

IDENTIFICATION DES NŒUDS CRITIQUES DU RESEAU HAUTE ET MOYENNE TENSION (HT ET MT) DE LA VILLE DE N'DJAMENA

by Jana Publication & Research

Submission date: 09-Aug-2025 04:13PM (UTC+0700)

Submission ID: 2690333996

File name: IJAR-53218.docx (281.32K)

Word count: 3683

Character count: 19722

IDENTIFICATION DES NŒUDS CRITIQUES DU RESEAU HAUTE ET MOYENNE TENSION (HT ET MT) DE LA VILLE DE N'DJAMENA

Abstract

Due to the inductive and capacitive nature of loads, the transmission of reactive power through transmission lines can cause network instability issues. In this work, we seek methods for power distribution and voltage stability analysis in the SNE power grid using the Newton-Raphson method; the study of voltage-reactive sensitivity ($\Delta U/\Delta Q$) and the QU and PU curves. This study shows that nodes T100 and LAM have respective sensitivities of 1.7813% Mvar and 0.6243% Mvar, with a QU curve with a slope resembling a straight line and a PU curve with a steep slope (T100) followed by a moderate slope for the LAM node. Given the voltage sensitivity and node curves, T100 is a critical node, followed by LAM, which is moderately stable; the rest are stable.

Résumé

En raison de la nature inductive et capacitive des charges, la transmission de puissance réactive par les lignes de transmission peut entraîner des problèmes d'instabilité du réseau. Dans ce travail, nous cherchons des méthodes de répartition des puissances et d'analyse de la stabilité de la tension dans le réseau électrique de la SNE par la méthode de Newton-Raphson ; l'étude de la sensibilité tension –réactive($\Delta U/\Delta Q$) et les courbes QU et PU. Il ressort de cette étude que le nœud T100 et LAM ont une sensibilité respective de 1,7813% Mvar et 0,6243 % Mvar avec une courbe QU de pente ressemblant à une droite linéaire et une courbe PU de pente importante (T100) suivie de pente modérée pour celle du nœud LAM. Vue la sensibilité de tension et les courbes des nœuds, T100 est un nœud critique suivie de celui de LAM qui est moyennement stable ; les reste sont stables.

Mots clés : stabilité ; sensibilité ; puissance.

Introduction

Dans de nombreux pays, la consommation d'électricité augmente de jours en jours du fait de l'industrialisation, de l'urbanisation et la croissance démographique[1], [2] créant l'instabilité entre la production et la consommation grâce à la nature inductive et capacitive des charges et des lignes. Les chercheurs et les gestionnaires d'énergie électrique travaillent d'arrache-pied pour maintenir constant la stabilité par le développement des équipements de

puissance ⁴ par le biais de l'électronique de puissance qui prend une place important dans la production, le transport et distribution d'énergie électrique[3].

La stabilité d'un réseau électrique est un phénomène désignant sa capacité à garder un fonctionnement normal après des perturbations, même s'il y a une surcharge, une défaillance de composant ou une variation de charge[4]. Elle est bonne pour garantir une alimentation fiable et continue aux consommateurs. Partout dans le monde, assurer la stabilité devient un enjeu stratégique pour la sécurité des réseaux. Pour analyser ce phénomène, l'étude de la sensibilité tension-réactive ($\Delta U/\Delta Q$) permet d'identifier les nœuds critiques et nous rassure du comportement du réseau face aux variations de charge et de ³ la méthode de newton-raphson pour la résolution de l'équation de l'écoulement de puissance grâce à sa rapidité et sa précision

Au Tchad, et dans le pays Africain, le réseau électrique souffre des nombreuses faiblesses telles que : faible capacité de production, pertes technique élevées et croissance rapide de la demande[5]. Ces conditions rendent le réseau particulièrement vulnérable aux instabilités en tension pouvant entraîner des chutes brusques des tensions voir des coupures générale (blackout). Dans cette situation, la stabilité du réseau haute tension (HT) devient inévitable aux chutes des tensions. L'analyse de cette stabilité, en particulier à travers les courbes QU et la sensibilité UQ, permet d'identifier les jeux de barres critique et d'évaluer la capacité du réseau à maintenir des tensions acceptables en présence des perturbations[5], [6]

Dans cette études, l'attention est portée sur le réseau de transport de la SNE ou les incidents de chute de tension sont courant. **Comment analyser et améliorer la stabilité du réseau électrique de la SNE face aux perturbation des tensions pour garantir une alimentation électrique fiable et continue aux consommateur ?**

Cet article permet une étude de stabilité du réseau HT de la SNE de la ville de N'Djamena, basé sur sa modélisation sous le logiciel NEPLAN ; sur la méthode de Newton-Rapson et la sensibilité de tension-réactive.

