

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Djilali Bounaama Khemis Miliana



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de la Technologie

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master en génie électrique

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Thème

**Etude de l'utilisation des autotransformateurs variables
pour le réglage de déséquilibre de tension dans les
réseaux BT**

Réalisé par :

❖ **Addouche Mohammed**

❖ **Haddouche Fawzi**

En cadré par :

❖ **Mr. Bot Youssef**

Année Universitaire 2020/2021

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Ma très chère mère.*
- ❖ *Mon très cher père.*
- ❖ *Mes sœurs et mes frères*
- ❖ *Toute la famille Addouche et Zaroukhi*
- ❖ *Mon binôme*
- ❖ *Tous mes amis.*

- ❖ *Toute la promotion 2020/2021*

MOHAMED

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Ma très chère mère.*
- ❖ *Mon très cher père.*
- ❖ *Mes sœurs et mes frères*
- ❖ *Toute la famille Haddouche*
- ❖ *Mon binôme*
- ❖ *Tous mes amis.*
- ❖ *Toute la promotion 2020/2021*

Fawzi

Remerciements

Avant tout :

*Nous remercions **Allah** tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour terminer ce travail.*

Ce présent, n'aurait pu avoir le jour sans la contribution de nombreuses personnes dont nous faisons aujourd'hui un plaisir et un devoir de les remercier, et de leur témoigner notre profonde gratitude.

*Nous remercions notre encadreur Mr. **BOT** pour l'intérêt qu'il apporté à ce travail, qu'il nous a accordé tout au long de ce travail. A tous les enseignants de la faculté génie électrique.*

Nous n'oublions pas nos parents de leur soutien moral et matériel.

Nous présentons également nos remerciements aux membres de jury qui daigneront, évaluer et juger notre travail.

Enfin, nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin durant notre formation.

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire est déroulé sur l'étude de l'utilisation des autotransformateurs variables pour le réglage de déséquilibre de tension dans les réseaux BT. L'objectif est de juger du succès de l'utilisation de l'autotransformateur et de calculer le taux de déséquilibre après utilisation de cet appareil.

Un récepteur électrique triphasé, déséquilibré et équipé d'un réseau triphasé équilibré, entraîne des déséquilibres de tension dus à la circulation de courants déséquilibrés dans les impédances du réseau. Ceci est courant pour les récepteurs monophasés basses tensions de puissances différentes. Mais elle peut aussi se produire, à des tensions plus élevées, par des machines à souder, des fours à arc, ou la traction ferroviaire. Système triphasé déséquilibré
Lorsque les trois tensions (V_1 , V_2 , V_3) ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées de 120° les unes par rapport aux autres, le problème de déséquilibre de tension peut être très dommageable pour l'équipement du réseau, il est donc nécessaire de trouver une solution pour éliminer ce problème dans notre réseau.

Pour valider cette étude, nous avons effectué plusieurs essais de simulations par OPENDSS sur le réseau électrique algérien Véritable BTA fourni par SDO DD Ain Defla, de type rural avec poste sur poteau, un départ BT et des branchements individuels Il est composé de 126 nœuds et de 67 charges dans 16 charges triphasées et 51 charges monophasées, avec et sans autotransformateur.

Enfin, cette étude est considérée comme complémentaire aux différentes techniques de modulation de tension dans le réseau électrique. Ce qui met en évidence l'intérêt d'utiliser l'autotransformateur pour maintenir la stabilité de la tension en bout de ligne de distribution.

Mots clés :

Autotransformateur, taux de déséquilibre, déséquilibre de tension, Open DSS

Abstract :

The work presented in this dissertation is carried out on the study of the use of variable autotransformers for the adjustment of voltage imbalance in the LV network. The objective is to judge the success of using the autotransformer and to calculate the imbalance rate after using this device.

A three-phase electrical receiver, unbalanced and equipped with a balanced three-phase network, causes voltage imbalances due to the circulation of unbalanced currents in the network impedances. This is common for low voltage single-phase receivers of different powers. But it can also occur, at higher voltages, by welding machines, arc furnaces, or railway traction. Unbalanced three-phase system When the three voltages (V_1 , V_2 , V_3) are not equal in amplitude and / or are not 120° out of phase with each other, the problem of voltage imbalance can be very damaging to the network equipment, so it is very necessary to find a solution to eliminate this problem in our network.

To validate this study, we carried out several simulation tests by OPENDSS on the Algerian real BTA electricity network supplied by SDO DD Ain Defla, rural type with post on pole, a LV outgoing line and individual connections It is made up of 126 nodes and 67 loads in 16 three-phase loads and 51 single-phase loads, with and without autotransformer.

Finally, this study is considered to be complementary to the various voltage modulation techniques in the electrical network. This highlights the advantage of using the autotransformer to maintain voltage stability at the end of the distribution line.

Key words:

Autotransformer, imbalance rate, voltage imbalance, Open DSS

المخلص :

يدور العمل المقدم في هذه المذكرة على دراسة استخدام المحولات الذاتية المتغيرة لتعديل عدم توازن الجهد في شبكة الجهد المنخفض. الهدف هو الحكم على مدى نجاح استخدام المحول الذاتي وحساب معدل عدم التوازن بعد استخدام هذا الجهاز.

يتسبب جهاز الاستقبال الكهربائي ثلاثي الطور ، غير المتوازن والمجهز بشبكة ثلاثية الطور متوازنة ، في حدوث إختلالات في الجهد بسبب دوران التيارات غير المتوازنة في ممانعات الشبكة. هذا أمر شائع بالنسبة لأجهزة الاستقبال أحادية الطور ذات الجهد المنخفض ذات القوى المختلفة. ولكن يمكن أن يحدث أيضًا ، عند الفولتية العالية ، بواسطة آلات اللحام أو أفران القوس أو جر السكك الحديدية. نظام ثلاثي الأطوار غير متوازن عندما لا تكون الفولتية الثلاثة (V1 ، V2 ، V3) متساوية في السعة و / أو لا تكون 120 درجة خارج الطور مع بعضها البعض ، فإن مشكلة عدم توازن الجهد يمكن أن تكون ضارة جدًا بمعدات الشبكة ، لذلك من الضروري جدًا إيجاد حل للقضاء على هذه المشكلة في شبكتنا.

للتحقق من صحة هذه الدراسة ، أجرينا العديد من اختبارات المحاكاة بواسطة Open DSS على شبكة الكهرباء الجزائرية الحقيقية BTA التي توفرها SDO DD عين الدفلى، نوع ريفي مع محول على عمود ، وخط صادر LV وتوصيلات فردية تتكون من 126 عقدة و 67 حمل منها 16 حمولة ثلاثية الطور و 51 حمولة أحادية الطور ، مع وبدون محول ذاتي.

أخيرًا ، تعتبر هذه الدراسة مكملة لتقنيات تعديل الجهد المختلفة في الشبكة الكهربائية. مما يسלט الضوء على الاستفادة من استخدام المحول التلقائي للحفاظ على ثبات الجهد في نهاية خط التوزيع.

الكلمات المفتاحية :

المحول الذاتي، معدل عدم التوازن، عدم توازن الجهد، Open DSS

Table de Matière

Introduction général.....	01
---------------------------	----

CHAPITRE I : Généralités sur les réseaux électriques et écoulements de puissance

I.1 Introduction	03
I.2 Définition d'un réseau électrique.....	03
I.3 Différents types de réseaux électriques.....	04
I.3.1 Réseaux de transport.....	04
I.3.2 Réseaux d'interconnexion.....	05
I.3.3 Réseaux de répartition.....	05
I.3.4 Réseau de distribution.....	05
I.4 Les structure d'un réseau	06
I.4.1 Réseau maillé.....	06
I.4.2 Réseau bouclé.....	07
I.4.3 Réseaux radial.....	07
I.4.4 Réseau arborescent	08
I.5 Différents types des lignes	08
I.5.1 Lignes de distribution BT	08
I.5.2 Lignes de distribution MT.....	09
I.5.3 Lignes de transport HT.....	09
I.5.4 Lignes de transport THT.....	09
I.6 Niveaux de tension.....	09
I.7 Les Problèmes survenant sur le réseau électrique.....	10
I.7.1 Déséquilibre de tension sur le réseau électrique	10
I.7.1.1 Comment détecter un problème de déséquilibre de tension.....	11
I.7.1.1.1 Taux de déséquilibre.....	12

I.8 L'écoulements des puissances	12
I.8.1. Définition	12
I.8.2 Le but de l'écoulement de puissance.....	12
I.8.3 Utilisations d'écoulements de puissances.....	13
I.8.4 Classification des nœuds (jeux de barre).....	13
I.8.4.1 Nœud Reference (slack bus).....	13
I.8.4.2 Nœud de charge (Load bus)	13
I.8.4.3 Nœud de générateur	14
I.8.5 Modélisation des éléments du réseau électrique.....	14
I.8.5.1 Les générateurs.....	14
I.8.5.2 Modélisation des charges.....	15
I.8.5.3 Lignes de transmission.....	15
I.8.5.4 Eléments shunts.....	16
I.8.6 Analyse de l'écoulement de puissance.....	16
I.8.6.1 Système d'unité relative PU (PER UNIT).....	17
I.8.6.2 Formulation de la matrice admittance.....	17
I.8.6.3 Méthodes itératives l'écoulement de puissance	20
I.8.6.3.1 Méthode de Gauss-Seidel	20
I.8.6.3.1.a Calcul d'écoulement de puissance dans type de jeu de Barres.....	21
I.8.6.3.2 Méthode de Newton-Raphson	22
I.8.6.3.2.a Les étapes de calcul.....	26
I.8.6.3.3 Méthode Découplée	27
I.9 Conclusion.....	28

Chapitre II : les autotransformateurs.

II.1 Introduction	30
II.2 Définition l'autotransformateur	30
II.3 Construction de l'autotransformateur	31

II.4 Types d'autotransformateurs	32
II.4.1 Autotransformateur élévateur	32
II.4.2 Autotransformateur abaisseur.....	33
II.4.3 L'autotransformateur variable	33
II.5 Principe fonctionnement	34
II.6 Fonctionnement	35
II.6.1 Fonctionnement à vide.....	35
II.6.2 Fonctionnement en charge.....	36
II.7 Détermination des paramètres de l'autotransformateur.....	37
II.7.1 Les paramètres techniques.....	37
II.8 Installation autotransformateur.....	38
II.8.1 Autotransformateur monophasé	38
II.8.1.1 Symbole de l'autotransformateur monophasé.....	39
II.8.2 Autotransformateur triphasé	39
II.8.2.1 Symbole de l'autotransformateur triphasé.....	40
II.8.2.2 Les différents types de connexions d'autotransformateur triphasé	40
II.9 Domaine d'utilisation.....	41
II.10 Les avantages et les inconvénients des autotransformateurs.....	41
II.11 Réglage de tension dans réseau électrique	42
II.12 Modes de réglage	43
II.12.1 Le réglage primaire de tension (RPT).....	43
II.12.2 Le réglage secondaire de tension (RST).....	44
II.12.3 Le réglage tertiaire de tension (RTT)	44
II.13 Moyens de réglage de la tension dans un réseau de distribution	44

II.13.1 Compensation de puissance réactive au poste source.....	45
II.13.2 Le réglage de la charge.....	45
II.14 Conclusion.....	45
Chapitre III : simulation de réseau électrique BT.	
III.1 Introduction	47
III.2 Définition Open DSS	47
III.3 Applications Open DSS.....	48
III.4 Comment programmation sur Open DSS.....	48
III.5 Simulation sur un réseau BT	52
III.5.1 Résultats de simulation	53
III.5.1.1 Discussion des résultats	53
III.5.1.2 1 ^{ère} Cas : Sans Autotransformateur.....	54
III.5.1.2.1 Discussion des résultats	57
III.5.1.3 2 ^{ème} Cas : avec Autotransformateur.....	58
III.6 Conclusion	75
Conclusion général	76
Bibliographie.....	77

Liste des tableaux

Tableau I.1 Tableau des domaines de tension en Algérie	10
Tableau I.2 Les types de nœuds des réseaux éclectiques	14
Tableau III.1 Propriétés de la source de tension	49
Tableau III.2 Propriétés du code de ligne	50
Tableau III.3 Propriétés de la charge	50
Tableau III.4 Propriété de transformateur	51

Listes des figures

Figure I.1 : Différentes étages d'un réseau électrique	04
Figure I.2 : Réseau maillé.	06
Figure I.3 : Réseau bouclé.	07
Figure I.4: Structure en coupure d'artère.	07
Figure I.5 : Structure arborescente	08
Figure I.6 : Exemple de déséquilibre de tension.	11
Figure I.7 : Modèle d'un générateur utilisé dans l'étude de l'écoulement de puissance.	14
Figure I.8: Modèle d'une charge	15
Figure I.9 : Modèles en π des lignes	16
Figure I.10: Modèle de l'élément shunt.	16
Figure I.11 : Réseau électrique avec trois nœuds.	18
Figure II.1 : Autotransformateur.	31
Figure II.2 : Autotransformateur élévateur de tension	32
Figure II.3 : Autotransformateur abaisseur de tension	33
Figure II.4 : photo réel d'autotransformateur variable	33
Figure II.5 : Autotransformateur variable	34
Figure II.6 : Principe fonctionnement d'Autotransformateur	35
Figure II.7 : Autotransformateur à vide	36
Figure II.8 : Autotransformateur en charge	36
Figure II.9 : Schéma Autotransformateur monophasé	38
Figure II.10 : Symbole Autotransformateur monophasé à réglage progressif de la tension	39
Figure II.11 : Schéma Autotransformateur triphasé	39

Figure II.12 : Symbole Autotransformateur triphasé	40
Figure II.13 : couplage étoile (Y) de l'autotransformateur triphasé	40
Figure II.14 : couplage triangulaire (Δ) d'un autotransformateur triphasé	41
Figure III.1 : réseau BTA de 126 nœuds fournis par SDO DD Ain Defla	52
Figure III.2 : Évolution de la charge du réseau au cours du temps(24)	53
Figure III.3 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 0	54
Figure III.4 : Taux de déséquilibre au nœud 0	55
Figure III.5 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 86	55
Figure III.6 : Taux de déséquilibre au nœud 86	56
Figure III.7 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 125	56
Figure III.8 : Taux de déséquilibre au nœud 125	57
Figure III.9 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 0	58
Figure III.10 : Taux de déséquilibre au nœud 0	59
Figure III.11 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 86	59
Figure III.12 : Taux de déséquilibre au nœud 86	60
Figure III.13 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 125	60
Figure III.14 : Taux de déséquilibre au nœud 125	61
Figure III.15 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 0	62
Figure III.16 : Taux de déséquilibre au nœud 0	63
Figure III.17 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 86	63
Figure III.18 : Taux de déséquilibre au nœud 86	64
Figure III.19 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 125	64
Figure III.20 : Taux de déséquilibre au nœud 125	65
Figure III.21 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 0	66

Figure III.22 : Taux de déséquilibre au nœud 0	67
Figure III.23 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 86	67
Figure III.24 : Taux de déséquilibre au nœud 86	68
Figure III.25 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 125	68
Figure III.26 : Taux de déséquilibre au nœud 125	69
Figure III.27: changer de prise de l'autotransformateur T1 dans nœud 2	70
Figure III.28: changer de prise de l'autotransformateur T2 dans nœud 2	70
Figure III.29: changer de prise de l'autotransformateur T3 dans nœud 2	71
Figure III.30: changer de prise de l'autotransformateur T1 dans nœud 82	71
Figure III.31: changer de prise de l'autotransformateur T2 dans nœud 82	72
Figure III.32: changer de prise de l'autotransformateur T3 dans nœud 82	72
Figure III.33: changer de prise de l'autotransformateur T1 dans nœud 123	73
Figure III.34: changer de prise de l'autotransformateur T2 dans nœud 123	73
Figure III.35: changer de prise de l'autotransformateur T3 dans nœud 123	74

Introduction général :

La demande en énergie électrique ne cesse d'augmenter, c'est l'un des principaux éléments auquel on accord une importance majeure du fait que son rôle dans le développement économique est primordial. A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable mais la disponibilité de l'énergie électrique ne dépend pas uniquement de sa production mais aussi des moyens de son transport et de sa distribution qui constituent les réseaux électriques. Ces derniers sont souvent soumis à plusieurs contraintes telles que les agressions de la nature, l'exploitation anarchique de l'homme et l'accroissement de la consommation en énergie électrique, Ces restrictions entraînent certains problèmes sur le réseau comme le problème de déséquilibre de tension Il est donc nécessaire de trouver des solutions innovantes à ce problème.

Le sujet de ce mémoire concerne, en particulier, réglage de déséquilibre de tension dans les réseaux BT à l'aide d'autotransformateurs.

Pour atteindre ces objectifs de recherche, ce mémoire est organisé en trois chapitres: dans le premier chapitre, nous allons présenter généralités sur les réseaux électriques et les problèmes qui se produisent dessus, tels que (déséquilibre de tension) et comment détecter le problème de déséquilibre de tension en calculant le taux de déséquilibre après cela l'étude de l'écoulement de puissance, où différentes méthodes itératives classiques à savoir les méthodes de **Gauss Seidel** et **Newton-Raphson** et **Découplée** pour déterminer les tensions au niveau des jeux de barres de réseau électrique.

Le second chapitre, le but est étude théorique des autotransformateurs selon les points suivants : (Construction et principes de fonctionnement et leurs différents types), et comment réglage la tension dans les réseaux électriques et les moyens et mécanismes utilisés pour réglage.

Le troisième chapitre est consacré à s'articule autour du réglage du déséquilibre de tension dans le réseau électrique basse tension à l'aide de l'autotransformateur.

Pour faire ce travail, nous effectuons plusieurs tests de simulation à l'aide du programme Open DSS sur le réseau électrique algérien véritable BTA fourni par SDO DD Ain Defla, avec et sans autotransformateur.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralités sur les réseaux électriques et écoulements de puissance

I.1 Introduction

L'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée, donc en permanence la production doit s'adapter à la consommation. De ce fait l'ensemble production, acheminement, utilisation constitue un système complexe appelé réseau électrique. Le réseau est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques, qui permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production transport-consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble. ^[1]

L'un de ces amendements est une étude l'écoulement de puissance.

L'étude de l'écoulement de puissance permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal équilibré en régime permanent. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes. Les pertes et les courants s'en déduisent. Les études de l'écoulement de puissance permettent de planifier la construction et l'extension des réseaux électriques ainsi que la conduite et le contrôle de ces réseaux. ^[2]

Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur les réseaux électriques (les types de réseau, les lignes, les structures d'un réseau et les niveaux de tension) et les problèmes survenant sur le réseau par exemple (déséquilibre de tension), Après cela nous allons introduire la notion de l'écoulement de puissance on présente les techniques de résolution du problème d'écoulement de puissance.

I.2 Définition d'un réseau électrique

Un réseau électrique est l'ensemble des composantes requises pour produire, transporter, distribution l'énergie électrique de la source (générateur) à la charge (consommateur). Cet ensemble comprend des transformateurs, des lignes de transmission, des réactances, des condensateurs, des moyens de mesure et de contrôle, des protections contre la foudre et les courts circuits, autrement dit, un réseau électrique est l'ensemble des infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production (centrales électriques), vers les consommateurs d'électricité. ^[3]

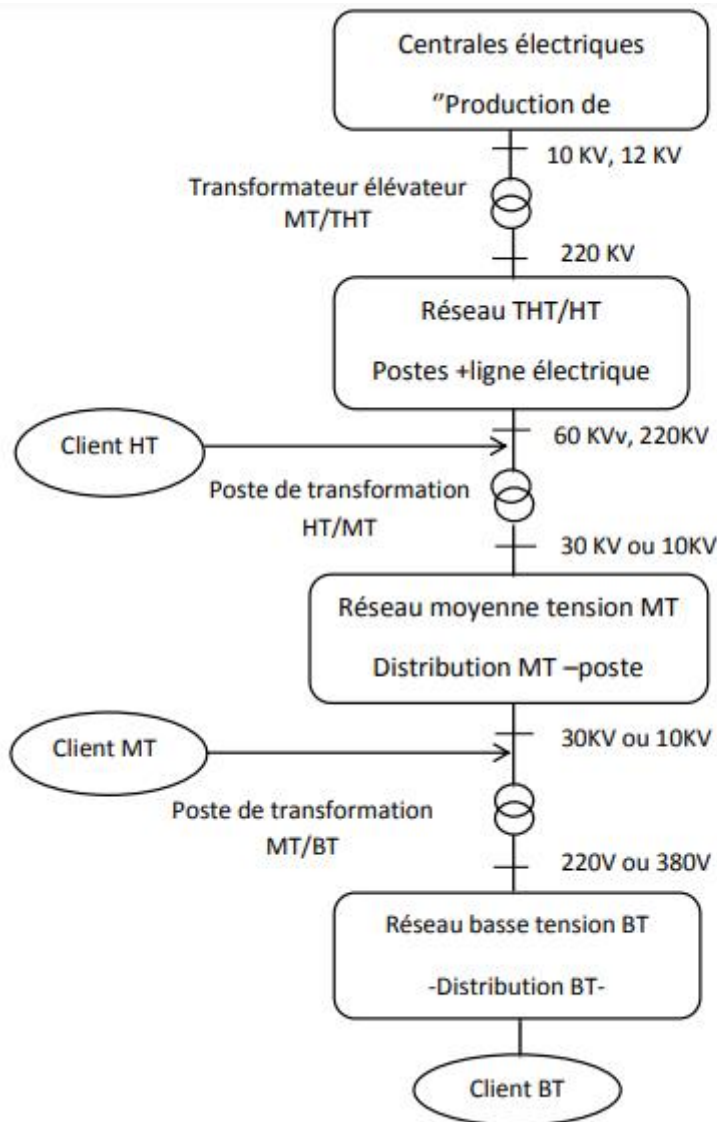


Figure I.1 : Différentes étapes d'un réseau électrique.

I.3 Différents types de réseaux électriques :

I.3.1 Réseaux de transport :

Le réseau de transport THT c'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation.

Ce réseau permet de relier les principales centrales de production aux grands postes alimentant les réseaux de répartition. Il est aérien, triphasé et le plus souvent maillé.

La tension se situe en général entre 225 kV et 400 kV, L'utilisation de ces tensions élevées est liée à un objectif économique (minimisation des pertes d'énergie).

Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence. ^[3]

1.3.2 Réseaux d'interconnexion :

Les réseaux d'interconnexions assurent la liaison entre les centres de production, et permettent des échanges entre différentes régions et même avec des pays voisins pour favoriser la solidarité des systèmes en cas d'urgence.

Ces réseaux sont organisés de façon que toutes les lignes à THT soient reliées par des postes de transformations assurant la continuité entre les lignes de différents niveaux de tension. ^[4]

1.3.3 Réseau de répartition :

Les réseaux de répartition sont à haute tension, leur but est d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. L'énergie y est injectée essentiellement par le réseau de transport via des transformateurs, mais aussi par des centrales électriques de moyennes puissances.

Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez homogène sur le territoire d'une région et leur structure est essentiellement aérienne. Par contre, lorsqu'ils sont proches des villes, les lignes deviennent des câbles enterrés ce type de réseau utilise des tensions de 60 et 30kV. ^[1]

1.3.4 Réseau de distribution :

Les réseaux de distribution sont généralement basés sur une structure arborescente de réseau à partir d'un poste source, l'énergie parcourt l'artère ainsi que ses dérivations avant d'arriver aux postes de transformation MT/BT. Les réseaux de distribution ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs. Il existe deux sous niveaux de tension :

- Les réseaux à moyenne tension MT (de 10 à 30kV).
- Les réseaux à basse tension BT (de 230 à 400 V), sur lesquels sont raccordés les utilisateurs domestiques.

La distribution se fait souvent soit par des lignes aériennes ou des câbles sous terrain. Les réseaux de distribution ont principalement une structure arborescente.

Contrairement aux réseaux de transport, les réseaux de distribution présentent une grande

diversité de solutions techniques à la fois selon les pays concernés, ainsi que selon la densité de population.

a) les Réseaux de distribution à moyenne tension(MT)

On appelle réseaux MT les réseaux couvrants la plage de 10 à 30 kV.^[6]

b) les Réseaux de distribution à basse tension(BT)

Permet d'acheminer l'énergie électrique du réseau de distribution MT aux points de faible consommation. Ce réseau alimente un nombre très élevé de consommateurs du domaine domestique. La structure de ce réseau est de type aérien ou souterrain.^{[3][6]}

I.4 Les structures d'un réseau :

I.4.1 Réseau maillé :

Utilisé généralement pour le transport, un réseau maillé est un réseau où des liaisons qui forment des boucles, réalisant une structure en mailles d'un filet. La figure (I.2) montre l'exemple d'un réseau maillé.^[1]

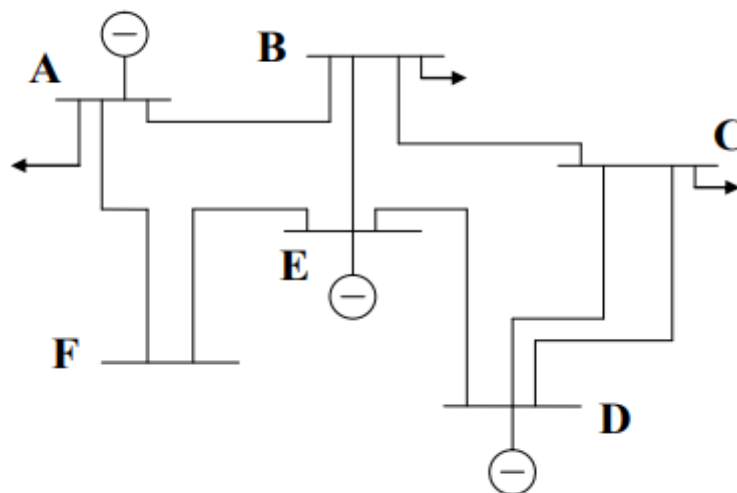


Figure I.2 : Réseau maillé

I.4.2 Réseau bouclé :

Ce sont des réseaux maillés simplifiés, présentant un certains nombres de boucles fermés, chacune de ces boucles contient un nombre limité de sources. L'énergie peut transiter alors par des chemins différents, et la mise hors tension accidentelle d'un tronçon n'entraîne pas des surcharges inadmissibles pour les autres tronçons. Les réseaux bouclés sont généralement utilisés pour les réseaux de répartition. ^[1]

La figure (I.3) montre un exemple d'un réseau bouclé.

