



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université Amar Thelidji- Laghouat**

**DEPARTEMENT : Électrotechnique**

**Faculté : Technologie**

**Domaine : Sciences et Technologies**

**Filière : Électrotechnique**

**Option : Réseaux Électriques**

## **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par :**

**Ahmed MAHÇAR**

**Ali HABATI**

### **Thème**

**Optimisation de l'énergie réactive dans un réseau de distribution**

#### **Jury de soutenance :**

| <b>Nom et Prénom</b>   | <b>Grade</b> | <b>Qualité</b> |
|------------------------|--------------|----------------|
| Mr.ARIF Salem          | Prof         | Président      |
| Mr. OUBBATI Youcef     | MCA          | Examineur      |
| Mr. HADJADJ Abdechafik | Prof         | Encadreur      |
| Mr.BENSAED Djelloul    | Doctorant    | Co-Encadreur   |

**Promotion : juin 2024**

## Résumé :

## ملخص

الملخص: تركز هذه المذكرة على تحسين وضع بنك المكثف في شبكات التوزيع باستخدام برنامج Etape. يمثل فقدان الطاقة وانخفاض الجهد تحديات كبيرة لهذه الشبكات، يتفاقم بسبب الطلب المتزايد على الكهرباء وإلغاء ضوابط السوق. يعد تعويض الطاقة التفاعلية عبر بنوك مكثفات التحويلات حلاً فعالاً للتغلب على هذه المشاكل. تحلل الدراسة طرق التحسين المختلفة وتستخدم عمليات المحاكاة على شبكة اختبار حافلة باستخدام برنامج Etape. تظهر النتائج أن تحسين وضع بنك المكثف يقلل بشكل كبير من فقدان الطاقة ويحسن ملف الجهد ويحسن استخدام البنية التحتية الحالية. وهذا النهج ضروري للإدارة المستدامة والاقتصادية لشبكات التوزيع في سياق تزايد الطلب على الطاقة.

**الكلمات المفتاحية** شبكة التوزيع تعويض الطاقة الغير فعالة التنسيب الأمثل مكثفات الحد من فقدان الطاقة الكهربائية

ثبات الجهد

**Résumé :** Ce mémoire se concentre sur l'optimisation du placement des batteries de condensateurs dans les réseaux de distribution radial en utilisant le logiciel ETAP. Les pertes de puissance et les chutes de tension représentent des défis majeurs pour ces réseaux, exacerbés par la demande croissante en électricité et la dérégulation du marché. La compensation de l'énergie réactive via des batteries de condensateurs shunts est une solution efficace pour pallier ces problèmes. L'étude analyse diverses méthodes d'optimisation et utilise des simulations sur un réseau test IEEE 33 bus avec le logiciel ETAP. Les résultats montrent que l'optimisation du placement des batteries de condensateurs réduit significativement les pertes de puissance, améliore le profil de tension et optimise l'utilisation des infrastructures existantes. Cette approche est essentielle pour une gestion durable et économique des réseaux de distribution dans un contexte de demande énergétique croissante.

**Les mots clés :** Réseau de distribution Compensation de l'énergie réactive Placement optimal Condensateurs ETAP Réduction des pertes de puissance Stabilité de la tension

## Abstract

The work carried out in this thesis aims at applications linked to the improvement of energy quality via shunt compensators connected to distribution networks which constitutes compensation of reactive energy. In this work, and one of the most indicated means is the application of capacitor banks, we introduced and presented a new technique to solve the problem of optimal power flow. This work can be implemented for any large-scale radial distribution network practice. The fixed and switched capacitor adialogram to follow for different load factors is also provided The size of the capacitor banks haswas considered as a discrete variable, which constitutes an additional advantage for the practical applicability of the solution. The advantage of the ocp algorithm lies in the fact that it gives optimal results with a simple formulation meeting the constraints.This work can be standardized for any size distribution network.

**Key words :** Distribution network Compensation of reactive energy Optimal placement Capacitors ETAP Reduction of power losses Voltage stability

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu tout puissant qui nous a donné la santé, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

J'exprime toutes nos profondes reconnaissances à mon encadreur Dr.

HADJADJ Abdchafik pour le temps consacré à nous écouter, nous orienter et nous corriger tout au long de notre projet.

Un grand merci à notre enseignante madame LEILA MIZAT pour ses conseils son aide et sa disponibilité et ses orientations

J'adresse mes remerciements à tous les membres du jury d'accepter de juger ce modeste travail et je souhaite exprimer nos profondes gratitude à tous les enseignants qui nous ont formé dès la 1<sup>ère</sup> année jusqu'à la 5<sup>ème</sup> année à l'Université Amar Thelidji- Laghouat

Je ne saurais terminer mes remerciements sans mentionner les membres de ma famille et spécialement ma mère et mon père, qui, sur le plan humain, m'ont soutenu par leurs encouragements tout au long de mes études.

Enfin, je remercie toute personne de près ou de loin participant pour rendre ce travail réalisable et présentable.

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui m'ont tant soutenue toute Ma vie et  
qui ont le droit de recevoir mes chaleureux remerciements  
Pour le courage et le sacrifice qu'ils ont consentis pendant la  
durée de mes études en leurs souhaitant  
une longue vie pleine de joie et de santé ma chère mère  
et mon père.

A mes sœurs que dieu les garde pour moi.

A mon binôme Ali Habati .

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce  
projet soit possible

A toutes mes amies et toutes mes collègues de ma promotion.

Ahmed MAHÇAR

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui m'ont tant soutenue toute Ma vie et  
qui ont le droit de recevoir mes chaleureux remerciements

Pour le courage et le sacrifice qu'ils ont consentis pendant la  
durée de mes études en leurs souhaitant  
une longue vie pleine de joie et de santé ma chère mère  
et mon père.

A mes frères que dieu les garde pour moi.

A mon binôme Ahmed MAHÇAR .

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce  
projet soit possible

A toutes mes amies et toutes mes collègues de ma promotion.

Ali HABATI

# Sommaire

|                                                                                                |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Résumé : ملخص .....                                                                            |                   |
| Remerciements .....                                                                            | II                |
| Dédicaces.....                                                                                 | III               |
| Dédicaces.....                                                                                 | III               |
| Sommaire.....                                                                                  | IV                |
| Liste des figures.....                                                                         | V                 |
| Liste des tableaux .....                                                                       | VIII              |
| Liste des Symbole.....                                                                         | IX                |
| Liste des Abréviation : .....                                                                  | XI                |
| Introduction générale.....                                                                     | <a href="#">1</a> |
| Chapitre I : Réseaux électriques MT Modélisation et écoulement de puissance .....              | 2                 |
| I.1 Introduction .....                                                                         | 3                 |
| I.2 Structure du réseau électrique .....                                                       | 3                 |
| I.3 Modélisation du réseau électrique .....                                                    | 3                 |
| I.3.1 Modèle de générateur .....                                                               | 4                 |
| I.3.2 Modèle du transformateur .....                                                           | 4                 |
| I.3.3 Modèle de la ligne de transport .....                                                    | 5                 |
| I.3.4 Éléments shunt .....                                                                     | 5                 |
| I.3.5 les charges .....                                                                        | 6                 |
| I.3.6 Classification des nœuds des réseaux électrique .....                                    | 6                 |
| I.4 Concept général de l'écoulement de puissance .....                                         | 7                 |
| I.5 Objectif de l'étude de l'écoulement de puissance .....                                     | 7                 |
| I.6 Résolution Des équations D'écoulements de puissance .....                                  | 8                 |
| I.6.1 méthode de newton raphson .....                                                          | 8                 |
| I.6.2 Application de la méthode de Newton-Raphson .....                                        | 9                 |
| I.6.3 méthode découplée rapide .....                                                           | 9                 |
| I.7 Conclusion.....                                                                            | 10                |
| Chapitre II : Optimisation de la compensation de la puissance réactive dans un réseau MT ..... | 11                |
| II.1 Introduction.....                                                                         | 12                |
| II.2 Formulation du problème.....                                                              | 12                |
| II.3 La compensation .....                                                                     | 12                |
| II.4 Moyens de compensation de puissance réactive.....                                         | 13                |
| II.4.1 Condensateur ou batterie de compensation .....                                          | 13                |
| II.4.2 Les inductances .....                                                                   | 14                |
| II.4.3 Les compensateurs synchrones .....                                                      | 14                |
| II.4.4 Compensateurs statiques de puissance réactive .....                                     | 16                |
| II.5 Principe de la compensation d'énergie réactive.....                                       | 16                |
| II.6 Choix de localisation.....                                                                | 19                |
| II.6.1 Compensation globale.....                                                               | 19                |
| II.6.2 Compensation partielle ou par secteur .....                                             | 19                |
| II.6.3 Compensation individuelle .....                                                         | 20                |
| II.7 Systèmes et types de compensation .....                                                   | 21                |
| II.7.1 Compensation fixe .....                                                                 | 21                |
| II.7.2 compensation automatique ou en « gradins » .....                                        | 22                |
| II.7.3 principe et l'intérêt de la Compensation automatique .....                              | 23                |
| II.9. Méthode de calcul d'OCP : .....                                                          | 24                |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| II.10.1. Algorithme génétique.....                             | 24 |
| II.10.1.1 Principes et fonctionnalités.....                    | 25 |
| Une combinaison de ces deux points.....                        | 26 |
| II.11.1.2 Caractéristiques des algorithmes génétiques .....    | 26 |
| II.12. Placement Optimal des Batteries de Condensateurs :..... | 28 |
| II.13. Contraintes .....                                       | 29 |
| II.14 Conclusion .....                                         | 29 |
| Chapitre III : Simulations et résultats .....                  | 30 |
| III .1 Introduction .....                                      | 31 |
| III. 2.Description du réseau étudié.....                       | 31 |
| III.3 Outil de Simulation : Logiciel ETAP 12.6.0 .....         | 32 |
| III.4.Les avantages du logiciel Etap : .....                   | 33 |
| Conclusion : .....                                             | 65 |
| Conclusion générale .....                                      | 66 |
| Bibliographie.....                                             | 69 |