¹⁰ L'objectif de cette étude est de diagnostiquer les points faibles du réseau c'est-à-dire les jeux de barres sensible, instable et faire de proposer des solutions technique adaptées pour contribuer à l'amélioration de la performeuse globale du système électrique.

I) Modélisation du réseau

1) Concept d'étude

Pour garantir et analyser stabilisation de la tension dans un réseau électrique, il est nécessaire pour nous dans cet article d'utiliser des outils d'analyse moderne talque :

- La méthode de Newton-Raphson
- Les courbes PV et QV
- L'analyse de sensibilité

2) Présentation du réseau

Le réseau haute tension de N'Djamena est un réseau bouclé, il est constitué de quatre (4) sous-stations (N'Djamena, garangouso, lamadji et Gassi), des centrales thermique et solaire de productions (farcha I, II, MBH, catarpilard, djermaya), quatre bobines de réactance de 5MVar chacun, quatre réactance de condensateurs de 2.4 MVar chacun; chaque sous-station est équipé de deux transformateurs abaisseur 90/15 KV de capacité de 25 MVA chacun sauf la sous-station de lamadji qui a un transformateur de 90/15 KV de même capacité. Les quatre bobines, deux sont à garangouso , deux sont à N'Djamena et les quatre condensateurs, deux sont à lamadji, deux sont à Gassi . Les réactances sont connectées selon les besoin dans le réseau.

3) Présentation du logiciel Nepean

C'est un outil de modélisation et d'analyse permettant d'étudier les réseaux de transport, de distribution et industriels en courant alternatif (AC) ou continue (DC). La fugue 1 et 2 est la ²³ capture d'écran de la page de création du projet et de l'interface d'utilisateur.

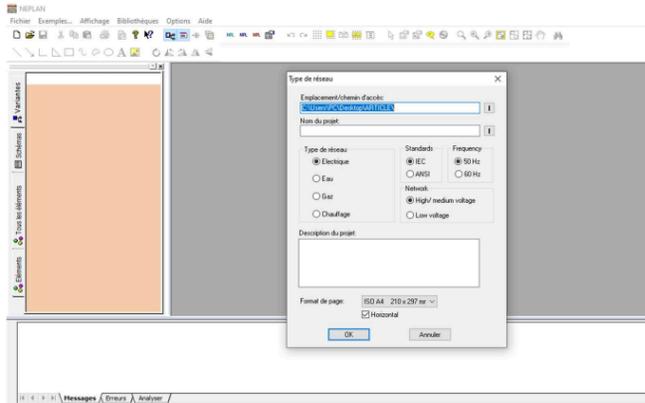


Figure 1: création du projet

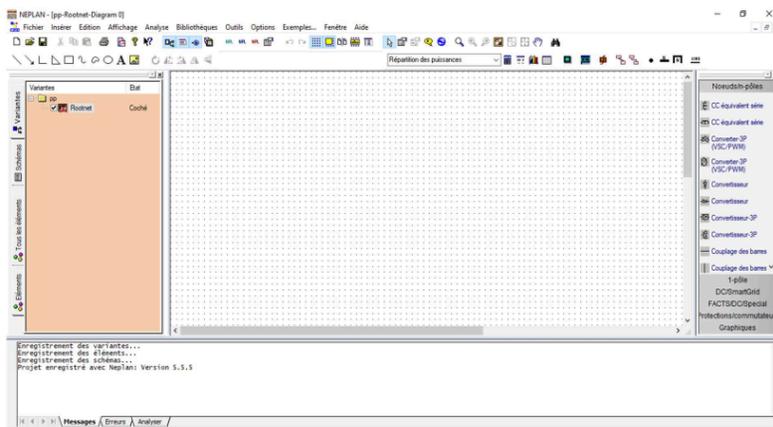


Figure 2: Interface d'utilisateur

4) Modélisation du réseau dans Neplan

Connaissant les données des machines de chaque centrale, des transformateurs et des lignes, nous obtenons la figure3.

a) Données des lignes (Caractéristiques des lignes utilisées)

Pour une modélisation du comportement des lignes dans le réseau électrique, il est nécessaire d'utiliser les impédances directes, inverses, homopolaires. Ces valeurs des impédances directes, des impédances inverses, des impédances homopolaires sont nécessaires pour le calcul du courant de court-circuit aux niveaux des jeux de barres et le transit de l'énergie, elles sont exprimés en ohm par kilomètre (Ω/Km) et celles des capacités ($C: \mu\text{F}/\text{Km}$), pour calculer la puissance réactive générée par les lignes et les câbles.

