





ÉTUDE DE LA STABILITE STATIQUE DU RESEAU ELECTRIQUE DE LA REGION DU FLEUVE DU NIGER : MODELISATION AVEC LES LOGICIELS MATLAB ET NEPLAN

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU

DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE MASTER DANS LA SPCIALITE GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 16/01/2019 par

MAMOUDOU ABDOUSSALAM ABDOU SALAM dit Galadima

Travaux dirigés par :

 Dr AHMED OUSMANE BAGRE (Enseignant Chercheur à l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement)

Supervisé par :

- MAILELLE DJIBRIL (Directeur de Production et Transport)
- HAMISSOU SOULEY Abdoul Rachid (Personnel Nigelec)
- HASSAN MALAN ISSA Farouk (Personnel Nigelec)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr MOUSSA SORO

Membres et correcteurs : Mr MOUSSA KADRI M. SANI

Dr AHMED OUSMANE BAGRE

Promotion [2018]

DEDICACE

Au nom d'ALLAH, le Clément, le Miséricordieux, le tout Miséricordieux.

Je dédie ce document à mon défunt père et à ma très précieuse mère pour leur soutien total, à mes frères et sœurs, ainsi qu'à toutes les personnes, qui de près ou de loin, ont contribué pour me voire au bout du succès.

Sans oublier, une dédicace spéciale à l'endroit des enseignants de 2IE, qualifiés, pour leurs efforts continus afin de faire de nous des ingénieurs qui surmontent les attentes du monde Professionnel.

Une pensée particulière envers notre cher professeur qui nous a subitement quittés, que son âme repose en paix,

Mr MAMADOU TOURE

REMERCIEMENTS

Je remercie particulièrement mon encadreur interne (2iE) Dr AHMED OUSMANE BAGRE pour son apport intellectuel incalculable et son dynamisme prouvé pendant le déroulement du présent travail.

Mes remerciements vont également à :

- ✓ AMADOU KANE Mamane Sabiou (Nigelec)
- ✓ BOUBACAR BARRO (Nigelec)
- ✓ Abdoul Aziz barmo (Nigelec)
- ✓ Abdoul Aziz Ibrahim (Nigelec)
- ✓ Abdoul Aziz Ango (Nigelec)
- ✓ AMADOU AMADOU (Nigelec)

A toutes les personnes physiques et morales ayant contribué activement à la réalisation du présent travail.

J'adresse un message de félicitation au Directeur général de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE) pour ses efforts dans le sens de la prospérité de ladite école.

RESUME:

L'exploitation du réseau électrique de la région du fleuve au Niger est confrontée à des pertes énergétiques énormes, des difficultés de transite et d'évacuation de puissance et de blackout récurrent. C'est ainsi que dans le cadre de notre stage de fin d'étude d'ingénieur, la Nigelec nous a confié l'étude de ce réseau afin de trouver les causes des perturbations de ce dernier et d'en proposer des solutions. Ainsi, l'étude de la stabilité statique du réseau de distribution à l'aide du logiciel Matlab a été effectuée et nous a permis de comprendre les raisons de la difficulté d'évacuation de puissance. Quant à l'étude du réseau de transport, à l'aide des logiciels Matlab et Neplan, elle nous a permis de comprendre le pourquoi des difficultés de transit de puissance, l'effondrement du réseau et les pertes énergétiques dans le transport.

La simulation du réseau de distribution nous a montré que ce réseau est exploité dans des conditions acceptables, chute de tension admissible, mais la réalité prouve le contraire, c'est-à-dire une discordance entre la réalité et la simulation. Les explications que nous avons avancées pour justifier cette différence sont jugées légitimes. En effet, le transite de l'énergie réactive et les pollutions harmoniques limitent la capacité d'évacuation du réseau de distribution. C'est pourquoi nous avons proposé, comme mesure corrective, l'optimisation de la compensation de l'énergie réactive.

Enfin, l'étude du réseau de transport nous montre aussi que la manière de compenser l'énergie réactive ne répond plus aux exigences techniques de l'exploitation du réseau. C'est l'une des raisons pour laquelle on assiste à un effondrement total du réseau par surtension lorsqu'un défaut survient sur un jeu de barre et les pertes énergétique énormes dans le transport. La perspective est tout simplement de compenser l'énergie réactive sur l'ensemble des jeux de barre 20 kV et utiliser un compensateur FACTS pour que en cas de perte d'une charge énorme qu'il fasse le bilan du réactif afin d'éviter l'effondrement du réseau par surtension. En-fin, la correction de la tension du réseau de transport à Dosso permet de minimiser les pertes énergétiques dans le transport en installant de l'inductance série ou shunt.

Mots-clés :	 	 	
Réseau électrique ;			
Écoulement de puissance ;			
Nigelec;			
MATLAB;			
NEPLAN.			

ABSTRACTS:

The operation of the power grid of the river region in Niger is facing enormous energy losses, difficulties of transit and evacuation of power and recurrent blackout. Thus, as part of our internship engineering end, Nigelec entrusted us with the study of this network to find the causes of disruption of the latter and to propose solutions. Thus, the study of the static stability of the distribution network using the Matlab software was carried out and allowed us to understand the reasons for the difficulty of evacuation of power. As for the study of the transport network, using the software Matlab and Neplan, it allowed us to understand why power transit difficulties, the collapse of the network and energy losses in transport.

The simulation of the distribution network has shown us that this network is operated under acceptable conditions, admissible voltage drop, but the reality proves the opposite, that is to say a discrepancy between reality and simulation. The explanations we have advanced to justify this difference are considered legitimate. Indeed, the transit of reactive energy and harmonic pollution limit the evacuation capacity of the distribution network. This is why we proposed, as a corrective measure, the optimization of reactive energy compensation.

Finally, the study of the transport network also shows us that the way to compensate the reactive energy no longer meets the technical requirements of the operation of the network. This is one of the reasons why there is a total collapse of the network by surge when a fault occurs on a busbar and the huge energy losses in the transport. The perspective is simply to compensate the reactive energy on all sets of 20 kV busbar and use a compensator FACTS so that in case of loss of a huge load that it makes the balance of the reagent to avoid the collapse of the network by overvoltage. Finally, the correction of the tension of the transport network at Dosso makes it possible to minimize the energy losses in the transport by installing series or shunt inductance.

Keywords:
Electrical network;
power flow;
Nigelec;
MATLAB;
NEPLAN.

SIGLES ET ABREVIATION

AOF: Afrique Occidentale française.

BTA: Basse Tension niveau A

CPC : chargeur de prise de charge

FACTS: Flexible Alternative Current Transmission System

Nigelec : Société Nigérienne d'électricité

SAFELEC: Société Africaine d'Electricité.

SNE : Société Nigérienne des Eaux

HTA: Haute Tension niveau A

HTB: Haute Tension niveau B

MT : Moyenne Tension

kV: kilo volte

KVA : kilo volte Ampère

MVA: Méga volte Ampère

MW: Méga Watt

WAPP: West African Power Pool

LISTES_DES_FIGURES

Figure 1:situation énergétique de Niamey de 2014 à 2017	4
Figure 2: Réseau radial	6
Figure 3: Réseau bouclé	7
Figure 4: Réseau maillé	7
Figure 5: évaluation technico-économique de la ligne 132 kV cas1	30
Figure 6: évaluationtechnico-économique de la ligne 132 kVcas2	31
Figure 7: évaluation technico-économique de la ligne 132 kV cas3	32
Figure 8: Résultat des scénarios de contingence simple sans CPC	33
Figure 9:résultat des scénarios de contingence simple avec CPC	34

LISTE_DES_TABLEAUX

Tableau 1: caractéristique électriques des conducteurs utilisés	11
Tableau 2:permeabilité relative des isolants	13
Tableau 3:Données sur les machines de production	17
Tableau 4:données sur les transformateurs HTA/BTA Erreur ! Signet non	défini.
Tableau 5:impedances des liaisons de distribution	18
Tableau 6:impedances des liaisons de transport	19
Tableau 7: Vérification de l'état électrique	21
Tableau 8:taux de charge des transformateurs HTA/BTA	22
Tableau 9:Résultat de simulation de la tenue thermique des départs HTA	23
Tableau 10:Schéma électrique du réseau de la région du fleuve	25
Tableau 11: Réapparition des charges des poste HTB/HTA	26
Tableau 12: Résultat de l'écoulement de puissance à faible charge à échéance 2018	27
Tableau 13: résultats de l'écoulement de puissance à pointe de charge à échéance 2018	28
Tableau 14: Résultat de l'évaluation de la capacité de transite de la ligne Kebbi-Niamey cas1	30
Tableau 15: Résultat de l'évaluation de la capacité de transite de la ligne Kebbi-Niamey cas2	31
Tableau 16:Simulation corrective	36
Tableau 17:Analyse financière	37
Tableau 18:Scenario de faible charge pour un facteur de puissance de 0,8	7
Tableau 19: Scenario de faible charge pour un facteur de puissance de 0,9	8
Tableau 20:Scenario de faible charge pour un facteur de puissance de 0,95	9
Tableau 21:Scenario de faible charge pour un facteur de puissance de 1	10
Tableau 22:Scenario de pointe de charge pour un facteur de puissance de 0,8	11
Tableau 23:Scenario de pointe de charge pour un facteur de puissance de 0,9	13
Tableau 24:Scenario de pointe de charge pour un facteur de puissance de 0,95	14
Tableau 25:Scenario de pointe de charge pour un facteur de puissance de 1	15

TABLE DES MATIERES Introduction ______1 1.1 1.2 3.1 Matériels 5 3.2 IV. Etat de l'art et de la littérature 6 4.1 Modélisation simplifiée des éléments du réseau électrique pour l'étude de la stabilité statique (l'écoulement de puissance) 9 5.3 Simulations 21 VI Conclusion 38 VIII Annexes i

INTRODUCTION

Le système électrique est l'ensemble des unités de production, du réseau électrique et des charges(consommateurs). Le réseau électrique, composé de réseau de transport, de répartition et de distribution, son rôle est d'assurer l'acheminement de l'énergie électrique depuis les lieux de production jusqu'aux consommateurs.

De nos jours, de nombreuses contraintes s'imposent à l'exploitation des systèmes électriques[1] [2]; les enjeux énergétiques deviennent de plus en plus importants. La qualité de l'énergie électrique et la lutte contre les pertes énergétiques, dans le réseau électrique, sont un enjeu crucial pour les entreprises d'électricité[3]. Pour surmonter cet enjeu, la compréhension et la caractérisation des phénomènes liés à la production, la transmission et la distribution de l'énergie électrique deviennent un problème de premier plan[4]; Ce qui pousse les ingénieurs à réaliser des études approfondies des systèmes électriques dont la stabilité du réseau électrique. L'objectif de ce mémoire est d'étudier la stabilité statique du réseau électrique de la Nigelec, région de l'ouest, voire figure1, avec les logiciels de modélisation (Matlab Simulink) et Neplan, à 1'état actuel afin de l'exploiter efficacement.

Pour atteindre cet objectif, nous allons aborder successivement :

- ✓ La présentation du système électrique de la Nigelec, la topologie du réseau électrique, présenter des problèmes récurrents d'ordre d'instabilité statique à travers des données réelles et des constats d'exploitation.
- ✓ La modélisation du réseau électrique qui inclut la collecte des données réelles du réseau à étudier et le choix des modèles à utiliser dans les logiciels (Matlab Simulink) et Neplan.
- ✓ L'étude de la stabilité statique qui revient à simuler le réseau selon ses réalités, analyser et proposer des solutions.

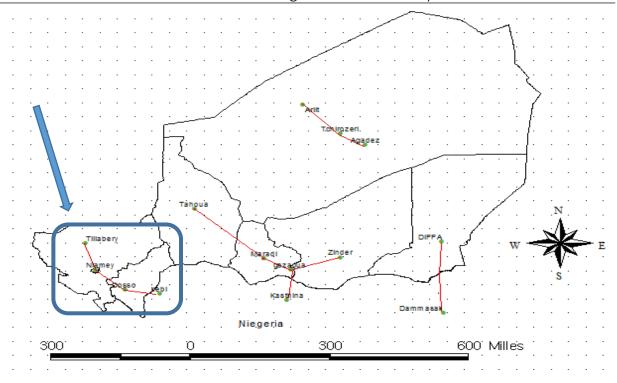


Figure 1:réseau de la région du fleuve Niger

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

1.1 HISTORIQUE

L'année 1951 a vu la naissance de la société Energie AOF, pour toute l'Afrique occidentale, à l'exception de la Côte d'Ivoire et de la Guinée ; son siège était à Dakar. Cette société s'est occupée ainsi de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique jusqu'aux années d'indépendance.

