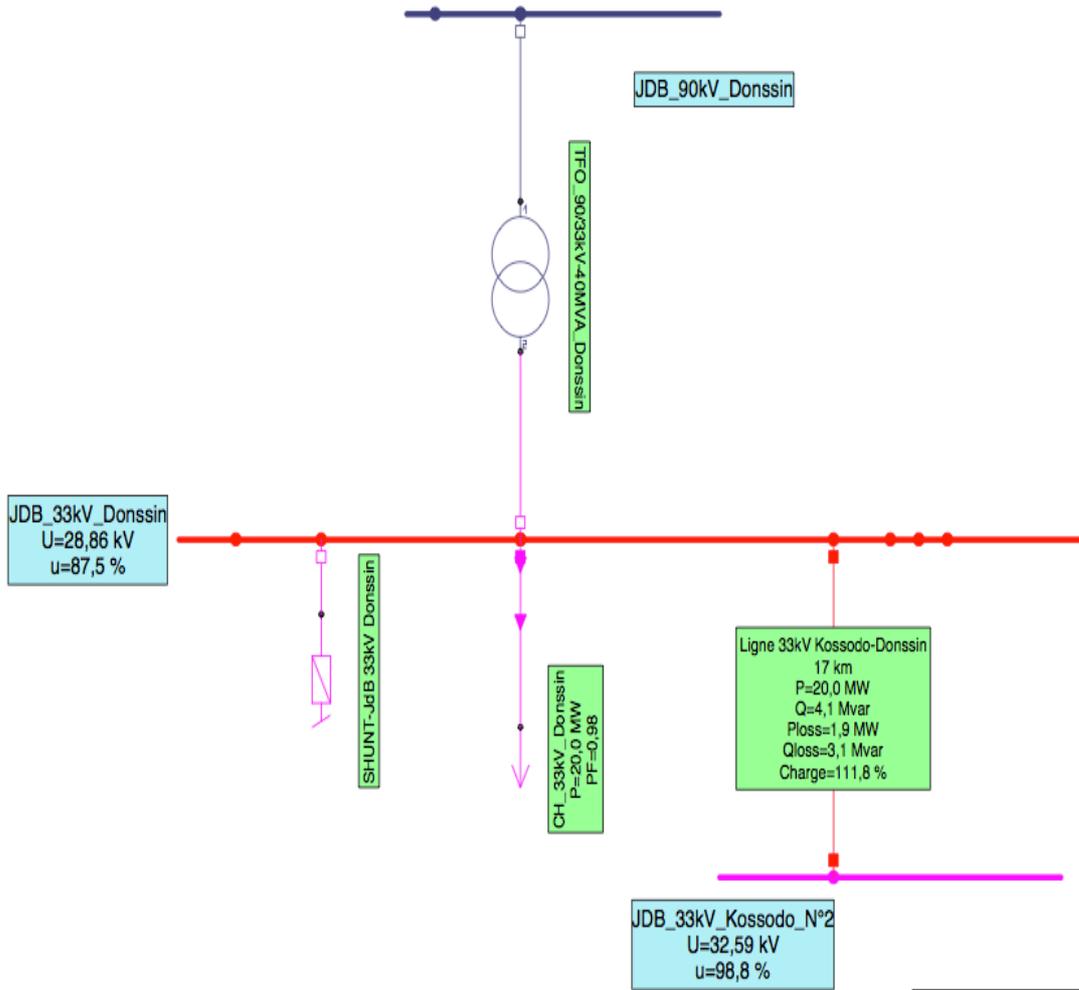
Annexe 7: Résultats des simulations pour l'option 90 kV Ouaga 2-Donsin