b) **Données des transformateurs**

Modéliser et sécuriser efficacement le réseau électrique, les données des transformateurs tel que, la tension primaire(U_{n1}), secondaire (U_{n2}), la tension de court-circuit en séquence direct($U_{kr}(1)$), la tension de court-circuit en régime homopolaire($U_{kr}(0)$), les puissances et leur couplage leurs mode de refroidissement (ONAN, ONAF) sont importantes et permettent de :

- Assurer le bon dimensionnement ;
- Analyser le flux de puissance ;
- Evaluer les pertes d'énergie ;
- Calculer les court-circuit ;
- Assurer la stabilité du réseau électrique ;
- Choisir les protections appropriées
- Assurer la compatibilité des niveaux de tension.

c) **Données des machines (Donnée des générateurs)**

Dans les années précédant, les chercheurs ont effectuer des études et ont prouvés que les régimes transitoires des alternateurs pour le cas des turboalternateurs, les valeurs des réactances directes, transitoire et subtransitoires sont compris à des intervalles bien connues comme indique [7], [8]. Pour nos valeurs, nous avons choisi des valeurs dans ces intervalles indiqués due à l'indisponibilité et la non -archivage des données de la SNE. Lors de l'analyse de perturbation dans un réseau électrique, ces valeurs jouent un rôle important dans une machine synchrone, elles modélisent le comportement dynamique des machines après un défaut en analysant le courant de défaut, la stabilité transitoire, dimensionnement des protections.

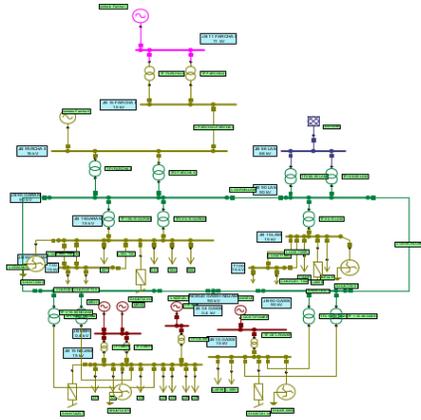


Figure 3: Modélisation du réseau dans Neplan

II) Etude de l'écoulement de puissance

L'analyse de l'écoulement de puissance est une étude importante du système électrique, elle est utilisée pour déterminer les profils de tension, ainsi que les puissances actives et réactives échangées dans divers éléments du réseau électrique. Cela se fait en résolvant l'équation d'écoulement de puissance qui est une équation non linéaire, par le biais de la méthode Newton-Raphson. Cette technique est largement adoptée en raison de sa capacité à converger rapidement et précisément sur la base de linéarisation des équations autour d'un point estimé grâce au calcul de la matrice jacobienne pour corriger les tensions et les angles jusqu'à atteindre la convergence, comme décrit dans [9], [10]. Elle permet de juger le fonctionnement normal du réseau ; d'améliorer son efficacité tout en assurant sa stabilité et sa sécurité.

1) Mise en équation

Pour un réseau à n jeux de barres, les puissances à n'importe quel jeu de barres sont déterminées par les équations de l'écoulement de puissance sous leur forme générale :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{m=1}^n |V_i| * |V_m| (G_{im} (\cos(\theta_i - \theta_m)) + B_{im} \sin(\theta_i - \theta_m)) \\ Q_i = \sum_{m=1}^n |V_i| * |V_m| ((G_{im} \sin(\theta_i - \theta_m) - B_{im} (\cos(\theta_i - \theta_m))) \end{cases} \quad (1)$$

Dans un jeu de barres i , d'un réseau électrique de n jeux de barres, le bilan de puissance est la différence de puissance générée S_{Gi} ; P_{Gi} ; Q_{Gi} et celle demandée S_{Di} ; P_{Di} ; Q_{Di} .

$$\begin{cases} S_i = S_{Gi} - S_{Di} \\ P_i = P_{Gi} - P_{Di} \\ Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} \end{cases} \quad (2)$$

4 La différence entre la puissance générée et la puissance demandée aux jeux de barres détermine les pertes des puissances dans la ligne (i-m). Pour calculer les pertes, on calcule d'abord les pertes des lignes (i-m) et (m-i) puis la somme algébrique donne les pertes

$$\begin{cases} P_{Lim} = P_{im} + P_{mi} \\ Q_{Li} = Q_{im} + Q_{mi} \end{cases} \quad (3)$$

2) Méthode

Il y a plusieurs méthodes de résolutions de l'équation de l'écoulement de puissance ; parmi les méthodes des résolutions des équations non linéaires pour une solution numérique, avons sollicité celle de la méthode de Netons-Rapson décrite dans l'article et thèses [9], [11] avec l'algorithme.