Avec l'avènement des indépendances, elle prit le 29 juillet 1960, la dénomination de Société Africaine d'Electricité (SAFELEC) et, au Niger, étendit ses activités aux localités de Magaria en 1961, d'Agadez en novembre 1964 et de Tahoua en octobre 1967.

A la liquidation de la SAFELEC en juin 1970 après que chaque pays eut créé sa propre société d'électricité, la Société Nigérienne d'Electricité (NIGELEC) fût créée le 07 septembre 1968 avec en charge la distribution de l'eau et de l'électricité. Ces activités lui furent confiées progressivement d'abord en gérance puis sous forme de concession à partir de 1973.

En 1987, l'activité de distribution d'eau lui a été ôtée pour être confiée à la Société Nationale des Eaux (SNE) qui venait d'être créée.

1.2 LE FONCTIONNEMENT DE LA NIGELEC

Société anonyme d'économie mixte, la NIGELEC a un capital de 76 448 870 000 Francs CFA détenu à 94,65% par l'état du Niger et le reste par le personnel de la société, des banques de la place et quelques communautés urbaines des grandes villes du Niger.

Son objet social est la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique sur toute l'étendue du territoire nigérien.

II. PRESENTATION ET JUSTIFICATION DU PROJET

Le Niger s'étend sur une superficie de 1 267 000 km². Cette configuration géographique impose au pays d'avoir un parc du système électrique constituer de quatre réseau électrique séparés (annexe 8.2.1). Le réseau étudié est celui de la région du fleuve (annexes 8.2.2). Ce dernier connait depuis un certain nombre d'année une suite des perturbations récurrentes et une croissance exponentielle de la demande. Celles-ci rendent l'exploitation très difficile et constituent aussi l'une des raisons pour lesquelles la Nigelec n'est plus capable d'être à la hauteur des attentes de ses abonnés. Les graphiques de la figure 2 donnent l'état des lieux de la situation de fourniture d'énergie électrique de la ville de Niamey de 2014 à 2017

Enfin, l'exploitation du réseau étudié présente certaine difficulté notamment la limitation de capacité de transit, évacuation de puissance et d'énorme pertes énergétiques. Les pertes dans les transmissions sont estimées de 10 à 20 MW.

Par conséquent, il est nécessaire d'étudier la stabilité du réseau et prendre des mesures efficaces. En effet, l'étude de stabilité du réseau consiste à étudier sa stabilité statique, transitoire et dynamique[5]. Cependant, dans le présent projet, nous allons nous limiter à l'étude de la stabilité statique de la situation actuelle.



Figure 2:situation énergétique de Niamey de 2014 à 2017

III. MATERIELS ET METHODOLOGIE

3.1 MATERIELS

Dans le cadre du présent projet, nous avons eu à utiliser, les logiciels suivants : Arcview, Matlab et Neplan.

Arcview nous permet d'avoir des informations géolocalisées sur le réseau à savoir : la section des conducteurs, la longueur théorique des tronçons et la puissance des postes HTB/HTA.

Matlab et Neplan sont des logiciels de simulation de l'écoulement de puissance.

3.2 METHODOLOGIE

La réalisation de notre étude est faite en suivant les étapes suivantes

- La collecte des informations sur l'ensemble du réseau.
- Etude du réseau de distribution.

Cette phase consiste à modéliser et à étudier individuellement les différents départs HTA du réseau étudié afin d'évaluer la ténue thermique, la capacité d'évacuation d'énergie, en utilisant le logiciel MATLAB, et proposer des mesures correctives et préventives, dans le cas échéant. En effet, les taux des charges de poste HTA/BTA seront déduits en supposant que la puissance maximale, admissible par le départ HTA est proportionnellement repartie en fonction de la puissance nominale du poste HTA/BTA, c'est-à-dire que nous allons appliquer une moyenne pondérée.

• Etude de réseau de transport à année 2018

Cette fois ci, nous avons modéliser et analyser le résultat de l'écoulement de puissance du réseau de transport à l'état actuel en utilisant Matlab et Neplan afin de comparer les résultats issus des deux logiciels. Nous avons simulé les situations normales dans les deux cas suivants : situation des pointes des charges et situation de faible charge tout en variant la quantité de l'énergie réactive circulant dans le réseau de transport selon les scenarios

IV. ETAT DE L'ART ET DE LA LITTERATURE

4.1 GENERALITE SUR LE RESEAU ELECTRIQUE

Un réseau d'énergie électrique est un système comprenant le réseau de transport, de répartition et de distribution de l'énergie électrique. Le système est organisé depuis la très haute tension, niveau B, supérieur à 50kV, conçue pour le réseau de transport. La répartition s'effectue à un niveau plus faible (90 - 66 kV) reliant le niveau de transport et le niveau de distribution (33-20-15 kV, MT ancienne appellation).

LE RESEAU DE TRANSPORT

Le réseau en HTB, il est constitué des interconnexions entre villes ou pays, comme son nom l'indique, il permet de transporter de l'énergie électrique sur très longue distance. Il est pour les échanges d'énergie.

LE RESEAU DE REPARTITION

Il permet de repartir l'énergie à partir des grands postes de transformation vers les postes sources de distribution. Ce réseau alimente les postes sources HTB/HTA de distribution public pour délivrer ensuite cette énergie aux consommateurs. Les puissances transportées sont de l'ordre de 50 à 150 MVA.

LE RESEAU DE DISTRIBUTION

Le réseau HTA, est constitué par l'ensemble des départs issus des postes-sources ou d'une centrale électrique. Les départs HTA alimentent les postes des clients raccordés en HTA et les postes HTA/BTA dits « de distribution publique » servant à l'alimentation des clients basse tension. La distribution de l'énergie électrique s'effectue par l'intermédiaire des postes de transformations raccordés sur le réseau.

4.2 LA TOPOLOGIE DE RESEAU ELECTRIQUE

On distingue trois types de réseau

4.2.1 RESEAU RADIAL OU EN ETOILE

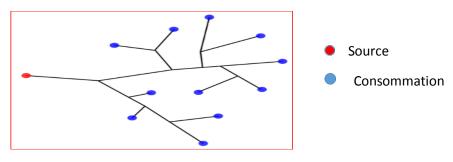


Figure 3: Réseau radial

Il représente le réseau sous sa forme la plus simple. Les lignes partent d'un point central, par exemple une station de transformation locale, et rayonnent depuis celui-ci. Si une perturbation se produit sur ce type de réseau, l'alimentation électrique de tous les clients rattachés à ce rayon défectueux est interrompue, jusqu'à ce que la panne soit réparée. La panne d'une station de transformation peut paralyser tout un quartier. Cette forme est généralement utilisée en distribution basse et moyenne tension.

4.2.2 RESEAU EN BOUCLE

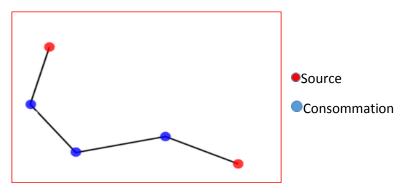


Figure 4: Réseau bouclé

L'assemblage en boucle des lignes permet de mettre hors circuit une partie de la ligne défectueuse grâce à ses points de séparation. L'alimentation électrique est interrompue uniquement dans cette partie jusqu'à la réparation de la panne ; le reste du réseau peut continuer à fonctionner. Cependant, on peut avoir le réseau à boucle ouverte ou à boucle fermée.

4.2.3RESEAU MAILLE

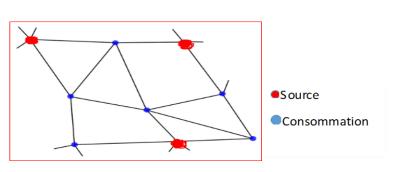


Figure 5: Réseau maillé

Lorsque des lignes en boucle sont regroupées pour relier des points très éloignés les uns des autres, elles forment un réseau maillé. Ce type de réseau offre une très grande fiabilité d'approvisionnement car chaque tronçon de ligne peut être alimenté via différentes voies. Même une défaillance sur plusieurs tronçons n'engendre pas une grosse perturbation. Les réseaux maillés sont surtout construits et exploités là où la sécurité d'approvisionnement d'un grand

nombre de clients peut être compromise par une perturbation, comme c'est particulièrement le cas pour les réseaux de transport et de distribution haute tension.

4.3 GENERALITE SUR L'ETUDE DE LA STABILITE DU RESEAU ELECTRIQUE

La stabilité du réseau électrique est sa capacité de fournir la puissance demandée par les consommateurs tout en maintenant constantes et près des valeurs nominales de la fréquence et l'amplitude de la tension aux différentes barres du réseau quel que soit la perturbation.

On définit trois types de stabilité[6] [5] :

- 1- la stabilité statique ou stabilité en régime permanent.
- 2- la stabilité dynamique.
- 3- la stabilité transitoire

4.3.1 STABILITE STATIQUE

La stabilité statique est la capacité du réseau à se maintenir stable suite aux fluctuations lentes de la puissance appelée par les consommateurs ou suite à une perte de(s) circuit(s) de production ou de transport d'énergie. Les principaux facteurs qui contribuent à limitation de la stabilité statique sont la limite de puissance réactive des génératrices, les limites de réglage de la tension, les caractéristiques de la charge ainsi que les caractéristiques et les actions des dispositifs de compensation de la puissance réactive. La limite de la stabilité statique est atteinte lorsqu'une perturbation, un accroissement de la charge ou une modification de la condition du réseau entraîne une chute ou hausse de tension progressive et incontrôlable aboutissant en un effondrement généralisé du réseau[6] [5].

4.3.2 STABILITE TRANSITOIRE

Le réseau est dit transitoirement stable lorsqu'il retrouve son mode de fonctionnement normal après une perturbation durable qui s'accompagne d'un régime variable oscillatoire amorti considéré comme acceptable à l'égard à des fourchettes prédéfinies en tension, en fréquence et en temps. Les causes de l'instabilité transitoire sont le court-circuit, les pertes de lignes, les bris d'équipements majeurs comme les transformateurs de puissance et les alternateurs [6] [5].

4.3.3 STABILITE DYNAMIQUE

C'est l'aptitude du réseau à éviter tout régime oscillatoire divergent et à revenir à un état stable acceptable. Ceci inclut l'intervention éventuelle des protections et automatismes des divers fonction contre les perturbations envisagées[5].

4.4 MODELISATION SIMPLIFIEE DES ELEMENTS DU RESEAU ELECTRIQUE POUR L'ETUDE DE LA STABILITE STATIQUE (L'ECOULEMENT DE PUISSANCE)

Pour étudier un réseau d'énergie électrique complexe, des modèles ou schémas équivalents de ces principaux composants (générateurs, transformateurs, lignes et charges) sont établis.

4.4.1 MODEL DU GENERATEUR

Un moyen de production sera présenté par une fourniture de l'énergie active et une fourniture ou consommation de l'énergie réactive [7] [4]. Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les jeux de barres du système sont classés en trois catégories :

> JEU DE BARRE DE REFERENCE

Le jeu de barre de référence auquel est raccordé le générateur dont le rôle est de fournir la puissance supplémentaire nécessaire et est de compenser les pertes de transmission, car celles-ci ne sont pas connues d'avance. En plus, ce jeu de barre sert de référence pour les phases des tensions. Par convention, ce jeu de barres est identifié par le jeu de barres $n^{\circ}1$, dont le module et la phase de tension sont toujours spécifiés (V = 100% pu et δ = 0°). Par conséquent, les puissances active et réactive sont inconnues d'avance.

> JEU DE BARRE DE CONTROLE (PV BUS)

Le module de tension est maintenu constant ; il est considéré comme un jeu de barre à tension contrôlée. La puissance réactive du générateur s'adapte de façon à maintenir la tension au nœud constante. Aussi, le générateur est caractérisé par deux limites de puissance réactive. Lorsque l'une de ces limites est atteinte, la puissance reste inchangée et la tension au nœud n'est plus fixe. Au niveau de ce jeu de barre, la puissance active et la tension sont des grandeurs spécifiées (connues).