Liste des figures

| TITRE                                                                           | PAGE      |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure I.1</b> : Structure du réseau électrique                              | <b>3</b>  |
| <b>Figure I.2</b> Modèle d'un transformateur                                    | <b>4</b>  |
| <b>Figure 1. 3:</b> Modèle en $\pi$ d'une ligne électrique                      | <b>5</b>  |
| <b>Figure I.4</b> Schéma unifilaire d'un SVC                                    | <b>6</b>  |
| <b>Figure 1.5:</b> Symbole d'une charge                                         | <b>6</b>  |
| <b>Figure II.1.</b> Batterie de compensation                                    | <b>13</b> |
| <b>Figure II.2.</b> Compensateur synchrone ABB                                  | <b>15</b> |
| <b>Figure II.3.</b> Schéma d'un SVC                                             | <b>16</b> |
| <b>Figure II.4.</b> Principe de compensation.                                   | <b>17</b> |
| <b>Figure II.5.</b> Principe de la compensation d'énergie réactive              | <b>18</b> |
| <b>Figure II.6.</b> Diagramme traduisant l'échange d'énergie dans le circuit.   | <b>18</b> |
| <b>Figure II.7.</b> Compensation globale                                        | <b>19</b> |
| <b>Figure II.8.</b> Compensation partielle.                                     | <b>20</b> |
| <b>Figure II.9.</b> Compensation individuelle.                                  | <b>21</b> |
| <b>Figure II.10.</b> Compensation fixe                                          | <b>22</b> |
| <b>Figure II.11.</b> Principe de la compensation automatique d'une installation | <b>23</b> |
| <b>Figure II.12.</b> Organigramme de la méthode Algorithme Génétique            | <b>26</b> |
| <b>Figure III.1</b> Réseau IEEE-33 bus sur ETAP                                 | <b>31</b> |
| <b>Figure III.2</b> Fenêtre de LF-Default                                       | <b>33</b> |
| <b>Figure III.3</b> Schéma de réseau de distribution IEEE 33                    | <b>34</b> |
| <b>Figure III.4</b> Fenêtre d'Alerte des Tension                                | <b>35</b> |
| <b>Figure III.5</b> Schéma d'un réseau de 33 bus après écoulement de puissance  | <b>35</b> |
| <b>Figure III.6</b> Fenêtre affiche par l'alerte                                | <b>36</b> |
| <b>Figure III.7</b> Fenêtre d'optimal capacitor placement (OCP)                 | <b>36</b> |
| <b>Figure III.8</b> Fenêtre de sélectionner les bus candidats                   | <b>37</b> |
| <b>Figure III.9</b> Fenêtre de nombre de batterie de condensateur               | <b>38</b> |
| <b>Figure III.10</b> Fenêtre de valeur et nombre de capacité                    | <b>39</b> |
| <b>Figure III.11</b> Fenêtre de gestionnaire de rapport OCP                     | <b>40</b> |
| <b>Figure III.12</b> Schémas de rapport OCP                                     | <b>41</b> |
| <b>Figure III.13</b> Fenêtre de fonction objective (PF) (cas1)                  | <b>42</b> |

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure III.14</b> Fenêtre des bus candidats(cas1)                                     | <b>43</b> |
| <b>Figure III.15</b> Fenêtre de l'emplacement optimale des batteries de condensateurs.   | <b>43</b> |
| <b>Figure III.16</b> Schéma de nombre et emplacement de batterie de condensateur(cas1)   | <b>44</b> |
| <b>Figure III.17</b> Schémas de réseau après le placement de condensateur.(cas1)         | <b>45</b> |
| <b>Figure III.18</b> Fenêtre d'alerte après placement des batteries(cas1)                | <b>45</b> |
| <b>Figure III.19</b> Rapport de facteur de puissance globale avant compensation(cas1)    | <b>47</b> |
| <b>Figure III.20</b> Rapport de facteur de puissance globale après compensation(cas1)    | <b>47</b> |
| <b>Figure III.21</b> Analyse par diagramme à barres pour le rapport de coûts OCP(cas1)   | <b>48</b> |
| <b>Figure III.22</b> Fenêtres de fonction objective tension (cas2)                       | <b>49</b> |
| <b>Figure III.23</b> Fenêtre d'alerte (les bus candidats)(cas2)                          | <b>50</b> |
| <b>Figure III.24</b> Fenêtre d'emplacement optimale des batteries de condensateurs(cas2) | <b>51</b> |
| <b>Figure III.25</b> Schéma de nombre et emplacement de batterie de condensateur(cas2)   | <b>52</b> |
| <b>Figure III.26</b> Schéma de réseau après placement des batteries(cas2)                | <b>53</b> |
| <b>Figure III.27</b> Fenêtre d'alerte après placements batterie(cas2)                    | <b>53</b> |
| <b>Figure III.28</b> Rapport de facteur de puissance globale avant compensation          | <b>55</b> |
| <b>Figure III.29</b> Rapport de facteur de puissance globale après compensation(cas2)    | <b>56</b> |
| <b>Figure III.30</b> Profil de tension du réseau IEEE 33 bus (cas2)                      | <b>56</b> |
| <b>Figure III.31</b> Schéma de fonction objectif (pf et voltage) (cas3)                  | <b>58</b> |
| <b>Figure III.32</b> Fenêtre d'alerte (bus candidats)(cas3)                              | <b>59</b> |
| <b>Figure III.33</b> Fenêtre d'emplacement optimal des batteries de condensateurs(cas3)  | <b>59</b> |
| <b>Figure III.34</b> Schéma de nombre et emplacement de batterie de condensateur(cas3)   | <b>60</b> |
| <b>Figure III.35</b> Schémas de réseau après le placement des batteries de condensateur  | <b>61</b> |
| <b>Figure III.36</b> L'alerte après placement batterie de condensateur(cas3)             | <b>61</b> |
| <b>Figure III.37</b> Rapport de facteur de puissance avant compensation (essai)          | <b>63</b> |
| <b>Figure III.38</b> Rapport de facteur de puissance globale après compensation(cas3)    | <b>64</b> |
| <b>Figure III.39</b> Profils de tension du réseau IEEE33 bus (cas3)                      | <b>64</b> |

Liste des tableaux

| TITRE                                                                              | PAGE      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau III.1</b> Données du réseau de distribution IEEE 33 bus                 | <b>32</b> |
| <b>Tableau III.2</b> Les bus candidats (cas1)                                      | <b>45</b> |
| <b>Tableau III.3</b> Facteur de puissance de chaque nœud individuel                | <b>46</b> |
| <b>Tableau III.4</b> Résultats d’emplacement optimal de capacité                   | <b>48</b> |
| <b>Tableau III.5</b> Les bus candidats (cas2)                                      | <b>52</b> |
| <b>Tableau III.6</b> Facteur de puissance de chaque nœud individuel                | <b>54</b> |
| <b>Tableau.III.7</b> Résultats d’emplacement optimal de condensateur de 300 KVAR   | <b>57</b> |
| <b>Tableau III.8</b> Les Bus candidats (cas3)                                      | <b>60</b> |
| <b>Tableau III.9</b> Facteur de puissance de chaque nœud individuel                | <b>62</b> |
| <b>Tableau III.10</b> Résultats d’Emplacement optimale de condensateur de 300 KVAR | <b>65</b> |

Liste des Symbole

|          |                                                           |
|----------|-----------------------------------------------------------|
| S        | Puissance apparente                                       |
| P        | Puissance active                                          |
| Q        | Puissance réactive                                        |
| Qc       | Puissance réactive produit par condensateur (à compensée) |
| Qtot     | puissance réactive totale                                 |
| U        | Tension composé                                           |
| U1       | Tension d'alimentation                                    |
| U2       | Tension au borne de charge                                |
| I        | Courant de ligne                                          |
| Ia       | Courant active                                            |
| Ir       | Courant réactive                                          |
| It       | Courant apparent                                          |
| In       | Intensité nominale du condensateur                        |
| $\Phi$   | Déphasage entre le courant et la tension                  |
| $\theta$ | L'angle de la tension au niveau de jeux de barre          |
| U        | Chute de tension                                          |
| f        | Fréquence                                                 |
| Pf       | Facteur de puissance                                      |
| $\omega$ | Pulsation du réseau                                       |
| R        | Résistance                                                |
| C        | Capacité                                                  |
| L        | Inductance                                                |
| X        | Réactance                                                 |
| Z        | L'impédance                                               |
| Y        | Admittance                                                |

**Liste des Abréviation :**

|       |                                                   |
|-------|---------------------------------------------------|
| HTA   | Haute Tension class A                             |
| BTB   | Base Tension class B                              |
| THT   | Très Haute Tension                                |
| HT    | Haute Tension                                     |
| MT    | Moyenne Tension                                   |
| BT    | Base Tension                                      |
| TGBT  | Tableau Générale Base tension                     |
| FACTS | Flexible Alternatif Curant Transmission Systèmes  |
| SVC   | Compensateur Statique                             |
| OCP   | Optimal Capacitor Placement                       |
| IEEE  | Institute of Electrical and Electronics Engineers |

# Introduction générale

Dans un contexte où l'économie d'énergie est le mot d'ordre, la qualité de l'énergie est un enjeu qui implique tous les maillons du réseau de distribution d'électricité. L'énergie électrique, permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux différents consommateurs elle est principalement produite et distribuée sous forme de tensions triphasées sinusoïdales,

. Dans le cas idéal, cette énergie doit être fournie sous la forme d'un ensemble de tensions constituant un système alternatif triphasé équilibré, qui possède quatre caractéristiques principales : Amplitude, Fréquence, Forme d'onde et Symétrie. Cependant, il se trouve que les réseaux de distribution sont responsables de la majeure partie des pertes de puissance dans les réseaux électriques. Toute la puissance transmise par les réseaux de distribution est affectée par les pertes de puissance. Le degré de ces pertes est associé à l'orientation de la portée. Lorsqu'une ligne est configurée de manière spécifique et que la demande de puissance active est incompressible, il est important de réduire les chutes de tension, ainsi, les pertes de puissance active ne peuvent être rétablies que par la diminution du transit des fortes composantes réactives du courant de ligne. La compensation de l'énergie réactive est recommandée et le moyen le plus indiqué est l'intégration des batteries de condensateurs shunts de manière optimale dans les réseaux de distribution.

Les batteries de condensateurs fournissent un meilleur facteur de puissance, une forme de tension améliorée, ainsi elle minimise les factures de services d'électricité. Des recherches substantielles ont été menées sur la solution de planification optimale de la valeur et du placement de ces condensateurs dans le réseau de distribution. Avec l'arrivée des logiciels de calcul très puissants cette tâche est devenue facile alors qu'auparavant cela représentait un travail très laborieux.

Dans ce contexte l'objectif principal de notre travail dans ce mémoire est l'optimisation des valeurs des batteries de compensation et de leurs emplacements dans un réseau de distribution afin d'améliorer la qualité d'énergie transmise aux clients.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre concerne les réseaux de distribution où nous sommes intéressés à la modélisation de ces réseaux ainsi que l'écoulement de puissance dans les lignes de ces réseaux de distribution. Dans le deuxième chapitre on déterminera l'état de l'art des méthodes d'optimisation de la compensation de l'énergie réactive. Dans le troisième chapitre, on se penchera sur l'optimisation de la compensation de l'énergie réactive par batteries fixes où on déterminera l'emplacement optimal des batteries de condensateur afin d'améliorer les facteurs de puissance et rétablir les chutes de tension dans les lignes d'un réseau test IEEE 33 bus, en utilisant le logiciel ETAP.

# Chapitre I : Réseaux électriques MT Modélisation et écoulement de puissance

## I.1 Introduction

Grâce à l'analyse de l'écoulement de puissance, il est possible d'obtenir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en continu équilibré. Il s'agit des tensions aux nœuds, des puissances injectées aux nœuds et de ces grandeurs qui se déplacent sur les lignes. Il en découle des pertes et des courants. Les recherches sur le flux de puissance offrent la possibilité de prévoir la création et l'agrandissement des réseaux électriques, ainsi que la gestion et le contrôle de ces réseaux.