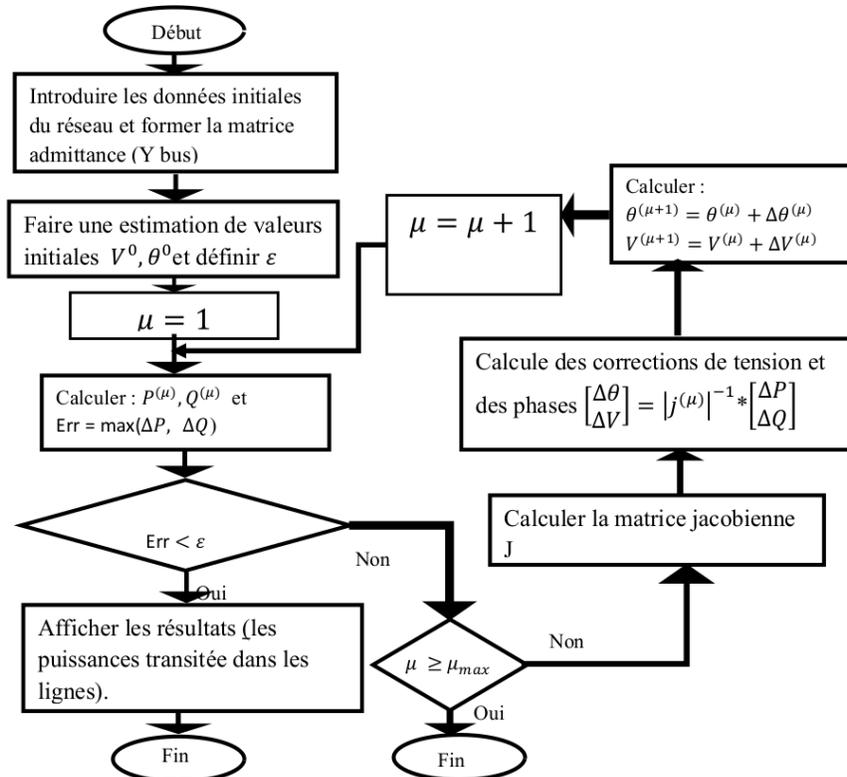


Figure 4: Organigramme de la méthode de N-R

III) Etude de stabilité en tension

L'étude de tension dans les réseaux électriques est essentielle pour assurer la stabilité et la fiabilité de l'alimentation en énergie. Elle implique l'analyse de la variation de la tension aux différents nœud du réseau en réponse au changement des charges et au perturbation. Pour cette étude, plusieurs méthode sont utilisés dans[12]. Parmi ces méthodes, nous optons pour la méthode de sensibilité de Tension. Elle permet d'évaluer l'impact des variations de puissances réactive sur la tension aux nœuds d'un réseau électrique

IV) Sensibilité de la Tension

C'est une approximation linéaire du fonctionnement du système électrique autour d'un point en régime permanent, défini à partir de la convergence d'une étude de flux de puissance par La méthode Newton-Rapson, elle est fréquemment utilisée pour résoudre les flux de puissance, grâce à sa convergence rapide et aux informations qu'elle délivre pour diverses applications. Le principe de base est généralement exprimée par le facteur $\frac{\partial U}{\partial Q}$ décrit dans[13], représentant la variation de la tension (U) en fonction de la variation de puissance réactive (Q); elle est souvent obtenue à partir de l'inverse de la matrice jacobienne issue des équations d'écoulement de puissances dans[14] [13], [5].

➤ Mise en équation

D'après le développement de Taylor de l'équation (1) de puissance de nœud d'un réseau, nous obtenons l'équation

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta U \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\text{Avec } J_1 = \frac{\partial P}{\partial \theta}, J_2 = \frac{\partial P}{\partial U}, J_3 = \frac{\partial Q}{\partial \theta}, J_4 = \frac{\partial Q}{\partial U}$$

Lors que nous supposons la variation de la puissance active nulle

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta U \end{bmatrix} \quad (5)$$

On obtient deux équations

$$J_1 \Delta \theta + J_2 \Delta U = 0 \quad (1) \quad (6)$$

$$J_3 \Delta \theta + J_4 \Delta U = \Delta Q \quad (2)$$

$$(1) \rightarrow \Delta \theta = -J_1^{-1} J_2 \Delta U \quad (7)$$

$$(2) \text{ devient } (-J_1^{-1}J_2J_3 + J_4)\Delta U = \Delta Q \quad (8)$$

$$\frac{\Delta U}{\Delta Q} = \frac{1}{(J_4 - J_1^{-1}J_2J_3)} \quad (10)$$

Idem démonstration ci-haut, lors que nous supposons la variation de la puissance réactive nulle

$$\frac{\Delta U}{\Delta P} = \frac{1}{(J_2 - J_3^{-1}J_4J_1)} \quad (11)$$

V) Critère de la sensibilité de la tension

La sensibilité de la tension des jeux de barres est un critère clé pour évaluer la stabilité et la sécurité des réseaux électriques. Ce critère permet d'identifier les points faibles du système et d'orienter les gestionnaires des réseaux aux actions de compensation ou d'optimisation pour éviter des chutes de tension ou des effondrements.[15] [16]. Les valeurs de la sensibilité déterminent la stabilité de la tension d'un système : lors qu'elle est positive, le système est stable dans le cas contraire, elle devient instable.