> JEU DE BARRE D'INJECTION (PQ BUS)

Tous les jeux de barre du réseau dont l'injection des puissances actives et réactives est donnée. Pour ce type de nœud, les puissances active et réactive sont connues et constantes. la procédure de l'écoulement de puissance donne les valeurs de tension et auparavant inconnues[1]

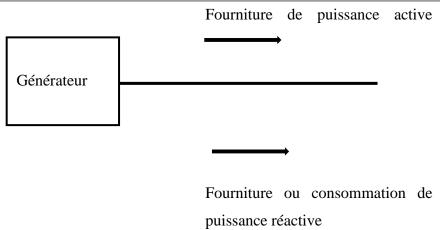


Figure 5 : Modèle d'une unité de production

4.4.2 MODELISATIONS DES LIGNES ELECTRIQUES

Une ligne de transmission est représentée par le schéma équivalent en pi (π) . Elle est caractérisée par ses grandeurs linéiques : la résistance directe et inductance en série puis la capacitance et conductance en parallèle[4]. Ainsi on définit ces grandeurs caractéristiques par :

R: l'impedance resistive de la ligne

L: impedance inductive de la ligne

C: impedance capacitive de la ligne

G: conductance

Ces paramètres sont calculés en fonction de la géométrie, le milieu et le matériau de la liaison,

4.4.2.1 CALCUL DES PARAMETRES RLC D'UNE LIAISON ELECTRIQUE

A) IMPEDANCE DE LIGNE

L'impédance de la ligne de distribution se calcule suivant le type de modèle utilisé. Cette impédance est composée de l'impédance résistive série, de l'impédance inductive série, de l'impédance capacitive parallèle et la conductance parallèle. L'impédance inductive série est caractérisée par l'inductance propre du câble et de l'impédance inductive mutuelle. Il est à noter que souvent, l'impédance inductive mutuelle n'est pas modélisée et, dans ce cas, l'effet inductif mutuel ne doit pas être tenu en compte en calculant l'impédance inductive série équivalente. Cependant, pour un système équilibré, la modélisation de l'inductance mutuelle est préférable[8].

✓ IMPEDANCE RESISTIVE

L'impédance résistive est une donnée de la ligne. La valeur de cette impédance dépend du type de matériau dont sont faits les conducteurs, de la section des conducteurs, de la longueur de la ligne et du nombre de conducteurs par phase. La donnée fournie par un manufacturier ou par le service distribution et de maintenance d'une ligne de distribution est généralement la valeur de l'impédance résistive par unité de longueur[8].

La résistance d'un conducteur se définit de la manière suivante :

$$R(\Omega) = \frac{\rho.L}{S} \tag{1}$$

Où

ρ est la résistivité du conducteur

S est la section du conducteur

L la longueur du conducteur

La résistivité d'un matériau croît non avec la température et aussi l'effet de pelliculaire qui résulte de l'augmentation de fréquence :

Variation en fonction de la résistivité du conducteur en fonction de la température.

$$\rho_{\theta}(\Omega.m) = \rho_0(1 + \alpha.\Delta T)$$
 (2)

Où

 ρ_0 est la résistivité du conducteur à 20 °C $[\Omega m]$;

 $ρ_\theta$ est la résistivité du conducteur à θ °C [Ωm]

α est le coefficient de température [°C-1]

ΔT est l'écart de température par rapport à 20°C [°C].

Le tableau 1 nous donne les différentes valeurs de résistivité à 20°C et le coefficient de température en fonction de la nature du conducteur.

Tableau 1: caractéristique électrique des conducteurs utilisés

Matériau	Résistivité	Coeff-temp
Cuivre	1,72E-08	4,10E-03
Almélec	3,26E-08	3,60E-03
Aluminium	2,82E-08	4,00E-03
Acier	1,50E-07	0,00E+00

Variation de la résistivité du conducteur en fonction de de la fréquence, connue sous le nom l'effet pelliculaire, la densité de courant en surface est d'autant plus marquée que l'épaisseur du matériau est grande ou que ω est élevée. Vu que, à 50 Hz, δ = 1cm (pour Cu ou Al), l'effet pelliculaire est faiblement marqué (quelques pourcents sur la valeur de la résistance), sauf pour des diamètres de conducteur supérieurs à 3 cm.[7]

✓ IMPEDANCE INDUCTIVE SERIE

LIGNE AERIENNE

L'impédance inductive série de la ligne de distribution est dépendante de diverses données de la ligne. Elle dépend de la perméabilité magnétique du milieu, de la distance du câble au sol et du rayon du conducteur. Les équations permettant de déterminer l'impédance totale d'un conducteur (résistive série, inductive série et mutuelle) sont présentée ci-dessous :

Inductance propre de la ligne

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln(h/r) \quad (3)$$

Inductance mutuelle de la ligne

$$M = \frac{\mu}{2\pi} \ln(\frac{2h}{dab}) \tag{4}$$

En régime équilibré, l'inductance global est la différence entre l'inductance propre et mutuelle

$$Leq = L - M = \frac{\mu}{2\pi} \ln(\frac{dab}{2r})$$
 (5)

H: est Distance entre un conducteur rapport au sol (m)

dab: est Distance entre les deux conducteurs (m)

 μ_0 : est la perméabilité du milieu (4π . 10-7 H/m)

r : est le rayon du conducteur 1 (m)[7]

Nota : pour le calcul des paramètres l'inductance, on considère le rayon géométrique moyen au lieu du rayon théorique du câble.

o CABLE SOUTERRAIN

$$L = \frac{\mu 0}{2\pi} \ln(\frac{b}{a}) \tag{6}$$

b : est le diamètre de l'isolant (m)

 μ_0 : est la perméabilité du milieu (4π . 10-7 H/m)

a : est le rayon du conducteur (m)[8]

✓ IMPEDANCE CAPACITIVE PARALLELE

LIGNE AERIENNE

Cette impédance exprimée en F/m se calcule à partir de l'équation

$$C = \frac{2\pi\varepsilon 0.\varepsilon r}{\ln(\frac{2h}{r})} (7)$$

Où

 \mathcal{E}_0 : représente la permittivité absolue du vide $\mathcal{E}_0 = \frac{10^{\circ} - 9}{36\pi}$ (F/m)

Er : représente la permittivité relative du milieu

h : représente la hauteur du conducteur

r : représente le rayon du conducteur[7]

CABLE SOUTERRAIN

$$C = \frac{2\pi\varepsilon 0.\varepsilon r}{\ln(\frac{b}{a})} \tag{8}$$

Où

 \mathcal{E}_0 : représente a permittivité absolue du vide $\mathcal{E}_0 = \frac{\mathbf{10}^{\wedge} - \mathbf{9}}{\mathbf{36}\pi}$ (F/m)

Er : représente la permittivité relative du milieu

b : représente le diamètre de l'isolant (m)

a : représente le rayon du conducteur

Le tableau 2 donne la perméabilité en fonction de la nature du matériau d'isolant.

Tableau 2:permeabilité relative des isolants

Nature de	PE	PR	EPR	PVC
l'isolant				
$\epsilon_{ m r}$	2,3	2,5	2,8	6

Nota : il est important de noter que d'une part le constructeur de câble souterrain donne directement l'inductance, la résistance et la résistance à 20°C, dans ce cas, on ajuste seulement la résistance.

4.4.3 MODELISATION DE TRANSFORMATEUR

Le modèle adéquat est celui qui nous permettra seulement évaluer la chute de tension et les différentes pertes dans le transformateur. C'est-à-dire faisant intervenir les éléments séries (inductance et résistance des enroulements primaires et secondaire et l'inductance de fuite) et les éléments parallèles (inductance de magnétisation et éventuellement une résistance modélisant les pertes fer). La figure 6 donne une illustration du modèle.

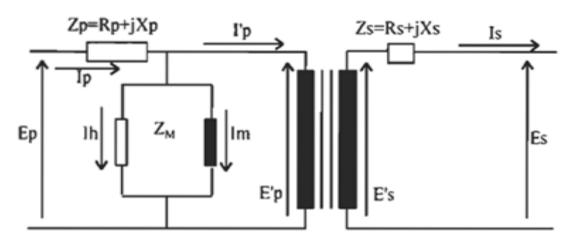


Figure 6 : Modèle général du transformateur

Zp; Zs: impédances des enroulements primaire et secondaire.

Rp; Rs: résistances des enroulements primaire et secondaire

Xp ; Xs : réactances de fuites des enroulements primaire et secondaire

Zm : impédance du circuit magnétique

Rm : résistance du circuit magnétique (symbolise les pertes dans le fer)

Xm : réactance du circuit magnétique (symbolise la puissance magnétisante)

Ip; *Is*: courants primaire et secondaire

Ep ; *Es Tensions primaire et secondaire*

On peut encore simplifier le model si on reconnait que les pertes fer sont inférieures à 4% des pertes. Alors une inductance et une résistance mises en série peuvent modéliser un transformateur dans le cadre de l'écoulement de puissance[4].

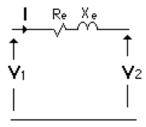
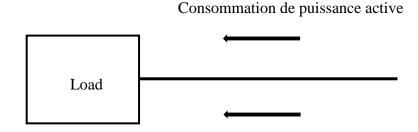


Figure 7 : Modèle simplifié du transformateur

4.4.4. MODELE DE CHARGE

La charge électrique est souvent modélisée, en régime permanant, sous forme d'une impédance qui consomme d'une puissance active et réactive constantes.



Consommation de puissance réactive

Figure 8 : Modèle statique d'une charge

4.4.5 MODELISATION DES ELEMENTS SHUNTS

Les éléments shunt (batteries de condensateurs ou réactances) sont insérés dans le réseau électrique pour fournir ou absorber de la puissance réactive afin de crêter ou d'écraser la tension du jeu de barre auquel ils sont raccordés.

4.5. ANALYSE DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE

4.5.1 LES OBJECTIFS DE L'ANALYSE DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE

L'étude de l'écoulement de puissance est une étape primordiale de toute analyse sérieuse d'un réseau électrique. En effet, elle nous permet de calculer les grandeurs d'un réseau en régime permanent équilibré à savoir les modules et phases des tensions en tout point du réseau ; évaluer l'effet d'une réorganisation de circuits ou de l'incorporation de nouveaux circuits ; A partir de ces dernières, on peut calculer les courants dans les lignes de transport, les puissances actives et réactives transitées et les pertes de puissances provoquées lors du transport d'énergie électrique. Cette analyse est très importante pour les études, la planification et l'exploitation d'un réseau électrique.

4.5.2 METHODE DE CALCUL DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE

Par définition le calcul d'écoulement de puissance ou **Load Flow** est la résolution mathématique des équations qui régissent de la distribution des énergies électriques dans un réseau donné. Cependant, nous n'allons pas aborder ce détail car ces méthodes de calcul sont très développées dans la littérature.

V. ETUDES TECHNIQUES

5.1. MODELISATION DES COMPOSANTS DU SYSTEME ELECTRIQUE ETUDIE

5.1.1. MODELISATION DES UNITES DE PRODUCTION

Le système étudié est alimenté par une ligne venant du Nigeria (80 MW), la centrale de Goudel et la centrale de Gorou banda (80 MW) (annexes 10.2.3). D'une part, les contraintes techniques liées à l'exploitation et d'autre part, les soucis de rentabilité économique dans la production imposent une répartition de priorité entre les sources d'énergie. En effet, selon le service comptabilité de la Nigelec, l'énergie provenant Nigeria est plus rentable (32 000 FCFA/MWh) que la centrale de Goudel (104 000 FCFA/MWh) qui est aussi plus rentable que Gorou banda (123 000 FCFA/MWh). Par conséquent, l'exploitation est faite de manière à alimenter le maximum de charge par l'arrivée Nigeria, on peut en déduire que l'arrivée Nigeria est le nœud bilan et les autres sources sont des productions constantes de puissance active et réactive.

Tableau 3:Données sur les machines de production

	Unité de	Puissance	Nature du nœud	Puissance	Puissance
	production	nominale		réactive	réactive
Site		(MW)		minimale	maximale
				(MVAr)	(MVAr)
	Arrivée		Swing		
Niamey 2	Nigeria		(référence)		
GOUDEL	PC-4	9	PQ	-1,10	6,75
	G1	20	PQ	-2,44	15
(Gorou Banda)	G2	20	PQ	-2,44	15
	G3	20	PQ	-2,44	15
	G4	20	PQ	-2,44	15

5.1.2 MODELISATION DES TRANSFORMATEURS

Les transformateurs les plus généralement utilisés dans le réseau électrique Nigelec sont de la marque France transfo. Les informations données par le constructeur sont disponibles dans le tableau 4

Tableau 4:données sur les transformateurs HTA/BTA

Caractéristiques	Valeurs assignées					
Puissance (kVA)	50 100-160-250-400 630-800-1000 ≥1250					
Fréquence (Hz)	50					
Tension primaire (kV)	20					
Tension d'isolation (KV)	24					
Tension secondaire (V)	400					
Tension de court-circuit (%)	4 5 5,4					
Pertes à vide (W)	140	2300				

Cependant, ces informations ne nous permettent pas de calculer les paramètres nécessaires pour le calcul de l'écoulement de puissance. Par conséquent, nous avons uniquement tenu compte de la puissance nominale et les tensions primaires et secondaires.