Dans cette partie, nous allons présenter les différentes composantes d'un réseau, introduire les notions principales concernant l'écoulement de puissance et présenter le problème de l'écoulement de puissance optimale

## I.2 Structure du réseau électrique

Un réseau électrique est un ensemble des éléments (centre de production, transformateurs, charges électriques, relais de protection ...etc.) reliés entre eux avec diverse topologie (réseau radial, maillé, interconnecté) dont l'objectif est de véhiculer l'énergie produite au niveau des centre de production au centre de consommation agglomérations urbaines et usines, tout en respectant certaines contraintes nécessaire à la stabilité et le bon fonctionnement de ce dernier tel que un profil de tension et de fréquence acceptable.

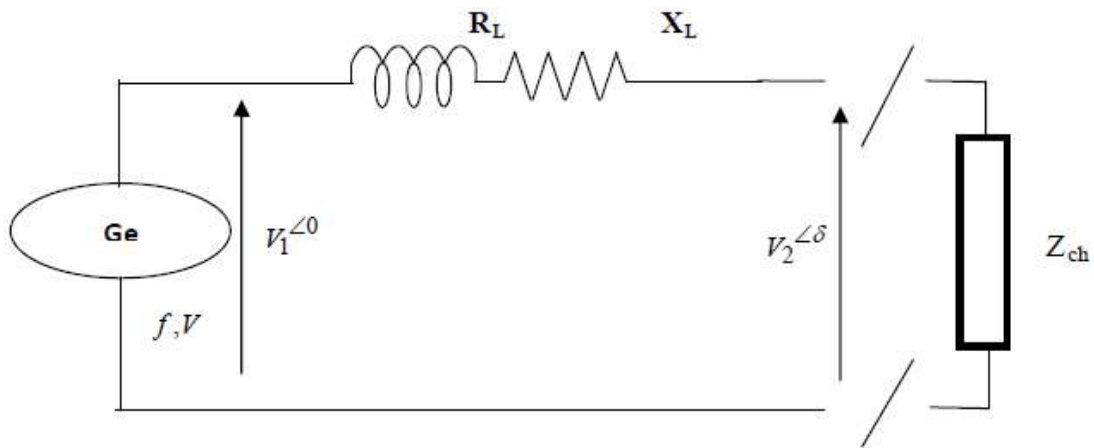


Figure I.1 : Structure du réseau électrique[1]

## I.3 Modélisation du réseau électrique

Les modèles de lignes, de transformateurs et de la charge peuvent être obtenus en admettant les hypothèses suivantes :

- La fréquence reste constante, ce qui permet de conserver la notion de réactance des éléments du réseau.
- Le comportement du réseau triphasé est équilibré. Il est donc possible d'utiliser la représentation monophasée du réseau [1].

### **I.3.1 Modèle de générateur**

Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants. La puissance active délivrée par le générateur est réglée à travers le contrôle de la turbine, qui doit être dans les limites de la capacité du système turbine générateur.

La tension est liée principalement à l'injection de la puissance réactive au jeu de barres de production, et comme le générateur doit fonctionner dans les limites de sa courbe de capacité réactive, il n'est pas possible de régler la tension en dehors de certaines limites admissibles [2].

$$P_{\min} \leq P \leq P_{\max} \quad (\text{I.1})$$

$$Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max} \quad (\text{I.2})$$

### **I.3.2 Modèle du transformateur**

Un transformateur électrique (parfois abrégé en transfo) est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme [3].



**Figure I.2** Modèle d'un transformateur[3]

### I.3.3 Modèle de la ligne de transport

La ligne de transport a été modélisée par un schéma équivalent en qui est composé d'une impédance série (résistance  $R$  en série avec une réactance inductive  $X$ ), et une admittance shunt qui consiste en une susceptance capacitive  $B$  (due à l'effet capacitif de la ligne avec la terre) en parallèle avec une conductance d'isolation  $G$  [4]. Voir la Figure I.2.

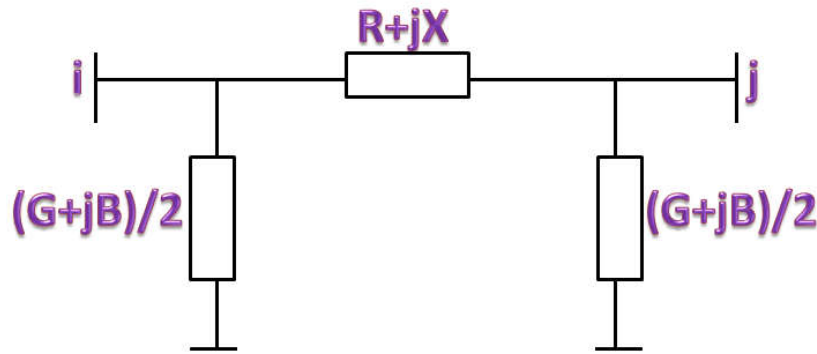


Figure 1. 3: Modèle en  $\pi$  d'une ligne électrique[4]

Les lignes électriques peuvent être modélisées en  $\pi$  afin de représenter le comportement électrique prévu de celles-ci. La valeur des différents paramètres tels que la résistance linéaire, la conductance, l'inductance et la capacité à la fois mutuelle et par rapport à la sont obtenues grâce à ce modèle.

Terre des lignes. C'est parce que tous les paramètres augmentent de manière linéaire avec la longueur de la ligne que seules des valeurs linéiques sont fournies. [4].

### I.3.4 Éléments shunt

Dans la plupart des cas, les éléments shunts sont des dispositifs destinés à la compensation de l'énergie réactive et la tenue de la tension, à savoir : batteries de condensateurs et inductances fixes, compensateurs synchrones ou compensateurs statiques (SVC). Chaque élément connecté au réseau sera modélisé, suivant le cas, par une admittance équivalente ou une injection de puissance [5].

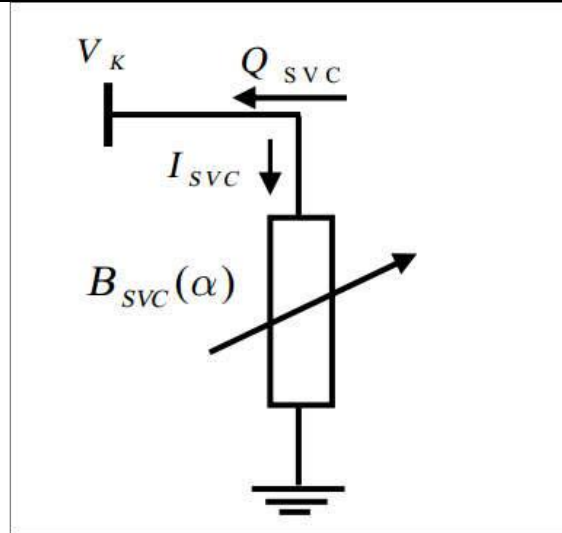


Figure I.4 Schéma unifilaire d'un SVC [4]

### I.3.5 les charges

Une charge est modélisée par une impédance qui consomme une puissance active constante  $P_L$  et une puissance réactive constante  $Q_L$  voir la Figure 1. 5

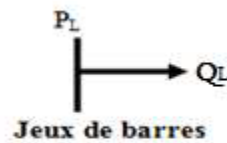


Figure 1.5: Symbole d'une charge

### I.3.6 Classification des nœuds des réseaux électrique

**Nœud de charge (PQ) :** c'est un nœud connecté directement avec la charge, il ne possède aucune source d'énergie. Les puissances active et réactive sont considérées connues.

**Nœud générateur (PV) :** c'est un nœud connecté directement avec un générateur ou une source d'énergie réactive, la puissance active et la tension sont considérées connues. La production de l'énergie réactive est limitée par des valeurs inférieures et supérieures,  $Q_{gmin}$  et  $Q_{gmax}$  respectivement. Si l'une des deux limites est atteinte, la valeur se fixe à cette limite et la tension se libère, le nœud devient alors un nœud (PQ).

**Nœud bilan (slack bus) :** c'est un nœud connecté avec un générateur relativement puissant ; il est considéré dans le calcul d'écoulement de puissance afin de compenser les pertes actives et assurer l'égalité entre la demande et la génération de la puissance active. Dans un nœud bilan l'amplitude et l'angle de la tension sont supposés connus [2].

---

**I.4 Concept général de l'écoulement de puissance**

Le problème de l'écoulement de puissance est résolu pour la détermination en régime permanent des tensions complexes au niveau des jeux barres du réseau à partir de lesquelles les transits des puissances actives et réactives dans chaque ligne et transformateur sont calculés.

L'ensemble des équations représente le réseau électrique de nature non linéaire pratiquement dans les méthodes de calcul d'écoulement de puissance, on exploite la configuration du réseau et les propriétés de ses équipements pour déterminer la tension complexe au niveau de chaque nœud. D'autre part, en parfaite symétrie entre les trois phases du système triphasés du réseau électrique [6].

**I.5 Objectif de l'étude de l'écoulement de puissance**

L'objectif primordial des opérateurs des réseaux électriques est d'assurer la continuité de service (alimentation de leurs abonnés), tout en respectant plusieurs exigences. Les tensions et la fréquence de réseau doivent d'être dans les limites acceptables [6] :

$$V_{\min} < V < V_{\max} \quad (\text{I.3})$$

$$F_{\min} < F < F_{\max} \quad (\text{I.4})$$

- 1) La forme d'onde du courant et de la tension doit d'être sinusoïdale (éviter les harmoniques).
- 2) Les lignes de transmission doivent fonctionner dans leurs limites thermiques et de stabilité.

$$P_r < P_{\max} \quad (\text{I.5})$$

- 3) La durée de coupure de l'alimentation doit être le minimum possible.
- 4) En outre, à cause de dérégulation (ouverture) du marché d'électricité le courant de kWh doit être le plus bas possible.

Pour évaluer toutes ces conditions, on doit posséder des méthodes qui déterminent l'état des grandeurs électriques, on doit calculer ainsi les tensions (modules et arguments) au niveau de tous les jeux de barres qui forment le réseau. Ainsi que toutes les puissances qui transitent les lignes de transmission.

## I.6 Résolution Des équations D'écoulements de puissance

### I.6.1 méthode de newton raphson

Cette méthode se base sur le développement en série de Taylor voire l'équation suivant [9] :

$$f(x) = 0 \quad (\text{I.6})$$

Comme toute fonction peut s'exprimer comme une série de puissances, la fonction donnée peut être développée en série de Taylor autour d'un point  $x_0$

$$f(x) = f(x_n) + \frac{1}{1!} \frac{df(x_n)}{dx} (x - x_n) + \frac{1}{2!} \frac{d^2f(x_n)}{dx^2} (x - x_n)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \frac{d^n f(x_n)}{dx^n} (x - x_n)^n \quad (\text{I.7})$$

Si les termes parés la dérivée première sont négligés (en supposant que la convergence est assurée par les deux premiers termes ), une première approximation est donnée par :

$$f(x) = f(x_0) + \frac{df(x_0)}{dx} (x - x_0) = 0 \quad (\text{I.8})$$

D'où on tire

$$f(x) = f(x_0) - \frac{df(x_0)}{df(x_0)/dx} \quad (\text{I.9})$$

Cependant, afin de prévenir toute confusion dans les notations, il est préférable de réécrire( I.9) sous la forme:

$$x^{(1)} = x^{(0)} - \frac{df(x^{(0)})}{df(x^{(0)})/dx} \quad (\text{I.10})$$

Avec  $x^{(0)}$  l'approximation initiale (estimée)

$x^{(1)}$  la premier approximation .