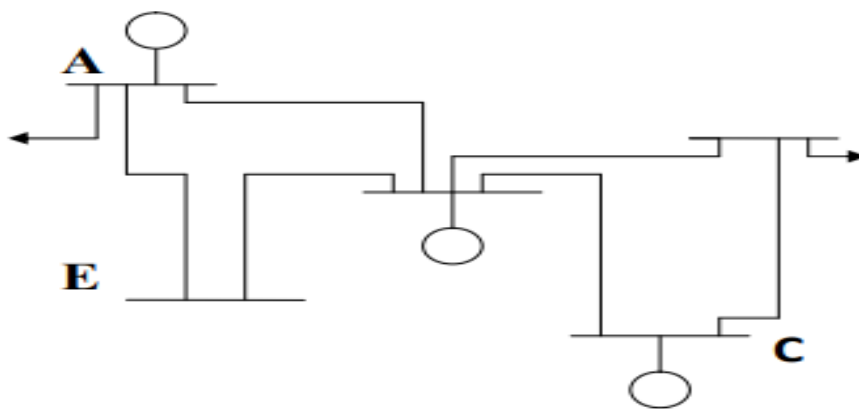


Figure I.3 : Réseau bouclé

- Poste de répartition

I.4.3 Réseaux radial :

C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT. Elle est composée d'une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT alimentés au départ par un poste source HT ou MT. ^[4]



Figure I.4: Structure en coupure d'artère.

- Poste de distribution
- Poste de répartition

I.4.4 Réseau arborescent :

Cette structure est très utilisée en milieu rural et quelque fois en milieu urbain où la charge n'est pas très sensible aux interruptions. Elle est constituée d'un poste de répartition qui alimente plusieurs postes de distribution (BT) grâce à des piquages à différents niveaux des lignes alimentant les postes MT/BT. [5]

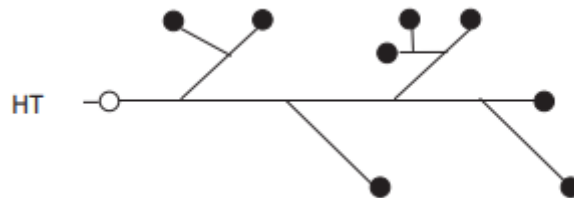


Figure I.5 : Structure arborescente

I.5 Différents types des lignes :

Le genre de ligne utilisée est imposé par les facteurs suivants :

- Puissance active à transporter
- Distance de transport
- Coût
- Esthétique, encombrement et la facilité d'installation

I.5.1 Lignes de distribution BT :

Ce sont les lignes et la filerie installées à l'intérieur des édifices, usines et maisons pour alimenter les moteurs, cuisinières, lampes,... etc.

Le tableau électrique d'entrée constitue la source, et les lignes sont habituellement des câbles ou des barres omnibus fonctionnant à des tensions inférieures à 600 V.

Dans certaines régions métropolitaines, on utilise un réseau maillé comprenant une grille de câbles souterrains fonctionnant à 600 V ou moins. Ce réseau maillé assure un service impeccable, car le bris d'un ou même de plusieurs câbles n'interrompt pas la distribution de courant aux clients. Cependant, aujourd'hui, on préfère employer un réseau de distribution radial à moyenne tension dans les grandes villes. [6]

I.5.2 Lignes de distribution MT:

Ce sont des lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie d'électricité. Leur tension est comprise entre 10 kV et 30 kV. ^[6]

I.5.3 Lignes de transport HT:

Ce sont les lignes reliant les postes de transformation principaux aux centrales de génération. Elles sont constituées de fils aériens ou de câbles souterrains fonctionnant à des tensions généralement inférieures à 230 kV. Dans cette catégorie, on trouve aussi les lignes servant à échanger de l'énergie entre deux grands réseaux et à augmenter la stabilité de l'ensemble. ^[6]

I.5.4 Lignes de transport THT:

Ce sont les lignes qui relient les centrales hydrauliques éloignées aux centres d'utilisation. On les place dans une catégorie distincte à cause de leurs propriétés spéciales. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1000 km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 750 kV. Les lignes à courant continu à haute tension sont également incluses dans ce groupe. ^[6]

I.6 Niveaux de tension :

HTB → pour une tension composée supérieure à 50 kV

HTA → pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV

BTB → pour une tension composée comprise entre 500V et 1 kV

BTA → pour une tension composée comprise entre 50V et 500 V

TBT → pour une tension composée inférieure ou égale à 50V

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension alternative comme suit. ^[7]

Tableau (I.1) Tableau des domaines de tension en Algérie

Domaines de tension		Valeur de la tension composée nominale (U_n en volts)	
		Tension Alternatif	Tension Continu
Très Basse Tension(TBT)		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Basse Tension (BT)	BTA	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
Haute Tension (HT)	HTA	$1000 < U_n \leq 50\ 000$	$1500 < U_n \leq 75000$
	HTB	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75000$

I.7 Les Problèmes survenant sur le réseau électrique :

Le réseau électrique est exposé à plusieurs problèmes lors du transport et de la distribution de l'électricité, et l'un de ces problèmes est un déséquilibre de la tension, en particulier dans le réseau basse tension.

I.7.1 Déséquilibre de tension sur le réseau électrique :

Un récepteur électrique triphasé, qui n'est pas équilibré et que l'on alimente par un réseau triphasé équilibré conduit à des déséquilibres de tension dus à la circulation de courants non équilibrés dans les impédances du réseau (figure I.6). Ceci est fréquent pour les réceptrices monophasées basses tensions de puissances différentes. Mais cela peut également être engendré, à des tensions plus élevées, par des machines à souder, des fours à arc ou par la traction ferroviaire. Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions (V_1 , V_2 , V_3) ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes des autres de 120° , on peut donc considérer ce système déséquilibré comme la superposition de 3 systèmes équilibrés : Homopolaire (V_0), Direct (V_d), Inverse (V_i).^{[8][9]}

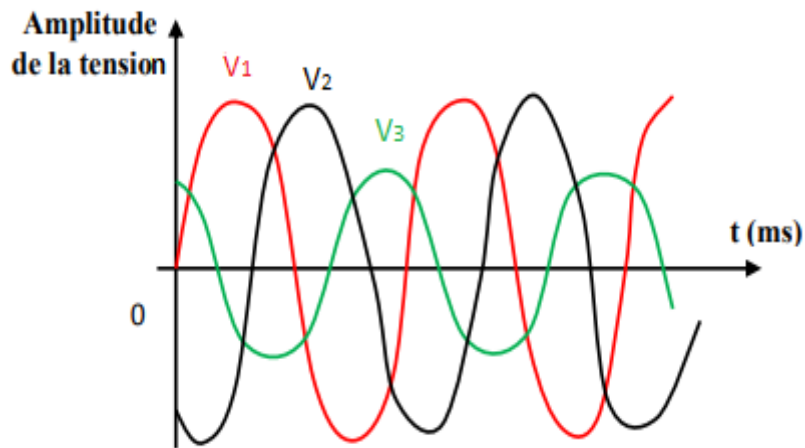


Figure I.6 : Exemple de déséquilibre de tension

I.7.1.1 Comment détecter un problème de déséquilibre de tension :

Pour détecter le problème de déséquilibre de tension on doit calculer le taux de déséquilibre par le théorème de décomposition de Fortescue comme suit: un système de 3 grandeurs complexes V_1, V_2, V_3 se décompose en 3 systèmes symétriques suivants :

$$V_1 = V_d + V_i + V_o \quad (I.1)$$

$$V_2 = a^2 V_d + a V_i + V_o \quad (I.2)$$

$$V_3 = a V_d + a^2 V_i + V_o \quad (I.3)$$

On peut calculer les composantes symétriques :

$$V_d = \frac{1}{3} (V_1 + a V_2 + a^2 V_3) \quad (I.4)$$

$$V_i = \frac{1}{3} (V_1 + a^2 V_2 + a V_3) \quad (I.5) \quad \text{Avec} \quad a = e^{j\frac{2\pi}{3}} \quad (I.6)$$

$$V_o = \frac{1}{3} (V_1 + V_2 + V_3) \quad (I.7)$$

I.7.1.1.1 Taux de déséquilibre :

On quantifie le déséquilibre d'un système triphasé par le degré de déséquilibre (ou degré de dissymétrie), en courant ou en tension, défini comme le rapport des valeurs efficaces, ou des amplitudes, de la composant (inverse et ou homopolaire) sur la composante directe ^[9] :

$$T_i(\%) = \frac{V_i}{V_d} \quad (\text{I.8}) \quad \text{Et} \quad T_o(\%) = \frac{V_o}{V_d} \quad (\text{I.9})$$

I.8 Ecoulements des puissances :

I.8.1. Définition :

Le calcul d'écoulement de puissance est une étude en régime permanent du réseau électrique qui consiste à déterminer, en premier lieu, à chaque jeu de barres, l'amplitude et la phase de la tension ainsi que les puissances active et réactive injectées.

Connaissant les tensions (amplitude et phase) aux jeux de barres ainsi que les puissances injectées (active et réactive), nous pouvons calculer, en deuxième lieu, les courants et les puissances dans les lignes ceux fournis par les sources. ^[10]

I.8.2 Le but de l'écoulement de puissance :

Les objectifs les plus importants de l'étude de l'écoulement de puissance sont

- La détermination des puissances réactives et actives dans la ligne de transmission basée sur certaines considérations à priori associées au récepteur ou au générateur.
- Calcul des différences de potentiel à chaque nœud ou jeu de barre (bus en terminologie anglo-saxon).
- Vérifier qu'aucune ligne n'est surchargée. La surcharge peut signifier que la ligne est proche de la stabilité thermique.
- Surveillance de la ligne en cas de ré-enclenchement.
- Détermination de l'écoulement de puissance spécifique qui conduit à un dispatching optimum en calculant l'état du réseau (P, Q, V, δ ,...) dans des hypothèses données de production et de consommation. ^[10]

I.8.3 Utilisations d'écoulements de puissances :

Les écoulements de puissances sont utilisés afin d'observer les tensions et puissances à chacune des barres et ceci à l'aide de simulations permettant d'en comparer les résultats avec les tensions et puissances obtenues en temps réel lorsqu'il y a des changements ou des ajustements dans le réseau (perte de lignes, changement brusque de charges, etc.). Ils sont donc utilisés pour voir la réaction d'un réseau électrique lorsque celui-ci est en régime stable et permanent.

Ceci permettra alors de prévoir comment gérer des situations où les conditions dans celui-ci changent.

Cette étude de réseau aide les ingénieurs à prévoir comment celui-ci réagira vis-à-vis différentes situations qu'ils pourraient affronter. Pour ce faire, il faut utiliser différents outils mathématiques permettant de calculer l'écoulement de puissance, et ce, dans toutes les situations possibles. ^[11]

I.8.4 Classification des nœuds (jeux de barre) :

Dans le réseau électrique, les jeux de barres sont caractérisés par un ensemble de quatre variables; les puissances active (P) et réactive (Q), la tension V et son angle de phase (δ) généralement, deux sont connues et les deux autres sont à déterminer. ^[12]

Les jeux de barres du système sont classés en trois catégories.

I.8.4.1 Nœud Reference (slack bus):

Ce jeu de barre connu aussi par le jeu de barre balancier (Slack bus), est connecté à une source de tension considérée constante, et sans angle de phase est pris comme référence de calcul. Ses puissance active et réactive, doivent être calculées d'après le calcul de la puissance pour s'adapter aux exigences de jeu de barre de contrôle. ^[13]

I.8.4.2 Nœud de charge (Load bus) :

C'est un jeu de barres où uniquement une ou plusieurs charges sont connectées. Dans ce jeu de barres les puissances active (P) et réactive (Q) sont les deux variables connues, les valeurs à calculer sont le module V et la phase (θ) de la tension. ^[12]

I.8.4.3 Nœud de générateur :

Ils sont appelés les PV bus, où le module de tension et la puissance active sont spécifiés. Les valeurs inconnues sont l'argument de tension et la puissance réactive. ^[14]

Tableau I.2 : Les types de nœuds des réseaux électriciens.

Type de nœud	Variables Connues	Variables inconnues
Nœud Référence (slack bus)	$ V , \theta$	P, Q
Nœud de charge	P, Q	$ V , \theta$
Nœud de Générateur (Contrôle)	$P, V $	Q, θ

I.8.5 Modélisation des éléments du réseau électrique :

Vu la complexité d'un réseau d'énergie électrique, il faut simplifier leur représentation pour établir des modèles ou schéma équivalent des principaux composants à savoir : des générateurs, des différents types de transformateurs, des lignes et des charges. ^[15]

I.8.5.1 Les générateurs :

Le générateur est considéré comme le cœur du réseau électrique. Il assure la production de l'énergie électrique demandée par le consommateur. Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, le générateur est modélisé comme une source de tension constante V qui injecte de la puissance active (P) et réactive (Q), (Figure I.6). ^[15]



Figure I.7 : Modèle d'un générateur utilisé dans l'étude de l'écoulement de puissance

I.8.5.2 Modélisation des charges :

Les charges représentent les consommateurs connectés au réseau. La consommation d'énergie électrique est le fait de tous les secteurs de la vie économique : industries, services, ménage,..., etc. Elle se présente sous des formes diverses : moteurs, appareils de chauffage et éclairage,..., etc. Au contraire des générateurs, c'est l'agrégat de consommation en un nœud du réseau qui constitue la 'charge' caractérisant ce nœud. Les charges sont en général modélisées comme étant dépendantes de la tension. ^[16]

Une charge est modélisée par une impédance qui consomme une puissance active constante P_i et une puissance réactive constante Q_i voir la figure(I.7). ^[17]

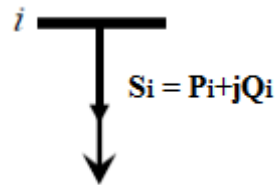


Figure I.8: Modèle d'une charge

I.8.5.3 Lignes de transmission

Si nous désirons étudier le comportement d'une ligne de longueur l , il faudra multiplier les paramètres de cette ligne la résistance (R), réactance inductive (X_L) et réactance capacitive (X_C) par unité de longueur de la ligne. Par sa longueur totale (L). Cependant, nous verrons que ce n'est pas toujours le cas. Connaissant les paramètres d'une ligne ainsi que sa longueur, Les pertes longitudinales totales par effet joule dans l'ensemble des conducteurs de la ligne sont représentée par la résistance(R); L'énergie magnétique emmagasinée dans l'ensemble de conducteurs de la ligne est représentée par la réactance longitudinale totale X . ^[18]

La ligne de transmission de l'énergie électrique située entre les nœuds i et j est généralement représentée par le schéma équivalent par phase de type (π) comme indiqué sur la figure (I.8) ^[19]

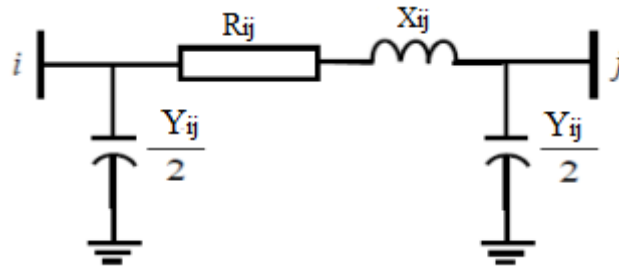


Figure I.9 : Modèles en π des lignes

Impédance série par phase $Z = R + jX$

I.8.5.4 Eléments shunts :

Dans la plupart des cas, des éléments shunt (batteries de condensateurs ou réactances) sont insérés dans le réseau électrique pour fournir ou absorber de la puissance réactive afin d'obtenir un meilleur profil de tension. ^[20]

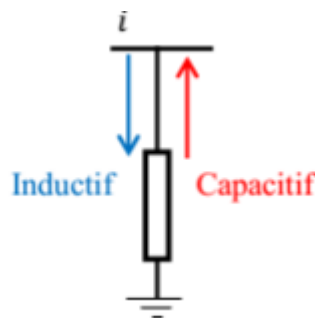


Figure I.10: Modèle de l'élément shunt

I.8.6 Analyse de l'écoulement 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. 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. ^[19]

Toutes les grandeurs sont exprimées en valeur relative (système per unit ou pu) Pour un réseau électrique de n jeux de barres.

I.8.6.1 Système d'unité relative PU (PER UNIT) :

Les calculs en électrotechnique peuvent être simplifiés en utilisant le système d'unité relative (système per-unit PU). Dans ce système, les quantités (tension, courant, impédance, puissance) sont exprimées en fonction des valeurs de base choisies.

Pour utiliser le système d'unité relative, on commence par choisir des valeurs de bases pour deux quantités. Dans la plupart des cas, on choisit une tension V_{base} et une puissance apparente de base S_{base} et les autres valeurs de base sont déduites à partir de ces deux valeurs.

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{V_{base}} \quad (I.10)$$

$$Z_{base} = \frac{V_{base}}{I_{base}} \quad (I.11)$$

Les variables dans le système électrique considéré seront exprimées comme des fractions sans unité des valeurs de bases $\text{valeur en PU} = \frac{\text{valeur réelle}}{\text{valeur base}}$ (I.12) Ainsi, les calculs peuvent être effectués en PU. [21]

Donc :

Courant per-unit :

$$I_{pu} = \frac{I_{réelles}}{I_{base}} \quad (I.13)$$

Tension per-unit :

$$V_{pu} = \frac{V_{réelles}}{V_{base}} \quad (I.14)$$

Impédance per-unit :

$$Z_{pu} = \frac{Z_{réelles}}{Z_{base}} \quad (I.15)$$

I.8.6.2 Formulation de la matrice admittance :

La première étape pour traiter un problème de l'écoulement de puissance est la formulation de la matrice admittance Y_{bus} , Y_{bus} est une matrice $n \times n$ (n est le nombre de nœuds du réseau) obtenue à partir des admittances des éléments des circuits équivalents constituant le réseau. [19]

Y_{ii} : L'élément diagonal ii de la matrice admittance. C'est la somme de tous les composants connectés au jeu de barres.

Y_{ij} : L'élément non diagonal ij de la matrice. C'est la somme négative des admittances de tous les composants connectés entre les jeux de barres i et j .

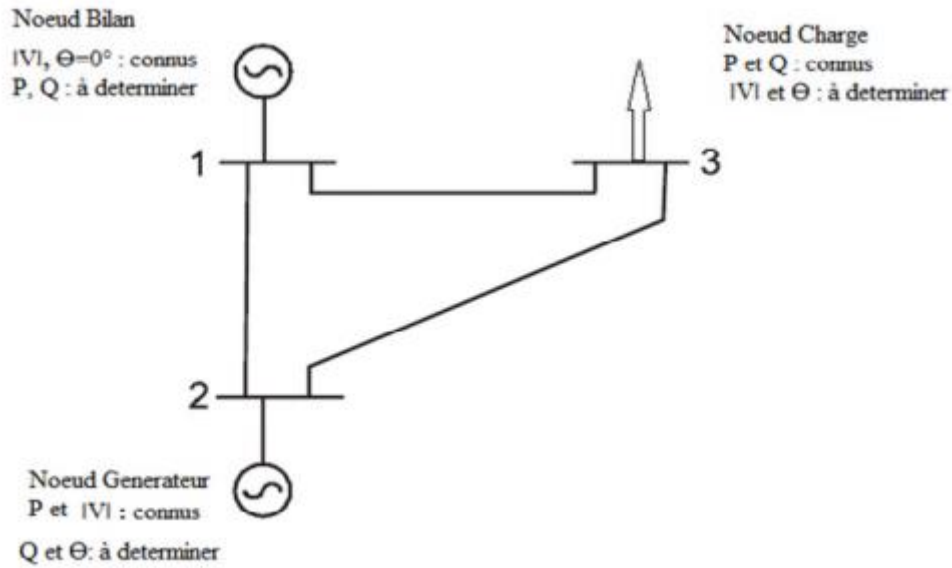


Figure I.11 : Réseau électrique avec trois nœuds

Tout d'abord, pour calculer la matrice admittance Y_{bus} , il faut calculer admittance des lignes y_{ij} dans le réseau électrique, avec la relation suivante.

$$y_{ij} = y_{ji} = \frac{1}{z_{ij}}, \quad i \neq j \quad (I.16)$$

Après cela, nous comptons la matrice admittance Y_{bus} (Y_{ii} et Y_{ij}) avec les deux relations suivantes :

$$Y_{ii} = \sum_{i=1}^n y_{ij} \quad (I.17)$$

Et

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij}, \quad i \neq j \quad (I.18)$$

Ainsi, la matrice d'acceptation pour trois nœuds est écrite dans la figure suivante :

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \quad (I.19)$$

La matrice d'acceptation, qui traite d'un système à trois nœuds, peut être généralisée au système à n nœuds:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad (I.20)$$

L'équation décrivant les relations entre courants et tensions aux jeux de barres est donné par :

$$V = Z * I \quad (I.21) \Rightarrow \quad I = \frac{V}{Z} \quad (I.22)$$

et

$$Z = \frac{1}{y} \quad (I.23)$$

Donc en remplaçant (1.23) dans (1.22)

$$I = V * y \quad (I.24)$$

L'application des lois de KIRCHHOFF sur le système donne : Au niveau jeux de barres (1)

$$I_1 = I_{11} + I_{12} + I_{13} \quad (I.25)$$

$$I_1 = V_1 y_{11} + (V_1 - V_2) y_{12} + (V_1 - V_3) y_{13} \quad (I.26)$$

$$I_1 = V_1 (y_{11} + y_{12} + y_{13}) - V_2 y_{12} - V_3 y_{13} \quad (I.27)$$

En posant :

$$Y_{11} = y_{11} + y_{12} + y_{13} \quad (I.28)$$

$$Y_{12} = -y_{12} \quad (I.29)$$

$$Y_{13} = -y_{13} \quad (I.30)$$

On aura l'expression du courant ci-dessous:

$$I_1 = V_1 Y_{11} + V_2 Y_{12} + V_3 Y_{13} \quad (I.31)$$

De la même manière, on trouve les équations des courants nodaux pour les autres nœuds

« n nœuds » avec la relation suivante :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad i = 1.2 \dots n \quad (I.32)$$

La matrice admittance est donc :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (\text{I.33})$$

I.8.6.3 Méthodes itératives d'écoulement de puissance :

La résolution du problème de l'écoulement de puissance est basée sur un processus itératif. On utilise des valeurs estimées des tensions des jeux de barres pour calculer un ensemble de nouvelles valeurs, qui sont en fonctions des valeurs estimées des tentions, des puissances actives et réactives spécifiées.

Chaque fois qu'un ensemble des valeurs de tensions est obtenue, le nombre d'itérations augmente d'une unité. Depuis longtemps plusieurs méthodes ont été proposées par différents chercheurs pour la résolution des systèmes d'équations modélisant le fonctionnement en régime permanent du Système électrique. Pour calculer les tensions des jeux de barres des réseaux électriques on utilise l'une des méthodes suivantes : ^{[22] [23]}

- La méthode de Gauss-Seidel.
- La méthode de Newton Raphson.
- Méthode DECOUPLEE

a. Méthode de Gauss-Seidel :

La méthode de GAUSS-SEIDEL est l'une de plus simples méthodes itératives utilisées pour la résolution du problème de l'écoulement de puissance. ^[18]

Cette méthode consiste à enlever séquentiellement chaque nœud et actualiser sa tension en fonction des valeurs disponibles de toutes les tensions des autres nœuds. Pour le cas de l'étude de l'écoulement de puissance, les solutions recherchées sont déduites de la résolution de l'équation nodale suivante :

$$S_i^* = I_i V_i^* = P_i - jQ_i \quad (\text{I.34})$$

Donc

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (I.35)$$

En faisant intervenir les éléments de la matrice admittance on aura :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (I.36)$$

Elimination de I_i de l'équation (I.36) donne :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = Y_{i1} V_1 + Y_{i2} V_2 + \dots + Y_{in} V_n \quad (I.37)$$

En général, on calcule le vecteur V qui satisfait le système non linéaire et qui est donné par

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n Y_{ij} * V_j \right] \quad (I.38)$$

Et finalement l'équation (I.38) s'écrira suivante :

$$V_i^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{p_i - jQ_i}{V_i^{*(k)}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} * V_j^{(k)} - \sum_{j=i+1}^n Y_{ij} * V_j^{(k+1)} \right] \quad (I.39)$$

Le processus itératif est obtenu quand l'expression suivante est satisfaite.

$$\max = \left| V_i^{(k+1)} - V_i^{(k)} \right| \leq \varepsilon \quad (I.40)$$

a.1 Calcul d'écoulement de puissance dans type de jeu de Barres :

Puisque les nœuds sont classés, chaque type de nœuds comporte deux paramètres connus et deux inconnus qu'il faut déterminer.