5.1.3 MODELISATION DES LIAISONS DE TRANSMISSION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Notre réseau électrique est constitué de ligne de liaison de différentes natures : Le réseau de transport à 132 kV et de répartition à 66 kV, sont formés des lignes sur des pylônes en treillis dont la hauteur moyenne hors sol des conducteurs peut être estimée à 18 m ; la distance entre conducteur est aussi estimée à 1,5 m. Quant à la distribution, la transmission est faite en utilisant des câbles souterrains et des lignes aériennes. Les tableaux 5 et 6 donnent en récapitulatif les paramètres RLC des lignes et câbles. Le détail du calcul est donné dans l'annexe 8.1

Tableau 5:impedances des liaisons de distribution

Nature du	Type de	Section	Résistance	Inductance	Capacitance
conducteur	liaison	(mm²)	$(\Omega.km^{\text{-}1})$	(mH.km ⁻¹)	(nF.km ⁻¹)
Almélec	Aérienne	54,4	0,7	1,485	6,65
Almélec	Aérienne	75,5	0,5	1,451	6,79
Almélec	Aérienne	117	0,33	1,396	7,08
Aluminium	Souterraine	50	0,63	0,42	0,17
Aluminium	Souterraine	90	0,35	0,41	0,21
Aluminium	Souterraine	150	0,21	0,37	0,32

Tableau 6:impedances des liaisons de transport

	Tension	Section	Résistance	Inductance	Capacitance
Tronçon	(kV)	(mm²)	$(\Omega.km^{-1})$	(H.km ⁻¹)	(F.km ⁻¹)
Kebbi-NY-2	132	240	0,16	14,56.10 ⁻⁴	6,77.10 ⁻⁹
NY2-gorou banda	132	240	0,16	14,56.10 ⁻⁴	$6,77.10^{-9}$
Gorou banda- Goudel	66	117	0,33	$14,9.10^{-4}$	6,68.10 ⁻⁹
NY2-Goudel	66	117	0,33	$14,9.10^{-4}$	6,68. 10 ⁻⁹
Gorou banda-saye	66	117	0,33	$14,9.10^{-4}$	6,68. 10 ⁻⁹
Goudel-Tillabéry	66	117	0,33	$14,9.10^{-4}$	6,68. 10 ⁻⁹

5.1.4 MODELISATION DES CHARGES

Dans le cadre de l'étude de la stabilité statique, une charge est modélisée par une consommation de de puissance active et réactive. Cependant, il est compliqué de donner de façons juste et correcte la valeur de cette consommation. C'est pourquoi il est nécessaire de définir un état statique pour lequel le réseau sera étudié.

5.2 VALIDATION DU MODELE

Pour continuer notre étude, il est nécessaire de procéder à la validation du modèle que nous avons établi, figures 6 et 7. Pour se faire, nous avons besoin d'avoir un état électrique de l'ensemble du réseau pour simuler sur le logiciel afin de comparer les résultats. Cependant, la Nigelec ne disposant pas les moyens nécessaires, nous sommes obligés de restreindre notre domaine de vérification du modèle en utilisant des données mesurées sur quelques points du réseau. En effet, il existe des appareils de mesure placés au Nigeria, à Dosso et à l'arrivé à Niamey. Ces appareils relèvent simultanément la puissance à leurs positions.

Nous avons en situation réelle les valeurs des puissance active et réactive consommées à Niamey et Dosso, nous leurs avons fait entrer dans le modèle pour comparer le plan de tension réel et celui de simulation. Le tableau 7 nous donne la comparaison un état électrique du réseau à la date du 03 avril 2018 à la sa simulation.

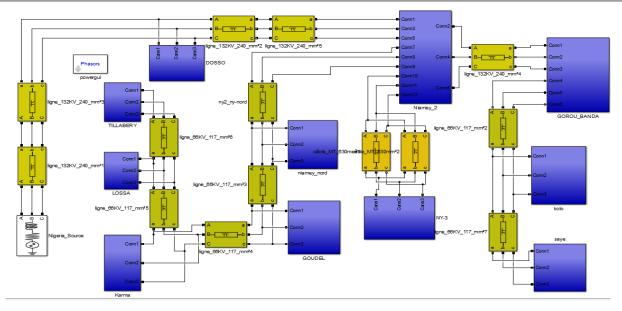


Figure 6:modèle du réseau de transport sur MATLAB

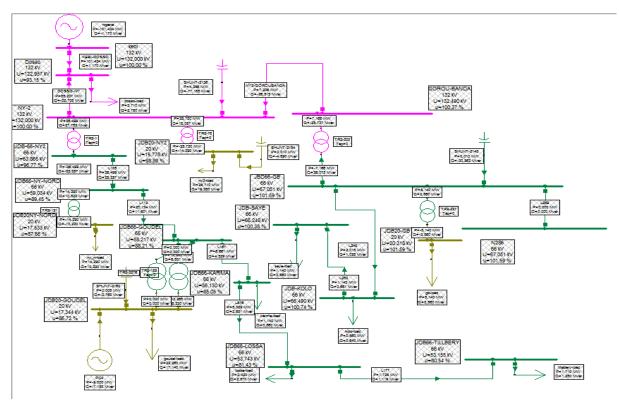


Figure 7:modèle du réseau de transport sur NEPLAN

Tableau 7: Vérification de l'état électrique

		Postes							
		Kebbi Dosso Niamey						У	
	U(kV)	P(MW)	Q(MVAr)	U (kV)	P(MW)	Q(MVAr)	U(kV)	P(MW)	Q(MVAr)
Input (paramétrage des blocs)	138 Swing		132	9,3	0,3	132	67,6	30	
		U(kV)							
	138			128			126,49		
	Ecart (%)								
Output (Résultat de simulation)		0,00		3,03			4,17		

Pour une tolérance de 5%, nous constatons que les écarts on voit clairement que le modèle est très valable. Alors nous pouvons généraliser cette validité tant sur le réseau de transport que sur celui de distribution.

5.3 SIMULATIONS

5.3.1 ETUDE DE RESEAU DE DISTRIBUTION

L'objectif de cette simulation est d'étudier la tenue thermique des départs HTA en évaluant la chute de tension en bout de ligne, suivant le schéma de manœuvre en vigueur (<u>voir annexe 9.2</u>). Pour se faire, nous allons soumettre ces départs à leur puissance maximale de réglage, observer la chute de tension maximale qu'il peut y avoir, comparer à la réalité pour identifier des problèmes et dégager des explications techniques, au cas échéant.

5.3.1.1 HYPOTHESES

- ✓ La charge est repartie proportionnellement à la puissance nominale des postes HTA/BTA. Pour les départs dont le nombre des postes HTA/BTA n'est pas important, nous allons charger ces derniers à 100% de leur puissance nominale.
- ✓ Les charges fonctionnement à un facteur de puissance de 0,8
- ✓ Effets harmoniques sont négligés.
- ✓ Le régime est déséquilibré.
- ✓ La fréquence est constante à 50 Hz

 Le tableau 8 donne le taux de charge des transformateurs en fonction du départ HTA calculé sur la base de la première hypothèse.

Tableau 8:taux de charge des transformateurs HTA/BTA

Poste	Départs HTA	Taux de charge des postes (%)	Observation
	Hamdalaye	69	RAS
	Madina	91	RAS
	ZI	47	RAS
	Nord	65	RAS
	Ville	66	RAS
	Gaweye	100	Vieille canalisation
Niamey2	Grand Marché	62	RAS
	Poudrière	84	RAS
	APT	32	Exposé
	Câble	95	RAS
	BCEAO	100	en croissance
	Koira Kano	44	Exposé
	Yantala	85	RAS
Goudel	Goudel	65	RAS
	Koubia	92	RAS
	G-Standing	82	RAS
	SPG	100	RAS
	Francophonie	58	RAS
	Fenifoot	87	RAS
Niamey nord	Tchangaray	100	En croissance
	Bobiel	100	En croissance
	Lazaret	72	RAS
	OLANI	100	En croissance
Gorou banda	Université	46	Exposé
	Kirkissaye	100	En croissance
	Recasement	100	En croissance

Remarques : le taux de charge nous donne une idée d'avance sur la tenue thermique du départ, car son interprétation mathématique veut dire que le départ atteint sa puissance maximale lorsque tous les postes HTA/BTA fonctionne simultanément à cette valeur. C'est pourquoi nous avons eu à faire des observations pour donner des idées claires. En effet, ces observations signifient :

- o En croissance : le départ n'est pas trop chargé ou est nouvellement construit
- Exposé: le départ est suffisamment chargé au point où il est fortement probable ou certainement évident qu'il soit exploité au voisinage de sa puissance nominale. Cela a

- pour conséquence la limitation de l'évacuation de l'énergie et accélération du vieillissement du matériel.
- Le départ « ancien », dont on fait cas ici, est un départ déchargé compte tenue du dépassement de l'échéance de son état de service.

5.3.1.2 RESULTAT DE SIMULATION

Nous avons simulé individuellement les départs sous Simulink (Matlab). Les résultats sont dressés et comparés par rapport au standard Nigelec dans le tableau 9. Le standard Nigelec suppose que la limite de stabilité statiques est atteinte lorsque la chute de tension en bout de ligne est supérieure à 8% en zone urbaine et 10% en zone rurale.

Tableau 9:Résultat de simulation de la tenue thermique des départs HTA

Poste HTB/HTA	Départs Puissance active (MW)		Puissance réactive (MVAr)	Facteur de puissance	Chute de tension maximale (%)	Observations	
	Hamdalaye	6,15	4,83	0,79	8	Propre	
N. a	Madina	5,8	4,3	0,80	6	Propre	
	ZI	5,77	4,69	0,78	2	Propre	
	Nord	5,88	4,64	0,79	5	Propre	
	Ville	5,54	4,32	0,79	3	Propre	
	Gaweye	7,28	5,53	0,80	2	Propre	
Niamey-3	Grand Marché	8,05	6,28	0,79	4	Propre	
	Poudrière	7,48	5,52	0,80	4	Propre	
	Aéroport	5,44	4,47	0,77	8	Propre	
	Câble	8,11	6,23	0,79	3	Propre	
	BCEAO	8,71	6,52	0,80	5	Propre	
	Koira Kano	8,49	6,72	0,78	4	Propre	
	Yantala	6,74	5,54	0,77	4	Propre	
Goudel	Goudel	6,24	4,92	0,79	6	Propre	
	Koubia	4,94	3,85	0,79	3	Propre	
	G-Standing	8,09	6,27	0,79	3	Propre	
	SPG	8,21	6,28	0,79	4	Propre	
	Recasement	8,06	6,14	0,80	3	Propre	
	Francophonie	6,25	4,94	0,78	7	Propre	
Niamey-Nord	Fenifoot	6,54	5,11	0,79	6	Propre	
	Tchangaray	4,73	3,63	0,79	4	Propre	
	Bobiel	8,03	6,06	0,80	3	Propre	
	Lazaret	8,44	6,54	0,79	4	Propre	
Gorou-banda	OLANI	5,21	4,41	0,76	8	Propre	
	Université	6,72	5,84	0,75	9	Inacceptable	
	Kirkissaye	6,85	5,81	0,76	6	Propre	

5.3.1.3 ANALYSE ET INTERPRETATION DU RESULTAT DE SIMULATION

Le résultat de cette analyse montre que, suivant les considérations d'entrée, les départs de distribution sont exploités dans des conditions acceptables, du point de vue stabilité statique, à l'exception du départ « université ». Cela s'explique par l'influence de sa configuration géographique sur la capacité du transite de l'énergie réactive. En effet, quelle que soit la nature de la liaison de transmission, l'impédance résistive est inférieure à la réactance. Alors plus le départ HTA est long, plus il est sensible au transite de l'énergie réactive. Cependant la réalité est toute autre. En effet, en exploitation normale, bien que la tension semble bonne sur le jeu de barre, on observe souvent qu'elle est inadmissible en bout de ligne pour la plupart des départs de distribution alors que ceux de Gorou-banda viennent même en renfort des autres départs de distribution (voire le schéma de manœuvre). Alors nous pouvons déduire que d'abord les charges liées aux départs de Gorou-banda ne demandent pas aussi de réactif que nous avons considéré pour faire la simulation. Ensuite les départs, qui ne sont pas réellement stables, transitent non seulement plus de réactif que ce que nous avons supposé à la simulation mais aussi ils sont soumis aux effets des harmoniques. A titre confirmatif, nous avons constaté que les détorsions harmoniques ne sont pas filtrées dans le réseau alors que norme NFC-13-200 est exigeante et limite les taux de détorsions harmoniques à 5%. C'est pourquoi on constate une récurrence de la rupture des liaisons de transmission précisément les câbles souterrains due à l'échauffement.

5.3.1.4 PERSPECTIVES

Il nous incombe de prendre des mesures idoines pour améliorer la qualité d'énergie que nous fournissons, la capacité d'évacuation du réseau et aussi garantir la pérennité des composants du réseau électrique afin de maximiser leur rentabilité.