22 Pour le réseau électrique de la ville de N'Djamena, nous avons utilisé le critère de la sensibilité et des valeurs propres :

$$\frac{\partial U}{\partial Q} < 0.2\%MVar, \text{ le bus est tres stable}$$

$$0.2 < \frac{\partial U}{\partial Q} \leq 0.5 \%MVar, \text{ le bus est stable}$$

$$0.5 < \frac{\partial U}{\partial Q} \leq 1 \%MVar \text{ le bus est moyennement stable}$$

$$\frac{\partial U}{\partial Q} > 1 \%MVar \text{ le bus est critique (risque d'effondrement en cas de perturbation)}$$

$$\frac{\partial U}{\partial Q} < 0 \text{ le bus est instable}$$

VI) Résultats

1) Résultat de l'écoulement de puissance des lignes

Tableau 1: Ecoulement de puissance du réseau 90 et 15 KV de TchadElect de la ville de Ndjamena

ID	Noeud	Elément	Type	P	Q	I	Angle	P perte	Q	
				MW	MVar	kA	°	MW	MVar	
1230798644	JB T30	L 902 T30	Ligne	-6,3	-1,992	0,258	165,7	0,036	0,3664	
1230798644	JB 15 GARAN	L 902 T30	Ligne	6,336	2,358	0,257	-13,9	0,036	0,3664	
1230798663	JB 90 LAM	L GARAN- LAM	Ligne	-	53,985	-4,323	0,354	-177,4	0,2719	1,5124
1230798663	JB 90 GARAN	L GARAN- LAM	Ligne	54,257	5,835	0,354	2,9	0,2719	1,5124	
1230798677	JB 90 NDJAM	L NDJAM- GARAN	Ligne	-2,73	-6,177	0,044	122,8	0,0009	-	5,8703
1230798677	JB 90 GARAN	L NDJAM- GARAN	Ligne	2,731	0,306	0,018	2,7	0,0009	-	5,8703
1230798689	JB 90 LAM	L- LAM- GASSI	Ligne	-	28,771	-0,574	0,188	-173,9	0,1382	0,3974
1230798689	JB 90 GASSI	L- LAM- GASSI	Ligne	28,909	0,971	0,188	7,1	0,1382	0,3974	
1230798693	JB 90 GASSI	L GASS- NDJAM	Ligne	3,149	0,14	0,021	6,5	0,0004	-	3,2099
1230798693	JB 90 NDJAM	L GASS- NDJAM	Ligne	-3,149	-3,349	0,03	142,2	0,0004	-	3,2099
1230798763	JB T30	L 905 T30	Ligne	-6,3	-1,992	0,258	165,7	0,036	0,3664	
1230798763	JB 15 GARAN	L 905 T30	Ligne	6,336	2,358	0,257	-13,9	0,036	0,3664	

1230798766	JB T30	L 904-T30	Ligne	-6,3	-1,992	0,258	165,7	0,036	0,3664
1230798766	JB 15 GARAN	L 904-T30	Ligne	6,336	2,358	0,257	-13,9	0,036	0,3664
1230798770	JB 15 LAM	L LAM-100C	Ligne	10,336	4,81	0,449	-24	0,8857	1,8224
1230798770	JB T100	L LAM-100C	Ligne	-9,45	-2,988	0,449	155,9	0,8857	1,8224
1230798773	JB T100	L-LAM-T100B	Ligne	-9,45	-2,988	0,449	155,9	0,8857	1,8224
1230798773	JB 15 LAM	L-LAM-T100B	Ligne	10,336	4,81	0,449	-24	0,8857	1,8224
1230798627	JB F2 15	L F1-F2	Ligne	-	-	1,008	167,2	0,0127	0,0441
1230798627	JB15 F1	L F1-F2	Ligne	23,945	10,691	1,007	-12,7	0,0127	0,0441

Le tableau des pertes des puissances sur les lignes indique les mouvements des flux des puissances dans un réseau électrique ; les puissances négatives signalent la circulation en sens inverse défini conventionnellement dans le modèle de notre réseau ; ces mouvements des flux permettent le calcul des pertes des puissances.

Dans cette analyse, nous cherchons la ligne critique à optimiser, à planifier la compensation de puissance réactive afin d'améliorer la stabilité du réseau. D'après l'écoulement de puissance des lignes, nous constatons que les lignes qui existent entre les jeux de barres de 15 KV de LAMADJI et T100 ont plus des pertes de puissance actives de 0,8857 MW et puissance réactive 1,8224 MVA_r, Due à la surcharge du jeu de barre.