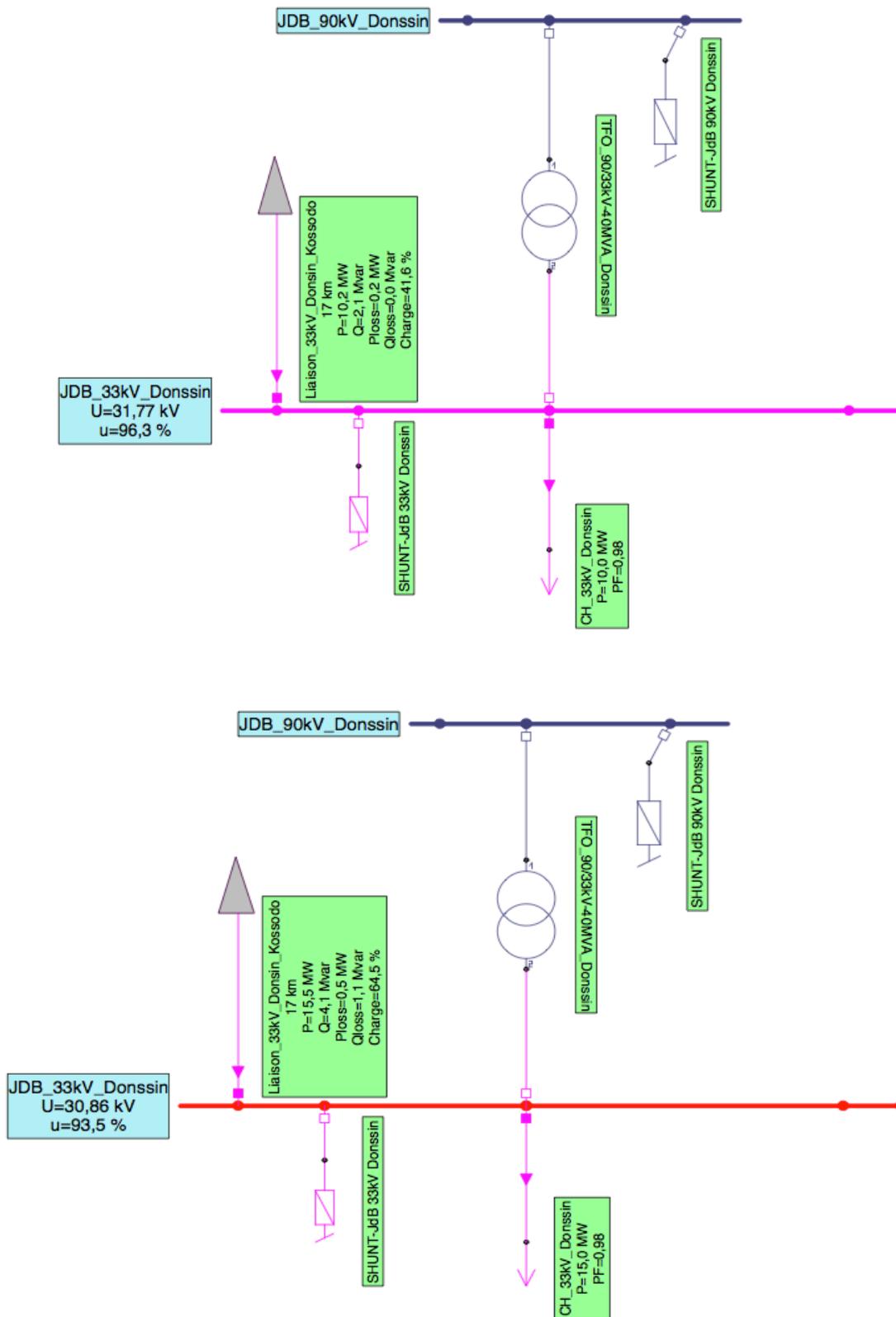


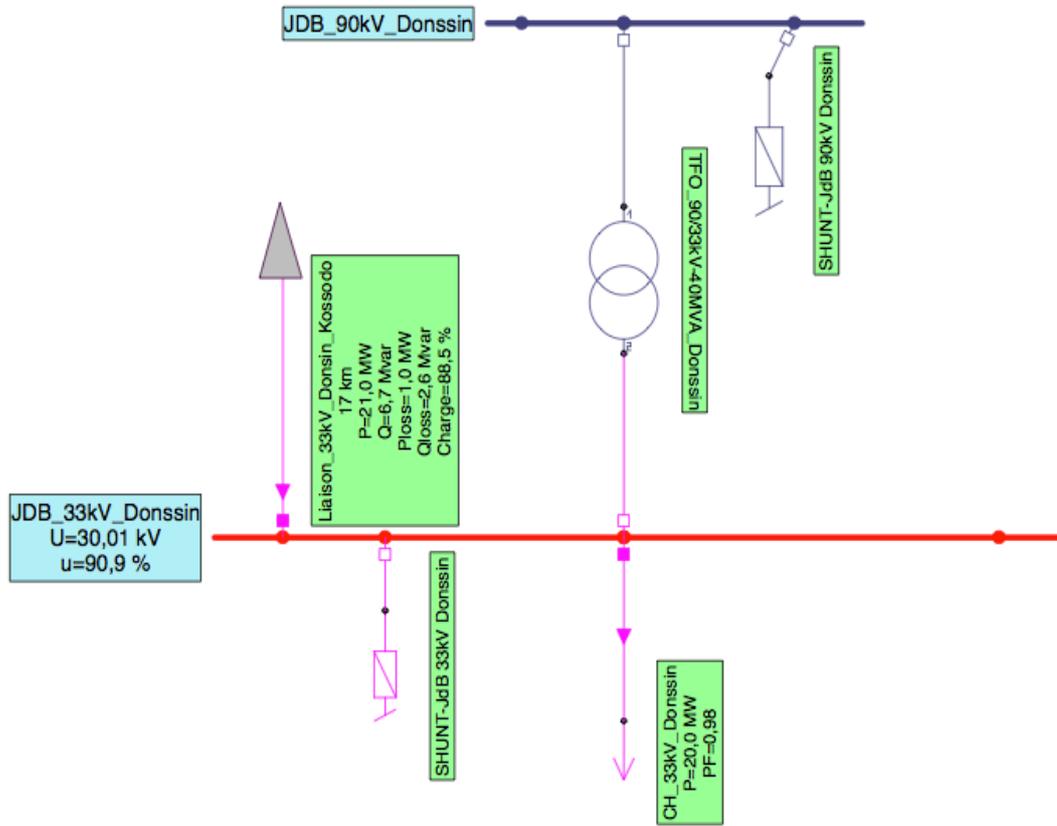
Annexe 8 : Résultats des simulations pour l'option 33 kV aérien Kossodo-Donsin