➤ Dans les nœuds référence (Slack bus)

Dans ce nœud, il est calculé la puissance active (P) et la puissance réactive (Q) par l'équation suivant :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = Y_{i1} V_1 + Y_{i2} V_2 + \dots + Y_{in} V_n \quad (I.41)$$

$$P_i - jQ_i = V_i^* (Y_{i1} V_1 + Y_{i2} V_2 + \dots + Y_{in} V_n) \quad (I.42)$$

➤ **Dans les nœuds charge (PQ)**

Déterminer la tension complexe (l'amplitude $|V|$ et la phase (θ) du nœud i par l'équation suivant :

$$V_i^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^{*(k)}} - \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n Y_{ij} * V_j^{(k)} \right] \quad (\text{I.43})$$

$$\theta = \tan^{-1} = \frac{Q}{P} \quad (\text{I.44})$$

➤ **Dans les nœuds générateurs (PV)**

Si le nœud est un nœud de génération, la puissance réelle et l'amplitude de tension sont connus, et il reste à déterminer la puissance réactive et la phase de tension au début de chaque itération. [3]

Pour le générateur du nœud i , on a:

$$P_i - jQ_i = V_i^* (Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n) \quad (\text{I.45})$$

D'où, on tire

$$P_i - jQ_i = V_i^{*(k)} (Y_{i1}V_1^{(k)} + Y_{i2}V_2^{(k)} + \dots + Y_{in}^{(k)}V_n^{(k)}) \quad (\text{I.46})$$

En prenant la partie imaginaire de l'équation (I.34), on obtient la puissance réactive du nœud de génération :

$$Q_i = - \text{imaginaire} \left[V_i^{*(k)} (Y_{i1}V_1^{(k)} + Y_{i2}V_2^{(k)} + \dots + Y_{in}^{(k)}V_n^{(k)}) \right] \quad (\text{I.47})$$

b. Méthode de Newton-Raphson :

Le problème d'écoulement de puissance peut également être résolu en utilisant Newton Méthode Raphson.

De la relation précédente du courant nodal (I.48)

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_j \quad i = 1.2 \dots n \quad (\text{I.48})$$

On a

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| [\theta_{ij} + \delta_j] \quad (\text{I.49})$$

La puissance complexe à bus i est

$$P_i - jQ_i = I_i V_i^* \quad (I.50)$$

Remplacement de (I.39) à-il dans (I.40)

$$P_i - jQ_i = |V_i| \left[-\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} + \delta_j) \right] \quad (I.51)$$

En séparant la partie réelle et la partie imaginaire de l'équation (I.51) on aura les équations (I.52) et (I.53) des puissances actives et réactives au jeu de barres i

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i = 1.2 \dots n \quad (I.52)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i = 1.2 \dots n \quad (I.53)$$

Après développement de P_i et Q_i en série de TAYLOR autour de la première approximation

$$\begin{cases} P_i = P_i^{(0)} + \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta\delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta\delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta|V_2|^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \Delta|V_n|^{(0)} \\ Q_i = Q_i^{(0)} + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta\delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta\delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta|V_2|^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \Delta|V_n|^{(0)} \end{cases} \quad (I.54)$$

A partir de la relation de :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (I.55)$$

Avec

$$\begin{cases} \Delta P_i^{(0)} = P_i - P_i^{(0)} \\ \Delta Q_i^{(0)} = Q_i - Q_i^{(0)} \end{cases} \quad (I.56)$$

Les deux systèmes d'équation (I.54) et (I.56) donnent :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_2}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_2}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_n}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_n}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \\ \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(0)} \\ \Delta |V_2|^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta |V_n|^{(0)} \end{bmatrix} \quad (\text{I.57})$$

Donc on peut écrire le système comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}] \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta |V|^{(0)} \end{bmatrix} \quad (\text{I.58})$$

Donc :

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta |V|^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} \quad (\text{I.59})$$

On rappelle que :

$$\Delta \delta_i^{(k)} = \delta_i^{(k+1)} - \delta_i^{(k)} \quad (\text{I.60})$$

$$\Delta |V_i^{(k)}| = |V_i|^{(k+1)} - |V_i|^{(k)} \quad (\text{I.61})$$

L'adaptation (I.49) avec (I.50) et (I.51) donne :

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V_i|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_i^{(k)} \\ |V_i|^{(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(k)} \\ \Delta |V_i^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (\text{I.62})$$

En remplaçant l'équation (I.49) dans l'équation (I.52), on obtient :

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V_i|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_i^{(k)} \\ |V_i|^{(k)} \end{bmatrix} + [J^{(k)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \quad (\text{I.63})$$

Enfin on obtient :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (\text{I.64})$$

Avec

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (\text{I.65})$$

J_1, J_2, J_3 et J_4 Sont les sous-matrices de Jacobéenne

Détermination des sous-matrices de Jacobéenne J_i à partir des équations (I.52) et (I.53) on peut déterminer les éléments de J.

Sous matrice J_1

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \quad (\text{I.66})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i = j \quad (\text{I.67})$$

Sous matrice J_2

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \quad (\text{I.68})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij}) \quad i = j \quad (\text{I.69})$$

Sous matrice J_3

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \quad (\text{I.70})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i = j \quad (\text{I.71})$$

Sous matrice J_4

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \quad (\text{I.72})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij}) \quad i = j \quad (\text{I.73})$$

b.1 Les étapes de calcul

1. A partir des données du réseau, on prendre la matrice d'admittance Y_{bus}
2. On estime les valeurs initiales $|V_i|^{(0)}$ et $\delta_i^{(0)}$ pour les nœuds de charge et $\delta_i^{(0)}$ pour les nœuds de contrôle.
3. Calcul des puissances actives et réactives (P_i, Q_i) qui nous donne $\Delta P, \Delta Q$
4. Formation de la matrice Jacobéenne J.
5. On trouve l'inverse de Jacobéenne
6. On calcule

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (I.74)$$

7. On obtient

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (I.75)$$

$$|V_i|^{(k+1)} = |V_i|^{(k)} + \Delta|V_i|^{(k)} \quad (I.76)$$

8. - Le processus se répète jusqu'à ce que la tolérance suivante se vérifie

$$\max |\Delta P_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (I.77)$$

$$\max |\Delta Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (I.78)$$

9. On prend les résultats obtenus.

A cause de la convergence quadratique de la méthode de Newton-Raphson, une solution de haute précision peut être obtenue en quelques itérations seulement.

c. Méthode Découplée :

Méthode Découplée est d'exprimer les puissances en fonction des tensions nodales dans les coordonnées polaires Les équations de puissance sont résolus séparément.

D'après plusieurs expériences sur les calculs de la répartition des puissances sil a été observé qu'on découvre que les éléments de J_1 et J_4 sont invariablement beaucoup plus grands que ceux de J_2 et J_3 . Et, en se basant sur les découplés $P\delta$ et QV on peut supposer $J_2 \approx 0$ et $J_3 \approx 0$ ce qui donne le Jacobine découplé, A partir de cela, on peut avoir deux systèmes d'équations linéaires indépendantes pour chaque itération. Ce qui réduit l'expression (I.58).

[24]

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (\text{I.79})$$

Ce système peut être écrit sous la forme suivante :

$$\Delta P = J_1 \Delta \delta \quad (\text{I.80})$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta V \quad (\text{I.81})$$

Les éléments de la matrice J_1 et J_4 sont les mêmes que celles de la méthode de N.R en coordonnées polaires.

Pour chaque itération, on calcule $[\Delta \delta, \Delta V]$ Le processus s'arrêtera pour :

$$\left\| \Delta P^{(k)}, \Delta Q^{(k)}, \right\| \leq \varepsilon \quad (\text{I.82})$$

I.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralisations du réseau électrique et une formulation du problème d'écoulement de puissance dans ces réseaux, où nous nous sommes familiarisés avec les types de réseaux électriques, leurs structures, leurs niveaux de tension, le problème du déséquilibre de tension et comment calculer le taux de déséquilibre.

L'analyse du l'écoulement de puissance et la modélisation simplifiée des éléments du réseau électrique (générateur, ligne de transmission, charge électrique, l'élément shunt) et les classifications des jeux de barres que les méthodes de résolution de ce problème.

Selon ce qui précède, afin d'analyser le réseau électrique, il nous faut calculer l'écoulement de puissance dont le calcul doit passer par la résolution des équations différentielles non linéaires, où le recours aux méthodes numériques est inévitable.

Les méthodes de solution proposé dans ce chapitre sont les méthodes classique itérative (Gauss Seidel, Newton Raphson et découplé).

Les deux méthodes les plus utilisées dans le domaine de l'écoulement de puissance, sont la méthode de Gauss-Seidel et Newton-Raphson.

Chapitre II :
Les autotransformateurs

II.1 Introduction :

Les transformateurs sont des organes vitaux des réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique. Ils sont utilisés pour adapter le niveau de tension aux besoins de l'utilisation. Dans l'industrie les transformateurs sont utilisés dans les postes de distribution où la tension est réduite pour être adaptée au niveau de la tension d'utilisation des entreprises, l'un de ces transformateurs est l'autotransformateur.

Le but de ce deuxième chapitre est étude théorique des autotransformateurs selon les points suivants : (construction et principes de fonctionnement et leurs différents types), et comment régler la tension dans le réseau électrique et les moyens utilisés pour réglage.^[25]

II.2 Définition l'autotransformateur :

Les autotransformateurs sont une sorte de transformateur électrique où primaire et secondaire partagent le même enroulement unique. En d'autres termes, c'est un transformateur à un enroulement, les bobines primaire et secondaire sont connectées électriquement et magnétiquement.

Un autotransformateur est similaire à un transformateur à deux enroulements mais diffère par la manière dont l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire sont interdépendants. Dans un autotransformateur, un seul enroulement est utilisé à la fois comme enroulement primaire et secondaire. Mais dans le transformateur à deux enroulements, deux enroulements différents sont utilisés à des fins primaires et secondaires.

En condition de charge, une partie du courant de charge est obtenue directement à partir de l'alimentation et la partie restante est obtenue par l'action d'un transformateur. Un autotransformateur fonctionne comme un régulateur de tension.

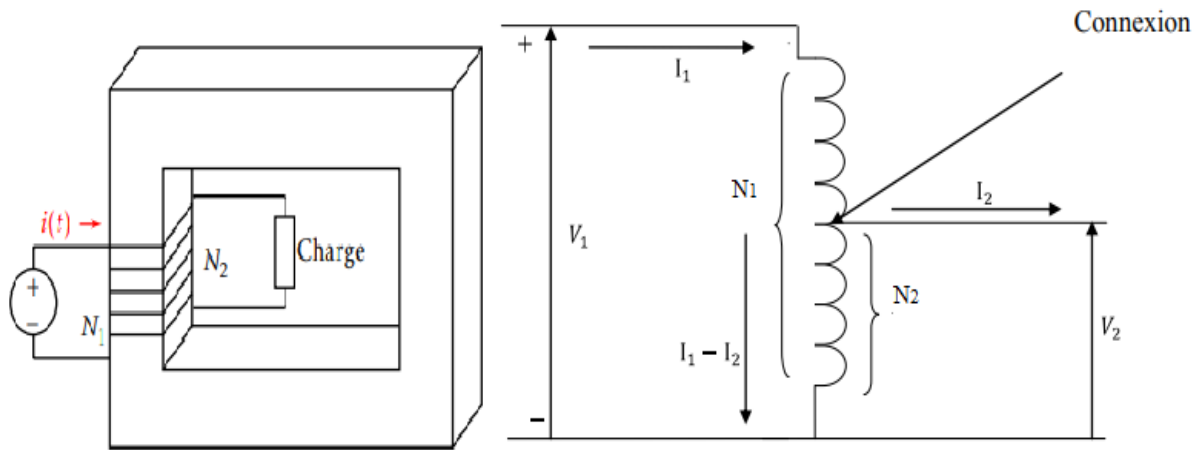


Figure II.1 Autotransformateur

Dans l'autotransformateur, une partie de puissance est transférée par induction et le reste par conduction. Il existe trois types d'autotransformateurs : les autotransformateurs élévateurs, abaisseurs et variables qui peuvent élévateur ou abaisseur la tension. [26]

Le rapport de transformation de l'autotransformateur est donné par la relation suivante :

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (\text{II.1})$$

II.3 Construction de l'autotransformateur :

Un autotransformateur se compose de :

➤ **Circuit Magnétique**

De forme toroïdale, en bande, à grains orientés, assurant de faibles pertes et réduisant les courants magnétisants. [27]

➤ **Bobinage**

Isolé du circuit magnétique par une résine surmoulée, il est constitué d'une seule couche, soigneusement rectifiée pour permettre un bon déplacement du balai sur une surface lisse. [27]

➤ Balais

Constitués en carbone facilement remplaçables en cas d'usure, dont la résistance est spécialement calculée pour limiter les courants de circulation dans les spires croisées. Il est indispensable de remplacer tout balai usé par un balai adéquat. Ceux-ci sont montés sur un support robuste et isolé afin que le bobinage ne soit pas en contact avec la partie métallique en cas de cassure du balai. .^[27]

➤ Châssis

L'ensemble circuit magnétique, bobinage et balais est monté sur un châssis en aluminium robuste et léger. Les trous de fixation à la base permettent l'interchangeabilité avec d'autres alternative du marché.^[27]

II.4 Types d'autotransformateurs :

Il existe trois types généraux d'autotransformateurs classés en fonction de l'utilisation de l'autotransformateur comme suit :

II.4.1 Autotransformateur élévateur :

Dans ce type d'autotransformateur, la tension d'entrée est augmentée jusqu'à la tension souhaitée et la tension de sortie dépendra du rapport de transformation de l'autotransformateur.^[26]

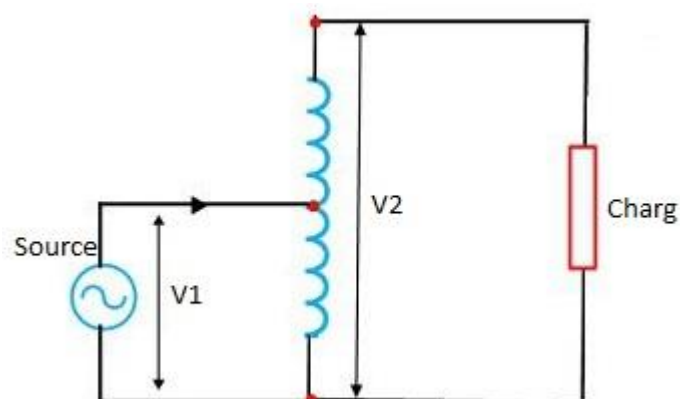


Figure II.2 Autotransformateur élévateur de tension

II.4.2 Autotransformateur abaisseur

La construction est la même pour les autotransformateurs élévateurs et abaisseurs, mais dans cette configuration, la tension primaire est élevée et la tension secondaire est faible, c'est pourquoi on l'appelle transformateur abaisseur.^[26]

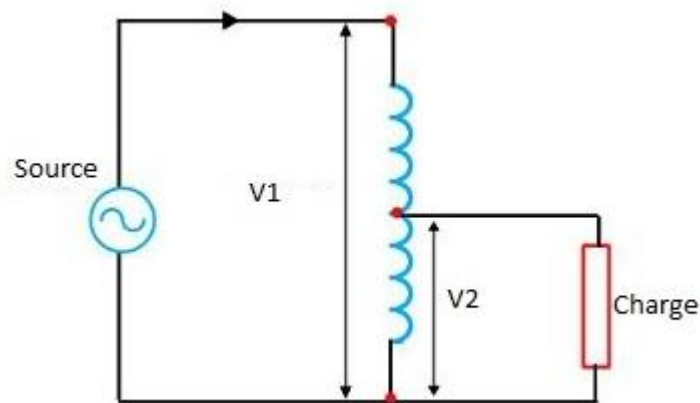


Figure II.3 Autotransformateur abaisseur de tension

II.4.3 L'autotransformateur variable :

Les autotransformateurs à rapport de rotation fixe sont largement utilisés pour de nombreuses applications, mais il est parfois nécessaire d'avoir une capacité de tension de sortie variable. De tels transformateurs sont très utiles car ils peuvent être ajustés à n'importe quelle tension requise en tournant simplement la prise en charge. Ils peuvent être utilisés à la place des autotransformateurs élévateurs et abaisseurs.^[26]



Figure II.4 photo réel d'autotransformateur variable

Ces autotransformateurs variables peuvent être utilisés comme régulateur de tension automatique. Ceci est également connu sous le nom de variac ou de gradateur.

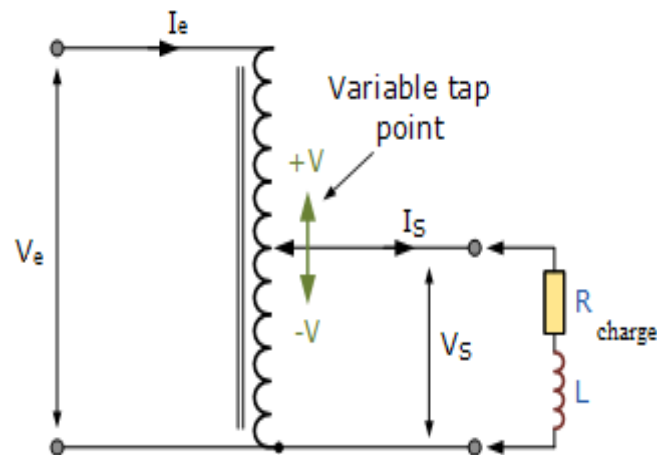


Figure II.5 Autotransformateur variable

II.5 Principe fonctionnement :

Le principe de fonctionnement de l'autotransformateur est similaire à celui des transformateurs conventionnels à deux enroulements.

Le schéma de circuit d'un autotransformateur est illustré à la figure (II.2), Lorsque l'alimentation AC monophasée est connectée entre les bornes A et D et que la sortie provient des bornes C et E, cet autotransformateur fonctionnera comme un transformateur abaisseur.

Parce que le nombre de tours dans l'enroulement entre les bornes A et D (c'est-à-dire l'enroulement primaire) est supérieur au nombre de tours dans l'enroulement entre les bornes C et E (c'est-à-dire l'enroulement secondaire).

D'autre part, lorsque l'alimentation AC monophasée est connectée entre les bornes B et D et que la sortie provient des bornes C et E, le même autotransformateur fonctionnera comme un transformateur élévateur.

Parce que le nombre de tours dans l'enroulement entre les bornes B et D (c'est-à-dire l'enroulement primaire) est inférieur au nombre de tours dans l'enroulement entre les bornes C et E (c'est-à-dire l'enroulement secondaire). Nous pouvons faire de petites variations de tension de sortie en prenant la sortie de différents enregistrements de l'autotransformateur.^[28]

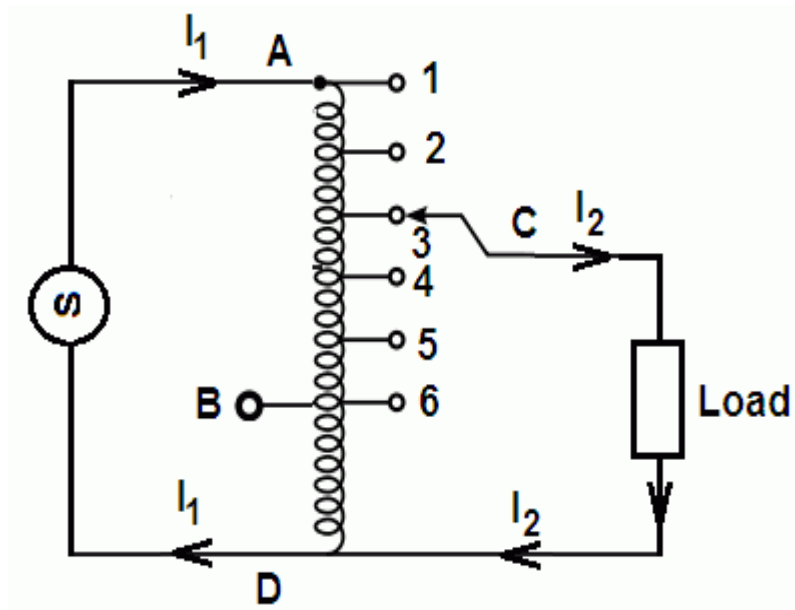


Figure II.6 Principe fonctionnement d'Autotransformateur

II.6 Fonctionnement :

Il existe deux types de Fonctionnements :

II.6.1 Fonctionnement à vide :

Si le autotransformateur ne transforme aucune énergie, on dit qu'il marche à vide le l'enroulement secondaire est en circuit ouvert, ce qui signifie qu'il n'y a pas de charge du côté secondaire du autotransformateur (le courant dans le secondaire est nul dans ce cas). Soit un autotransformateur (Fig. II.7) composé d'un enroulement AB de n_1 spires monté sur un circuit magnétique. L'enroulement est raccordé à une source de tension constante V_1 . Le courant d'excitation crée un flux et, comme dans tout transformateur, ce flux demeure constant tant que V_1 est constant. ^{[29][30]}

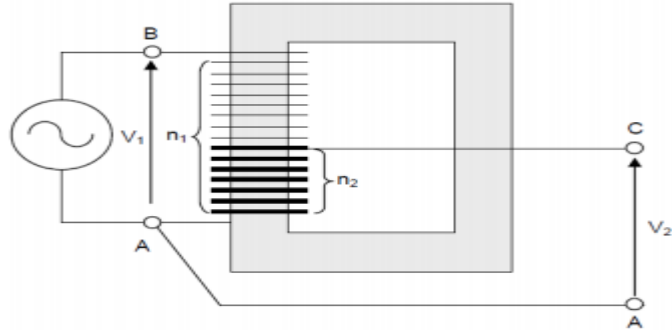


Figure. II.7 : Autotransformateur à vide.

Supposons que l'on sorte une prise C entre les extrémités A et B de l'enroulement, et que n_2 spires soient comprises entre les bornes A et C, comme la tension induite est proportionnelle au nombre de spires, la tension entre ces bornes est :

$$V_1 = N_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad (\text{II.2})$$

$$V_2 = -N_2 \frac{d\varphi}{dt} \quad (\text{II.3})$$

Donc

$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{N_2}{N_1} \quad (\text{II.4})$$

II.6.2 Fonctionnement en charge

En condition de charge, une partie du courant de charge est obtenue directement à partir de l'alimentation et la partie restante est obtenue par l'action d'un transformateur.

Si l'on branche une charge entre les bornes A et C, le courant I_2 provoque la circulation d'un courant I_1 au primaire (Figure II.8). ^{[29][31]}

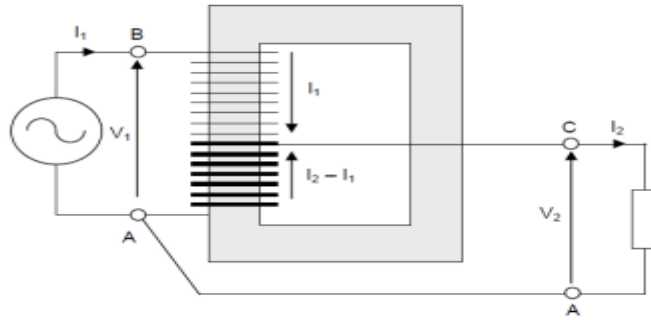


Figure II.8 : Autotransformateur en charge

II.7 Détermination des paramètres de l'autotransformateur :

II.7.1 Les paramètres techniques :

- **Puissance nominale**

C'est la valeur conventionnelle de la puissance apparente, elle peut être utilisée lors de fonctionnement du transformateur en régime normal, elle s'exprime en (KVA) ou (MVA).

La puissance totale de l'autotransformateur est donnée par :

$$S_n = \sqrt{3} U_1 I_1 \text{ (triphase)} \quad (\text{II.5})$$

$$S_n = U_1 I_1 \text{ (mono)} \quad (\text{II.6})$$

La puissance transformée de l'autotransformateur est :

$$S_1 = (U_1 - U_2) * I_1 \quad (\text{MVA}) \quad (\text{II.7})$$

La détermination de la relation qui relie la puissance transformée de l'autotransformateur et la puissance apparente est donnée par la formule suivante :

$$\frac{S_n}{S_1} = \frac{\sqrt{3} U_1 I_1}{(U_1 - U_2) * I_1} \quad (\text{II.8})$$

Donc

$$S_1 = S_n * \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{3} U_1} \quad (\text{II.9})$$

Et la puissance active et réactive d'autotransformateur donner par :

$$P_n = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi \quad (\text{II.10})$$

$$Q_n = \sqrt{3} U_1 I_1 \sin \varphi \quad (\text{II.11})$$

- **Courant dans les lignes :**

De la relation précédente (II.5), nous extrayons le courant

$$I_1 = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_1} [\text{A}] \quad (\text{II.12})$$

II.8 Installation autotransformateur :

L'autotransformateur peut être installé dans le réseau monophasé ou triphasé

II.8.1 Autotransformateur monophasé :

L'autotransformateur monophasé est un transformateur composé d'un enroulement unique monté sur un circuit magnétique. Contrairement aux transformateurs d'isolement. Toutefois, ils représentent une solution moins onéreuse que les transformateurs d'isolement si l'application est simplement un changement de tension.^[32]

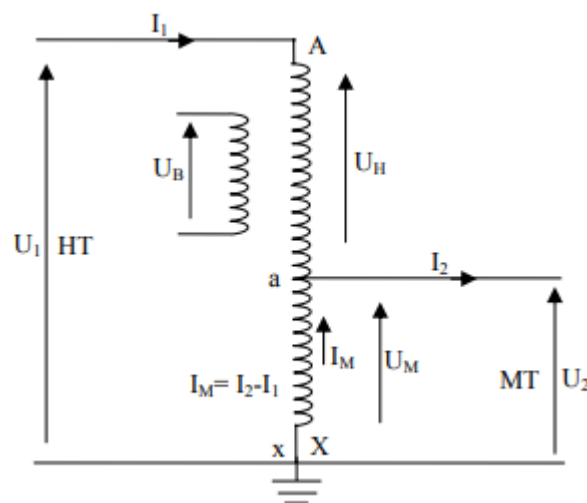


Figure II.9 : Schéma Autotransformateur monophasé

II.8.1.1 Symbole de l'autotransformateur monophasé :

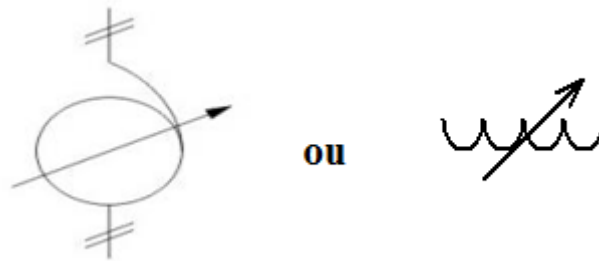


Figure II.10 : Symbole Autotransformateur monophasé à réglage progressif de la tension

II.8.2 Autotransformateur triphasé :

L'autotransformateur triphasé est un transformateur ne disposant que d'un seul enroulement par phase, le secondaire étant une partie de l'enroulement primaire. Les autotransformateurs sont utilisés pour adapter précisément la valeur de la tension nominale.