2) Courbe QU

Elle montre l'évolution ⁴ de la puissance réactive en fonction de la tension en pourcentage pour une évaluation, amélioration et anticipation du comportement des réseaux face aux perturbations et aux variations des charges.

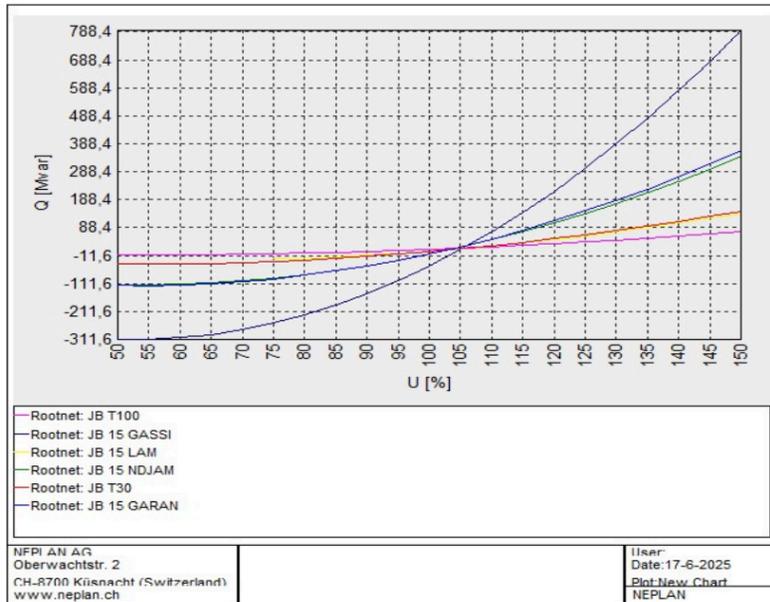


Figure 5: courbe QU

L'étude de la stabilité dans cette courbe réside sur la pente de la courbe, si la pente est modérée, ce nœud ¹³ peut être critique du point de vue de la détermination ¹ de la variation de la tension sur la variation de la puissance réactive.

3) Courbe PU

C'est une évolution de la tension en pourcentage en fonction de la charge, elle ²¹ permet d'évaluer la stabilité de tension dans un réseau électrique et prévenir l'effondrement du réseau en tension.

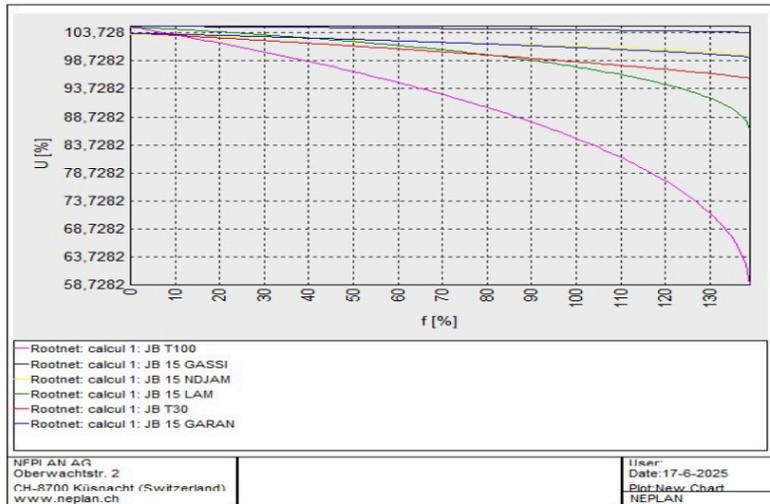


Figure 6: courbe PV au jeux de barres 15 KV

Ce résultat nous ¹⁸montre l'évolution de la tension en pourcentage en fonction de la charge aux niveaux des jeux de barres. La courbe du jeu de barres T100 à une chute importante suivie du nœud LAM ce qui indique un nœud critique et modérer de stabilité en tension.