Aussi, une formule récursive peut être développée, ce qui donne à l'itération  $k+1$ :

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \frac{df(x^{(k)})}{df(x^{(k)})/dx} \quad (\text{I.11})$$

Ou alternativement :

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \frac{f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})} \quad (\text{I.12})$$

$$\text{Alors} \quad \Delta x = - \frac{f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})} \quad (\text{I.13})$$

$$\text{Ou} \quad \Delta x = x^{(k+1)} - x^{(k)} \quad (\text{I.14})$$

Cette même méthode peut être facilement étendue aux équations multi variables non linéaires.

Soit le système de n équations à n inconnues:

$$\begin{aligned} f_1 &= (x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_2 &= (x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_n &= (x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{aligned} \quad (\text{I.15})$$

Ou sous forme matricielle :  $F(x)=0$

$$\text{avec} \quad x^t = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (\text{I.16})$$

Comme pour le cas monovariable, si les fonctions du système d'équations (4.40) peuvent être développées en séries de Taylor, et que les termes parés les premières dérivées sont négligés, on peut écrire :

$$F(x)=F(x^0) + [J(x^{(0)})][X - (x^{(0)})] \quad (\text{I.17})$$

### 1.6.2 Application de la méthode de Newton-Raphson

La méthode de Newton-Raphson est très fiable et extrêmement rapide pour la convergence (principalement en utilisant la programmation impliquant les techniques de sparsité).

Cette méthode n'est pas sensible aux causes de la mauvaise convergence des autres techniques (choix du nœud balancier, capacités séries, résistances négatives, etc.). Le taux de convergence est

relativement indépendant de la dimension du système étudié. L'application de cette méthode peut se faire selon les coordonnées rectangulaires ou polaires des tensions de nœuds. Dans cette méthode, la matrice admittance est celle qui est utilisée.

Avec cette notation et en divisons le Jacobien en sous matrices, l'expression appliquée au problème de la répartition des charges, se convertit, en un système matriciel suivant :

$$\begin{bmatrix} \Delta p \\ \Delta Q \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} \Delta v \\ \Delta \theta \end{bmatrix}_k \quad (\text{I.18})$$

La variable peut être divisée par V

$$\begin{bmatrix} \Delta p \\ \Delta Q \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} \Delta v \\ \frac{\Delta \theta}{v} \end{bmatrix}_k \quad (\text{I.19})$$

### 1.6.3 méthode découplée rapide

La méthode découplée rapide est une simplification de la méthode découplée, cette dernière méthode est basée sur l'équation suivant [10].

$$\Delta p^k = H^k * \Delta \theta \quad (\text{I.20})$$

$$\Delta Q^k = L^k * \left(\frac{\Delta v}{v}\right) \quad (\text{I.21})$$

---

Les éléments des Jacobiens[H]et[L] sont obtenus après certaines approximations successives :

$$\cos(\theta_i - \theta_j) \approx 1 \quad (\text{I.22})$$

$$\sin(\theta_i - \theta_j) \approx 0 \quad (\text{I.23})$$

$$G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) \approx B_{ij} \quad (1.24)$$

$$Q_i \ll B_{ii} * V_i^2 \quad (1.25)$$

Comme conséquence des simplifications antérieures, les équations en les divisant par V et en posant  $V_j=1$  peuvent être de la forme suivante :

$$\left(\frac{\Delta P}{V}\right)_k = B' \cdot \Delta \theta^k$$

$$\left(\frac{\Delta Q}{V}\right)_h = B'' \cdot \Delta \theta^h$$

$$B'_{ij} = \frac{-1}{X_{ij}}$$

$$B'_{ij} = - \sum_{j \in i} \frac{1}{X_{ij}} B''_{ij} = -B_{ij}$$

$$B''_{ii} = -B_{ii} \quad (\text{I.26})$$

## I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé différents modèles des éléments qui composent le réseau électrique, tels que les lignes de transport, le transformateur et le générateur, dans le but de résoudre divers problèmes tels que l'écoulement de matière première. En réalité, afin d'évaluer toutes les circonstances associées à Il est nécessaire d'avoir des méthodes pour évaluer l'état des grandeurs électriques lors de l'écoulement de l'énergie.

Effectivement, il est nécessaire de déterminer les tensions (modules et arguments) pour tous les jeux de barres qui composent le réseau. De même que toutes les puissances qui traversent les lignes de communication. Pour évaluer toutes les conditions liées à l'écoulement de l'énergie, on doit posséder des méthodes qui déterminent l'état des grandeurs électriques.

# **Chapitre II : Optimisation de la compensation de la puissance réactive dans un réseau MT**

### II.1 Introduction

La compensation de l'énergie réactive joue un rôle crucial dans l'amélioration de la qualité de l'énergie, tant sur le plan technique et économique. Parmi les différentes méthodes d'amélioration du facteur de puissance, on peut citer la compensation de l'énergie réactive

Dans ce chapitre, on va étudier le principe de la compensation, ainsi que les différents types des compensateurs de l'énergie réactive

### II.2 Formulation du problème

Les pertes de puissance, le faible facteur de puissance et la dégradation du profil de la tension sont la conséquence du fort transit de courant dans les réseaux électriques

Les réseaux de distribution présentent des phénomènes plus marqués où les courants de branche sont plus intenses que ceux qui circulent dans les réseaux de transport. Grâce à cette situation, une attention particulière a été portée aux réseaux de distribution et aux courants intenses qui y circulent pour les protéger.

Il est important de restreindre les intensités afin d'améliorer la qualité de l'énergie fournie aux consommateurs. Si une reconfiguration du réseau ne peut être réalisée qu'en agissant sur les composantes réactives des courants de branche, le moyen le plus approprié est d'installer des batteries de condensateurs shunts. Il est essentiel d'effectuer une installation rationnelle des batteries de condensateurs afin de garantir la qualité de l'énergie. Cet objectif fait donc du problème de la compensation de l'énergie réactive un problème d'optimisation. Cependant et du fait de la nature discrète des tailles des batteries et leurs emplacements.

### II.3 La compensation

Les réseaux électriques ont pour but de véhiculer de la puissance depuis la source jusqu'aux centres de consommation dans un réseau à courant alternatif. La puissance apparente  $S$  à deux composantes

La puissance  $P$  et la puissance  $Q$  liées par le déphasage :

$$S = P + jQ = UI[\cos\phi + j\sin\phi] \quad (\text{II.1})$$

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.

$$\frac{\Delta V}{V} \cong \frac{RP + XQ}{V^2} \quad (\text{II.2})$$

La répartition des moyens de production d'énergie réactive (alternateurs, bancs de condensateurs ou compensateurs statiques) à proximité des zones de consommation contribue donc à maintenir la tension constante sur le réseau. Il est noté que les solutions peuvent reposer sur des moyens de compensation de puissance réactive statique (bancs de condensateurs, bancs de bobines) ou dynamiques (alternateurs, FACTS) [9].

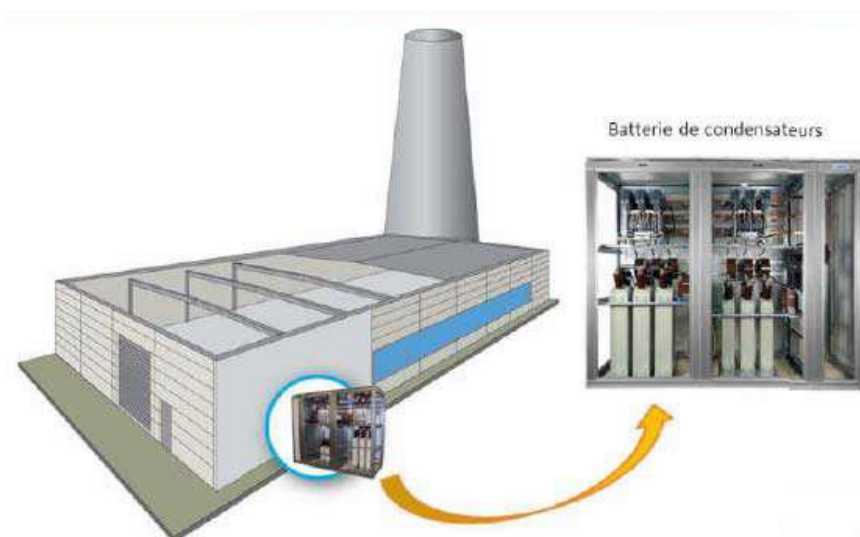
### II.4 Moyens de compensation de puissance réactive

#### III.4.1 Condensateur ou batterie de compensation

Le condensateur est un récepteur constitué de deux parties conductrices (électrodes) séparées par un isolant. Ce récepteur a la propriété lorsqu'il est soumis à une tension sinusoïdale de déphaser son intensité, donc sa puissance (réactive capacitive) de 90° en avant sur la tension à l'inverse, tous les autres récepteurs (moteur, transformateur...) déphasent leur composante réactive (intensité ou puissance réactive inductive) de 90° en arrière sur la tension.

La composition vectorielle de ces intensités ou puissances réactives (inductive et capacitive) conduit à une intensité ou puissance résultante réactive inférieure à celle existant avant l'installation de condensateurs.

Pour simplifier, on dit que les récepteurs inductifs (moteur, transformateur...) consomment de l'énergie réactive alors que, les condensateurs (récepteurs capacitifs) produisent de l'énergie réactive [9].



**Figure II.1.** Batterie de compensation[9]

On distingue deux types :

**Des batteries de condensateurs HT :** Elles sont essentiellement destinées à compenser les pertes réactives sur les réseaux HT et THT.

**Des batteries de condensateurs MT :** ou THT/MT. Ces batteries servent à compenser l'appel global de l'énergie réactive des réseaux de distribution aux réseaux de transport. Elles sont localisées et dimensionnées individuellement en fonction du réglage de tension [11].

Le condensateur est le plus utilisé compte :

- De sa non-consommation en énergie active.
- De son coût d'achat.
- De sa facilité de mise en œuvre.
- De sa durée de vie (10 ans environ).
- De son faible entretien (appareil statique).

Le coût des batteries de condensateurs dépend de plusieurs paramètres :

- La puissance installée.
- Le niveau de tension.
- Le fractionnement en gradins.
- Le mode de commande.
- Le niveau de qualité de la protection.

### II.4.2 Les inductances

Elles sont utilisées pour compenser l'énergie réactive fournie en heures creuses par les lignes à très haute tension ou par les câbles. Elles sont soit directement raccordées au réseau, soit branchées sur les tertiaires des transformateurs. Par conséquent, elles permettent une limitation des surtensions dans le réseau [12].

### II.4.3 Les compensateurs synchrones

Dans les systèmes énergétiques, les générateurs synchrones sont les principaux producteurs de puissances actives et réactives. Pour la puissance active. Ils sont l'unique source, par contre pour la puissance réactive, la quantité produite par ces sources est limitée par les conditions de fonctionnement normales des machines des centrales. La quantité produite n'est pas constante.

Les compensateurs synchrones sont très utilisés dans les systèmes électriques pour résoudre des problèmes de compensation de la puissance réactive et de réglage de la tension [13].