Une des caractéristiques de cette gamme est une augmentation importante du rendement mais aussi du courant en court-circuit.^[32]

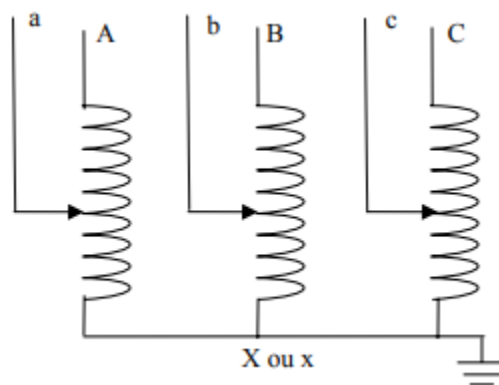


Figure II.11 : Schéma Autotransformateur triphasé

II.8.2.1 Symbole de l'autotransformateur triphasé :

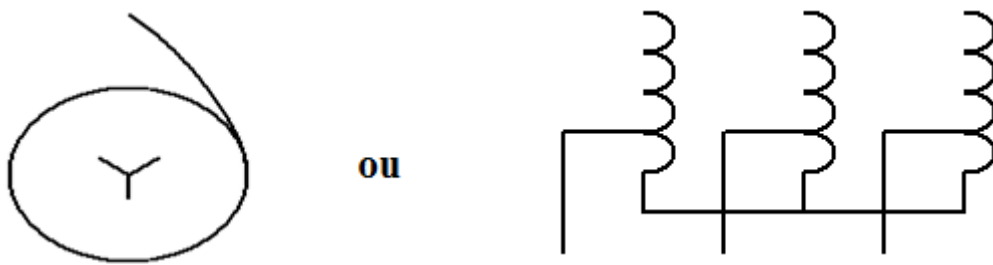


Figure II.12 : Symbole Autotransformateur triphasé

II.8.2.2 Les différents types de connexions d'autotransformateur triphasé :

L'autotransformateur triphasé peut être raccordé au réseau électrique sous deux formes de couplage, en étoile ou en triangle côté primaire et côté secondaire.

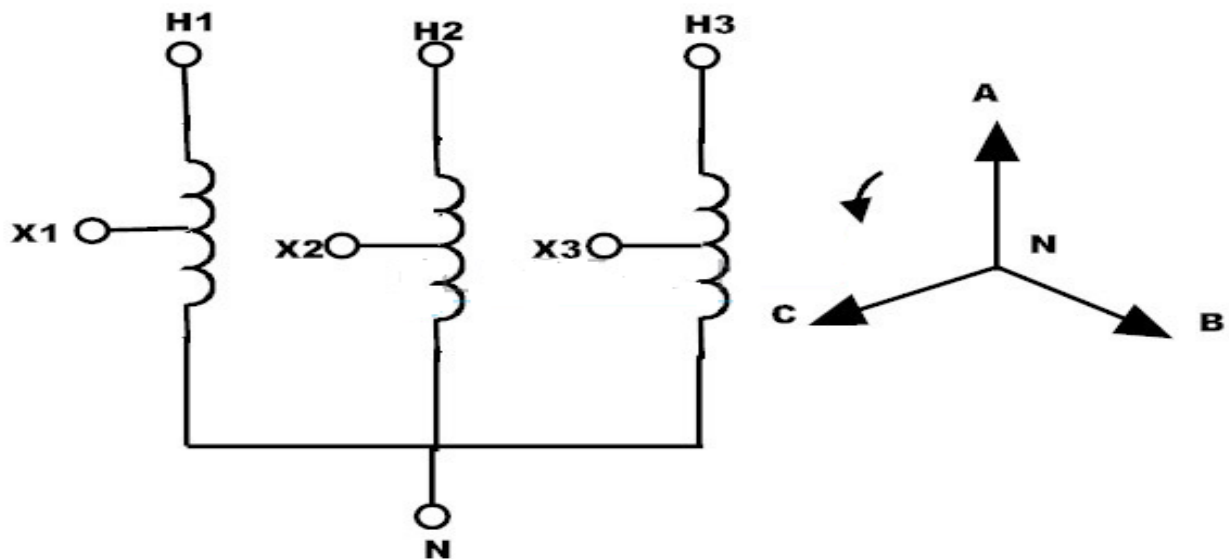


Figure II.13 : couplage étoile (Y) de l'autotransformateur triphasé

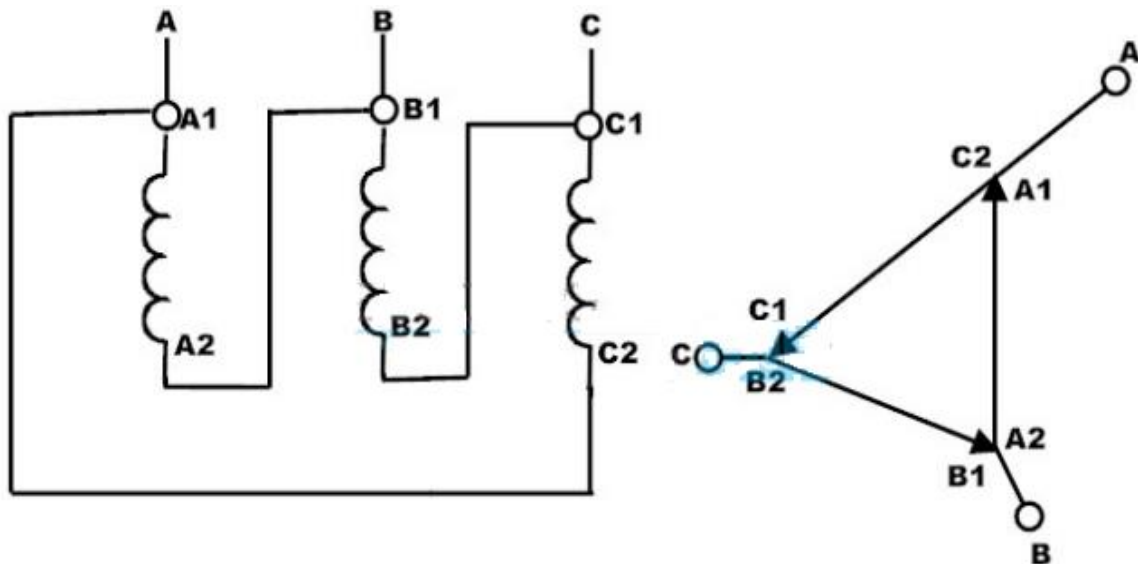


Figure II.14 : couplage triangulaire (Δ) d'un autotransformateur triphasé.

II.9 Domaine d'utilisation :

- Il est utilisé dans les moteurs synchrones et à induction dans le cadre du démarrage.
- Il est utilisé dans les laboratoires d'essais d'appareils électriques
- Il est utilisé comme booster dans les alimentations AC pour augmenter le niveau de tension souhaité.
- Utilisé pour le démarrage des moteurs à cage d'écureuil et des moteurs à induction à bagues collectrices.
- Pour l'interconnexion de systèmes fonctionnant avec des tensions de seuil.
- Comme boosters pour augmenter les tensions entrantes
- Il est utilisé de régulateur de tension (Survoltage ou dévoltage des équipements Électriques et électroniques). ^[26]

II.10 Les avantages et les inconvénients des autotransformateurs :

Les avantages :

- Les pertes sont diminuées pour une capacité KVA donnée.
- Gain de taille et de poids.
- La taille est très petite.
- La régulation de tension est bien meilleure.

- Le coût est faible.
- Le courant d'excitation requis est faible.
- Pour la conception de l'autotransformateur, le cuivre est utilisé avec moins d'exigences.

Dans les transformateurs conventionnels, la tension d'élévation et d'abaissement est fixe tandis que la sortie du transformateur automatique varie selon les besoins. ^[26]

Les inconvénients :

Des niveaux de protection plus élevés pour l'équipement et pour les êtres humains sont nécessaires en raison des courants de court-circuit plus élevés et en raison de la faible impédance série de l'autotransformateur qui endommage à la fois l'équipement et constitue une menace pour les êtres humains.

- Si un enroulement de l'autotransformateur court-circuité, les tensions de sortie passeront à des tensions plus élevées que la tension de fonctionnement, causant des dommages très importants.

Il se compose d'un seul enroulement autour du noyau de fer qui développe un changement de tension d'un bout à l'autre. Il n'y a pas d'isolement des tensions basses et hautes ni à l'entrée ni à la sortie du transformateur. Ainsi, tout bruit ou tension se rapportant d'un côté se reflétera de l'autre côté. Les circuits de filtrage sont donc nécessaires partout où l'autotransformateur est utilisé dans les circuits électroniques. ^[26]

II.11 Réglage de tension dans réseau électrique :

La tension constitue, avec la fréquence, le principal paramètre de la qualité de l'énergie électrique. Ce paramètre est commun aux différents utilisateurs : clients, distributeurs, producteurs, raccordés sur un même nœud électrique. Le réglage de la tension est une nécessité pour exploiter le réseau en assurant la sûreté, maintenir la tension d'alimentation des clients dans les plages contractuelles, respecter les contraintes de fonctionnement des matériels, minimiser les pertes, utiliser au mieux la capacité des ouvrages de transport.

Pour les clients et les distributeurs, chaque contrat de fourniture définit la tension d'alimentation déclarée et la plage de variation acceptée autour de cette valeur. Ces deux

termes, qui conditionnent le dimensionnement des appareils récepteurs des clients, doivent être, à tout moment, respectés :

- des tensions trop hautes entraînent le vieillissement ou la destruction des matériels raccordés;
- des tensions trop basses provoquent des surcharges dans les lignes, perturbent le bon fonctionnement de certaines protections, affectent la tenue des auxiliaires des installations de production ... Sur les réseaux, le réglage de la tension est assuré par les régleurs des tension automatiques.^[30]

La régulation de la tension dans le réseau électrique se produit lorsque ces problèmes sont rencontrés (qualité de la tension, dégradation de la qualité de la tension, Bosses de tension, chute de tension, déséquilibre de tension ... etc.) et dans le premier chapitre nous avons donné une définition détaillée du déséquilibre de tension.

II.12 Modes de réglage :

Un réseau électrique doit en permanence régler sa tension pour satisfaire, en temps réel, à l'adéquation : " la charge égale à la production " selon des critères de qualité satisfaisants. Le réglage de la tension reste, dans certaine mesure, un contrôle relativement local. Le réglage de la tension dans des limites données, relève d'un problème de qualité et plus profondément d'un problème de stabilité. Régler la tension est donc un problème majeur de la gestion des réseaux, Ce réglage est réalisé par un système hiérarchisé qui se compose de trois niveaux distincts.^[33]

II.12.1 Le réglage primaire de tension (RPT):

Le réglage primaire de tension est assuré par les groupes de production équipés d'un régulateur primaire de tension. Grâce à ce régulateur les alternateurs fixent la tension à une valeur de consigne sur leur point de raccordement. Le principe est d'agir sur l'excitation d'alternateur pour garder le niveau de tension désiré. En effet, si l'alternateur est surexcité celui-ci va produire de la puissance réactive ce qui aura pour effet d'accroître la tension à son point de connexion. Inversement, dans le cas d'une sous excitation de l'alternateur celui-ci va absorber de la puissance réactive et donc faire diminuer la tension à ses bornes. Ceci est réalisable dans les limites propres de chaque alternateur.^[34]

II.12.2 Le réglage secondaire de tension (RST) :

Le réglage secondaire de la tension a pour but de faire face, de manière coordonnée, à de forte mais lentes fluctuations de la tension à l'échelle régionale, Ce que le réglage primaire ne peut assurer seul. Le RST est automatisé et centralisé par régions dites zones de réglages. Ces zones de réglages doivent être indépendantes du point de vue de la tension. Cela signifie que chaque zone est en théorie insensible à toute variation de tension pouvant survenir dans une zone voisine. Il a pour objet de limiter les transits de puissance réactive sur les lignes d'interconnexion et de maintenir la tension en certains nœuds représentatifs de la tension de chaque zone à sa valeur de consigne. Ces nœuds spécifiques sont appelés nœuds pilotes (il y en a un par zone de réglage).

Le principe du RST est de réguler la tension en ce point pilote du réseau en agissant sur les productions de puissance réactive des groupes participants au réglage. Les mesures de tension sont fournies au RST qui calcule de nouvelles consignes de tension pour les groupes réglant dans le but de fixer la tension au point pilote.^[8]

II.12.3 Le réglage tertiaire de tension (RTT) :

C'est un réglage manuel, Ce réglage est effectué par les opérateurs de dispatching régional et comprend le calcul des tensions aux points pilotes. De chaque zone de réglage selon des critères technico-économiques dont les principaux sont les suivants:

- Exploiter le réseau en assurant au mieux sa sûreté;
- Respecter les contraintes de fonctionnement des matériels;
- Minimiser les pertes et les coûts de production;
- Utiliser au mieux la capacité des ouvrages de transport.

Il a pour but d'assurer une bonne tenue globale du plan de tension, et d'éviter des situations engendrant des surcouts ou des risques pour le système électrique. Les consignes de tension des nœuds pilotes sont calculées par un écoulement de puissance optimal, Ouen tenant compte des critères précédemment cités.^{[8][34]}

II.13 Moyens de réglage de la tension dans un réseau de distribution :

En général le réseau de distribution est structuré en plusieurs niveaux, assurant des fonctions spécifiques propres, et caractérisés par des tensions adaptées à ces fonctions donc là il existe de nombreuses techniques et moyens pour réglage la tension.

II.13.1 Compensation de puissance réactive au poste source :

En général, l'écart de tension entre deux extrémités d'une ligne est lié au transit de la puissance réactive consommée par la charge. Pour obtenir une tension identique (ou proche) aux deux bouts de la ligne, il faut donc pouvoir produire localement de la puissance réactive.

Les réseaux ont différentes manières de compenser l'énergie réactive dans les stations sources. Il permet de réduire la puissance de transit réactive sur les transformateurs et empêche ainsi le plan de tension de se dégrader inutilement.^[33]

II.13.2 Le réglage de la charge :

Pour le réseau de distribution, des autotransformateurs régulateurs en charge assurent le maintien de la tension secondaire à sa valeur de consigne. En cas de chute de tension sur le réseau de distribution (primaire), l'autotransformateur réduira son rapport de transformation et maintiendra la tension de distribution (secondaire) à sa valeur de consigne. Ainsi à charge constante, le retour à la consigne correspond au retour à la puissance initialement fournie.^[35]

II.14 Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de présenter des généralités sur les autotransformateurs tels que les principaux types d'autotransformateurs, leurs régimes de fonctionnement et comment Réglage de tension dans réseau électrique.

Pour garantir la stabilité du réseau et la sécurité des matériels, la tension doit être maintenue dans des limites fixées par les règles d'exploitation des réseaux électriques.

Ces limites sont définies dans chaque pays selon le type de réseau en fonction de son niveau de tension, pour assurer cette préservation, nous utilisons l'autotransformateur, qui est considéré comme un régulateur de tension dans le réseau électrique basse tension.

Chapitre III

Simulation de réseau électrique BT

III.1 Introduction :

Le travail présenté dans ce chapitre s'articule autour du réglage du déséquilibre de tension dans le réseau électrique basse tension à l'aide de l'autotransformateur.

Pour faire ce travail , Nous effectuons plusieurs tests de simulation à l'aide du programme Open DSS sur le réseau électrique algérien Véritable BTA fourni par SDO DD Ain Defla, de type rural avec poste sur poteau, un départ BT et des branchements individuels Il est composé de 126 nœuds et de 67 charges dans 16 charges triphasées et 51 charges monophasées, avec et sans autotransformateur. ^[33]

III.2 Définition Open DSS :

Open DSS (Open DSS ou simplement DSS) est un simulateur de système de distribution d'énergie électrique open source de l'Electric Power Recherche Institut (EPRI) c'est un solveur d'écoulement de puissance d'analyse de système de distribution triphasé qui peut gérer des phases déséquilibrées. ^[36]

Le programme est conçu pour aider les planificateurs de la distribution à analyser diverses questions liées à l'intégration de la production distribuée et des futures applications de réseau intelligent. ^[36]

Il existe deux implémentations disponibles d'Open DSS, une plate-forme exécutable autonome et une DLL de serveur COM en cours, conçue pour piloter Open DSS à partir d'une variété d'autres plates-formes. La version exécutable se compose d'une interface utilisateur de base sur le moteur de solution DSS pour aider les utilisateurs à développer des scripts et à visualiser des solutions. L'interface utilisateur de base est une interface utilisateur autonome de script de texte qui est suffisante pour la plupart des analyses. L'interface COM peut être utilisée pour concevoir et exécuter des modes de solution personnalisés et des fonctionnalités du simulateur à partir de n'importe quel programme d'analyse tiers comme MATLAB, VBA, Python, etc. Open DSS peut prendre en charge toutes sortes d'analyses en régime permanent couramment effectuées pour les systèmes de distribution de services publics. De plus, l'avantage le plus important d'Open DSS est qu'il prend en charge l'analyse avec l'intégration de la génération distribuée et le flux de puissance des séries chronologiques. Open DSS peut être étendu en intégrant des DLL développées par l'utilisateur au moteur de solution pour répondre aux besoins futurs. ^[37]

III.3 Applications Open DSS

- Open DSS est couramment utilisé pour la modélisation solaire en réseau en raison de ses capacités d'analyse de séries chronologiques à haute résolution.
- Planification et analyse de la distribution.
- Analyse générale des circuits AC multi phases.
- Analyse des interconnexions de production distribuée.
- Simulations annuelles de charge et de génération.
- Simulations d'éoliennes.
- Analyse des configurations de transformateur inhabituelles.
- Analyse des harmoniques et inter harmoniques.
- Simulations de tension neutre-terre.
- Évaluations des pertes avec des charges déséquilibrées.
- Analyse de la réponse en fréquence du transformateur. ^[37]

III.4 Comment programmation sur Open DSS :

➤ Source

La source de tension du circuit est spécifiée en tant qu'élément de conversion de puissance spécial. Il est considéré comme spécial car les sources de tension sont utilisées pour initialiser la solution d'écoulement de puissance et toutes les autres sources d'injection sont mises à zéro, et le format de la source de tension dans Open DSS est décrit comme : ^[37]

New Circuit. base kV=12.47 pu=1.045 angle=0 Bus1=130 R1=0.193 X1=1.79 R0=0.13 X0=1.582

Tableau .III.1 Propriétés de la source de tension

Propriété	Description
Bus	Le bus auquel la source est connectée.
Base KV	Base/ Ligne nominale KV
p.u.	Montant réel par unité à laquelle la source fonctionne
Angle	Angle de base, degrés de la première phase
Frequency	Fréquence de la source
Phases	Nombre de phases de la source
MVASC3/MVASC1	MVA de court-circuit triphasé et monophasé
R1	Résistance de séquence positive de la source en ohms
R0	Résistance homopolaire de la source en ohms
X1	Réactance en séquence positive de la source en ohms
X0	Réactance homopolaire de la source en ohms.

➤ Code de ligne (Line Code)

Les objets Code de ligne sont des objets de bibliothèque généraux qui contiennent des caractéristiques d'impédance pour les lignes et les câbles. Le code de ligne est utilisé pour spécifier les caractéristiques d'impédance symétrique pour les câbles souterrains. L'impédance d'une ligne est décrite par son impédance série et sa matrice d'admittance capacitive nodale. Ces matrices peuvent être spécifiées directement ou elles peuvent être générées en spécifiant les données de composants symétriques. ^[37]

Le format du code de ligne dans Open DSS est décrit comme :

New Linecode.CU17 nphases=4 R1=1.01 X1=0.36 R0=1.16 X0=1.815 C1=0 C0=0 units=m

Tableau .III.2 : Propriétés du code de ligne

Propriété	Description
R1	Résistance de séquence positive en ohms par unité de longueur.
R0	Résistance homopolaire en ohms par unité de longueur.
X1	Réactance en séquence positive en ohms par unité de longueur.
X0	Réactance homopolaire en ohms par unité de longueur
C1	Capacité en séquence positive en nano-farads par unité de longueur
C0	Capacité zéro-séquence en nano-farads par unité de longueur.
Base Freq	Fréquence de base à laquelle les valeurs d'impédance sont spécifiées.

➤ **Charges (Loads and time series):**

La charge est l'élément de conversion de puissance qui est au cœur de toutes les analyses de flux de puissance et de chute de tension. L'objet de charge est généralement déterminé par le KW nominal et son facteur de puissance. Il peut être modifié avec un certain nombre de complications telles que des formulaires de mise en charges annuelles ou quotidiennes.

Les formats de téléchargement sont décrits dans Open DSS comme: ^[38]

New LoadShape.LS_V npts=8784 interval =15 csvfile=".LS_V_101570.csv" ~ useActual=Yes

Ensuite, nous définissons la charge (load) réelle :

New Load.(load name) bus1=noud.1.2.3.0 Phases=3 kv=0.4 kw=0 pf=1 conn=wye

Tableau III.3 Propriétés de la charge

Propriété	Description
Bus	Nom du bus auquel la charge est connectée
Phases	Nombre de phases de la charge.
KV	Tension de base de la charge en KV
KW/KVAR	KW et KVAR nominaux pour la charge.
Pf	Facteur de puissance nominal de la charge
KVA	Définition de la charge de base en KVA.
Conn	Connexion Wye/Delta pour la charge

➤ les lignes (Lines)

Les lignes électriques sont représentées avec des objets Ligne dans le modèle Open DSS. Ces objets sont définis simplement en indiquant la longueur de ligne, le type de conducteur et les connexions de bus. la ligne in est définie dans le script Open DSS comme suit :^[38]

```
New line.114115 bus1=N114.1.2.3.4 bus2=N115.1.2.3.4 length=60 phases=4 units=km linecode=CU17
```

➤ Transformateur

Tous les transformateurs, y compris les transformateurs de sous-station et de distribution, sont représentés avec des objets Transformer dans Open DSS. La définition de l'objet Transformer est un peu plus complexe que celle de l'objet Line. Généralement, on spécifierait le transformateur en entrant le nombre de phases, le nombre d'enroulements, le groupe de vecteurs, les connexions de bus, les VA nominales des enroulements et les tensions primaire et secondaire.^[38]

Le transformateur serait défini dans le fichier transformer.dss comme suit :

```
New Transformer. phases=3 windings=2 buses= (.1.1) conns=(wye,wye) kvs=(7.2,7.2) kvas=(333,333) xhl=0.001
```

```
New autotrans. phases=1 windings=2 buses= (.1.1) kvs=(7.2,7.2) kvas=(333,333)
```

Tableau III.4 : Propriété de transformateur

Propriété	Description
Buses	Définition du bus auquel les enroulements sont connectés
Phases	Nombre de phases
Windings	Nombre d'enroulements
KVA	KVA de base
KV	Tension nominale de l'enroulement
Xhl	Pourcentage de réactance entre le haut et le bas de l'enroulement
Conns	Connexions de ce bobinage Wye/Delta

III.5.1 Résultats de simulation :

Donc les résultats de simulations suivantes :

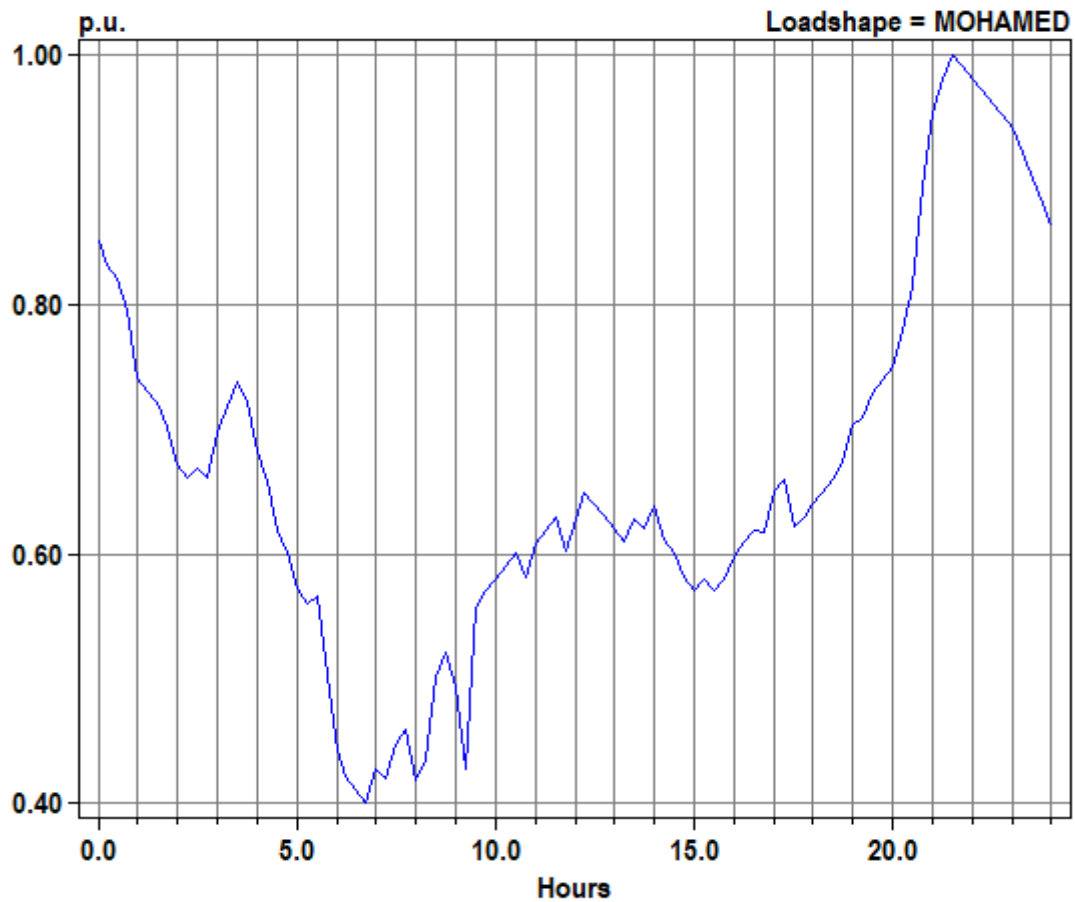


Figure III.2 : Évolution de la charge du réseau au cours du temps (24h)

III.5.1.1 Discussion des résultats :

On observe que l'évolution de la charge en 24 heures se divise en trois intervalles

[21h30 - 07h00] : la charge diminue progressivement jusqu'aux valeurs minimales, on les appelle les heures creuses, autrement dit, la population ne consomme pas beaucoup d'énergie à ces moments-là.