Le résultat des simulations nous montre que le réseau de distribution étudié contient non seulement de départ sensible l'énergie réactive mais aussi ses charges sont des consommateurs excessifs de l'énergie réactive. Il est alors impératif de limiter le transite de l'énergie réactive et des harmoniques dans le réseau de distribution en optimisant la compensation de l'énergie réactive et le filtrage des harmoniques. En effet, la Compensation de l'énergie réactive est optimale lorsqu'elle est faite au niveau des charges. On doit mener une politique, sur la tarification, qui va exiger aux abonnés HTA de compenser, en basse tension, leur besoin en énergie réactive pour un facteur de puissance limité à 0,95. Quant aux postes de transformation HTA/BTA publics et mixtes, on compense le réactif des transformateurs.

5.3.2 ETUDE DU RESEAU DE TRANSPORT A L'ETAT 2018

Cette partie consiste à étudier l'écoulement de puissance dans la partie transport du réseau étudié à l'état actuel en utilisant les logiciels Matlab et Neplan suivant les situations sa topologie et les considérations des charges actuelles. En effet les conditions d'exploitation du réseau de transport, qu'il soit en pointe ou en faible charge, ne peuvent pas accepter la perte d'un ouvrage de production ou de transport. Dans ce cas, simulations des contingences ne consisteront qu'à évaluer l'impact, sur le plan de tension, lorsqu'une une charge importante est perdue.

ARCHITECTURE ACTUELLE DU RESEAU DE TRANSPORT

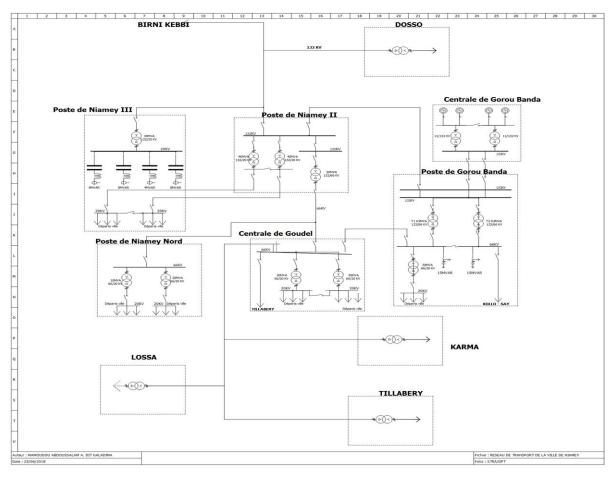


Tableau 10:Schéma électrique du réseau de la région du fleuve

CHARGES DES POSTES HTB/HTA

La réparation des charges par poste est donnée par le tableau 10.

Tableau 11: Réapparition des charges des poste HTB/HTA

		Scenarios de pointe de charge	Scenarios de faible charge Charges-en (MW)			
Postes	Taux de charge (%)	Charges-en (MW)				
Dosso	4,64	7,88	3,71			
Niamey 3	32,14	54,63	25,71			
Niamey nord	17,86	30,36	14,29			
Goudel	28,57	48,57	22,86			
Gorou banda	6,43	11	5,14			
Kolo	1,07	1,8	0,86			
Saye	1,43	2,43	1,14			
Karma	1,43	2,43	1,14			
Lossa	4,28	7,27	3,42			
Tillabéry	2,14	3,64	1,71			
TOTAL	100	170	80			

Nous considèrerons les postes HTB/HTA comme des charges à une consommation de puissance active donnée et une consommation de puissance réactive pour un facteur de puissance variant de 0,8 ; 0,9 ;0,95 et 1.

5.3.2.1 L'ECOULEMENT DE PUISSANCE

5.3.2.1.1 LES SITUATIONS NORMALES

Cette simulation est faite dans l'optique de voir si, dans toutes les conditions de fonctionnement, le transit de puissance du système peut être effectif dans toutes les plages opérationnelles de fonctionnement. Les situations les plus intéressantes pour nous sont les fonctionnements en pointe de charge et celui de faible charge en puisant le maximum de puissance sur l'importation du Nigeria.

5.3.2.1.1.1 LES CRITERES DE STABILITE

<u>Critère n°1</u>: On parle de surtension lorsque la tension sur l'ouvrage dépasse la tension nominale de 10% car le seuil de déclenchement par surtension est à 113% de la tension normale.

<u>Critère n°2:</u> on parle de sous-tension lorsque la tension sur l'ouvrage est inférieure à la tension nominale de 20% car le seuil de déclenchement par sous-tension est à 80% de la tension nominale.

<u>Critère n°3:</u> un ouvrage est dit surchargé si seulement il est exploité à une puissance qui dépasse sa puissance nominale.

<u>NB</u>: une surcharge de 10% est acceptée sur les transformateurs. Par contre les alternateurs sont considérés surchargés à partir de leur puissance nominale.

5.3.2.1.1.2 RESULTAT DE SIMULATION

Les tableaux 10 et 11 donnent les résultats récapitulatifs des différents scenarios selon les logiciels de simulation. Les résultats détaillés sont en annexe 10.6

Tableau 12: Résultat de l'écoulement de puissance à faible charge à échéance 2018

Scenarios de faible charge			Résultat Matlab			Résultat Neplan				
		Postes	Facteur de puissance				Facteur de puissance			
			0,8	0,9	0,95	1	0,8	0,9	0,95	1
Tension sur les jeux de barre en pu		Dosso	0,93	0,95	0,95	0,96	0,93	0,94	0,94	94
		Niamey 3	0,93	0,97	0,99	1,05	1	1	1	1,04
		Niamey nord	0,88	0,93	0,96	1,02	0,88	0,95	0,97	1,04
		Goudel	0,87	0,92	0,95	1,02	0,87	0,94	0,97	1,04
		Gorou banda	0,93	0,98	1	1,05	1	1	1	1
		Kolo	0,92	0,97	0,99	1,05	0,99	0,99	0,99	0,99
		Saye	0,92	0,97	0,99	1,05	0,99	0,99	0,99	0,99
		Karma	0,85	0,92	0,94	1,01	0,85	0,94	0,97	1,05
		Lossa	0,83	0,92	0,93	1,01	0,83	0,92	0,97	1,05
		Tillabéry	0,82	0,92	0,93	1,01	0,82	0,92	0,97	1,05
	Production locale	Puissance active								
		(MW)	9	9	9	9	9	9	9	9
		Puissance								
D'' 1		réactive (MVAr)								
Bilan de	Importation du Nigeria	Puissance active								
puissance		(MW)	67,1	79,67	84,36	101,98	100,55	99,4	99,22	99,9
		Puissance								
		réactive (MVAr)	0,47	-4,33	-5,73	-7,83	-0,78	-0,29	-0,71	-1,11
	Pertes (MW)		11,65	16,45	17,6	25,65	25,79	25,75	24,45	24,45

Étude de la stabilité statique du réseau électrique de la région du fleuve du Niger : Modélisation avec les logiciels Matlab et Neplan

Tableau 13: résultats de l'écoulement de puissance à pointe de charge à échéance 2018

Scanario	s de pointe			Résult	at Matlab)	Résultat Neplan			
	arge	Postes	F	acteur d	le puissar	nce	Facteur de puissance			
	ui ge		0,8	0,9	0,95	1	0,8	0,9	0,95	1
		Dosso	0,96	0,96	0,95	0,9	0,84	0,86	0,87	88
		Niamey 3	0,97	1,02	1,04	1,08	1	1	1	1
		Niamey nord	0,97	0,91	0,95	1	0,98	0,99	0,99	0,99
		Goudel	0,83	0,89	0,93	0,99	1	1	1	1
Tension su	ır les jeux de	Gorou banda	0,99	1,04	1,07	1,1	1,01	1,02	1,02	1,02
barre	e en pu	Kolo	0,97	1,03	1,05	1,09	99	1	1	1,01
		Saye	0,96	1,02	1,05	1,09	99	1	0,99	1
		Karma	0,78	0,85	0,93	0,99	0,95	0,97	0,97	0,98
		Lossa	0,73	0,81	0,93	0,99	0,89	0,92	0,94	0,97
		Tillabéry	0,72	0,81	0,93	0,99	0,88	0,91	0,93	0,96
		Puissance active								
	Production	(MW)	93	93	93	93	93	93	93	93
	locale	(MW)	93	73	73	73	93	93	93	75
	locale	Puissance réactive								
Bilan de		(MVAr)	69,75	69,75	69,75	69,75				
puissance		Puissance active								
	Importation	(MW)	59,79	85,47	104,27	146,58	143	137,4	135	134
	du Nigeria	Puissance réactive								
		(MVAr)	-5,46	-8,35	-6,04	14,76	31	25	22	19
	Pertes (MW)	(IVI V AI)	16,07	24,31	32,12	58,48	62	57	55	53
	Tortes (IVI W)		10,07	24,31	32,12	30,40	02	37	33	33

5.2.2.1.1.3 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS DE SIMULATION

Les résultats donnés par les deux logiciels semblent être différents mais ils sont exactement identiques. C'est leur logique de simulation qui diffèrent; En effet le logiciel Matlab calcul l'écoulement de puissance dans les conditions dans lesquelles le modèle du réseau a été soumis par contre le logiciel Neplan prend en compte certaine considération raisonnable. Cette dernière signifie que Neplan ne peut pas accepter un transite de puissance réactive sur une très longue distance. Par conséquent, il demande à ce qu'une des capacités qui est installées sur le réseau fasse le bilan du réactif au lieu que ça soit la source Nigeria qui la fasse. C'est pourquoi nous constatons, selon les conditions, une limitation de transite sur Matlab contre une variation des pertes sur Neplan. Cela s'explique par le fait que Neplan corrige le réactif à Niamey, le réseau a alors une capacité de tirer le maximum de puissance active sur le réseau du Nigeria. Plus la

Étude de la stabilité statique du réseau électrique de la région du fleuve du Niger :

Modélisation avec les logiciels Matlab et Neplan

puissance active tirée sur le réseau Nigeria est importante, plus les pertes sont importantes. De

même on peut affirmer que plus la quantité du réactif mobilisé est importante, plus la tension

se dégrade et plus le réseau est limité à puiser de l'énergie sur le réseau du Nigeria qui est la

source économiquement abordable et disponible.

On constate aussi que les pertes énergétiques dans le transport sont parfaitement corolaires à la

valeur de chute de tension à Dosso et à la puissance électrique qui quitte le Nigeria ; ce qui nous

a permis d'affirmer que les pertes énergétiques dans le transport, les importantes, sont générées

par la ligne 132 kV venant du Nigeria. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé de

l'étudier en établissant la courbe de rendement et l'énergie réactive requise.

Nous pouvons noter la présence d'un élément surchargé : Transformateur 50 MVA 132/66 de

Niamey 2 à 30% de sa puissance nominale à pointe de charge

5.2.2.1.1.3.1 ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DE LA LIGNE DE TRANSPORT 132 KV

L'étude de l'écoulement de puissance révèle que les pertes énergétiques dans le transport sont

générées par la ligne de transport 132 KV provenant du Nigeria. Il nous convient alors de

l'optimiser, minimiser ces pertes énergétiques. Cependant, il est nécessaire que nous prenions

en compte l'aspect économique. En effet le coût de revient du MWh importé du Nigeria est

beaucoup moins cher par rapport à la production locale. Cette étude nous permettra de trouver

des mesures techniques pour minimiser ces pertes de manière à tirer le maximum de puissance

sur le Nigeria.

Méthode

Nous avons effectué des simulations sur la ligne en variant la capacité de compensation de l'énergie

réactive dans le réseau de transport. Considérons ces bancs condensateur de Niamey 3 et ceux de Gorou

banda, c'est-à-dire trois de 8 MVAr deux de 15 MVAr et 1 de 4 MVAr. Nous avons simulé toutes les

combinaisons possibles pour évaluer la puissance qu'on peut tirer du Nigeria et le coût de revient de

MWh qui prend en comptes les pertes.