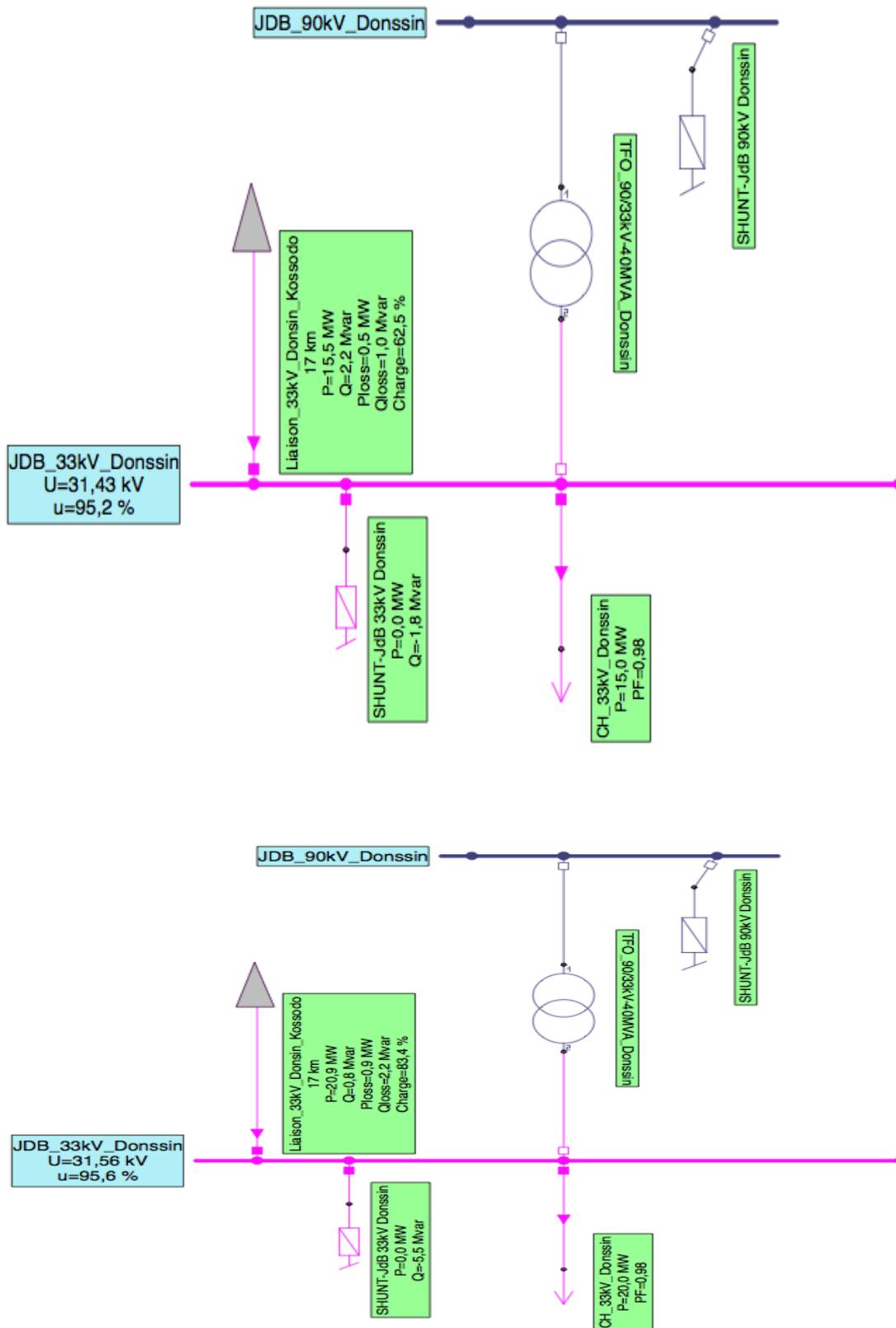




Annexe 9: Résultats des simulations pour l'option 33 kV souterrain Kossodo-Donsin







Annexe 11: Résultats des simulations pour l'option 90 kV aérien Kossodo-Donsin