[17h30-21h30] : la charge augmente progressivement jusqu'aux valeurs maximales, on les appelle les heures de pointe, autrement dit, la population consomme beaucoup d'énergie en ces temps.

[06h45-18h00] : la charge est moyenne et presque stable, cela témoigne consommation d'énergie normale.

III.5.1.2 1^{ère} Cas : Sans Autotransformateur

Remarque :

V₁= Le graphe noir, V₂= Le graphe rouge, V₃= le graphe Blue

Les valeurs de tension afficher dans les figures est la tension simple

$$V_s = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230v$$

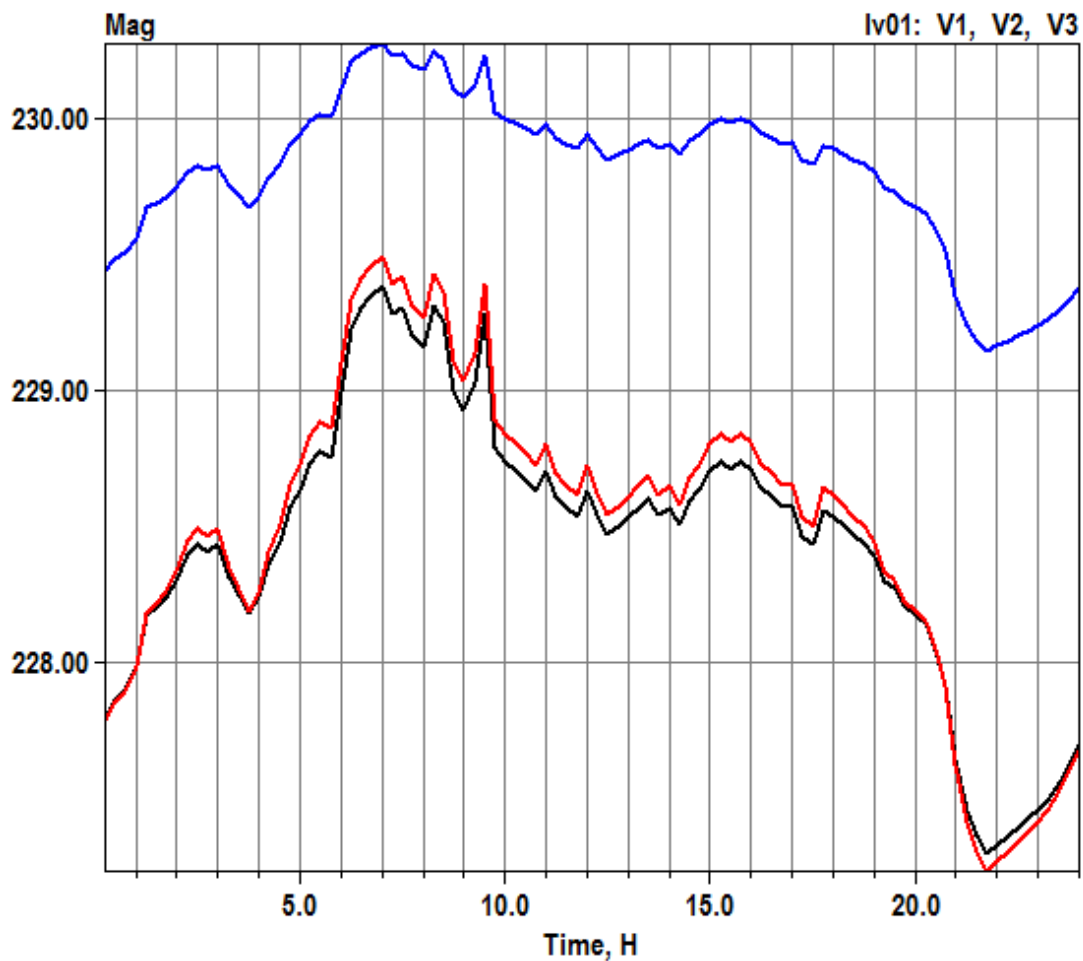


Figure III.3 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 0

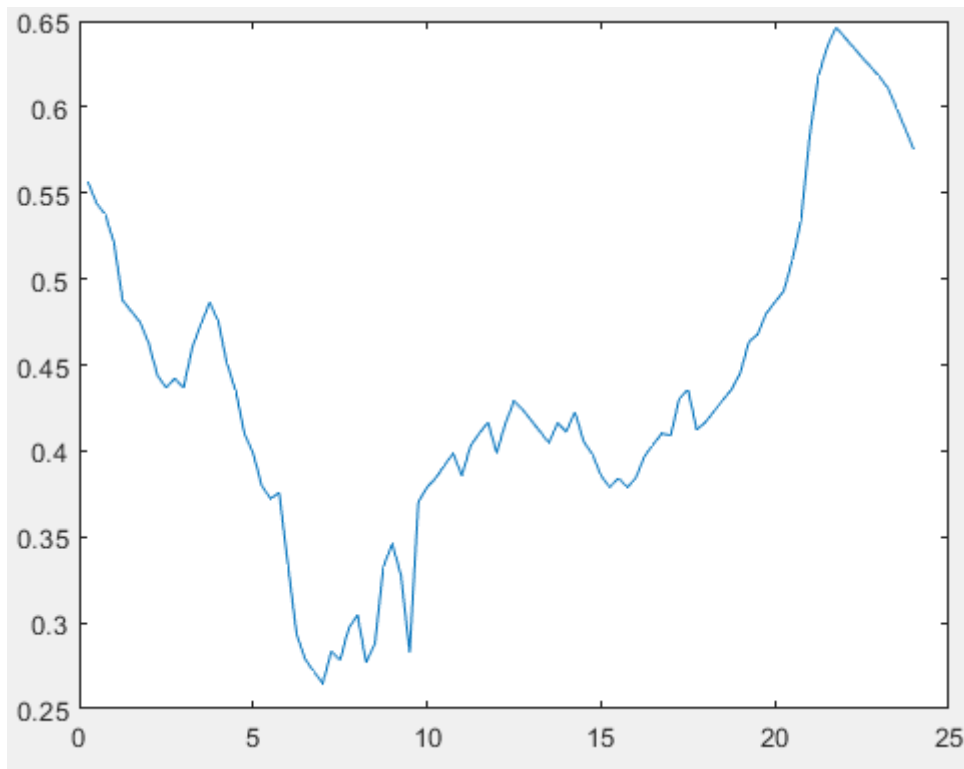


Figure III.4 : Taux de déséquilibre au nœud 0

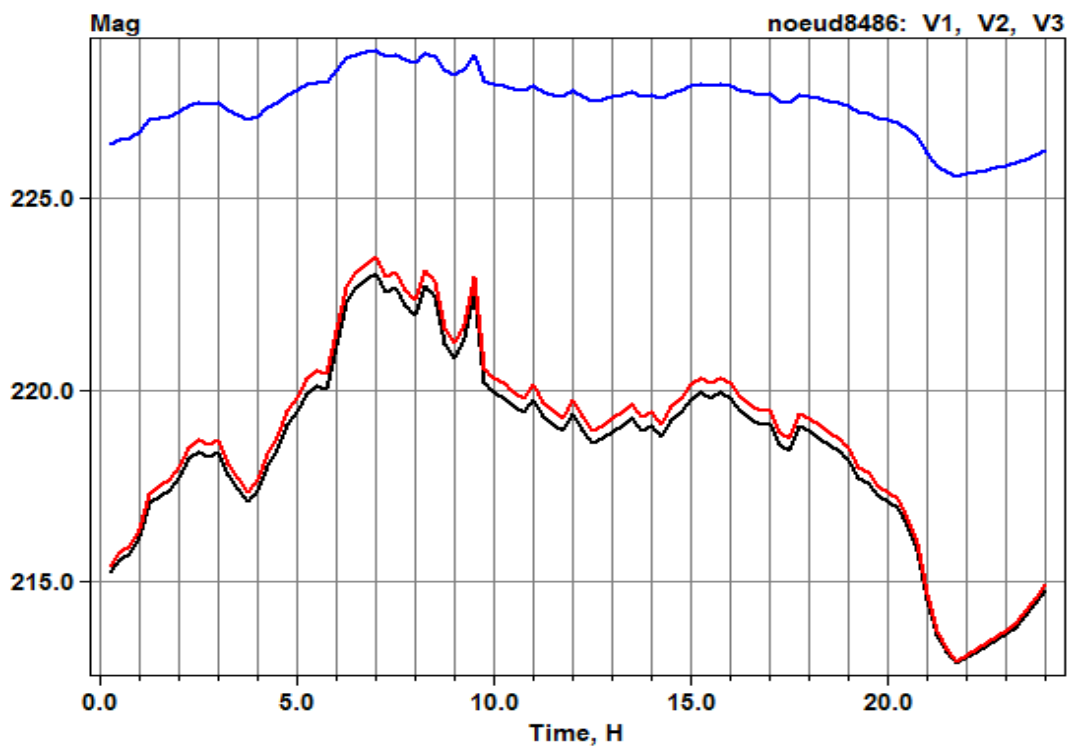


Figure III.5 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 86

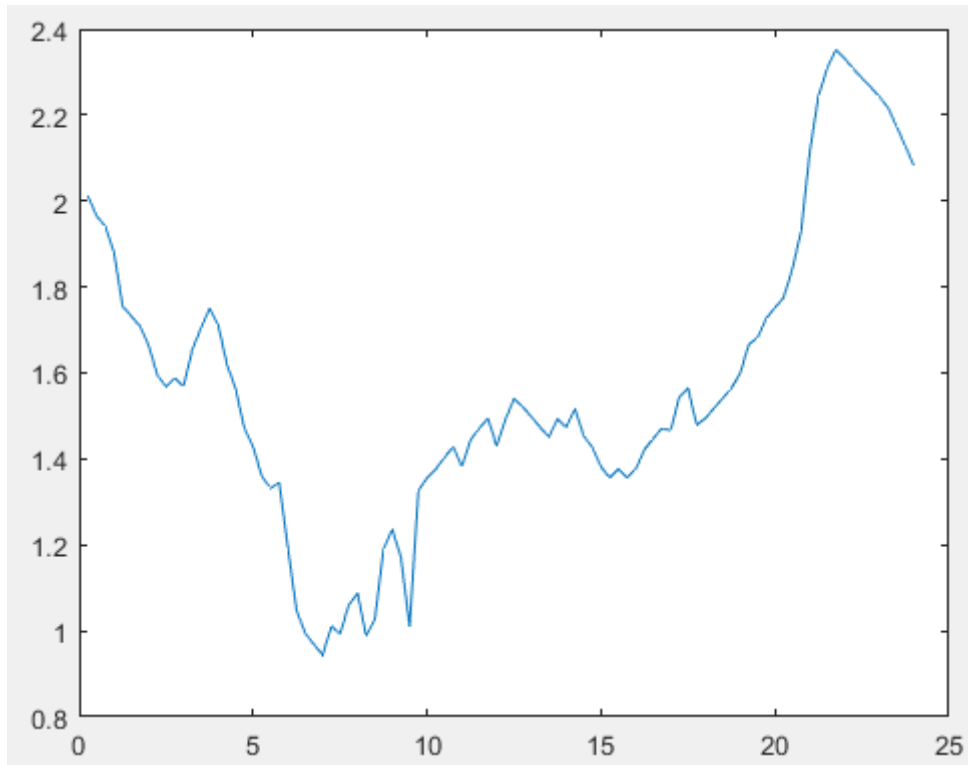


Figure III.6 : Taux de déséquilibre au nœud 86

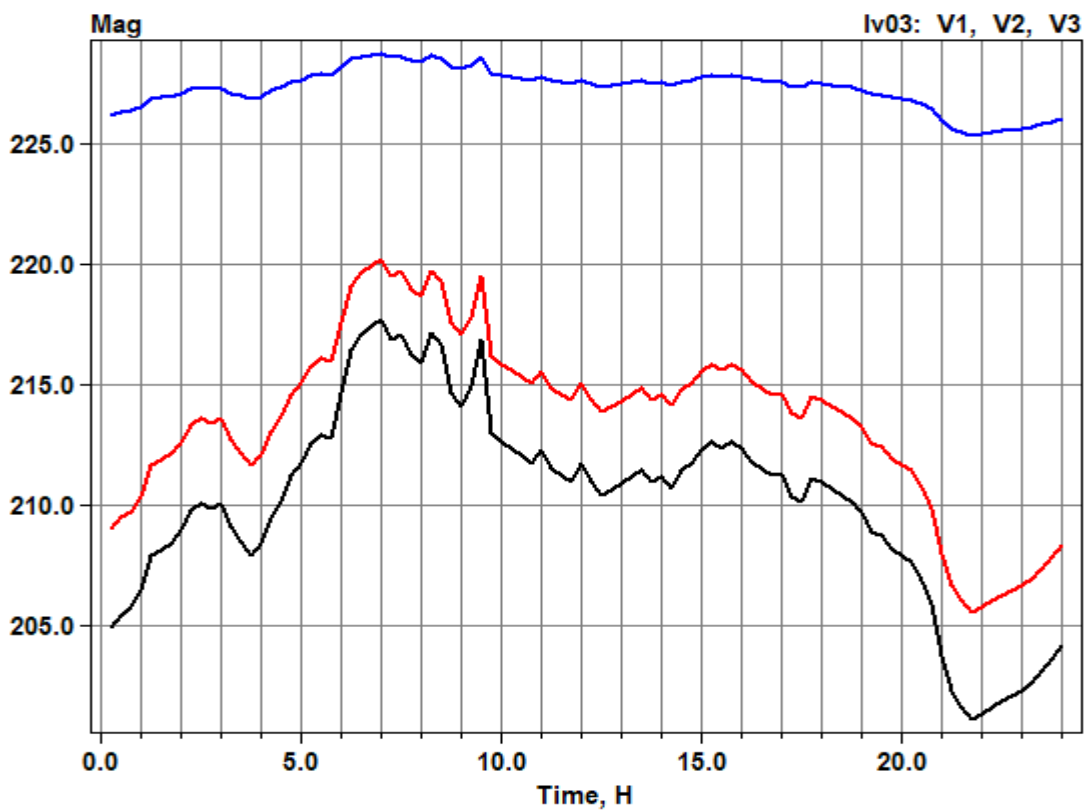


Figure III.7 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 125

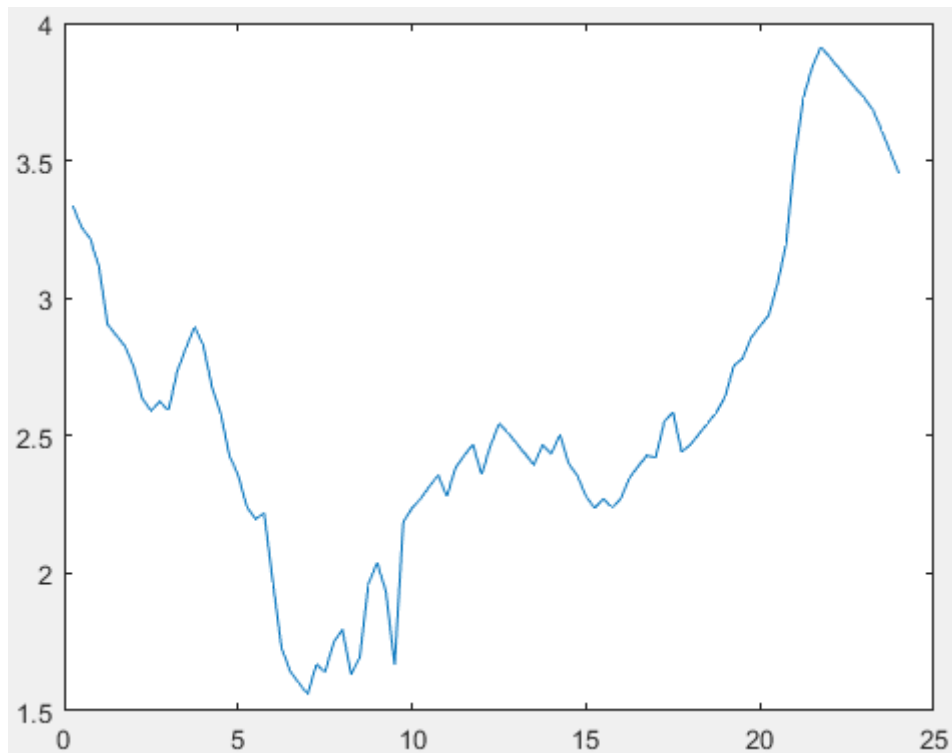


Figure III.8 : Taux de déséquilibre au nœud 125

➤ Discussion des résultats :

Les résultats sont des graphiques représentant l'évolution de la tension et du déséquilibre de tension en une journée (24h).

Il existe une différence de tension entre V1, V2 et V3 et cela est dû au nombre de consommateurs (charges) connectés à chaque phase.

On remarque que l'évolution de la charge semblait inversement proportionnelle avec la tension des nœuds et directement proportionnelle avec le taux de déséquilibre c'est-à-dire. Si la charge augmente la tension diminue et le taux de déséquilibre augmente et vice versa.

On note sur la figure III.3 que la valeur du taux de déséquilibre ne dépasse pas 2%, ce qui indique qu'il n'y a pas de déséquilibre de la tension.

On remarque sur la figure III.3 que la valeur du taux de déséquilibre ne dépasse pas 2%, ce qui indique qu'il n'y a pas de déséquilibre de tension dans le nœud (0), tandis que dans les figures III.6 et III.8 il a dépassé 2% c'est-à-dire qu'il y a un déséquilibre de tension dans les nœuds 86 et 125 et cela est dû à la distance des nœuds et de la source, en d'autres termes, plus la distance est grande entre le nœud et la source plus le taux de déséquilibre est élevé.