Résultats

Premier cas: Toutes les capacités sont à Niamey

29

Tableau 14: Résultat de l'évaluation de la capacité de transit de la ligne Kebbi-Niamey cas1

Capacité à Niamey (MVAr)	28	30	34	38	42	46	50	54	58
Capacité à Dosso (MVAr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puissance consommée à Niamey									
(MW)	59,09	59,83	61,32	62,82	64,32	65,82	67,32	68,8	70,26
Puissance consommée à Dosso (MW)									
	6,96	6,97	7	7,02	7,04	7,05	7,06	7,07	7,07
Puissance observée au Nigeria (MW)									
	83,3	84,46	86,83	89,28	91,81	94,4	97,06	99,78	102,56
Pertes (MW)	17,25	17,66	18,51	19,44	20,45	21,53	22,68	23,91	25,23
Rendement	79,29	79,09	78,68	78,23	77,73	77,19	76,63	76,04	75,40
Coût de revient de MWh (FCFA)	44141	44253	44483	44742	45030	45341	45672	46030	46419

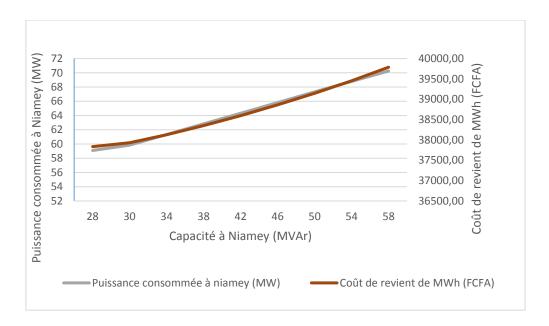


Figure 8: Analyse technico-économique de la ligne 132 kV cas1

<u>Deuxième cas :</u> Les deux bancs de 15 MVAr sont transférés à Dosso et le 28 MVAr à Niamey

Tableau 15:Résultat de	l'évaluation de la ca	pacité de transite de l	a ligne Kebbi-Niamey cas2

Capacité à Niamey (MVAr)	30	30	30	30	30	30	30
Capacité à Dosso (MVAr)	4	8	12	16	20	24	28
Puissance consommée à Niamey							
(MW)	61,02	62,23	63,46	64,79	66,03	67,36	68,72
Puissance consommée à Dosso (MW)							
	7,11	7,25	7,39	7,54	7,69	7,85	8
Puissance observée au Nigeria (MW)							
	86,12	87,84	89,64	91,51	93,45	95,48	97,58
Pertes (MW)	17,99	18,36	18,79	19,18	19,73	20,27	20,86
Rendement (%)	79,11	79,10	79,04	79,04	78,89	78,77	78,62
Coût de revient de MWh (FCFA)	37922	37927	37956	37955	38029	38085	38157

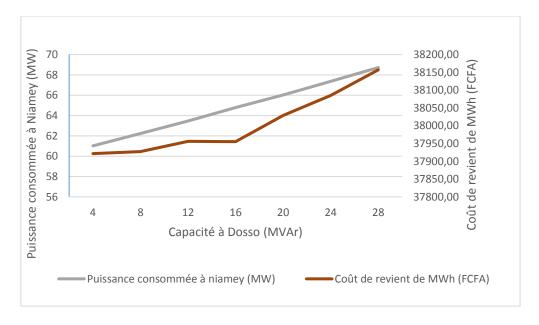


Figure 9: Analyse technico-économique de la ligne 132kV cas2

<u>Troisième cas</u>: Les bancs de Niamey sont maintenus et d'autres de 30 MVAr seront installés à Dosso

Capacité à Niamey (MVAr)	30	34	38	42	46	50	54	58
Capacité à Dosso (MVAr)	30	30	30	30	30	30	30	30
Puissance consommée à Niamey (MW)	70,49	72,16	73,83	75,49	77	78,75	80,34	81,89
Puissance consommée à Dosso (MW)	8,21	8,23	8,25	8,26	8,27	8,26	8,25	8,24
Puissance observée au Nigeria (MW)	100,38	103,23	106,14	109,13	112,18	115,28	118,42	121,61
Pertes (MW)	21,68	22,84	24,06	25,38	26,91	28,27	29,83	31,48
Rendement (%)	78,40	77,87	77,33	76,74	76,01	75,48	74,81	74,11
Coût de revient de MWh (FCFA)	38264	38523	38794	39091	39468	39747	40102	40478

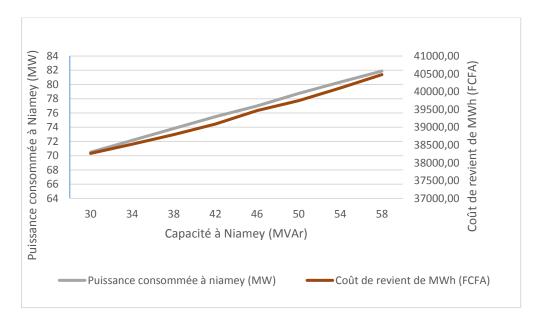


Figure 10: Analyse technico-économique de la ligne 132 kV cas3

INTERPRETATION

Ces résultats montrent clairement que plus on compense la ligne 132kV, plus on soutire plus de puissance sur le Nigeria. De plus la diminution des pertes peut être obtenue en fixant aussi une compensation à Dosso.

La puissance maximale peut être atteinte lorsqu'on compense 30 MVAr à Dosso et 58 MVAr à Niamey. Ce point peut être considéré comme le point de fonctionnement optimum car son coût de revient de MWh reste et demeure inférieur à celui produit localement. Cependant il faut noter que la présence importante des bancs de capacités sur le réseau de transport implique sa sensibilité à la variation brusque des charges.il est alors impératif de dynamiser cette

compensation de manière à ce qu'elle s'adopte automatiquement pour maintenir la tension constante suite à la variation brusque des charges

5.3.2.1.2 CONTINGENCES SIMPLES

Compte tenu de la criticité des ouvrages de production et de transport du réseau étudié nous allons procéder aux simulations de contingence en perdant un départ aérien, un départ souterrain à Niamey nord et la perte d'une travée de 30 MW à Niamey nord. La figure ci-dessous donne le résultat des simulations

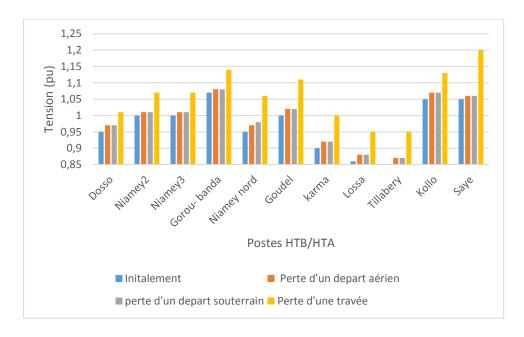


Figure 11: Résultat des scénarios de contingence simple sans CPC

Ces résultats nous montrent une mauvaise répartition de la tension sur l'ensemble du réseau et une sensibilité vis-à-vis à la variation busque de charge. En effet, c'est cette mauvaise répartition de la tension qui ne permet pas de gérer manuellement l'équilibre de la tension sur l'ensemble du réseau. En réalité le CPC empêche de faire ce constat. De plus c'est l'une des raisons pour laquelle le réseau s'écoule (blackout) par surtension suite à la perte d'un départ chargé. Le graphique ci-dessous (figure12) donne la tension réellement observée par les transformateurs de potentiel (TP) placés sur le jeu de barre des départs en aval du CPC.

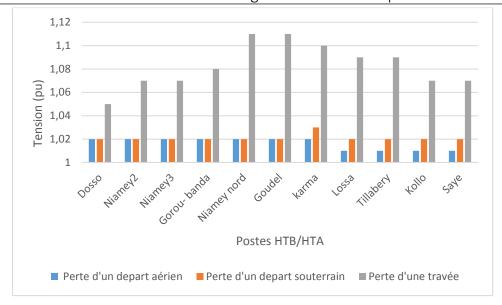


Figure 12:résultat des scénarios de contingence simple avec CPC

Lorsque la bobine du point neutre (BPN) détecte un courant homopolaire et qu'elle fait déclencher les sources liées à sa travée, les autres travées montent en surtension et provoquent le déclenchement de la ligne 132 kV depuis Birnin Kebbi, le réseau alors s'écoule.

5.3.2.1.3 PERSPECTIVES

D'après l'analyse des résultats, on déduit d'abord que le réseau peut être stabilisé en optimisant la compensation de l'énergie réactive. Celle-ci est optimale lorsqu'elle est faite au plus proche des charges. Ensuite on peut réduire les pertes sur la ligne de transport en corrigeant la tension à Dosso par installation des bancs de capacité.

Cependant ces mesures augmentent drastiquement l'instabilité de la tension lorsque la charge n'est pas stable. La capacité requise pour maintenir le réseau en pointe de charge se traduit en surtension lorsque le réseau passe brusquement à une charge plus faible que son état initial. De même, la capacité nécessaire pour maintenir le réseau à faible charge traduit par une soustension lorsque la charge augmente brusquement, ceci provoque aussi un effondrement du réseau par mini-tension.

Il est donc impératif d'appliquer ces mesures tout en veillant à la stabilité en tension du réseau. Pour se faire, un automatisme se pointe est nécessaire pour la gestion de déclenchement et enclenchement des bancs de condensateurs ou bien d'installer des compensateurs statiques ou des FACTS.

Les mesures à prendre sont :

Étude de la stabilité statique du réseau électrique de la région du fleuve du Niger : Modélisation avec les logiciels Matlab et Neplan

- ♣ Installer des bancs de compensation (étudié suivant le besoin en énergie réactive des postes) sur l'ensemble des jeux de barre 20kV afin d'éviter le transite de l'énergie réactive dans le réseau de transport.
- ♣ Installer des capacités shunts sur le réseau 132 kV de 20 à 30 MVAr à Dosso pour soutenir le réseau et minimiser les pertes dans le transport.
- ♣ Ou bien installer une capacité série sur la ligne 132 kV provenant du Nigéria pour casser son impédance, réduire donc systématiquement les pertes énergétiques dans le transport.
- ♣ Automatiser le système de gestion des bancs condensateur du soutènement du réseau de transport ou installer des FACTS car leur temps de réponse est plus rapide que les bancs compensateurs qui sont électromécaniques.

Nota : une compensation directement sur le réseau de transport est plus effective qu'une compensation derrière un transformateur abaisseur.

5.3.2.1.4 SIMULATIONS DES PERSPECTIVES

Nous avons simulé les mesures correctives dont nous avons proposées. Le résultat de ladite simulation est présenté par le tableau 16.

Tableau 16:Simulation corrective

		Poste	Faible charge	Pointe de charge
		Dosso	1,03	0,91
		Niamey 3	1,06	1,01
		Niamey		
Tension su	ır les jeux de	nord	1,06	0,93
	re (pu)	Goudel	1,02	0,91
		Gorou		
	banda	1,08	1,03	
	Kolo	1,07	1,02	
	Saye	1,07	1,01	
		Karma	1,05	0,89
		Lossa	1,05	0,86
		Tillabéry	1,04	0,85
		Puissance active (MW)	0	63,00
	Production	Puissance réactive		
Bilan de	locale	(MVAr)	0	47,25
puissance	Importation	Puissance active (MW)	115	132,73
	du Nigeria	Puissance réactive (MVAr)	7	14,59
	Pertes		18,9	25,7

Ce tableau nous montre explicitement que les mesures dont nous avons proposées rendront le réseau plus efficace que ses réalités actuelles. En effet, la plage de tension est respectée sur l'ensemble des jeux de barre. De même l'objectif de maximiser sur le Nigeria est atteint sans augmenter les pertes.

5.3.2.2 ANALYSE FINANCIERE

L'objet de cette analyse est de temps du retournement d'investissement pour en apprécier la faisabilité financière. Elle consiste à évaluer la réduction des pertes dans le transport et à la comparer à l'investissement nécessaire. En absence du profil de consommation, la détermination du temps de retour sur investissement est rendue difficile. Néanmoins, nous

avons évalué cette réduction des pertes en fonction du scenario de pointe de charge et celui de faible charge.

5.3.2.2.1 METHODE

Pour réaliser cette analyse nous avons procédé comme suit :

Le coût de MWh importé est calculé en prenant en considération les pertes énergétiques dans le transport selon le cas où le mesure dont nous avons proposées sont prises en compte et le cas contraire.

$$co\hat{u}t(net) \ de \ MWh \ import\acute{e} = \frac{Co\hat{u}t(brute) \ de \ MWh}{rendement \ de \ la \ ligne \ 132kV}$$
 (9)

Nota : le rendement de la ligne 132kV est fonction de la puissance qui la transite.

Le coût (net) de MWh local est déduit en fonction des machines de production et de puissance qu'elles fournissent. Autrement dit que c'est la moyenne pondérée des coûts de production.

Le coût de revient globale est aussi la moyenne pondérée entre l'importation et la production locale.

La réduction est l'écart entre le coût de revient global avant l'application des mesures et celui après avoir les appliquer.

Le tableau 17, donne l'état de lieu de cette analyse.

Tableau 17: Analyse financière

	Faible charge	9	Pointe de charge		
	Avant	Après	Avant	Après	
Cout(net) de MWh importé (FCFA)	38268	39700	42763	41000	
Cout de MWh produit localement (FCFA)	104000	104000	123000	123000	
Puissance importée (MW)	72	80	80	90	
Puissance locale (MW)	8	0	90	80	
Coût de revient global d'énergie(FCFA)	44841	39700	85241	79588	
Réduction (%)/MWh	11,47		4,60		
Réduction (FCFA)/MWh	5141		5653		
Réduction horaire (FCFA)	411296		452254		

Étude de la stabilité statique du réseau électrique de la région du fleuve du Niger : Modélisation avec les logiciels Matlab et Neplan

VI. CONCLUSION

Le présent travail nous a permis d'identifier, en régime permanant, les points de difficulté que le réseau électrique de la Nigelec est confronté. L'Etude révèle que ces difficultés sont en majorité dues à une mauvaise manière de compenser de l'énergie réactive tant dans le réseau de transport que dans celui de la distribution. On peut alors améliorer la capacité d'évacuation et de transite du réseau en optimisant la compensation de l'énergie réactive, en s'orientant vers les nouvelles technologies et en corrigeant la tension du réseau de transport à Dosso.