**Figure II.2.** Compensateur synchrone ABB[13]

### Avantages

Ce moyen de compensation est avantageux :

- Excellent rendement (un facteur de puissance voisin de 1).
- Peut être placé près des consommateurs.
- Facile à régler comme producteur ou consommateur de puissance réactive.
- Effet autorégulateur

### Inconvénients

Il a été délaissé de son application comme compensateur malgré leurs mérites pour les inconvénients :

- Coût initial élevé.
- Machine tournante qui demande des entretiens.
- Pertes actives relativement importantes.
- La force motrice, n'est pas toujours compatible avec la demande instantanée de puissance réactive.
- Il peut décrocher dans le cas d'une surcharge brusque ou d'une chute de tension importante du réseau. Ceci nécessite une surveillance particulière avec l'utilisation de dispositifs de sécurité, encombrants.
- Il a besoin d'un générateur à courant continu pour assurer son excitation. Cet organe supplémentaire augmente le prix du moteur.

- Il ne peut démarrer qu'à très faible charge en exigeant soit un moteur auxiliaire de lancement, soit le démarrage en asynchrone avec un réducteur de tension au démarrage en asynchrone avec un réducteur de tension au démarrage [14].

### II.4.4 Compensateurs statiques de puissance réactive

Grâce au développement de l'électronique de puissance, la compensation d'énergie réactive par des moyens statiques est devenue possible par des compensateurs statiques de puissance réactive (SVC). Ces dispositifs constitués d'éléments électriques (batteries de condensateur, bobine...est) et d'éléments d'électronique pour commutation (thyristors) permettant des variations rapides et continue de puissance réactive pour éliminer les fluctuations de la puissance réactive absorbée par certains appareils provoquent des fluctuations de tension qui peuvent être gênantes pour tous les usagers [13].

Un compensateur statique d'énergie réactive (en anglais SVC : Static VAR Compensator, en français parfois CER) est un dispositif de l'électronique de puissance destiné à compenser la circulation de puissance réactive sur les réseaux électriques [15].

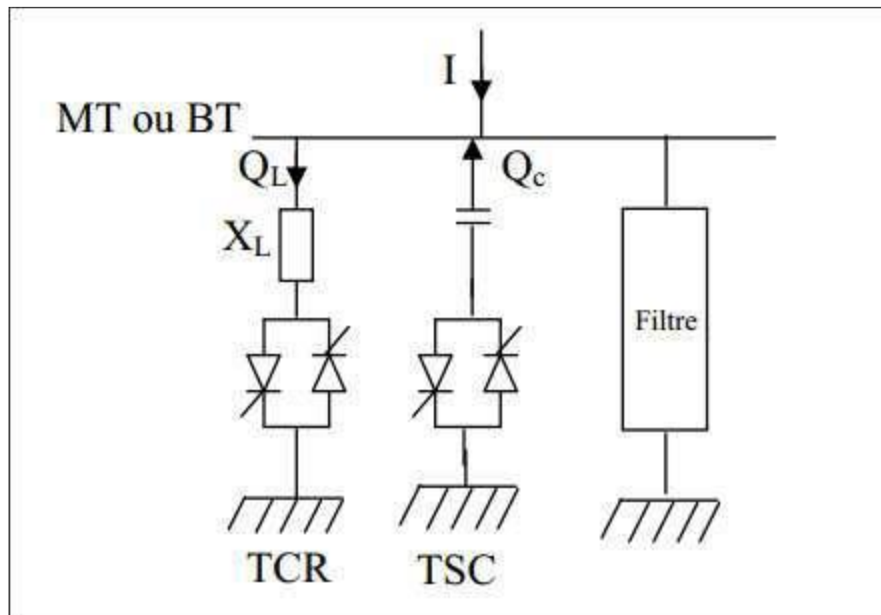
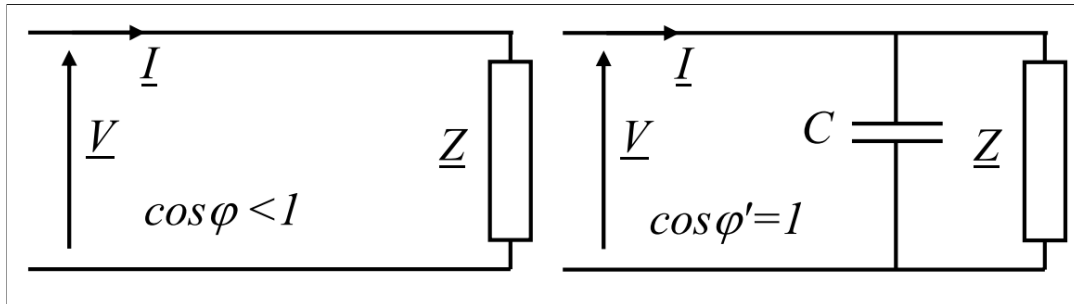


Figure II.3. schéma d'un SVC[15]

### II.5 Principe de la compensation d'énergie réactive

Considérons l'impédance  $Z = r. ej \phi = R + jX$  représentant une charge inductive ( $X > 0$ ), ci-dessous. La puissance réactive correspondante est  $Q = X. I^2$  d'un condensateur C en tête du circuit

ne modifie pas la charge et ne rajoute aucune puissance active en revanche, C produit la puissance réactive et va donc donner un nouveau facteur de puissance  $\cos \phi'$ .



**Figure II.4.** Principe de compensation.[14]

On sait que :

$$Q_c = C \omega \times V^2 \quad (\text{II.3})$$

Le théorème de Boucherot apporte :

$$Q_{\text{totale}} = Q - Q_c \quad (\text{II.4})$$

La compensation de puissance réactive consiste à assurer  $Q_{\text{tot}} = 0$  c-à-d à  $Q_c = Q$  et  $\cos \phi' = 1$

Le Condensateur à choisir a alors la valeur :

$$C = \frac{X I^2}{\omega V^2} = \frac{Q_c}{\omega V^2} \quad (\text{II.5})$$

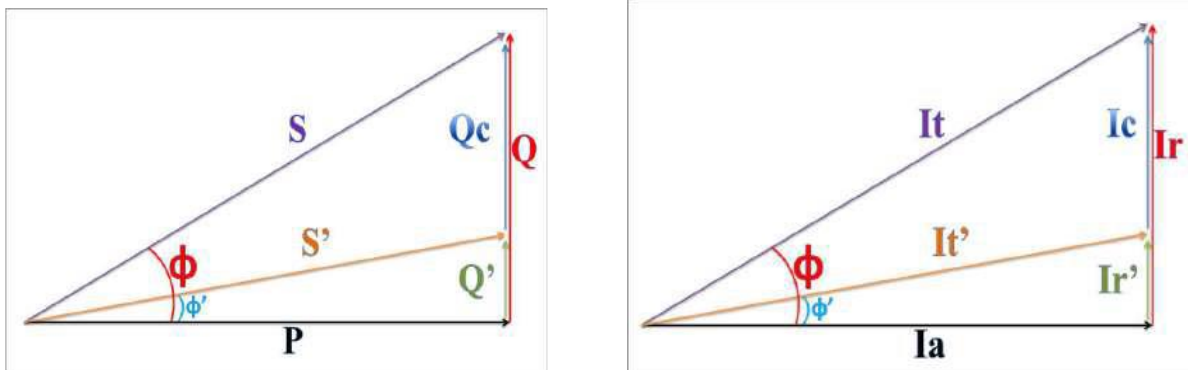
Du coup il est intéressant de connaître la formule générale qui donne la valeur de la capacité en fonction du  $\cos \phi$  et du  $\cos \phi'$ .

Les pertes croissantes lorsque  $Q < P$  (soit  $Q^2 \ll P^2$ ), il peut être souhaitable pour améliorer la sûreté de l'exploitation et de surcompenser le réseau, c'est-à-dire de fournir une puissance réactive plus élevée que celle qui est consommée, de façon, par exemple, à annuler la chute de tension. Dans ce cas, on peut montrer que les pertes augmentent, c'est-à-dire que le gain sur les pertes dû à l'augmentation de la tension est inférieur à leur accroissement dû à l'augmentation de  $Q$ .

Le minimum théorique pour les pertes est donc la compensation totale. Par ailleurs, d'un point de vue économique, la compensation cesse d'être intéressante lorsque le coût des moyens de compensation, compte tenu de leur taux d'utilisation, devient supérieur au gain réalisé sur les pertes [14].

L'énergie réactive circule avec des conséquences techniques et économiques considérables. En effet, la figure II.6 illustre que pour une puissance active équivalente  $P$ , il est nécessaire de

fournir davantage de puissance apparente  $S$ , et donc de courant, que la puissance réactive  $Q$ . est importante.



**Figure II.5.** Principe de la compensation d'énergie réactive[16]

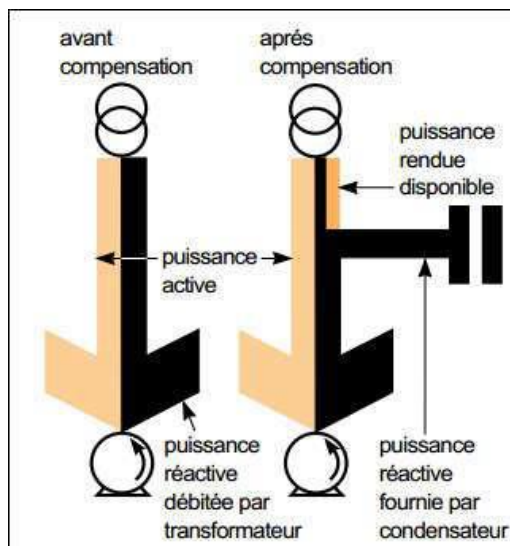
Il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des charges pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau. C'est ce qu'on appelle "compensation de l'énergie réactive".

Pour inciter à cela et éviter de sur-calibrer son réseau, le distributeur d'énergie pénalise financièrement les consommateurs d'énergie réactive au-delà d'un certain seuil. On utilise des condensateurs pour fournir l'énergie réactive aux récepteurs inductifs. Pour réduire la puissance apparente absorbée au réseau de la valeur  $s$  à la valeur  $s'$ , on doit connecter une batterie de condensateurs fournissant l'énergie réactive  $Q_c$  (figure II.5), [18].

telle que :

$$Q_c = P. (\tan \phi - \tan \phi') \quad (\text{II.6})$$

Le courant total fourni par le réseau  $I_t$  est réduit (figure II.23), le rendement de l'installation se trouve donc amélioré puisque les pertes par effet Joule sont proportionnelles au carré du courant [17]. La figure (II.6) illustre l'échange local d'énergie réactive entre le récepteur et le condensateur d'alimentation d'un récepteur et montrant l'intérêt de la compensation.