III.5.1.3 2^{ème} Cas : avec Autotransformateur

- Nous installons l'autotransformateur au nœud 2

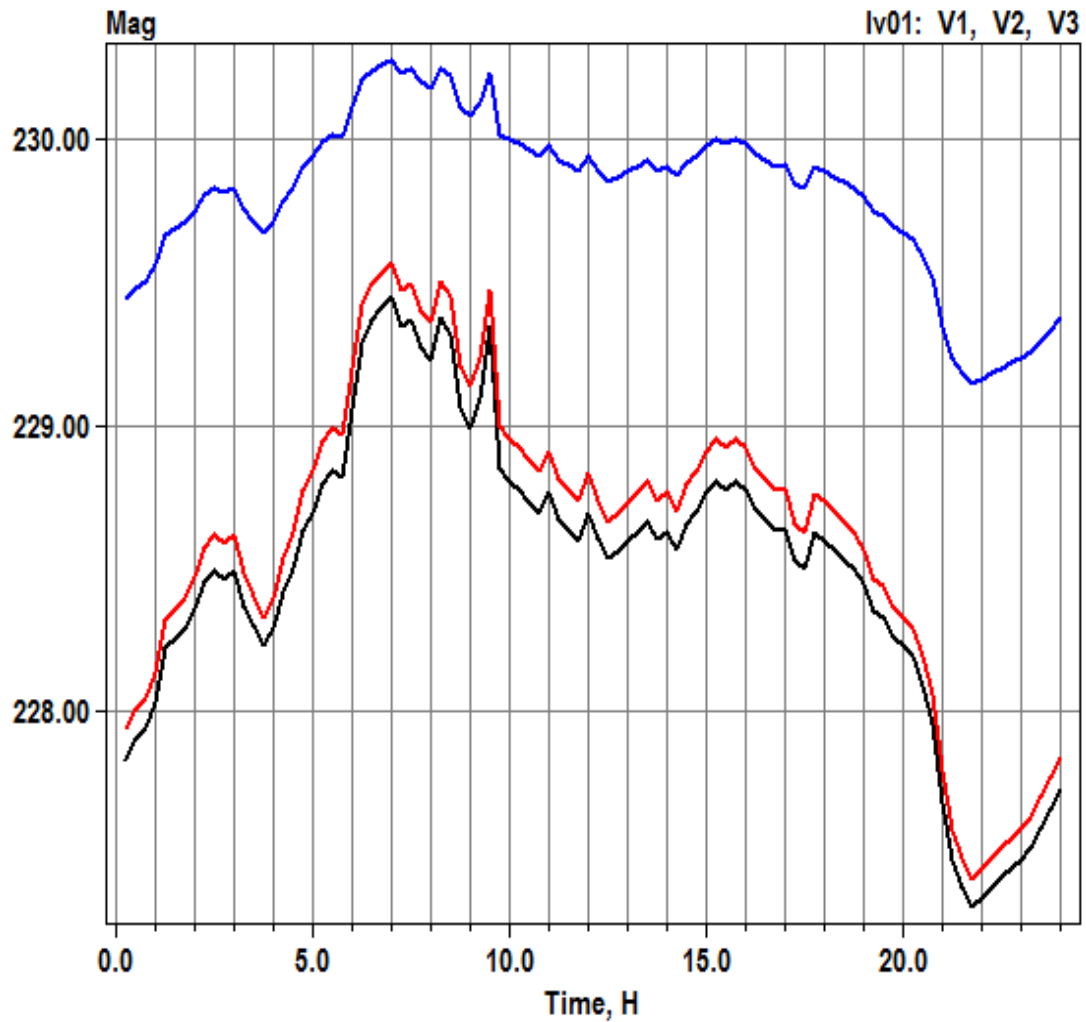


Figure III.9 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 0

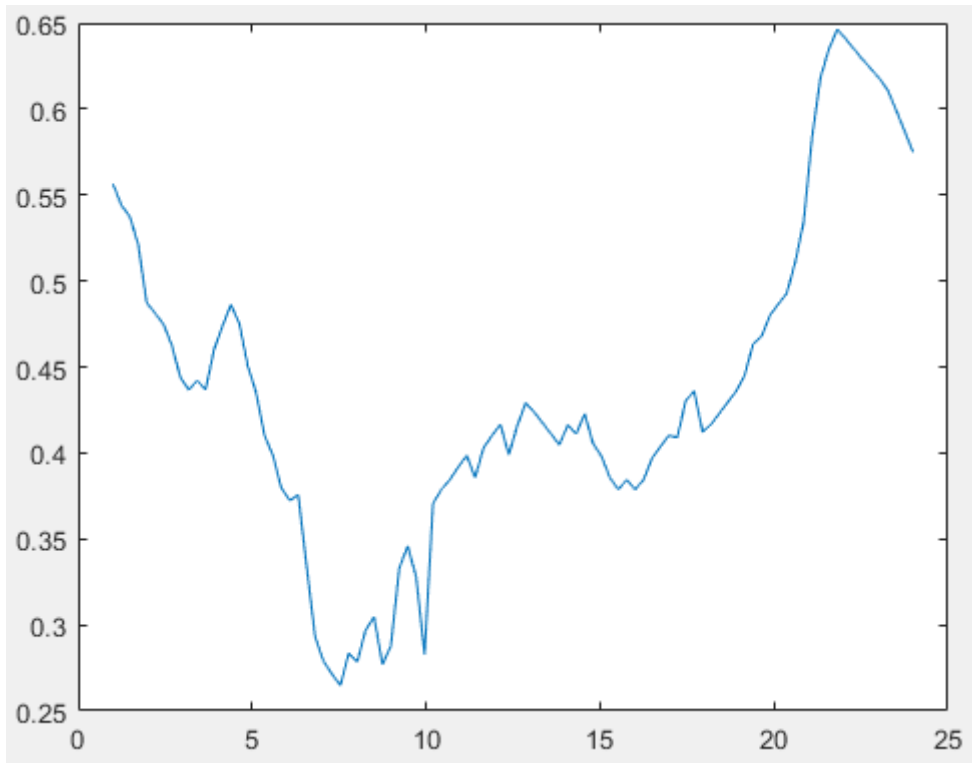


Figure III.10 : Taux de déséquilibre au nœud 0

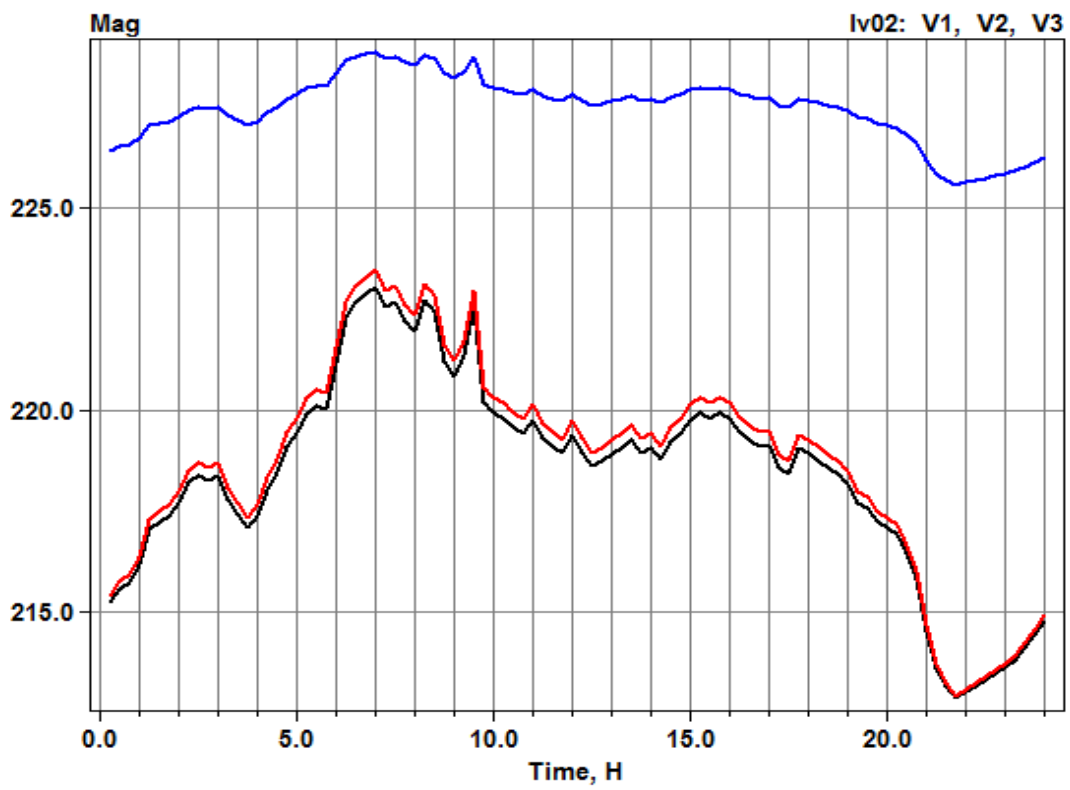


Figure III.11 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 86

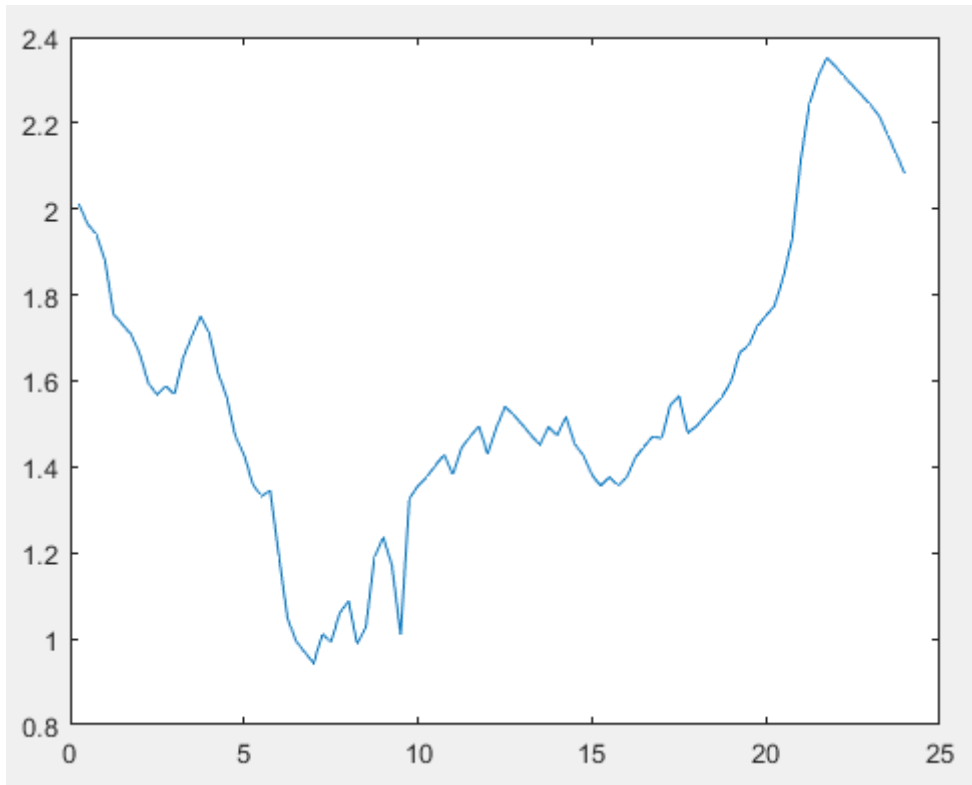


Figure III.12 : Taux de déséquilibre au nœud 86

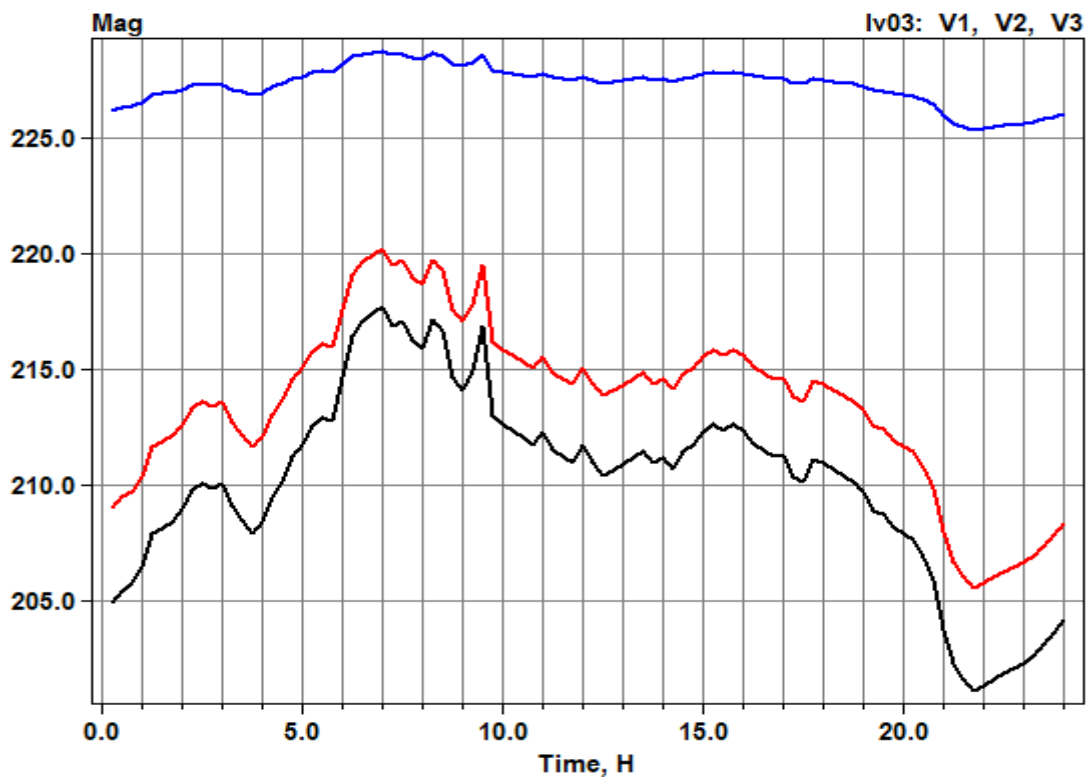


Figure III.13 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 125

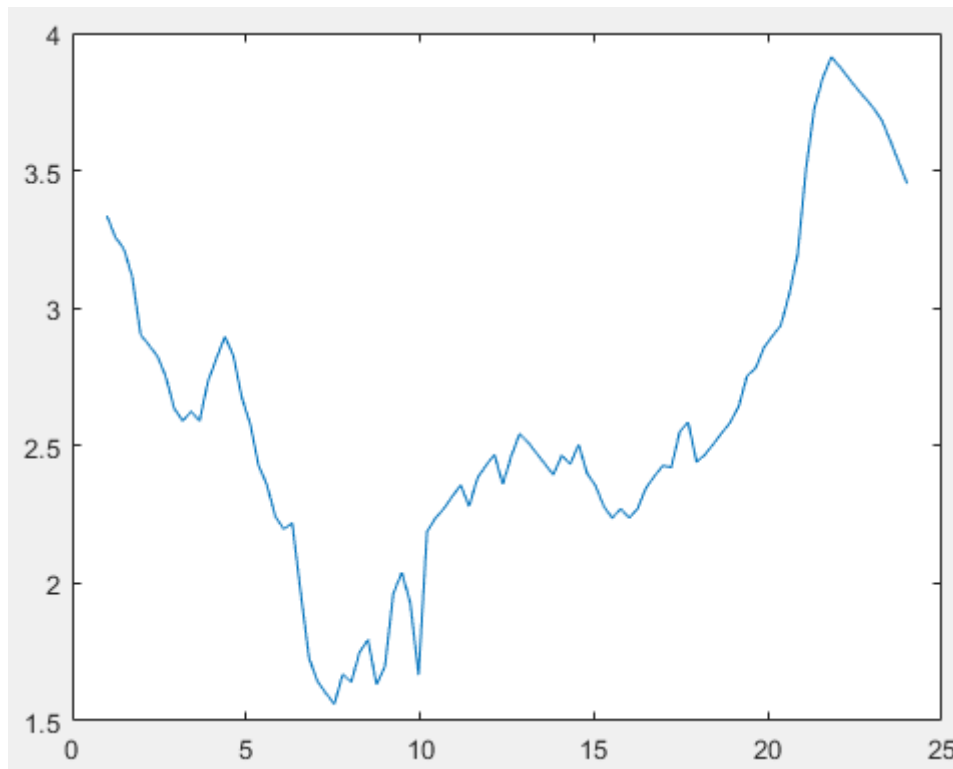


Figure III.14 : Taux de déséquilibre au nœud 125

➤ **Discussion des résultats :**

Raccordement de l'autotransformateur au nœud 2 : On note que le taux de déséquilibre du nœud (0) est acceptable (dans les normes). Mais aux nœuds 86 et 125, il a dépassé 2%, ce qui signifie qu'il y a un déséquilibre de tension et donc l'emplacement de cet autotransformateur au nœud 2 n'est pas adapté pour réguler le déséquilibre de tension dans le réseau.

➤ Nous installons l'autotransformateur au nœud 82

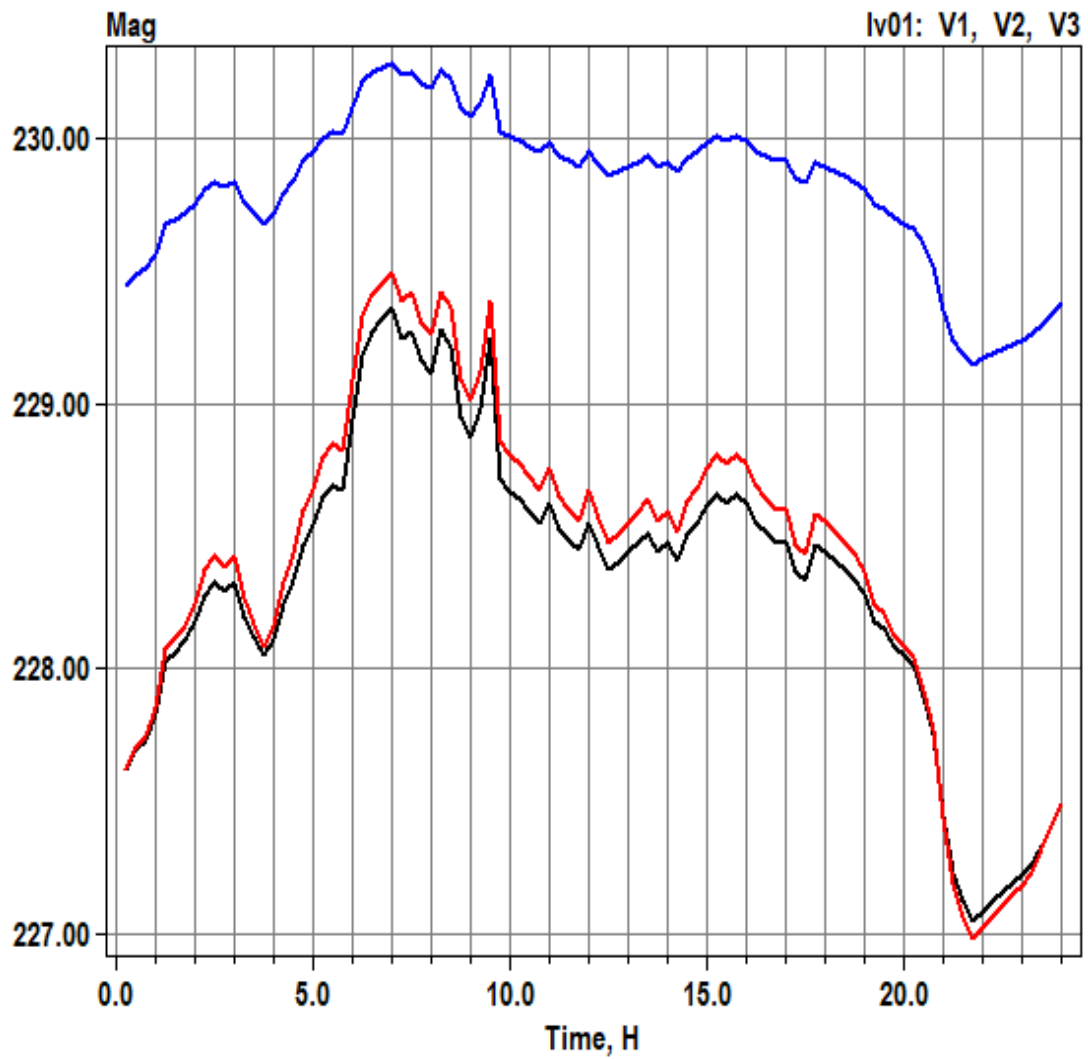


Figure III.15 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 0

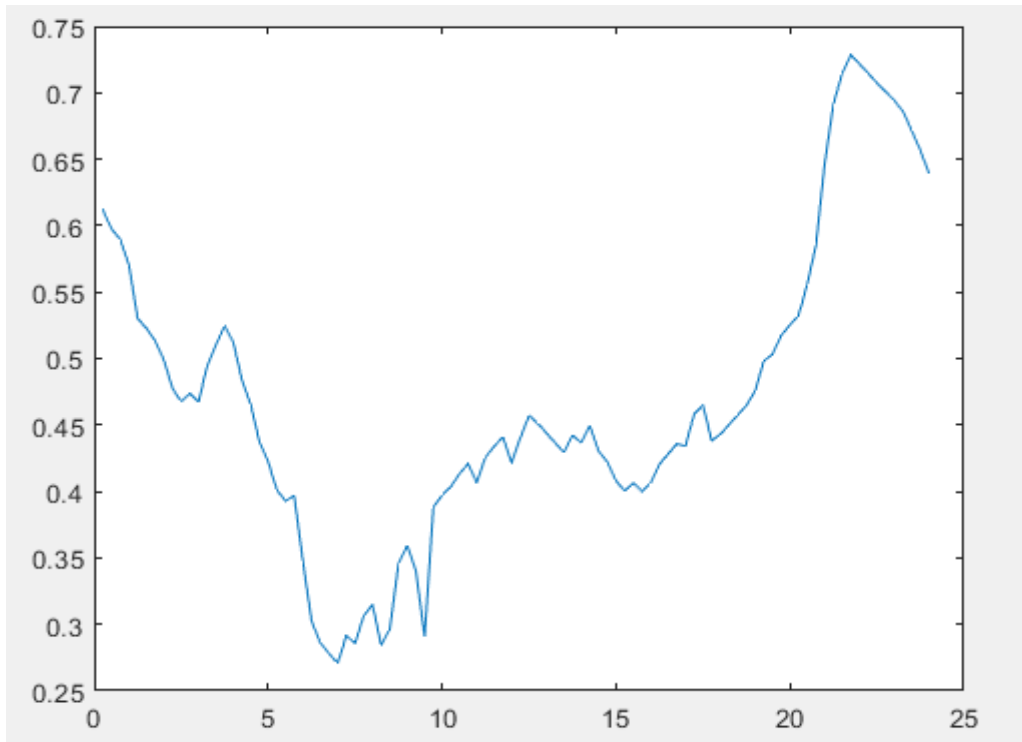


Figure III.16 : Taux de déséquilibre au nœud 0

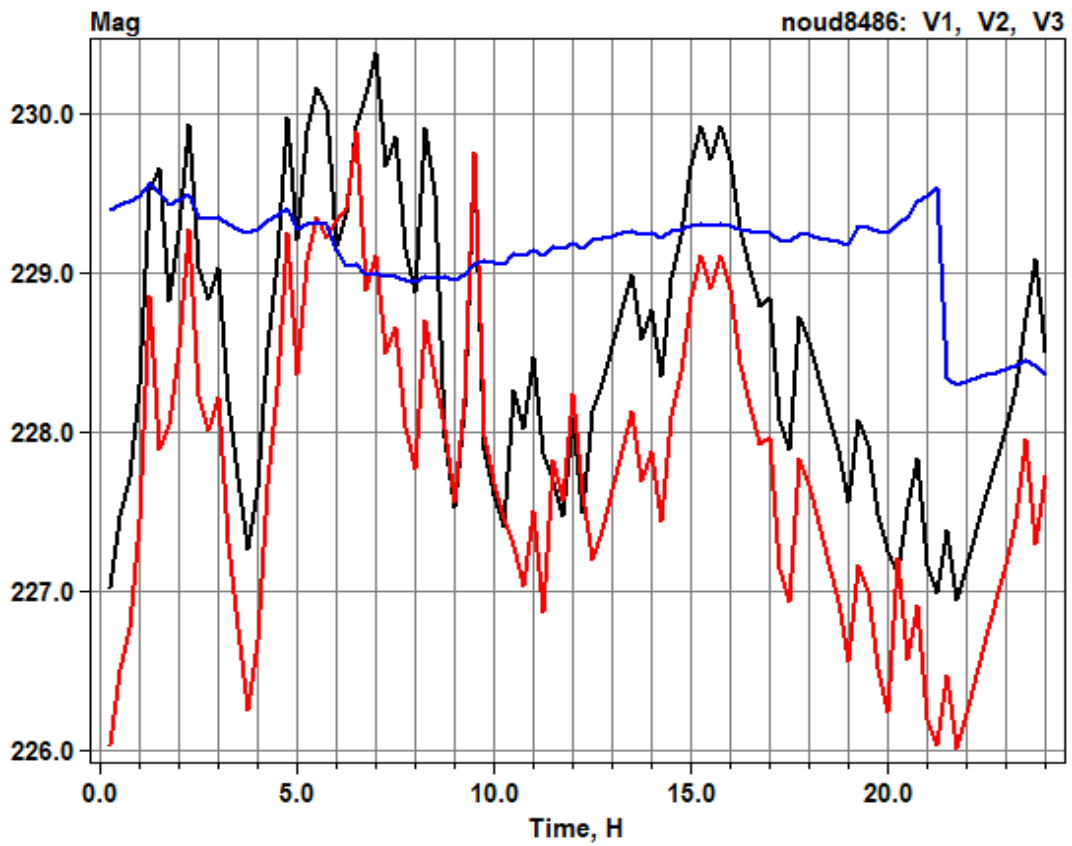


Figure III.17 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 86

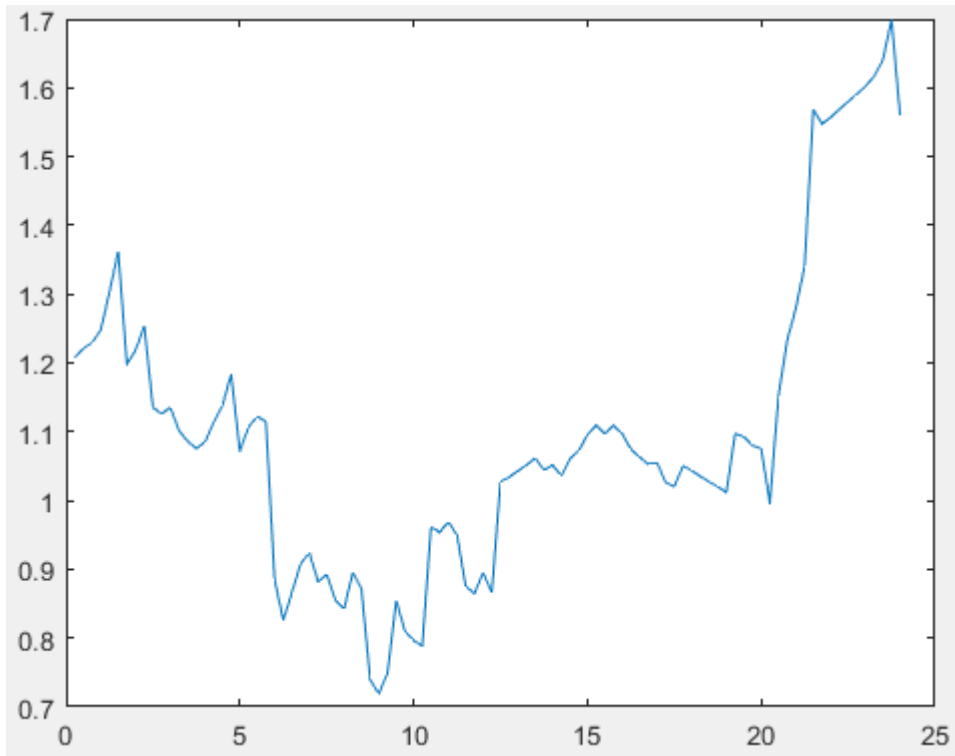


Figure III.18 : Taux de déséquilibre au nœud 86

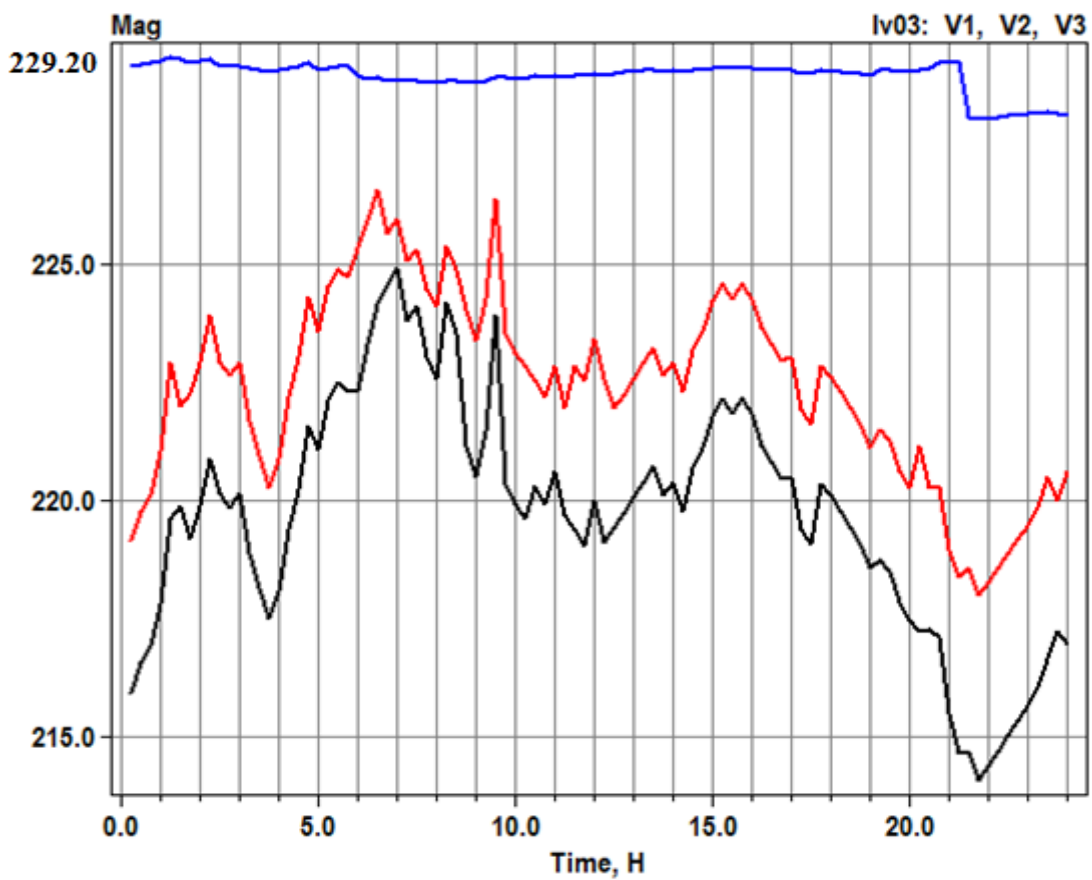


Figure III.19 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 125

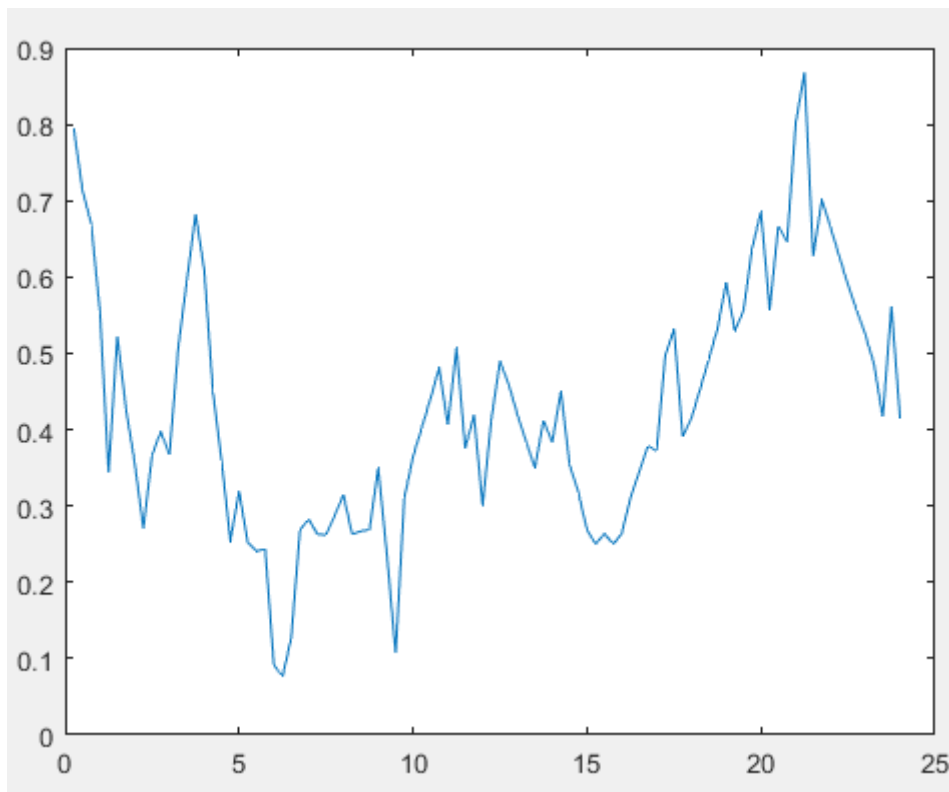


Figure III.20 : Taux de déséquilibre au nœud 125

➤ **Discussion des résultats :**

Connexion de l'autotransformateur au nœud 82 : Nous notons que le taux de déséquilibre dans tous les nœuds est acceptable (dans les normes) pour ne pas dépasser 2%, c'est donc l'emplacement idéal pour l'autotransformateur pour régule le déséquilibre de tension dans le réseau.