4) Valeurs de Sensibilité UQ

Tableau 2: sensibilité des jeux barres 15 KV

N°	ID	NOM DU Jeux de barres	Sensibilité
1	1230798762	JB T100	1,7813
2	1230798659	JB 15 LAM	0,6243
3	1230798643	JB T30	0,5412
4	1230798668	JB 15 NDJAM	0,2114
5	1230798636	JB 15 GARAN	0,2008
6	1230798681	JB 15 GASSI	0,083
7	1230798674	JB 90 NDJAM	0,0779
8	1230798687	JB 90 GASSI	0,0773
9	1230798651	JB 90 LAM	0,0588
10	1230798630	JB 90 GARAN	0,0334

Les données de ce tableau confirment les critères de la sensibilité décrit au point V. Parmi les jeux de barres de la SNE, le jeu de barre T100 avec une sensibilité la plus élevée des autres de 1,7813%Mvar ; cela signifie que lors d'une injection ou retrait de puissance réactive sur ce jeu de barres, la tension varie fortement. C'est un jeu de barre critique qui demande une surveillance. Ce jeu de barre est suivi de celui de LAMADJI et T30 avec une sensibilité modère de 0,6243 et 0,5412 % Mvar ; les restent, leurs sensibilités sont faibles ; ils sont plus stables. Pour confirmer les valeurs numériques de la sensibilité (U/Q) de notre tableau, nous représentons le graphe ci-dessous.

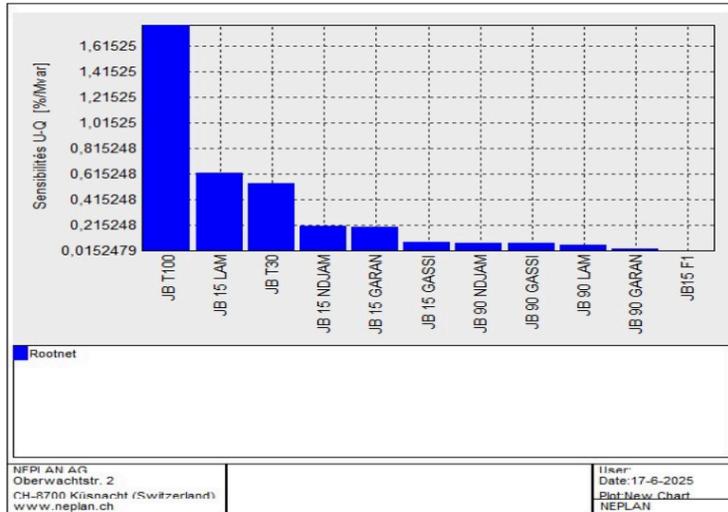


Figure 7: Graphe de la sensibilité des jeux de barres 15 KV

De tout qui précède le tableau de la sensibilité vient confirmer, les courbes et les graphes de chaque nœud 'un réseau. Lors que la sensibilité est élevée à un nœud, une petite variation de la puissance réactive cause une grande variation de la tension; une surveillance en ce point est recommandée.

Conclusion

Dans ce document, nous avons modélisé le **réseau électrique HT de la SNE de la ville de Ndjamena** en appliquant **la méthode de Newton-Raphson pour la résolution de l'équation de l'écoulement de puissance** dans l'outil NEPLAN. Cette modélisation nous a permis d'analyser les profils de tensions, d'identifier les flux d'énergie actives et réactives et localiser les jeux de barres (JB) à risque (c'est un JB où la sensibilité U/Q est menacée en cas de perturbation) du réseau par les courbes de **variation de tension en fonction de la puissance active (PU) et de variation de tension en fonction de la puissance réactive (QU)**

L'analyse de ces courbes, nous a aidé d'identifier les JB à risque. Lorsque la sensibilité en ce point est élevée, le JB est montré un risque d'écroulement de tension.

Dans la suite de notre travail, nous souhaiterions modéliser un compensateur comme l'UPFC au nœud qui présente des risques d'écroulement de tension.

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant pour la santé, la force et la persévérance qu'il m'a accordée tout au long de cette étape.

J'adresse ensuite mes remerciements au Pr ABAKAR MAHAMAT TAHIR, pour ses conseils, encouragements, sa disponibilité, qui ont grandement contribué.

Je remercie aussi l'équipe de la production, de transport et distribution de la SNE pour leur accueil chaleureux et leur collaboration tout au long de mon stage. Un remerciement tout particulier à Abdelhakim Idriss, Abakar sidick abdoulaye, Ali ahamat choroma, djibrine saleh mahamat, Methone Hermann, sineo, Ampere et tous ceux qui ont, de près ou loin, facilité mon intégration et enrichi mon apprentissage.

Références

- [1] D. Sambalaye et S. Ramatou, « Étude Comparative des Performances de Prédiction de la Consommation d'Énergie: Modèle Global vs Modèle d'Intelligence Artificielle. », *Sci. Appliquées Ing.*, vol. 6, n° 1, p. 108-115, 2025.
- [2] V. Ajjarapu et C. Christy, « The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis », *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, n° 1, p. 416-423, févr. 1992, doi: 10.1109/59.141737.