**Figure II.6.** Diagramme traduisant l'échange d'énergie dans le circuit. [5]

### II.6 Choix de localisation

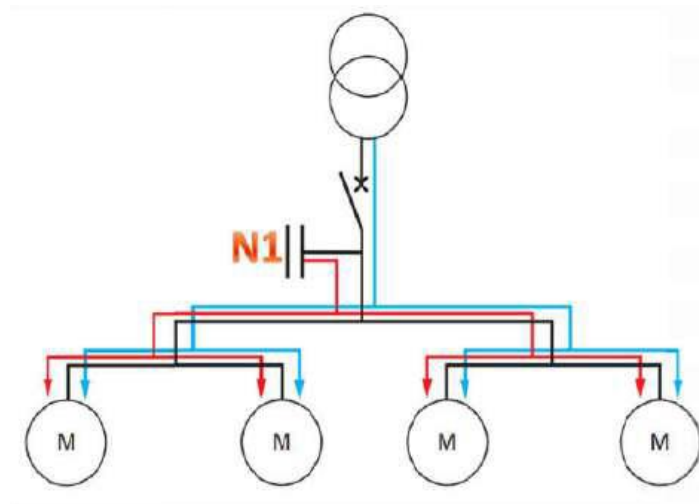
La compensation peut être globale par secteur ou individuelle. En principe, la compensation idéale qui permet de produire l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée et en quantité ajustée à la demande. Ce mode de compensation est très coûteux, on cherchera donc, dans la pratique, un optimum technico- économique [18].

#### II.6.1 Compensation globale

La batterie est raccordée en tête d'installation et assure la compensation pour l'ensemble de l'installation. La batterie reste en service en permanence pendant le fonctionnement normal de l'installation le foisonnement naturel de l'installation entraîne un dimensionnement faible de la batterie et un nombre élevé d'heures de fonctionnement. Elles sont donc amorties encore plus rapidement.

De plus, ce type de compensation :

- Supprime les facturations complémentaires pour consommation excessive d'énergie réactive (exemple : tarif vert).
- Diminue la puissance apparente (ou appelée) en l'ajustant au besoin réel en kW de l'installation (exemple : tarif jaune).
- Soulage le poste de transformation (puissance disponible en KW). [14]



**Figure II.7.** Compensation globale[14]

#### II.6.2 Compensation partielle ou par secteur

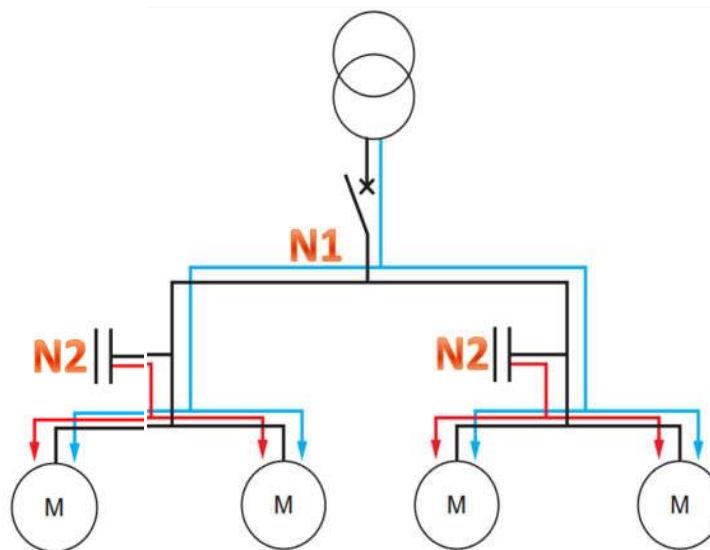
La batterie de condensateurs est connectée sur l'arrivée du tableau de distribution intermédiaire pour lequel la compensation doit être réalisée.

Une économie significative sur l'installation est réalisée grâce à cette disposition, notamment au niveau du dimensionnement des câbles d'arrivée ~~du ou~~ des tableaux intermédiaires pour lesquels la compensation est réalisée.

### Avantages :

La compensation partielle de l'installation :

- Réduit les pénalités tarifaires dues à une consommation excessive d'énergie réactive
- Réduit la puissance apparente d'utilisation (en kVA), calculée habituellement à partir des charges installées.
- Soulage le transformateur d'alimentation, ce qui permet d'alimenter des charges supplémentaires si nécessaire.
- Permet de réduire la section des câbles d'arrivée du tableau de distribution intermédiaire, ou d'ajouter des charges supplémentaires.
- Réduit les pertes en ligne dans ces mêmes câbles. [18]



**Figure II.8.** Compensation partielle.[14]

### II.6.3 Compensation individuelle

La batterie est connectée directement aux bornes de la charge inductive (généralement un moteur). La compensation individuelle est considérée quand la puissance du moteur est significative par rapport à la puissance souscrite de l'installation.

### Avantages :

La compensation individuelle réduit :

- Les pénalités tarifaires dues à une consommation excessive d'énergie réactive.
- La puissance apparente consommée (en kVA).
- La section des câbles et les pertes en ligne.

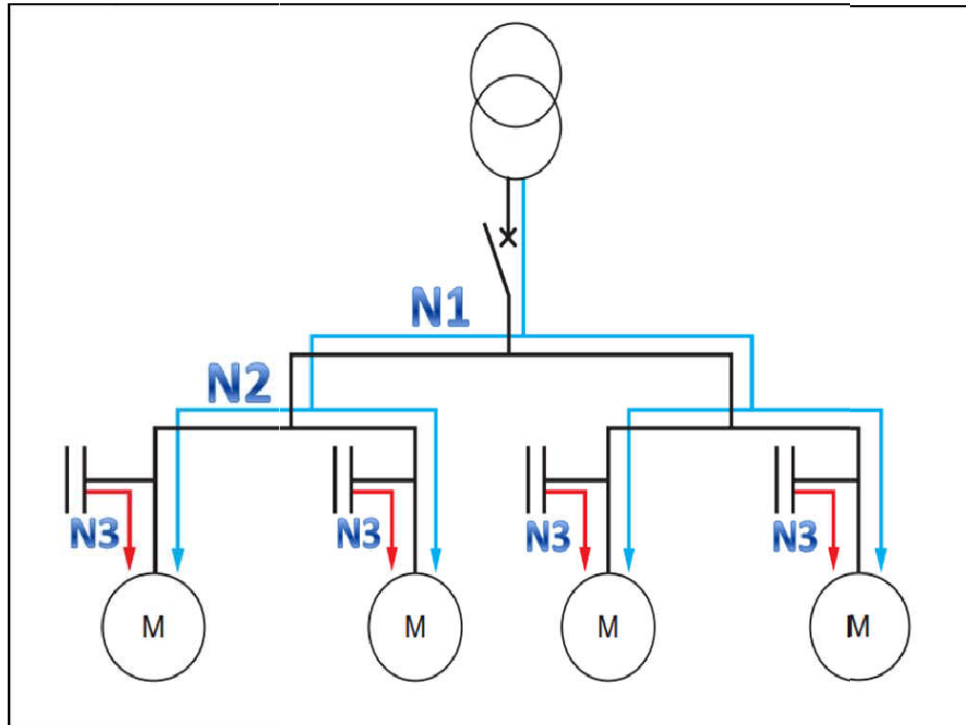


Figure II.9. Compensation individuelle.[13]

## II.7 Systèmes et types de compensation

### II.7.1 Compensation fixe

La puissance réactive fournie par la batterie est constante quelles que soient les variations du facteur de puissance et de la charge des récepteurs, donc de la consommation d'énergie réactive de l'installation.

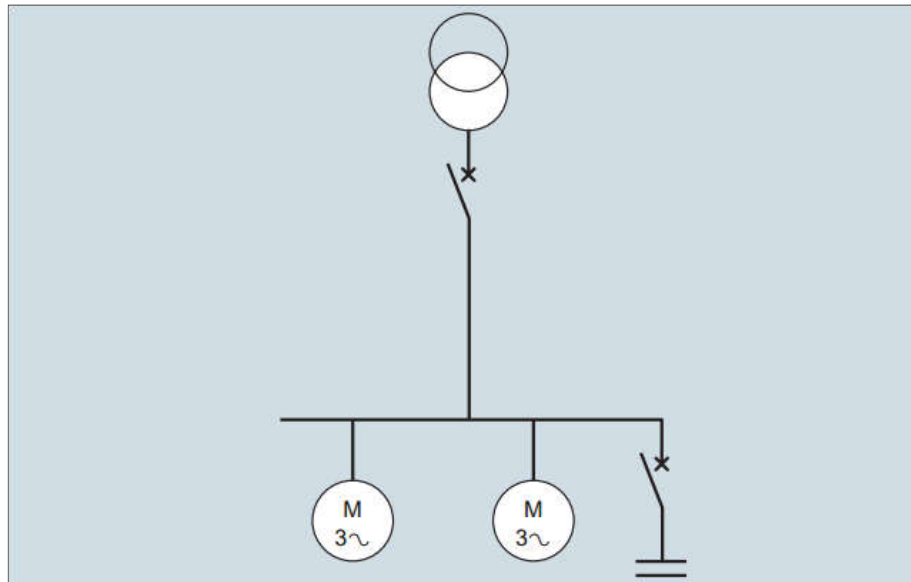
La mise sous tension de ces batteries est :

- Soit manuelle par disjoncteur ou interrupteur.
- Soit semi-automatique par contacteur commandé à distance.

Ce type de batteries est généralement utilisé dans les cas :

- D'installation électrique à charge constante fonctionnant 24/24 h.
- De compensation réactive des transformateurs.
- De compensation individuelle de moteurs.

- D'installation d'une batterie dont la puissance est inférieure ou égale à 15 % de la puissance du transformateur [19].



**Figure II.10.** Compensation fixe.

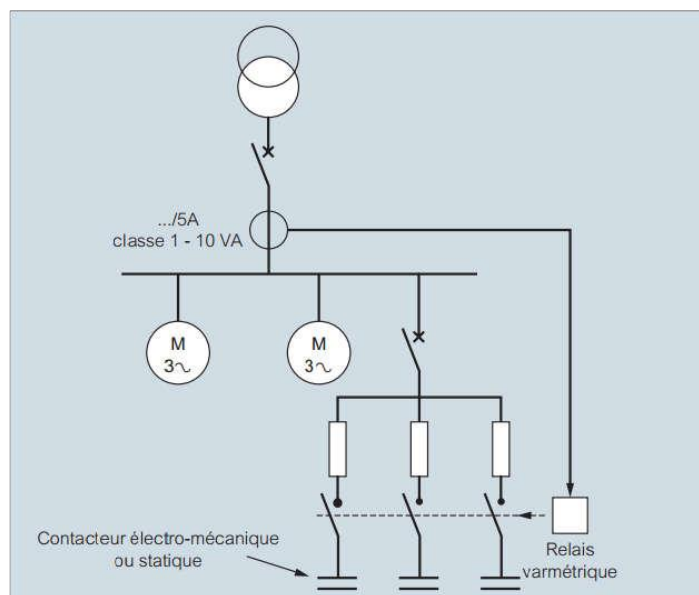
### II.7.2 compensation automatique ou en « gradins »

La puissance réactive fournie par la batterie est modulable en fonction des variations du facteur de puissance et de la charge des récepteurs, donc de la consommation d'énergie réactive de l'installation.

Ces batteries sont composées d'une association en parallèle de gradins condensateurs (gradin = condensateur + contacteur). La mise en ou hors service de tout ou partie de la batterie étant asservie à un régulateur varométrique intégré.