➤ Nous installons l'autotransformateur au nœud 123

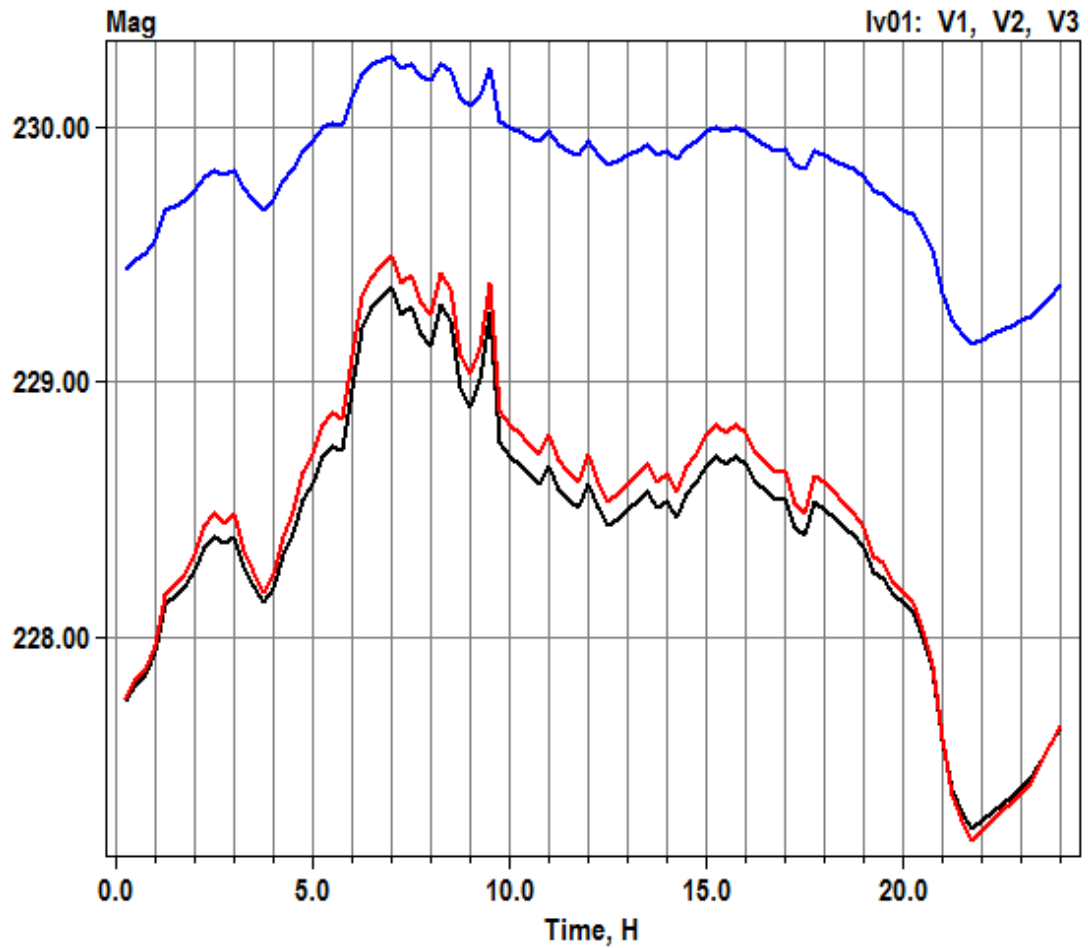


Figure III.21 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 0

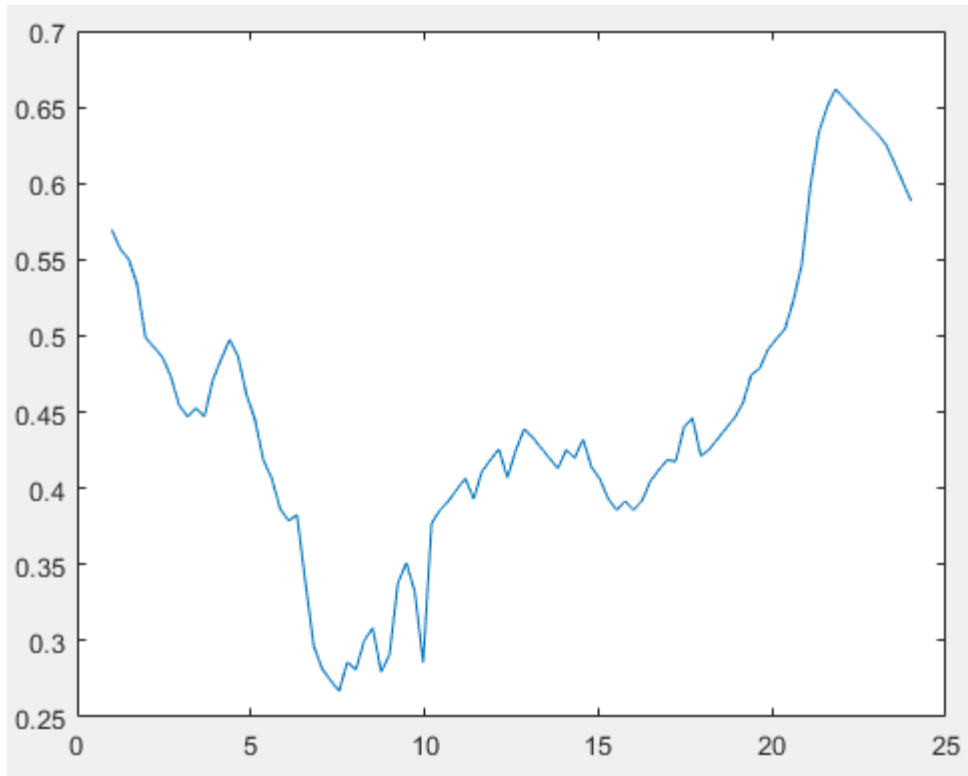


Figure III.22 : Taux de déséquilibre au nœud 0

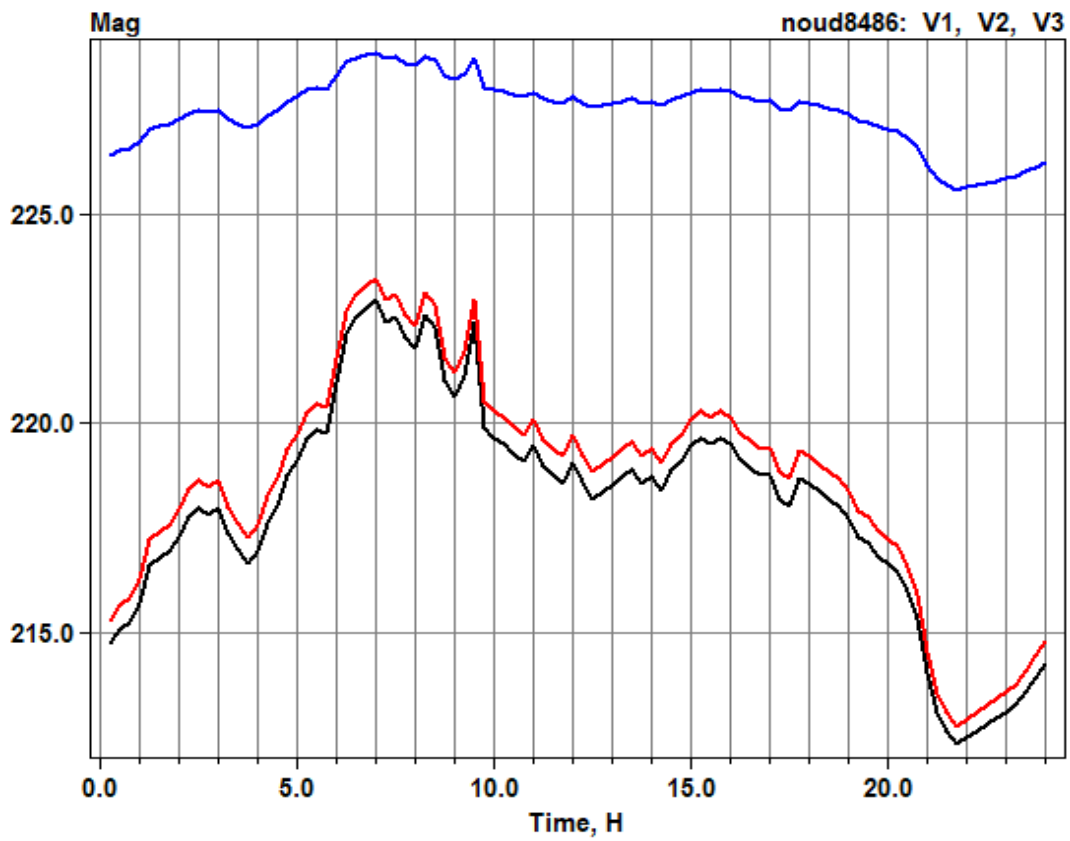


Figure III.23 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 86

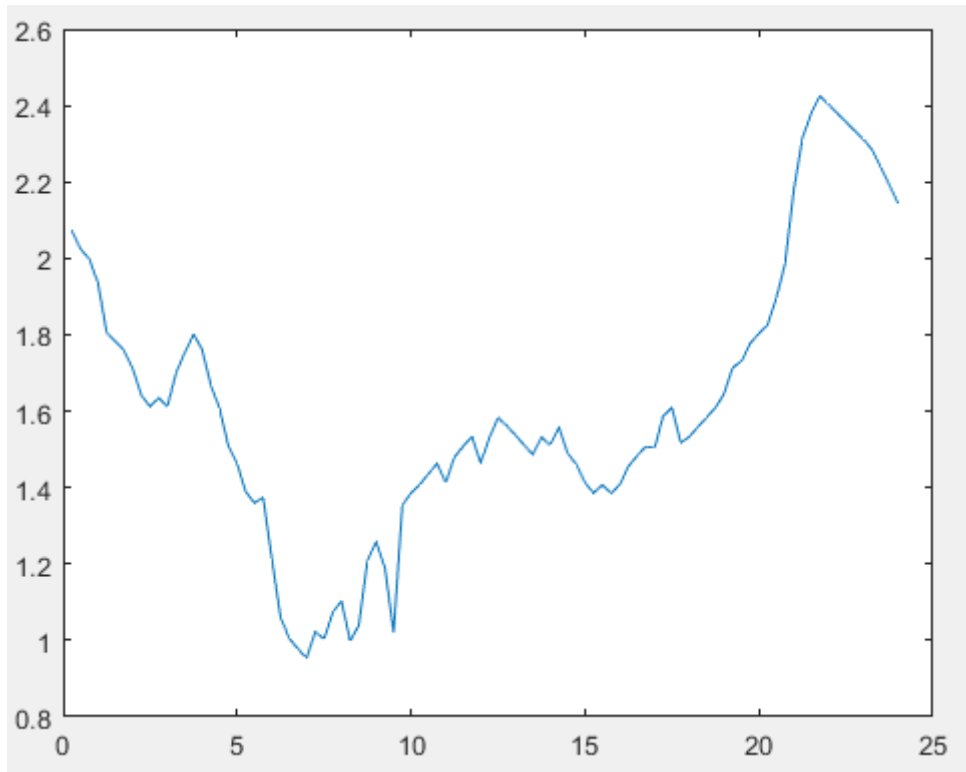


Figure III.24 : Taux de déséquilibre au nœud 86

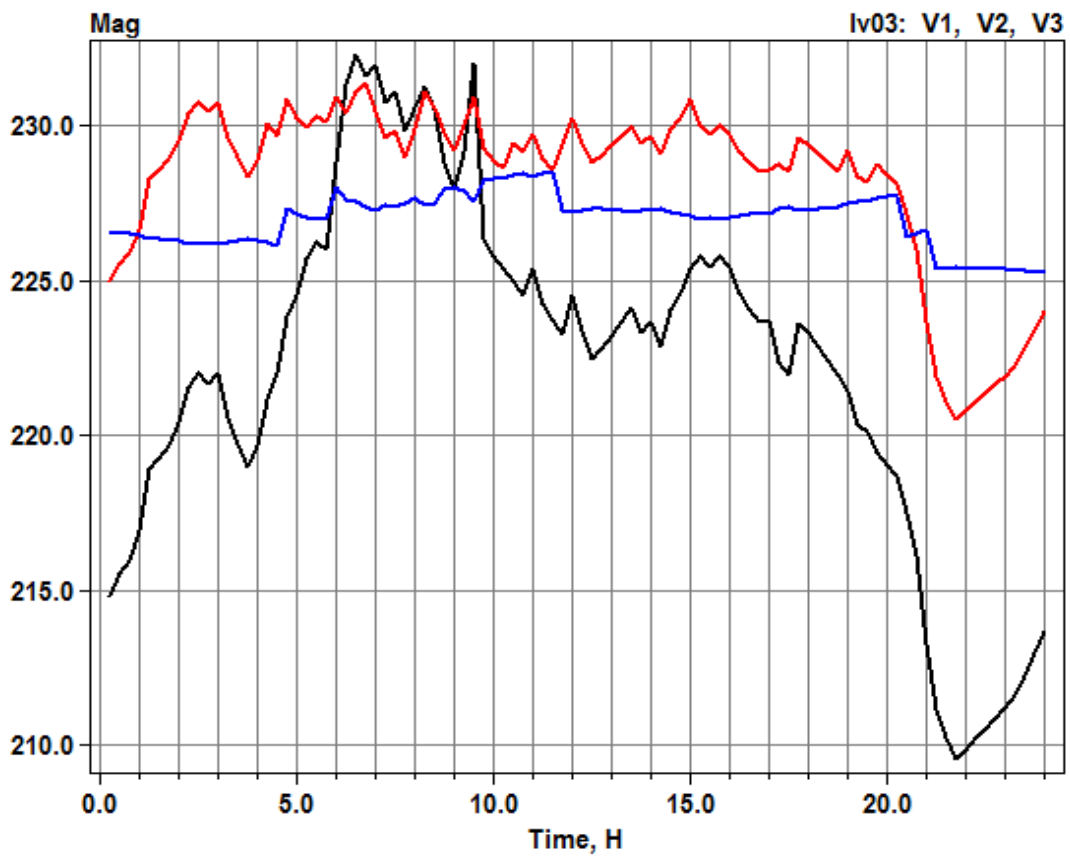


Figure III.25 : Les tensions V1, V2 et V3 au nœud 125

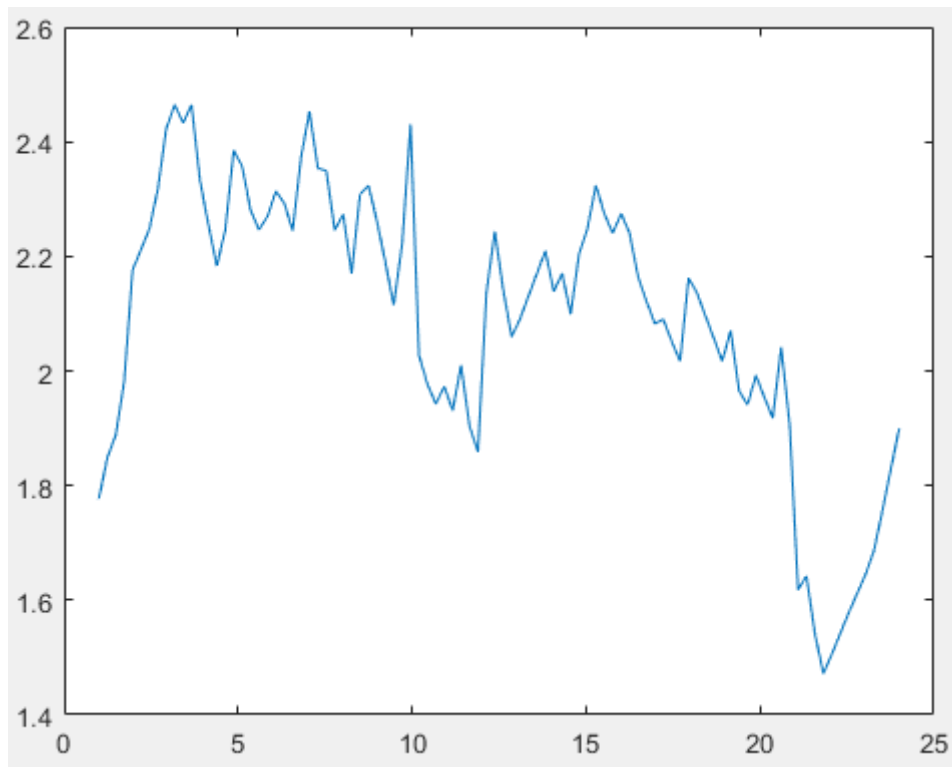


Figure III.26 : Taux de déséquilibre au nœud 125

➤ **Discussion des résultats :**

Connexion de l'autotransformateur au nœud 123 : On constate qu'au nœud (0) il n'y a pas de déséquilibre de tension. Mais aux nœuds 86 et 125, le taux de déséquilibre a dépassé 2% dans figure III.24 et III.26, il y a donc un déséquilibre de tension, donc l'emplacement de cet autotransformateur là-bas n'est pas adapté.