Pour mieux caractériser les phénomènes liés aux réseaux transport et de distribution d'énergie électrique, il est nécessaire d'étudier ce réseau en prenant en considération les différentes pollutions que regorgent ses réalités.

VII. BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. A. BENCHEIKH Abdelhak, « Etude de l'écoulement de puissance sur un réseau électrique en présence des systèmes FACTS ». UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 06-févr-2016.
- [2] Ahmed Ousmane BAGRE, « COUPLAGE DE CENTRALES PHOTOVOLTAIQUES AUX RESEAUX PUBLICS INSTABLES : Application au réseau national du Burkina Faso », l'U.F.R. des Sciences Techniques de l'Université du Havre, 2014.
- [3] Diane LEBLANC, « Contrebutons A L'ETUDE DE LA Stabilité ET A LA STABILISATION DES RESEAUX ELECTRIQUES INDUSTRIELS », L'Université de Lorraine, 2014.
- [4] Patrick, « Fonctionnement et réglage des systèmes de transport et de distribution de l'énergie électrique ». École supérieur d'électricité supélec, 1998.
- [5] B. De Metz-Noblat et J. Jean, « Cahier technique n° 185 : Stabilité dynamique des réseaux électriques industriels ». Groupe Schneider, janv-1997.
- [6] Melle BOUTABA Samia, « Amélioration de la stabilité d'un réseau électrique par l'utilisation d'un ASVC », Université Hassiba Ben Bouali Chlef Faculté des Sciences & Sciences de l'Ingénieur, MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER, sept. 2009.
- [7] ERIC LE COURTOIS, « ÉTUDE ET SIMULATION DES PERTURBATIONS DANS UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE ; CONCEPTION D'UN BANC D'ESSAI ET MISE AU POINT DE DEUX SYSTÈMES D'ACQUISITION », université du Québec à trois rivières, 1996.
- [8] P. POULICHET, «INTRODUCTION A LA COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE ». ESIEE, sept-2013.
- [9] A. CHANAL et J.-P. LÉVÊQUE, «Lignes aériennes: matériels.» Techniques de l'Ingénieur, 17-sept-2008.

VIII. ANNEXES

8.1 CALCUL DES PARAMETRES RLC DES LIGNES DE TRANSMISSION

A. CALCUL DES PARAMETRES ELECTRIQUES DES LIGNES DE DISTRIBUTION

HYPOTHESES DE CALCUL

Pour ce calcul, nous avons considéré à

- ✓ La température de conducteur à 70°C
- ✓ La hauteur de supports HTA à 10 m
- ✓ Le système électrique est déséquilibré.
- ✓ La distance entre les conducteurs est celle des armements les plus dominants, les nappes horizontales, qui est de 0,8 m.

Pour tenir compte du fait que le conducteur est constitué de multiples torons, on doit utiliser la valeur du GMR au lieu de prendre directement la valeur du rayon extérieur du conducteur.

B. CALCUL DES PARAMETRES ELECTRIQUES DES LIGNES DE REPARTITION ET DE TRANSPORT

HYPOTHESES DE CALCUL

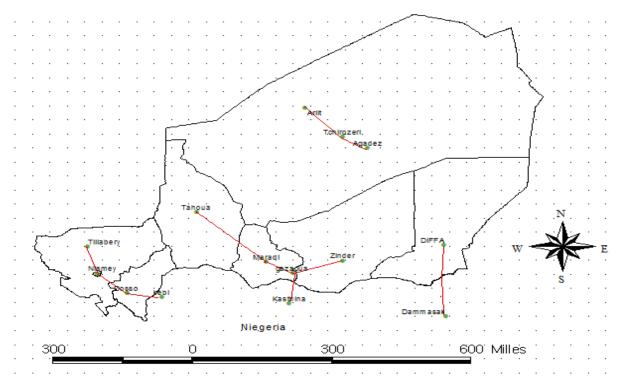
Pour ce calcul, nous allons considérer :

- ✓ La température de conducteur est 70°C
- ✓ La hauteur moyenne de la ligne HTB à 18 m pour les lignes de 132 kV et 16 m pour celles de 66kV
- ✓ Le système électrique est équilibré.
- ✓ La distance entre les conducteurs est estimée à 1,5 m.
 - Calcul de l'Impédance résistive

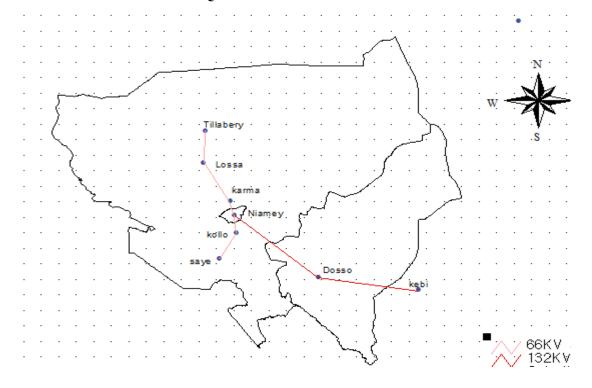
Ce calcul revient à reprendre les même operations que dans la section precedance. Neamoins, il convient de calculer la resistance pour les section de cable utilises pour ces lignes de transmission. En effet, les section utilisées en transport et repartion sont cellle de 117 mm² et 240 mm².

8.2 PARC DU RESEAU NIGELEC

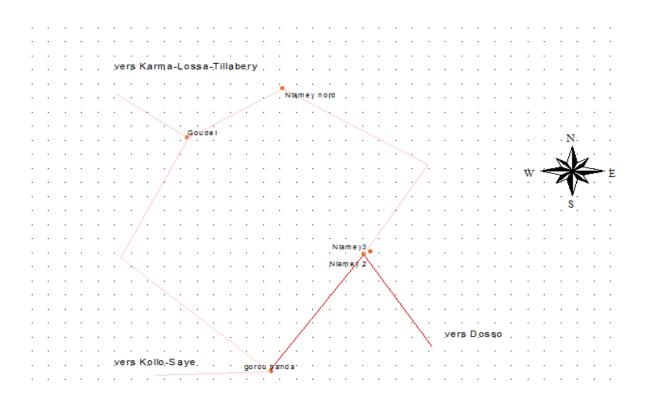
8.2.1. SYSTEMES ELECTRIQUES DU NIGER



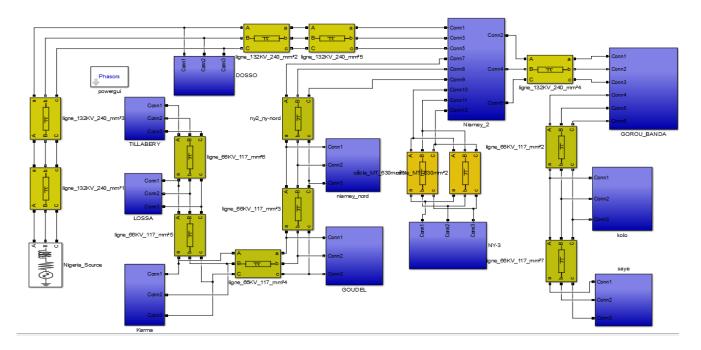
8.2.2 SYSTEME ELECTRIQUE DE LA REGION DU FLEUVE



8.2.3 CONFIGURATION DU RESEAU DE TRANSPORT ET DE REPARTITION A NIAMEY

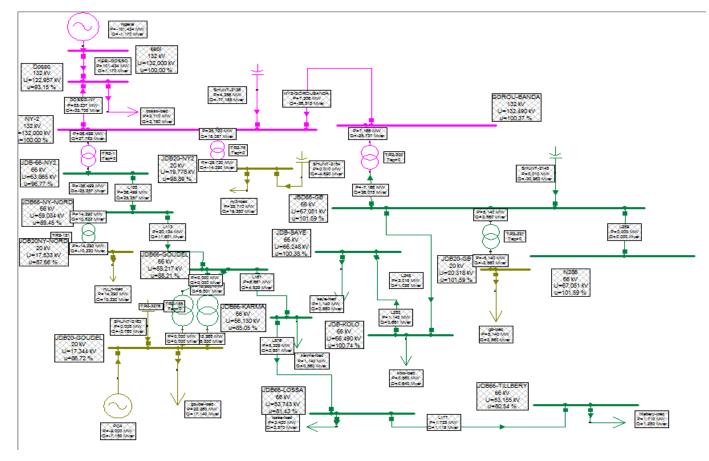


8.3 MODELE DU RESEAU DE TRANSPORT DE LA REGION DU FLEUVE SUR MATLAB

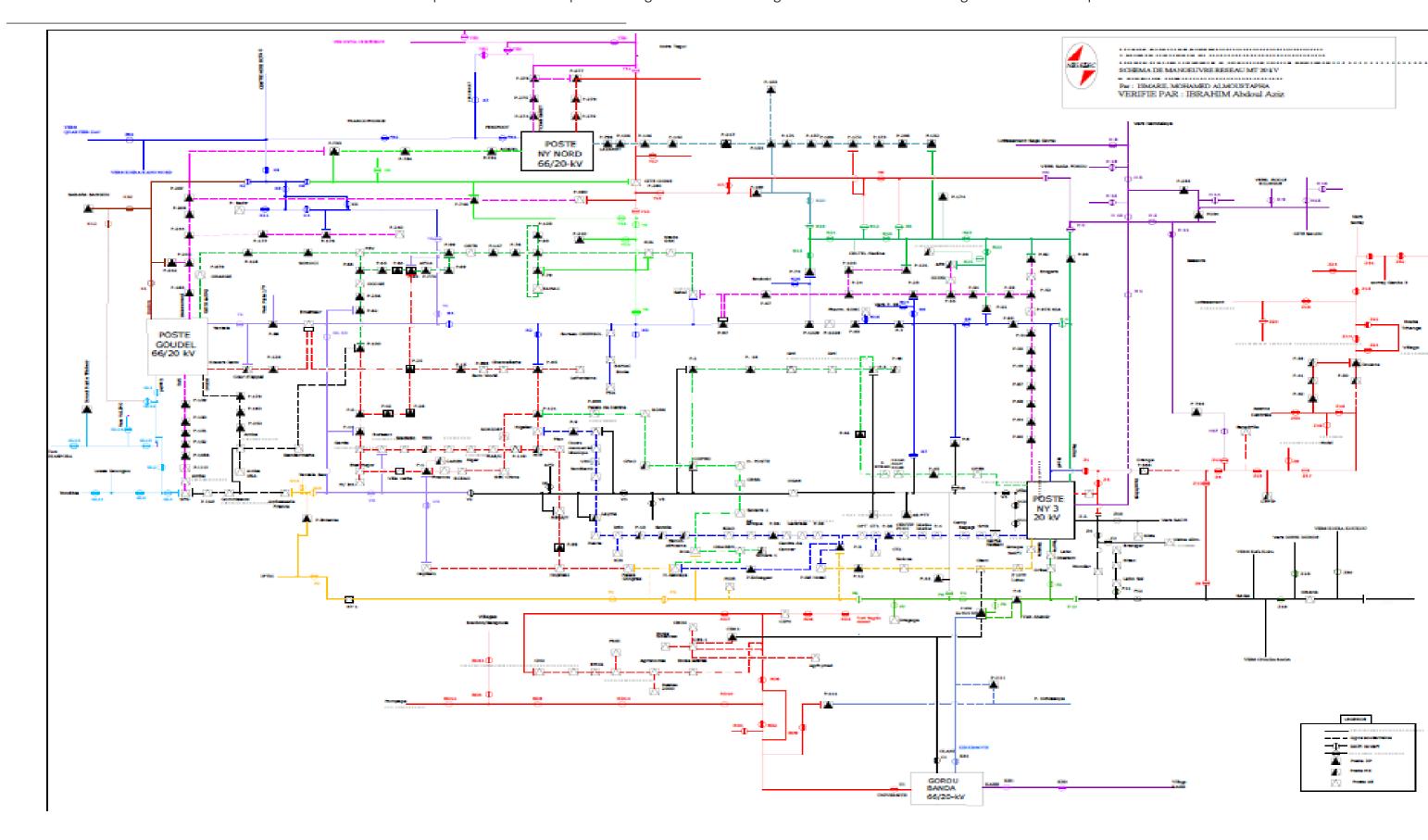


8.4 MODELE DU RESEAU DE TRANSPORT DE LA REGION DU FLEUVE SUR

NEPLAN



8.5 SCHEMA DE MANŒUVRE DU RESEAU DE DISTRIBUTION



8.6 RESULTA DES SIMULATIONS SUR MATLAB

8.6.1 SCENARIOS DE FAIBLE CHARGE

8.6.1.1 SCENARIO DE FAIBLE CHARGE POUR UN FACTEUR DE PUISSANCE DE 0,8

Tableau 18:Scenario de faible charge pour un facteur de puissance de 0,8

	Bilan de p	ouissance					Tension
	Demande		Consomi	mation	Producti	on	(pu)
Poste	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	
Dosso	3,71	2,78	3,26	2,44			0,93
Niamey 3	25,71	19,28	22,05	16,54			0,93
Niamey nord	14,29	10,72	11,08	8,3			0,88
Goudel	22,86	17,14	17,45	13,08			0,87
Gorou banda	5,14	3,86	4,48	0,36			0,93
Kolo	0,86	0,64	0,74	0,55			0,92
Saye	1,14	0,86	0,98	0,73			0,92
Karma	1,14	0,86	0,83	0,62			0,85
Lossa	3,42	2,57	2,4	1,8			0,83
Tillabéry	1,71	1,28	1,18	0,88			0,82
Nigeria					67,1	0,47	1
PC4					9	6,75	
GB1							
GB2							
GB3							
GB4							
CondoNY3-1						8	0,93
CondoNY3-2						8	0,93
CondoNY3-3						8	0,93
CondoNY3-4						4	0,93
CondoNY2						5	0,93
Condo_goudel						5	0,87
Condo_GB1						15	0,93
Condo_GB2						15	0,93
Total	80,0	60,0	64,5	45,3	76,1	75,2	
Satisfaction(%)	80,6	ı	ı		ı		l .
Pertes P(MW)	11,7						
Pertes Q(MVAr)	29,9						