Ces batteries sont également utilisées dans le cas :

- D'installation électrique à charge variable.
- De compensation de tableaux généraux (TGBT) ou gros départ d'installation d'une batterie dont la puissance est supérieure à 15% de la puissance du transformateur [21].



**Figure II.11.** Principe de la compensation automatique d'une installation[19]

### II.7.3 principe et l'intérêt de la Compensation automatique

Les gradins d'une batterie de condensateurs à régulation automatique sont séparés. Un contacteur commande chaque gradin. En activant le contacteur, le gradin est mis en marche en parallèle avec les gradins connectés à l'installation. Au contraire, le contacteur l'exclut du service. De cette manière, la capacité totale de la batterie de condensateurs fluctue selon les étapes en fonction de la demande de kVAR.

Un relais varmétrique mesure la valeur du facteur de puissance de l'installation et en commandant l'ouverture ou la fermeture des contacteurs des gradins en fonction de la charge, régule la valeur du facteur de puissance de l'installation à la valeur consignée. La tolérance sur la régulation est déterminée par la taille de chaque gradin. Le transformateur de courant TC associé au relais varmétrique doit être installé sur une des phases de l'arrivée alimentant les charges à compenser, comme décrit dans le schéma de la Figure II.11.

L'équipement Varset Fast est une batterie de condensateurs de compensation à régulation automatique incluant un contacteur statique (thyristors) au lieu d'un contacteur. La compensation statique est intéressante sur des installations avec des équipements ayant des cycles de variation de charges très rapides et/ou très sensibles aux surtensions transitoires [19].

### II.8. Placement optimal des condensateurs OCP :

Le problème que l'on rencontre souvent dans les réseaux de transmission d'énergie électrique et les systèmes de distribution est la chute de tension inférieure à la norme. La norme utilisée

concerne généralement les surtensions de + 5% et les sous-tensions de -10%. La chute de tension se produit sur des lignes très longues car l'impédance de la ligne continuera à augmenter. Ceci est dangereux si la charge utilisée est une charge dynamique telle qu'un moteur dont la tension doit être stable et bonne. S'il s'agit d'une charge résidentielle, l'indication est la diminution de la luminosité.

Dans la distribution d'énergie électrique, on tente d'éviter des chutes de tension en tapotant sur le transformateur. Si cette méthode n'est plus en mesure de fonctionner, le condensateur doit être installé sur une ligne avec une chute de tension afin que le profil de tension et le

facteur de puissance du système soient meilleurs et que la distribution de l'énergie électrique devienne plus optimale [21].

### II.9. Méthode de calcul d'OCP :

ETAP utilise actuellement l'algorithme génétique pour un placement optimal des condensateurs. L'algorithme génétique est une technique d'optimisation basée sur la théorie de la sélection naturelle. Un algorithme génétique commence par une génération de solutions très diverses pour représenter les caractéristiques de l'ensemble de l'espace de recherche. Par mutation de croisement, de bonnes caractéristiques sont sélectionnées et portées à la génération suivante, la solution optimale peut être atteinte par des générations répétées. [22]

#### II.10.1. Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques font partie de méthodes stochastiques. Ils ont été introduits par (**J. Holland en 1975**) [11]. En 1989, Goldberg a publié un livre de référence pour les algorithmes génétiques « Genetic algorithms in search, optimization and machine learning ». C'est à ce livre que nous devons la popularisation des algorithmes génétiques. A chaque génération (itération), un nouvel ensemble de chaînes de caractères (population) est créé en utilisant des parties des meilleurs éléments de la génération précédente; ainsi que des parties innovatrices, à l'occasion. Bien qu'utilisant le hasard, les algorithmes génétiques ne sont pas purement aléatoires. Ils exploitent efficacement l'information obtenue précédemment pour spéculer sur la position de nouveaux points à explorer, avec l'espoir d'améliorer la performance. La fonction dont on recherche l'optimum est dite fonction objective. On peut remarquer dès à présent que l'on ne fait aucune hypothèse sur cette fonction, en particulier elle n'a pas à être dérivable, ce qui représente un avantage sur certaines méthodes de recherche d'extremum.

### II.10.1.1 Principes et fonctionnalités

#### 1. Principe de base

Les algorithmes génétiques sont des approches d'optimisation qui utilisent des techniques dérivées de la science génétique et de l'évolution naturelle : la sélection, la mutation et le croisement. Pour utiliser ces approches, on doit disposer des éléments suivants:

- Le codage de population

Une fonction pour générer la population initiale : la génération de la population initiale est importante puisque cette génération représente le point de départ de l'algorithme et son choix influe sur la rapidité et l'optimalité de la solution finale

- Une fonction à optimiser (la fonction objectif) : une fonction qui retourne une valeur d'adaptation pour chaque individu. Cette valeur permet de déterminer la solution pertinente puisque le problème se restreint à chercher le groupe d'individus qui ont les valeurs optimums.
- Des opérateurs qui permettent d'évoluer d'une population à une autre tout en améliorant la fonction objectif (sélection, croisement, mutation).
- Des paramètres de dimensionnement : la taille de la population, nombre total de générations (critère d'arrêt), probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation, etc.

#### 2. Fonctionnement

Un algorithme génétique fonctionne de la manière suivante:

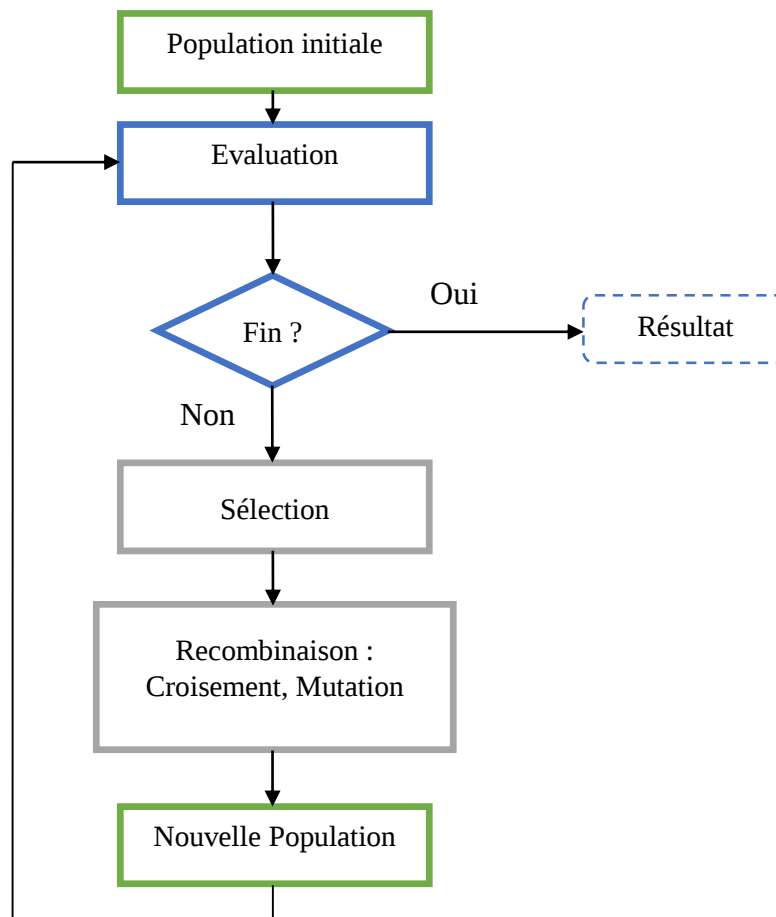
**Étape 1 : Initialisation**, on choisit  $N$  individus qui représentent la population initiale;

**Étape 2 : Évaluation**, on évalue chaque individu par la fonction objectif;

**Étape 3 : Sélection**, on définit les individus de la génération  $P$  qui vont être dupliqués dans la nouvelle population. A chaque génération, il y a deux opérateurs de sélection : la sélection de reproduction, ou plus simplement sélection, qui déterminent les individus qui vont se reproduire durant une génération et la sélection pour le remplacement, ou plus simplement le remplacement, qui détermine quels individus devront disparaître de la population ;

**Étape 4 : Reproduction**, on utilise des opérateurs génétiques (croisement et mutation) pour produire la nouvelle génération. Les opérateurs de mutation modifient un individu pour en former un autre tandis que les opérateurs de croisement engendrent un ou plusieurs enfants à partir de combinaisons de deux parents

La forme classique d'un algorithme génétique est donnée par l'organigramme de Figure III.12



**Figure III.12** Organigramme de la méthode Algorithme Génétique

Le critère de convergence peut être de nature diverse, par exemple:

- Un taux minimum qu'on désire atteindre d'adaptation de la population au problème;
- Un certain temps de calcul à ne pas dépasser;

Une combinaison de ces deux points

### II.11.1.2 Caractéristiques des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques, en tant qu'approche de résolution de problèmes, se caractérisent par certains aspects particuliers: le codage des paramètres du problème à traiter, l'espace de recherche et la fonction d'évaluation qui permet de déterminer la pertinence d'une solution trouvée

et l'évolution d'une génération à une autre par la sélection des chromosomes qui participent à la reproduction et les chromosomes à disparaître.

### 1. Codage

Le codage est une fonction qui permet de passer de la donnée réelle du problème traité à la donnée utilisée par l'algorithme génétique. Le choix du codage est l'élément le plus important dans la conception de l'algorithme puisqu'il permet d'une part de représenter les données, les paramètres et les solutions et d'autre part il influe sur la mise en œuvre des opérations génétiques telles que le croisement et la mutation qui influent directement sur le bon déroulement de l'algorithme génétique et de leur convergence vers la bonne solution.

Généralement, on a trois types de codage ou le codage binaire est le plus répandu :

**Représentation binaire:** Chaque gène dispose du même alphabet binaire 0, 1. Un gène est alors représenté par un entier, les chromosomes, qui sont des suites de gènes sont représentés par des tableaux de gènes et les individus de l'espace de recherche sont représentés par des tableaux de chromosomes.

### 2. Fonction d'évaluation

La fonction de performance -qu'on appelle aussi fonction d'adaptation, fonction objectif ou fonction *fitness* -associe une valeur de performance à chaque individu ce qui offre la possibilité de le comparer à d'autres individus et permet à l'algorithme génétique de déterminer qu'un individu sera sélectionné pour être reproduit ou pour déterminer s'il sera remplacé [7].

### 3. Opérateurs génétiques

La reproduction est le processus qui permet de construire une population  $k + 1$  à partir d'une population  $k$ . Ce processus est constitué par l'utilisation de l'opération de sélection, de l'opération de croisement ou/et de l'opération de mutation.

#### ➤ Sélection

L'opération de sélection permet de déterminer quels individus sont plus enclins à obtenir les meilleurs résultats [7]. On trouve deux types de sélection:

- 1) La sélection pour la reproduction: On l'appelle tout simplement l'opération de sélection, et elle permet de choisir les individus qui participent à une reproduction (croisement ou

mutation). Cette opération choisit, généralement, les individus les plus forts (meilleurs scores d'adaptation) pour produire les enfants les plus performants.

2) La sélection pour le remplacement: On l'appelle tout simplement l'opération de remplacement, et elle choisit les individus les plus faibles pour être remplacés par les nouveaux.