- [3] Larouci Benyekhlef, « Contribution à l'étude d'un contrôleur universel de puissance(UPFC) pour l'amélioration de la stabilité d'un réseau électrique », 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.18482.94406.
- [4] R. Cozzolino et G. Bella, « A review of electrolyzer-based systems providing grid ancillary services: current status, market, challenges and future directions », *Front. Energy Res.*, vol. 12, p. 1358333, 2024.
- [5] F. Ruiz-Tipán, C. Barrera-Singaña, et A. Valenzuela, « Reactive Power Compensation Using Power Flow Sensitivity Analysis and QV Curves », *2020 IEEE ANDESCON*, p. 1-6, 2020, doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272113.
- [6] M. A. Djari, L. Benasla, et W. Rahmouni, « Voltage stability assessment using the VQ sensitivity and modal analyses methods », in *2017 5th International Conference on Electrical Engineering-Boumerdes (ICEE-B)*, IEEE, 2017, p. 1-6. Consulté le: 6 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8192086/>
- [7] « Le Calcul Pratique des Courants de Court-Circuit Entre Phases », *Houille Blanche*, vol. 31, n° 1, p. 9-21, janv. 1936, doi: 10.1051/lhb/1936002.
- [8] J. C. Das, *Power system analysis: short-circuit load flow and harmonics*. CRC press, 2002. Consulté le: 7 juillet 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9780203908952/power-system-analysis-das>
- [9] C. O. Ahiakwo, D. C. Idoniboyeobu, S. L. Braide, et C. L. Onita, « Investigation of voltage stability of the Nigerian 330kV transmission network using Newton Raphson Method », *Int. J. Res. Eng. Sci. IJRES*, vol. 10, n° 6, p. 122-129, 2022.
- [10] Y. Wang, H. Wu, H. Xu, Q. Li, et S. Liu, « A general fast power flow algorithm for transmission and distribution networks », *IEEE Access*, vol. 8, p. 23284-23293, 2020.
- [11] H. Marothia, M. T. Scholar, et J. K. Sharma, « Development and Analysis of Voltage Stability Indices for Power System Assessment », Consulté le: 13 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ijereas.in/uploads/pdf/ijereas-V2-4-paper3-Development%20and%20Analysis%20of%20Voltage%20Stability%20Indices%20for%20Power%20System%20Assessment.pdf>
- [12] M. S. Saddique *et al.*, « Solution to optimal reactive power dispatch in transmission system using meta-heuristic techniques—Status and technological review », *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 178, p. 106031, 2020.
- [13] F. W. Mohn et A. Z. De Souza, « Tracing PV and QV curves with the help of a CRIC continuation method », *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, n° 3, p. 1115-1122, 2006.

- [14] A. Z. De Souza, F. W. Mohn, I. F. Borges, et T. R. Ocariz, « Using PV and QV curves with the meaning of static contingency screening and planning », *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 81, n° 7, p. 1491-1498, 2011.
- [15] N. Rayfield et A. Cook, « A Voltage Contingency Selection Technique for Transmission Planning Studies », 1985, Consulté le: 3 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://consensus.app/papers/a-voltage-contingency-selection-technique-for-rayfield-cook/dae6ec4b99ac56c391ac169bda760796/>
- [16] Y. A. Mobarak, « Voltage collapse prediction for Egyptian interconnected electrical grid EIEG », *Int. J. Electr. Eng. Inform.*, vol. 7, n° 1, p. 79, 2015.

IDENTIFICATION DES NŒUDS CRITIQUES DU RESEAU HAUTE ET MOYENNE TENSION (HT ET MT) DE LA VILLE DE N'DJAMENA

ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	www.afriquescience.net Internet Source	1%
2	telum.umc.edu.dz Internet Source	1%
3	www.ceremade.dauphine.fr Internet Source	1%
4	tel.archives-ouvertes.fr Internet Source	1%
5	publications.polymtl.ca Internet Source	1%
6	Submitted to City University Student Paper	<1%
7	Submitted to University of Strathclyde Student Paper	<1%
8	www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr Internet Source	<1%
9	pdffox.com Internet Source	<1%
10	dspace.univ-ouargla.dz Internet Source	<1%
11	dspace.univ-sba.dz Internet Source	<1%
12	geneve.blog.tdg.ch Internet Source	<1%

<1 %

13

lail.univ-poitiers.fr

Internet Source

<1 %

14

thesis.univ-biskra.dz

Internet Source

<1 %

15

www.academie-en-ligne.fr

Internet Source

<1 %

16

astee-tsm.fr

Internet Source

<1 %

17

depositum.uqat.ca

Internet Source

<1 %

18

depot-e.uqtr.ca

Internet Source

<1 %

19

moncarresolaire.ch

Internet Source

<1 %

20

surface.syr.edu

Internet Source

<1 %

21

www.cyme.com

Internet Source

<1 %

22

www.lejdd.fr

Internet Source

<1 %

23

www.macbidouille.com

Internet Source

<1 %

24

www.scielo.org.co

Internet Source

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On