8.6.1.2 SCENARIO DE FAIBLE CHARGE POUR UN FACTEUR DE PUISSANCE DE 0,9

Tableau 19: Scenario de faible charge pour un facteur de puissance de 0,9

			Bilan de	puissance			Tension	
	Dem	ande	Conso	mmation	Prod	luction		
Poste	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	(pu)	
Dosso	3,71	1,80	3,35	1,63			0,95	
Niamey 3	25,71	12,46	24,4	9,58			0,97	
Niamey nord	14,29	6,92	12,49	6,05			0,93	
Goudel	22,86	11,07	19,74	9,56			0,92	
Gorou banda	5,14	2,49	4,95	2,4			0,98	
Kolo	0,86	0,41	0,81	0,39			0,97	
Saye	1,14	0,55	1,08	0,52			0,97	
Karma	1,14	0,55	0,99	0,48			0,92	
Lossa	3,42	1,66	2,94	1,42			0,92	
Tillabéry	1,71	0,83	1,47	0,53			0,92	
Nigeria					79,67	-4,33	1	
PC4					9	6,75		
GB1								
GB2								
GB3								
GB4								
CondoNY3-1						8		
CondoNY3-2						8		
CondoNY3-3						8		
CondoNY3-4						4		
CondoNY2						5		
Condo_goudel						5		
Condo_GB1						15		
Condo_GB2						15		
Total	80,0	38,8	72,2	32,6	88,7	70,4		
Satisfaction(%)				90,3				
Pertes P(MW)		16,5						
Pertes Q(MVAr)		37,9						

8.6.1.3 SCENARIO DE FAIBLE CHARGE POUR UN FACTEUR DE PUISSANCE DE 0,95

Tableau 20:Scenario de faible charge pour un facteur de puissance de 0,95

			Bilan de	puissance			Tension
	Den	nande	Consom	mation	Pro	duction	(nu)
Poste	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	(pu)
Dosso	3,71	1,22	3,41	1,12			0,95
Niamey 3	25,71	8,44	25,46	8,36			0,99
Niamey nord	14,29	4,69	13,23	4,34			0,96
Goudel	22,86	7,51	20,97	6,89			0,95
Gorou banda	5,14	1,69	5,16	1,69			1
Kolo	0,86	0,28	0,85	0,28			0,99
Saye	1,14	0,38	1,13	0,37			0,99
Karma	1,14	0,38	1,03	0,34			0,94
Lossa	3,42	1,12	3,02	0,99			0,93
Tillabéry	1,71	0,56	1,5	0,37			0,93
Nigeria					84,36	-5,73	1
PC4					9	6,75	0,95
GB1							
GB2							
GB3							
GB4							
CondoNY3-1						8	
CondoNY3-2						8	
CondoNY3-3						8	
CondoNY3-4						4	
CondoNY2						5	
Condo_goudel						5	
Condo_GB1						15	
Condo_GB2						15	
Total	80,0	26,3	75,8	24,8	93,4	69,0	
Satisfaction (%)				04.7			
Pertes P(MW)				94,7 17,6			
renes r(IVI W)	1			17,0			

8.6.1.4 SCENARIO DE FAIBLE CHARGE POUR UN FACTEUR DE PUISSANCE DE

1

Tableau 21:Scenario de faible charge pour un facteur de puissance de 1

			Bilan de p	uissance			Tension		
	Dem	nande	Conson	nmation	Prod	luction	(-)		
Poste	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	(pu)		
Dosso	3,71		3,46				0,96		
Niamey 3	25,71		28,29				1,05		
Niamey nord	14,29		15,11				1,02		
Goudel	22,86		24,09				1,02		
Gorou banda	5,14		5,72				1,05		
Kolo	0,86		0,95				1,05		
Saye	1,14		1,26				1,05		
Karma	1,14		1,19				1,01		
Lossa	3,42		3,51				1,01		
Tillabéry	1,71		1,75				1,01		
Nigeria					115	-7,83	1		
PC4					9	6,75	1,02		
GB1									
GB2									
GB3									
GB4									
CondoNY3-1						8			
CondoNY3-2						8			
CondoNY3-3						8			
CondoNY3-4						4			
CondoNY2						5			
Condo_goudel						5			
Condo_GB1						15			
Condo_GB2						15			
Total	80,0	0,0	85,3	0,0	124,0	66,9			
Satisfaction (%)				106.7					
Pertes P(MW)		106,7							
Pertes		38,7							
Q(MVAr)				66,9					

8.6.2 SCENARIOS DE FAIBLE CHARGE

8.6.2.1 SCENARIO DE POINTE DE CHARGE POUR UN FACTEUR DE PUISSANCE DE 0,8

Tableau 22:Scenario de pointe de charge pour un facteur de puissance de 0,8

	Bilan de puissance								
	Den	nande	Conso	mmation	Production		Tension		
Poste	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	(pu)		
Dosso	7,88	5,91	7,29	5,47			0,96		
Niamey 3	54,63	40,97	51,61	38,21			0,97		
Niamey nord	30,36	22,77	22,07	38,65			0,97		
Goudel	48,57	36,43	33,5	25,13			0,83		
Gorou banda	11	8,25	10,9	8,18			0,99		
Kolo	1,8	1,35	1,72	1,29			0,97		
Saye	2,43	1,82	2,28	1,71			0,96		
Karma	2,43	1,82	1,5	1,12			0,78		
Lossa	7,27	5,45	3,94	2,95			0,73		
Tillabéry	3,64	2,73	1,91	1,43			0,72		
Nigeria					59,79	-5,46	1		
PC4					9	6,75	0,83		
GB1					21	15,75	0,99		
GB2					21	15,75	0,99		
GB3					21	15,75	0,99		
GB4					21	15,75	0,99		
CondoNY3-1						8			
CondoNY3-2						8			
CondoNY3-3						8			
CondoNY3-4						4			
CondoNY2						5			
Condo_goudel						5			
Condo_GB1						15			
Condo_GB2						15			
Total	170,0	127,5	136,7	124,1	152,8	132,3			
Satisfaction (%)	80,4								
Pertes P(MW)	16,1								
Pertes Q(MVAr)	8,1								

Étude de la stabilité statique du réseau électrique de la région du fleuve du Niger : Modélisation avec les logiciels Matlab et Neplan

8.6.2.2 SCENARIO DE POINTE DE CHARGE POUR UN FACTEUR DE PUISSANCE DE 0,9

Tableau 23:Scenario de pointe de charge pour un facteur de puissance de 0,9

	Bilan de puissance							
	Den	nande	Conson	nmation	Production		Tension	
Poste	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	(pu)	
Dosso	7,88	3,82	7,35	3,56			0,96	
Niamey 3	54,63	26,47	57,03	27,63			1,02	
Niamey nord	30,36	14,71	25,45	12,33			0,91	
Goudel	48,57	23,53	39,01	18,9			0,89	
Gorou banda	11	5,33	11,99	5,81			1,04	
Kolo	1,8	0,87	1,9	0,92			1,03	
Saye	2,43	1,18	2,54	1,23			1,02	
Karma	2,43	1,18	1,78	0,86			0,85	
Lossa	7,27	3,52	4,78	2,31			0,81	
Tillabéry	3,64	1,76	2,33	1,13			0,81	
Nigeria					85,47	-8,35	1	
PC4					9	6,75	0,89	
GB1					21	15,75	0,97	
GB2					21	15,75	0,97	
GB3					21	15,75	0,97	
GB4					21	15,75	0,97	
CondoNY3-1						8	1,02	
CondoNY3-2						8	1,02	
CondoNY3-3						8	1,02	
CondoNY3-4						4	1,02	
CondoNY2						5	1,02	
Condo_goudel						5	0,89	
Condo_GB1						15	1,04	
Condo_GB2						15	1,04	
Total	170,0	82,4	154,2	74,7	178,5	129,4		
Satisfaction (%)	90,7							
Pertes P(MW)	24,3							
Pertes Q(MVAr)	54,7							

8.6.2.3SCENARIO DE POINTE DE CHARGE POUR UN FACTEUR DE PUISSANCE DE 0,95

Tableau 24:Scenario de pointe de charge pour un facteur de puissance de 0,95

	Bilan de puissance						Tension	
	Demande		Consommation		Production		(pu)	
Poste	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)		
Dosso	7,88	2,59	7,24	2,38			0,95	
Niamey 3	54,63	17,94	60,07	19,73			1,04	
Niamey nord	30,36	9,97	27,54	9,05			0,95	
Goudel	48,57	15,95	41,51	13,96			0,93	
Gorou banda	11	3,61	12,61	4,14			1,07	
Kolo	1,8	0,59	2,01	0,66			1,05	
Saye	2,43	0,80	2,68	0,88			1,05	
Karma	2,43	0,80	2,1	0,69			0,93	
Lossa	7,27	2,39	6,26	2,06			0,93	
Tillabéry	3,64	1,20	3,13	0,1			0,93	
Nigeria					104,27	-6,04		
PC4					9	6,75		
GB1					21	15,75		
GB2					21	15,75		
GB3					21	15,75		
GB4					21	15,75		
CondoNY3-1						8		
CondoNY3-2						8		
CondoNY3-3						8		
CondoNY3-4						4		
CondoNY2						5		
Condo_goudel						5		
Condo_GB1						15		
Condo_GB2						15		
Total	170,0	55,8	165,2	53,7	197,3	131,7		
Satisfaction (%)	97,1							
Pertes P(MW)	32,1							
Pertes Q(MVAr)	78,1							

8.6.2.4 SCENARIO DE POINTE DE CHARGE POUR UN FACTEUR DE PUISSANCE DE 1

Tableau 25:Scenario de pointe de charge pour un facteur de puissance de 1

	Bilan de puissance						Tension
	Den	nande	Conso	mmation	Production		(Pu)
Poste	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	(1. 0.7
Dosso	7,88	0,00	6,5				0,9
Niamey 3	54,63	0,00	63,85				1,08
Niamey nord	30,36	0,00	30,91				1
Goudel	48,57	0,00	48,33				0,99
Gorou banda	11	0,00	13,36				1,1
Kolo	1,8	0,00	2,16				1,09
Saye	2,43	0,00	2,89				1,09
Karma	2,43	0,00	2,41				0,99
Lossa	7,27	0,00	7,1				0,99
Tillabéry	3,64	0,00	3,59				0,99
Nigeria					146,58	14,76	
PC4					9	6,75	
GB1					21	15,75	
GB2					21	15,75	
GB3					21	15,75	
GB4					21	15,75	
CondoNY3-1						8	
CondoNY3-2						8	
CondoNY3-3						8	
CondoNY3-4						4	
CondoNY2						5	
Condo_goudel						5	
Condo_GB1						15	
Condo_GB2						15	
Total	170,0	0,0	181,1	0,0	239,6	152,5	
Satisfaction(%)				106,5			
Pertes P(MW)	58,5						
Pertes Q(MVAr)	152,5						