➤ Pour nœud 2

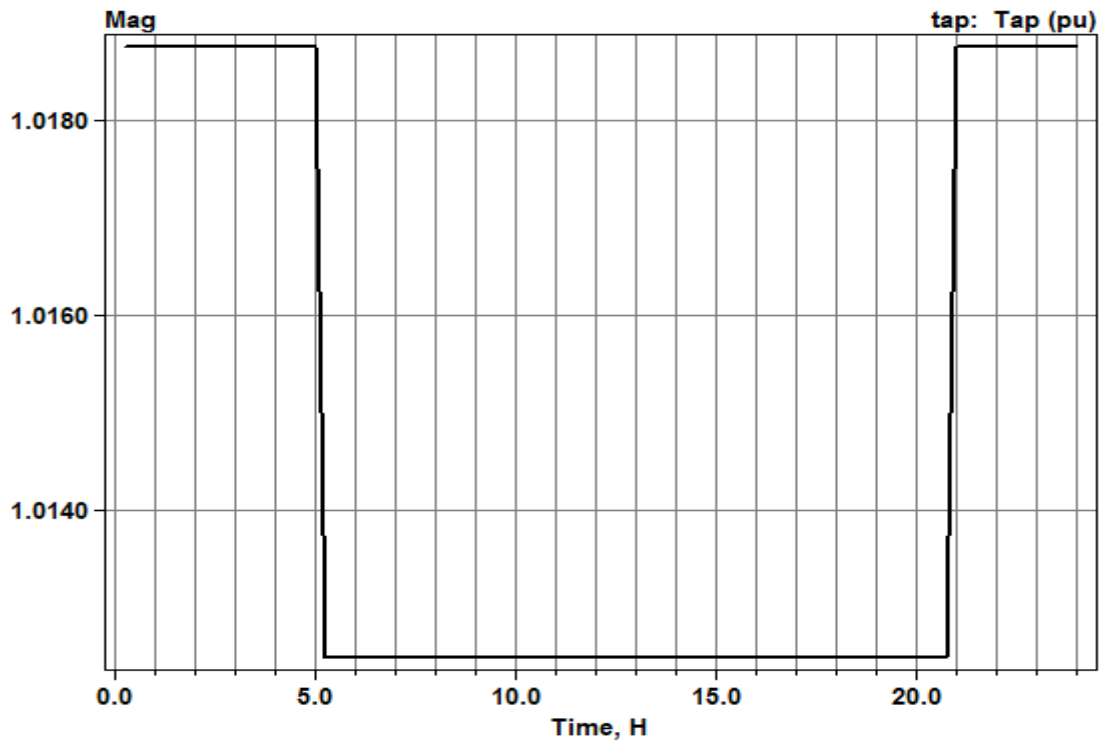


Figure III.27: changer de prise de l'autotransformateur T1 dans nœud 2

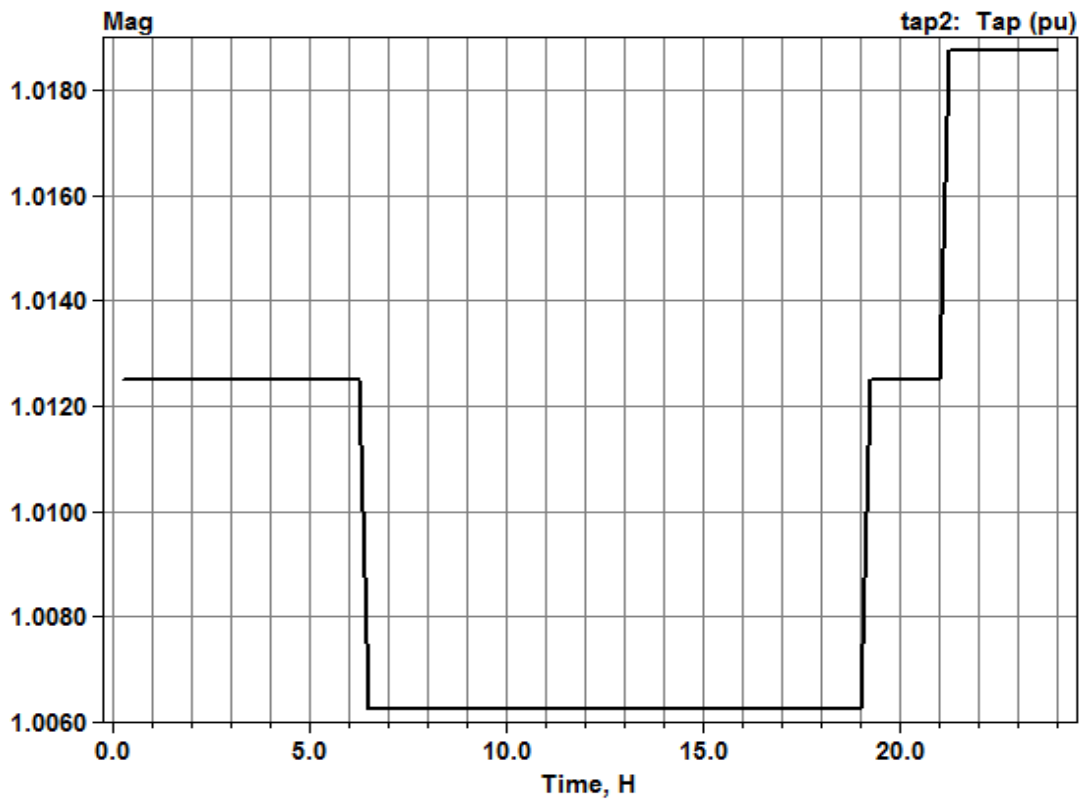


Figure III.28: changer de prise de l'autotransformateur T2 dans nœud 2

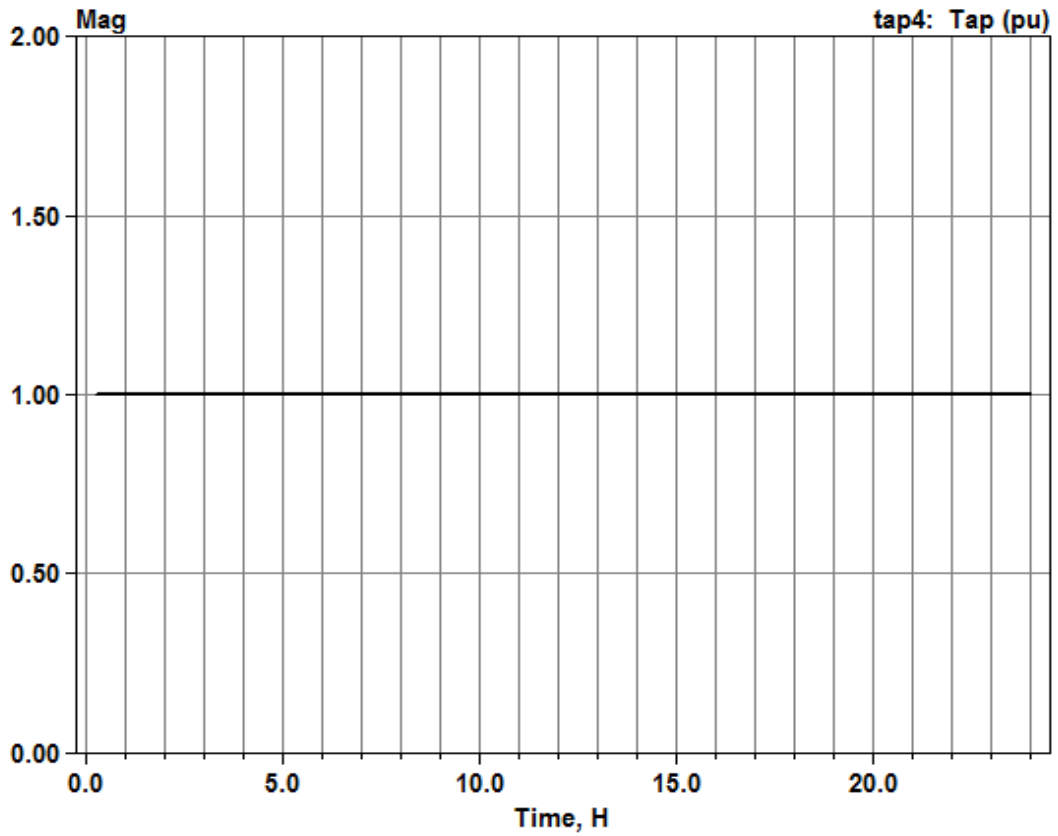


Figure III.29: changer de prise de l'autotransformateur T3 dans nœud 2

➤ Pour nœud 82

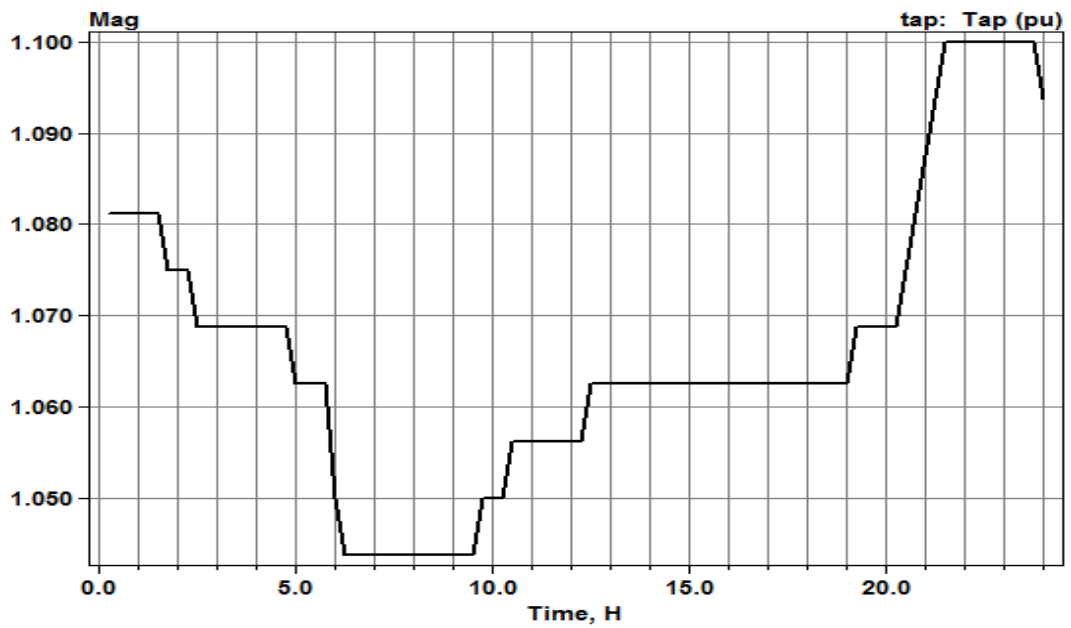


Figure III.30: changer de prise de l'autotransformateur T1 dans nœud 82

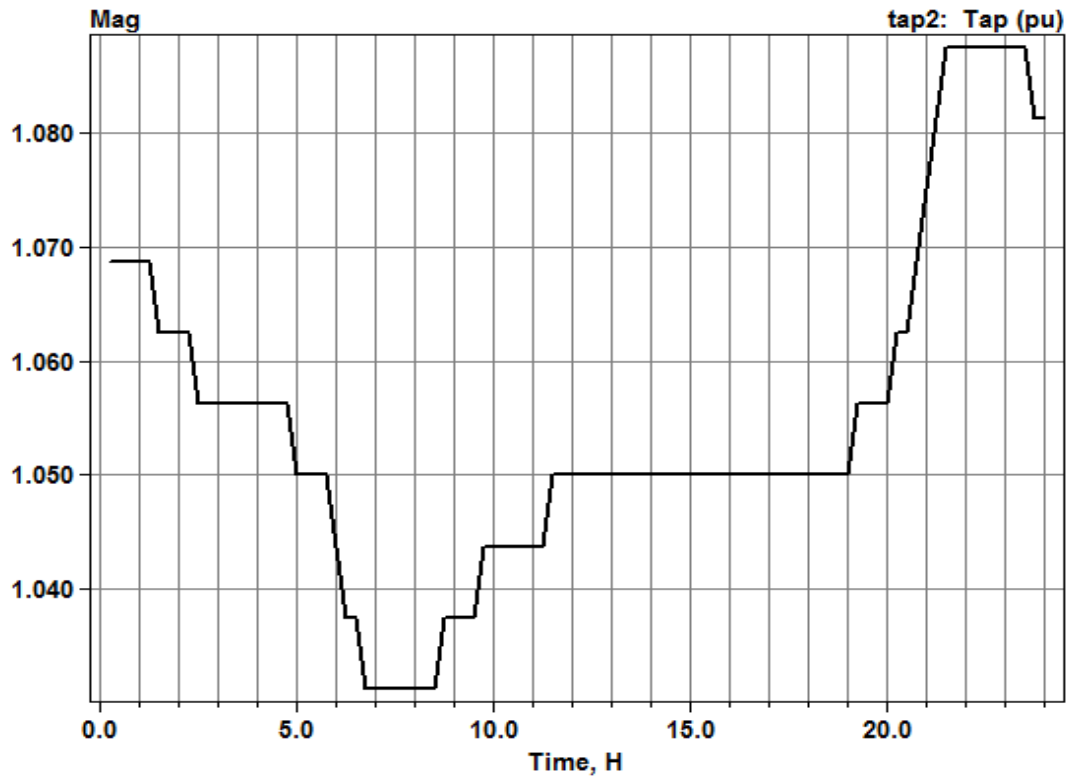


Figure III.31: changer de prise de l'autotransformateur T2 dans nœud 82

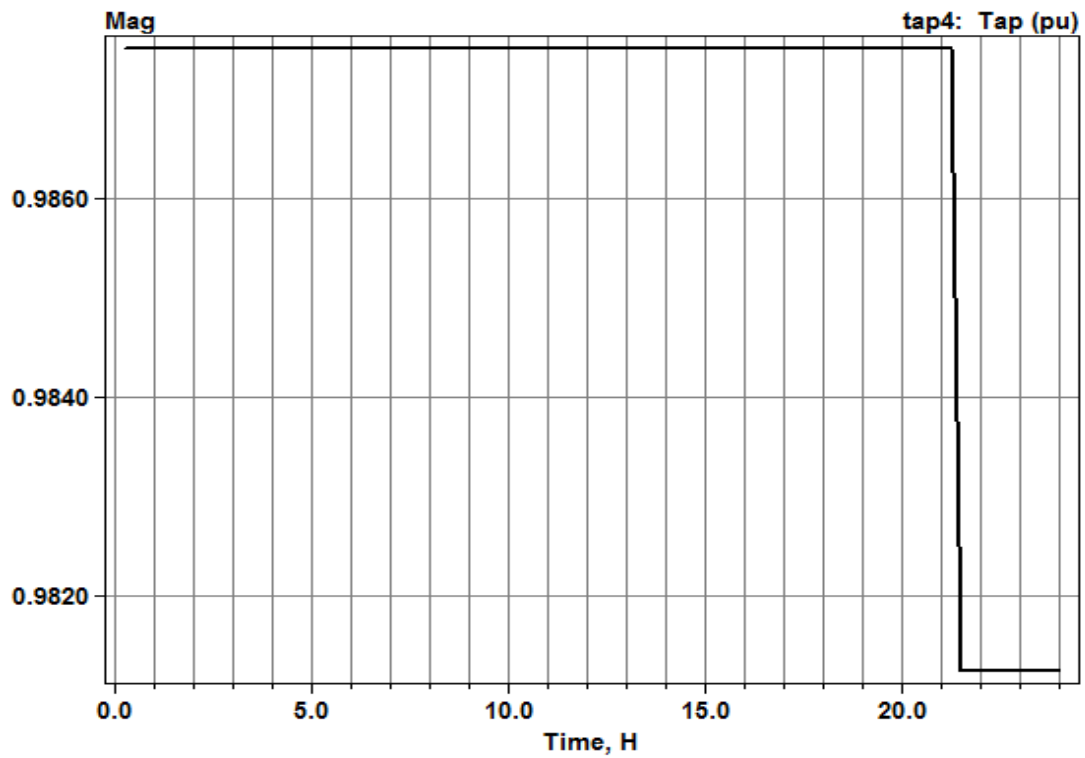


Figure III.32: changer de prise de l'autotransformateur T3 dans nœud 82

➤ Pour nœud 123

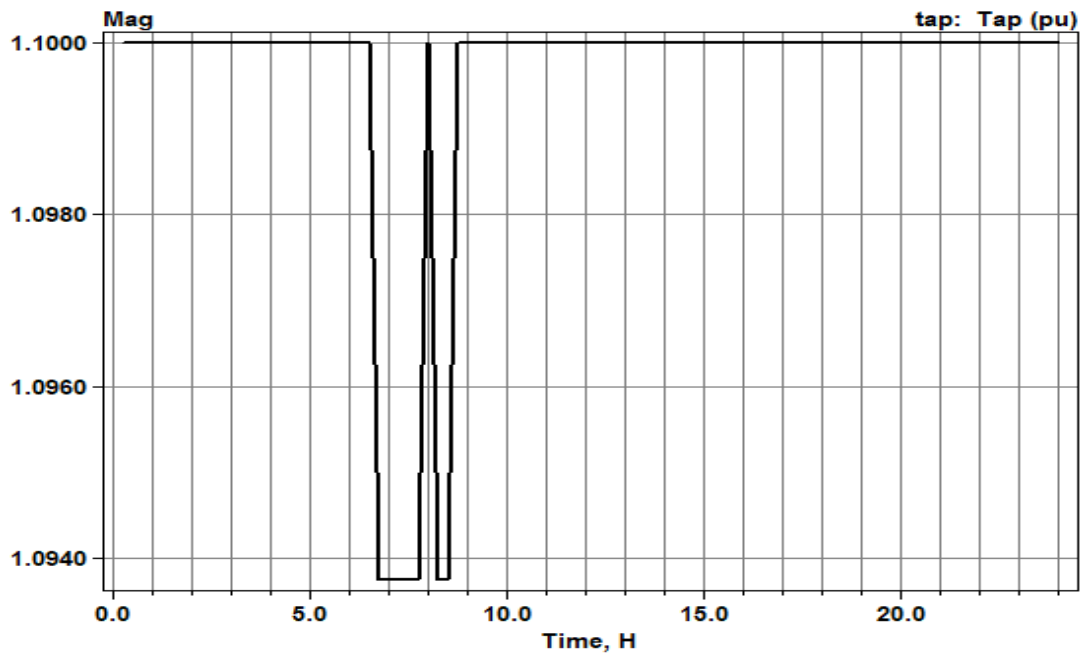


Figure III.33: changer de prise de l'autotransformateur T1 dans nœud 123

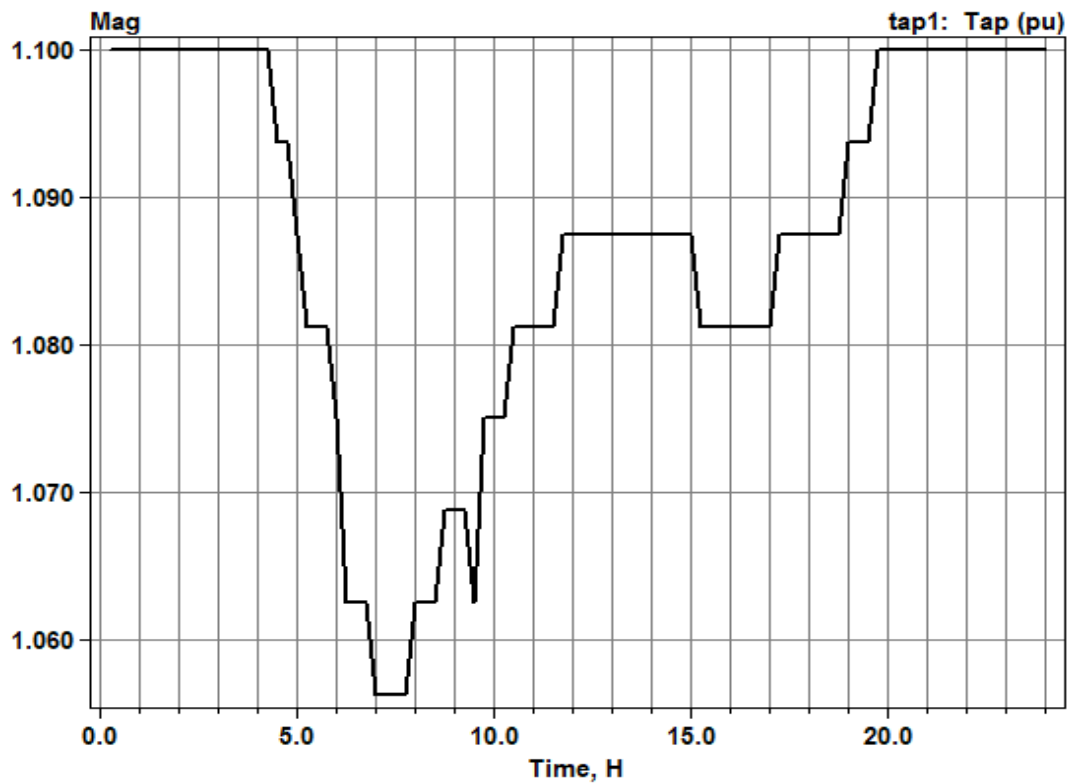


Figure III.34: changer de prise de l'autotransformateur T2 dans nœud 123

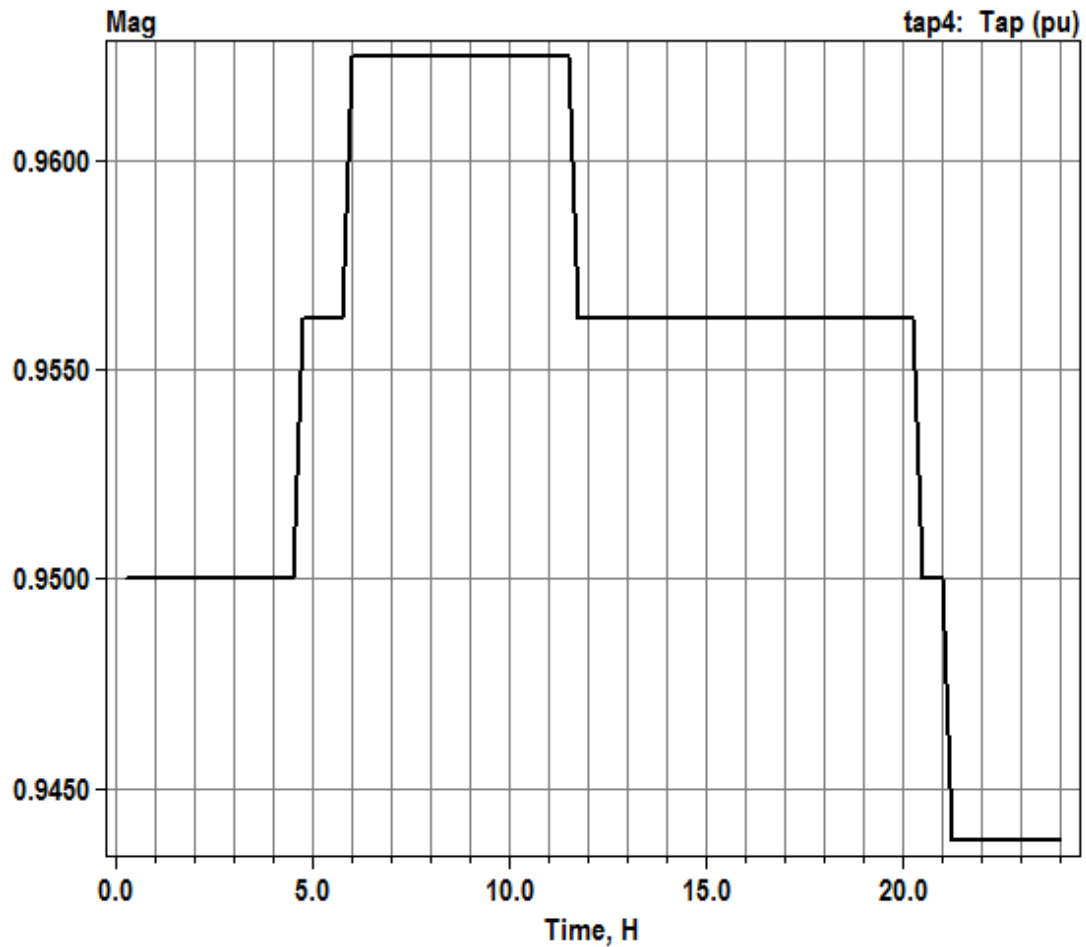


Figure III.35: changer de prise de l'autotransformateur T3 dans nœud 123

➤ Analyse les graphes :

Les graphiques représentent le changement de prise de l'autotransformateur dans les nœuds proposés en une journée (24h).

Stabiliser la position à une valeur est une indication qu'il n'y a pas de déséquilibre de tension. Lorsque la position descend, cela indique que la tension a été réduite par l'autotransformateur et vice versa. Ce processus se produit automatiquement, c'est-à-dire que l'autotransformateur commute automatiquement la position sur réduire ou augmenter la tension dans les phases.

III.6 Conclusion :

Pour garantir la stabilité du réseau et la sécurité des matériels, la tension en trois phases doit être maintenue dans des limites fixées par les règles d'exploitation des réseaux électriques, afin d'assurer cette préservation, dans ce chapitre on a simulé le réseau avec et sans l'autotransformateur où nous avons remarqué un déséquilibre de tension avant d'utiliser l'autotransformateur dans le réseau et lors de l'utilisation de l'autotransformateur à trois endroits (nœuds), nous avons remarqué la régulation de déséquilibre de tension dans le réseau lors de l'installation de l'autotransformateur dans les nœuds 82 et sur celui-ci, le nœud 82 est adapté pour réguler le déséquilibre de tension dans le réseau.

L'objectif de l'autotransformateur dans notre cas a régulé le déséquilibre de tension dans le réseau BT.

Conclusion général :

Ce mémoire présente et explique les utilisations des autotransformateurs variables pour le réglage de déséquilibre de tension dans les réseaux BT, afin d'atteindre cet objectif, nous sommes passés par les étapes suivantes, dans le premier chapitre nous avons présenté des généralités sur les réseaux électriques après cela nous avons introduit la notion de l'écoulement de puissance et on présente les techniques de résolution du problème d'écoulement de puissance. Le deuxième chapitre représente une étude théorique des autotransformateurs, et comment régler la tension dans le réseau électrique et les moyens utilisés pour le réglage. Dans le troisième chapitre nous avons présenté la simulation du réseau électrique BT avec et sans l'autotransformateur à l'aide du programme Open DSS.

Après simulation par le programme OPENDSS, Nous avons conclu qu'il y a deux facteurs qui causent le problème de déséquilibre de tension : La distance entre la source et les nœuds, c'est-à-dire que plus la distance entre eux est grande, plus le déséquilibre de tension est important. Le deuxième facteur est la consommation des charges, en d'autres termes, plus la consommation d'énergie des charges est importante, plus l'apparition d'un déséquilibre de la tension est importante dans le réseau.

Après avoir utilisé l'autotransformateur dans les nœuds proposés dans le troisième chapitre, le déséquilibre de tension a été régulé lors de son installation au nœud 82, nous avons conclu ceci après avoir discuté les résultats obtenus en calculant le taux de déséquilibre de tension à l'aide du programme MATLAB.

L'utilisation d'un autotransformateur est nécessaire pour réguler le déséquilibre de tension dans le réseau électrique BT.

Bibliographie

[1] Terkia NABECHE et Fatima TEZKRATT « Restructuration du réseau électrique MT de la région de Fréha pour alimentation du pôle d'excellence de tamda » Mémoire de Fin d'étude 2014.

[2] Bahri Said « ETUDE DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE OPTIMAL UTILISANT LA METHODE DES ESSAIM DE PARTICULES » UNIVERSITE CONSTANTINE
Mémoire de Fin d'étude 2012/2013

[3] FERAHTIA Saàd « Calcul d'écoulement de puissance dans les réseaux électriques lors de l'intégration des fermes éoliennes et des dispositifs FACTS »
Mémoire de Fin d'étude 2012 / 2013.

[4] H.BELMAHDI « ETUDE DES PROTECTIONS D'UN DEPART MOYENNE TENSION APPLICATION POSTE 60kV / 30 kV DE TIZI-MEDEN » Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou mémoire fin étude 2013.

[5] https://www.cu-elbayadh.dz/ar/wp-content/uploads/2018/01/Polycopie-R%C3%A9seaux-Electriques_corr-1.pdf.

[6] http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=2135.

[7] Mr. Elakermi Hadj Ahmed « localisation des défauts dans les lignes de transport en utilisant les valeurs instantanées des signaux » mémoire magister Université des Mohamed Boudiaf année 2008.

- [8] Mr Menad MOUZAIA et Sofiane IDIRI « Etude de la variation de tension pour le raccordement d'une production décentralisée dans un réseau de distribution » Mémoire de Fin d'étude Université A. MIRA-Bejaia 2012 / 2013
- [9] <https://youtu.be/UgljB3jNmmM>
- [10] https://telum.umc.edu.dz/pluginfile.php/165618/mod_resource/content/0/Chapitre%202%20ecoulement%20de%20puissance.pdf
- [11] https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1786/1/BEAUDRY_Antoine.pdf
- [12] P.S.R.Murty. "Power System Analysis", BS Publications 2007
- [13] Mr. BOUABDALLAH AMARA, « Application des algorithmes génétiques Au dispatching économique et environnemental. » Université Mohamed Khider Biskra, Mémoire de Fin d'étude 2012
- [14] FRIDJAT Zineddine. TAMMA Mohammed Elhadi, "Application des algorithmes génétiques à l'optimisation de la production énergie active dans réseau électrique" Mémoire de Master, Université d'EL-Oued, 2014
- [15] MAMMERI Oussama « Différents méthodes de calcul de la puissance réactive dans un nœud a charge non linéaire en présence d'un système de compensation de l'énergie », Mémoire de Magister, Université de Batna, 2012.
- [16] ZEROUAL MOKHTARIA « Optimisation et contrôle de l'écoulement des puissances actives par système FACT » UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE 2014-2015

[17] [BAGHLI 1994] : Lotfi BAGHLI: « Réalisation d'un Environnement Graphique avec Base de Données pour l'Analyse et la Simulation de Réseaux Électriques» Projet de fin d'Etudes, Juin 1994

[18] <https://pdfcoffee.com/ch1-methode-decoulement-de-puissance-dans-les-reseaux-de-distribution-pdf-free.html>

[19] MERAH Taha « Contrôle des puissances et des tensions dans un réseau de transport au moyen de dispositifs FACTS (SVC) UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI DE OUM EL BOUAGHI 2017/2018

[20] G. Abdelmalek, « Utilisation des méthodes d'optimisations méta heuristiques pour La résolution du Problème de répartition optimale de La Puissance dans les réseaux électriques », mémoire de Magister, Université d'El-oued, 2010

[21] Wael AMOR « Écoulement de puissance pour les réseaux de grande dimension et mal-conditionnés » », mémoire de Magister UNIVERSITÉ DU QUÉBEC 2018.

[22] S.Khoudour&G.Traikia mabrouk «Evaluation de la stabilité de la tension d'un réseau électrique à l'aide d'une nouvelle technique d'indice de stabilité », Thèse de l'ingénieur, Université M'sila, 2008

[23] Mezaach Mohamed, «Analyse et traitement de la qualité d'énergie électrique en utilisant des dispositifs de contrôle des réseaux électriques à UPFC dans le cas de la stabilité la tension», Thèse de Magister, Université de Batna, Décembre 2011

[24] Ranaivoson Dama Mikendrisoa « Etude comparative du Load Flow par la méthode de simplification du réseau d'énergie électrique » Mémoire de Fin d'étude UNIVERSITE D'ANTANANARIVO 2015.

[25] OMRANI AOUATEF « Protection et maintenance des transformateurs dans l'unité industrielle » Université Mohamed Khider Biskra Mémoire de Fin d'Etudes 2019.

[26] <https://www.electronicshub.org/autotransformer/#Introduction>

[27] https://www.hellopro.fr/documentation/pdf_prod/5/2/4/785330_dc24f717d8805c97410fb_b9a58f899e9_1344425.pdf

[28] <https://www.yourelectricalguide.com/2017/08/auto-transformer-working-principle.html>

[29] Imadeddine HARZELLI « CONTRIBUTION A LA MODELISATION PAR LA METHODE DES VOLUMES FINIS D'UN TRANSFORMATEUR DE COURANT »
Mémoire de Magister Université Mohamed Khider – Biskra le 02 Octobre 2014

[30] AMRANI Omar « Etude des surtensions impulsionnelles dans les enroulements de réglage des transformateurs et autotransformateurs » Mémoire de Magister UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU.

[31] <https://tronic-controls.com/fr/article-fr/quest-ce-quun-autotransformateur/>

[32] <https://www.circe-technologies.com/autotransformateurs-monophases.html>

[33] GUERNOUDJ Nassim « Réglage de Tension dans un Réseau par Travée Self 220kv »
MÉMOIRE DE MAGISTER UNIVERSITÉ EL Hadj Lakhdar BATNA Soutenu le, 05/ 03/ 2015

[34] Guillaume RAMI « CONTROLE DE TENSION AUTO ADAPTATIF POUR DES PRODUCTIONS DECENTRALISEES D'ENERGIES CONNECTEES AU RESEAU ELECTRIQUE DE DISTRIBUTION » mémoire fin étude Doctorat INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE le 09 Novembre 2006

[35] Pr. FETHA CHERIF « Cours UEF 13 RESEAUX DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION » UNIVERSITE MOSTAPHA BENBOULAIID BATNA 2

[36] Matthew J. Reno , Kyle Coogan « Grid Integrated Distributed PV (GridPV » Sandia National Laboratories Printed August 2013

[37] Vaidyanath Ramachandran « Modeling of Utility Distribution Feeder in OpenDSS with Steady State Impact Analysis of Distributed Generation » Master of Science West Virginia University 2011

[38] http://sgemfinalreport.fi/files/Orivesi_MV_OpenDSS_model_SGEM.pdf