### ➤ Croisement

L'opération de croisement (crossover) est une opération de reproduction qui permet l'échange d'information entre les chromosomes (individus). Il utilise deux parents pour former un ou deux enfants. Les deux parents sont choisis par l'opération de sélection. Le croisement permet l'innovation (les enfants sont différents de leurs parents) et repose sur l'idée que deux parents performants produiront des enfants plus performants.

Le taux de croisement détermine la proportion des individus qui sont croisés parmi ceux qui remplaceront l'ancienne génération.

### Mutation

Le rôle de cet opérateur est de modifier aléatoirement, avec une certaine probabilité, la valeur d'un composant de l'individu [7].

La mutation est un phénomène rare mais permet d'explorer de nouvelles zones dans l'espace de recherche et aide l'algorithme génétique à possiblement aller vers une solution optimale globale, sans resté pris dans une solution optimale locale

## II.12. Placement Optimal des Batteries de Condensateurs :

L'objectif du placement optimal des condensateurs est de minimiser le coût du système. Ce coût est mesuré de quatre manières :

- Coût d'installation d'un condensateur fixe
- Coût d'achat de condensateur
- Coût d'exploitation de la batterie de condensateurs (maintenance et amortissement)
- Coût des pertes réelles de puissances.

### II.11. Contraintes

Les principales contraintes pour le placement de condensateur sont de satisfaire les contraintes de flux de charge. De plus, toutes les tensions des bus de charge (PQ) et les facteurs de puissance (PF) doivent se situer entre les limites inférieure et supérieure.

Les contraintes peuvent être représentées mathématiquement sous la forme [27]:

1) Load flow :  $F(x, u) = 0$

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max} , PF_{\min} \leq PF \leq PF_{\max} \text{ for all PQ buses}$$

### II.9 Conclusion

La compensation de l'énergie réactive utilisé pour limiter le transport de cette énergie qui causer une chute de tension et des pertes au long de la ligne.

Plusieurs approches de On utilise différentes méthodes de compensation pour évaluer le facteur de puissance. La méthode la plus simple consiste à placer des batteries de condensateur en parallèle avec le réseau ou avec la charge. Dans le prochain chapitre, nous examinerons l'emplacement optimal des batteries de condensateur dans les réseaux de distribution en utilisant le logiciel ETAP.

# **Chapitre III : Simulations et résultats**

### III.1 Introduction

L'énergie est toujours transférée de la source à la distribution par le biais du transport en consommant des pertes de puissance active et réactive. Les pertes de puissance peuvent être contrôlées par une gestion améliorée de la puissance réactive. Pour éviter les pertes de puissance réactive, on opte pour la compensation locale de la puissance réactive en plaçant des condensateurs qui est la méthode la plus utilisée dans le monde. Les condensateurs peuvent fournir des puissances réactives, réduire pertes, améliorer le profil de tension et le facteur de puissance (PF), par conséquent, le placement optimal du condensateur est aujourd'hui une nécessité dans le réseau électriques complexe.

Dans le cas de notre étude nous avons choisi un réseau de distribution BT standard de 33 nœuds « IEEE 33 » dont sa description se trouve dans la littérature.

### III. 2.Description du réseau étudié

Le réseau que nous avons étudié est un réseau BT composé de 33 nœuds

Notre étude est testée sur un réseau de distribution radiale de 33 Nœud (IEEE 33) de 12,66 kV, comme indiqué à la (FigureIII.1) Les données du les systèmes sont obtenus à partir de [22] . la tension de poste est maintenue à 1.0 pu.

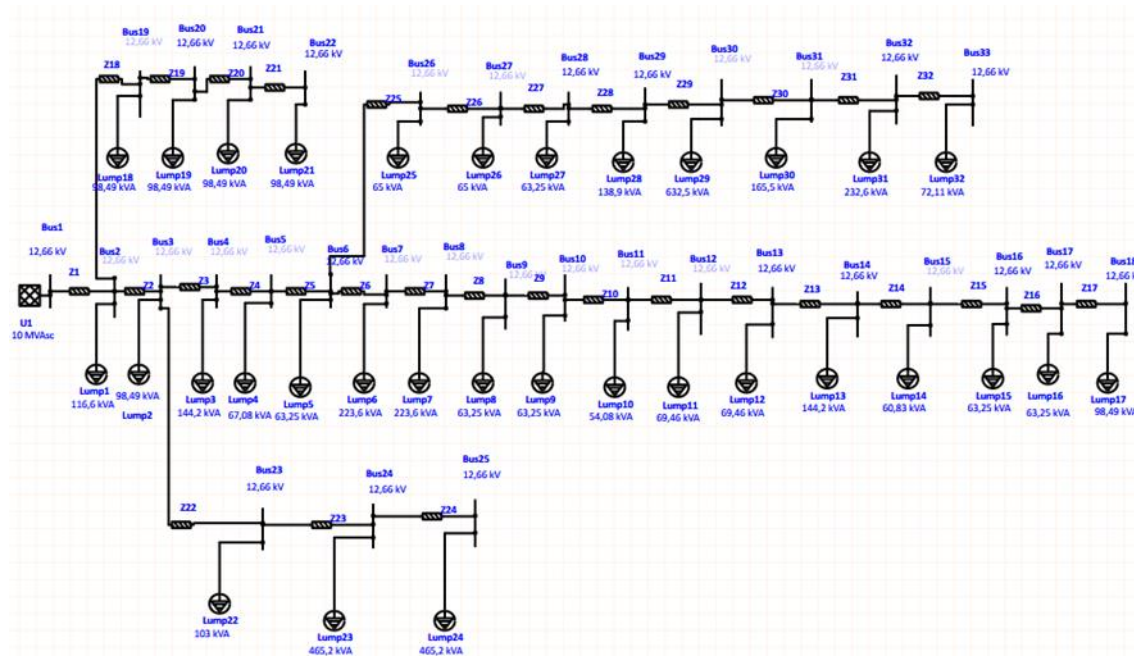


Figure III.1Réseau IEEE-33 bus sur ETAP.

**Tableau III.1** Données du réseau de distribution IEEE 33 bus [22]

TABLE IV  
DATA FOR 33-BUS TEST SYSTEM [10]

| Line number | Sending Bus  | Receiving Bus | Resistance ( $\Omega$ ) | Reactance ( $\Omega$ ) | Load at Receiving End Bus |                       |
|-------------|--------------|---------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|
|             |              |               |                         |                        | Real Power (kW)           | Reactive Power (kVAr) |
| 1           | 1<br>Main SS | 2             | 0.0922                  | 0.0477                 | 100.0                     | 60.0                  |
| 2           | 2            | 3             | 0.4930                  | 0.2511                 | 90.0                      | 40.0                  |
| 3           | 3            | 4             | 0.3660                  | 0.1864                 | 120.0                     | 80.0                  |
| 4           | 4            | 5             | 0.3811                  | 0.1941                 | 60.0                      | 30.0                  |
| 5           | 5            | 6             | 0.8190                  | 0.7070                 | 60.0                      | 20.0                  |
| 6           | 6            | 7             | 0.1872                  | 0.6188                 | 200.0                     | 100.0                 |
| 7           | 7            | 8             | 1.7114                  | 1.2351                 | 200.0                     | 100.0                 |
| 8           | 8            | 9             | 1.0300                  | 0.7400                 | 60.0                      | 20.0                  |
| 9           | 9            | 10            | 1.0400                  | 0.7400                 | 60.0                      | 20.0                  |
| 10          | 10           | 11            | 0.1966                  | 0.0650                 | 45.0                      | 30.0                  |
| 11          | 11           | 12            | 0.3744                  | 0.1238                 | 60.0                      | 35.0                  |
| 12          | 12           | 13            | 1.4680                  | 1.1550                 | 60.0                      | 35.0                  |
| 13          | 13           | 14            | 0.5416                  | 0.7129                 | 120.0                     | 80.0                  |
| 14          | 14           | 15            | 0.5910                  | 0.5260                 | 60.0                      | 10.0                  |
| 15          | 15           | 16            | 0.7463                  | 0.5450                 | 60.0                      | 20.0                  |
| 16          | 16           | 17            | 1.2890                  | 1.7210                 | 60.0                      | 20.0                  |
| 17          | 17           | 18            | 0.7320                  | 0.5740                 | 90.0                      | 40.0                  |
| 18          | 2            | 19            | 0.1640                  | 0.1565                 | 90.0                      | 40.0                  |
| 19          | 19           | 20            | 1.5042                  | 1.3554                 | 90.0                      | 40.0                  |
| 20          | 20           | 21            | 0.4095                  | 0.4784                 | 90.0                      | 40.0                  |
| 21          | 21           | 22            | 0.7089                  | 0.9373                 | 90.0                      | 40.0                  |
| 22          | 3            | 23            | 0.4512                  | 0.3083                 | 90.0                      | 50.0                  |
| 23          | 23           | 24            | 0.8980                  | 0.7091                 | 420.0                     | 200.0                 |
| 24          | 24           | 25            | 0.8960                  | 0.7011                 | 420.0                     | 200.0                 |
| 25          | 6            | 26            | 0.2030                  | 0.1034                 | 60.0                      | 25.0                  |
| 26          | 26           | 27            | 0.2842                  | 0.1447                 | 60.0                      | 25.0                  |
| 27          | 27           | 28            | 1.0590                  | 0.9337                 | 60.0                      | 20.0                  |
| 28          | 28           | 29            | 0.8042                  | 0.7006                 | 120.0                     | 70.0                  |
| 29          | 29           | 30            | 0.5075                  | 0.2585                 | 200.0                     | 600.0                 |
| 30          | 30           | 31            | 0.9744                  | 0.9630                 | 150.0                     | 70.0                  |
| 31          | 31           | 32            | 0.3105                  | 0.3619                 | 210.0                     | 100.0                 |
| 32          | 32           | 33            | 0.3410                  | 0.5302                 | 60.0                      | 40.0                  |

### III.3 Outil de Simulation : Logiciel ETAP 12.6.0

ETAP est un logiciel de référence dans le monde entier pour l'ensemble des domaines de l'industrie de l'électricité (ex : Data center, Hôpitaux, Oil & Gas, Industrie, Tertiaire, Ferroviaire, nucléaire, Production, Transport, Distribution...). Un logiciel pensé et créé pour la conception de projets de systèmes et d'installations électriques, leur simulation, leur maintenance, leur contrôle et leur exploitation dans différents secteurs.

ETAP permet de déterminer les conducteurs selon les normes, de calculer les courants de court-circuit, les TGBT, les cellules MT/HT, de réaliser l'écoulement de puissance, la coordination et la sélectivité des protections, et d'autres fonctions d'expertises [22].

Il est une solution totalement intégrée. Il permet à partir des documents de design, de

créer automatiquement la gestion en temps réel du système pour superviser, contrôler, automatiser, simuler, prédire et optimiser les opérations de maintenance. (Figure III.1)

### III.4. Les avantages du logiciel Etap :

Plusieurs arguments professionnels nous ont permis de choisir l'utilisation de ce logiciel à savoir

- Le langage de l'électrotechnicien, c'est la schématisation.  
On travaille sur un schéma clair et compréhensible.
- La conception et calcul d'une installation multi-sources BT avec ou sans HT paraît plus logique sur un même logiciel et encore mieux, sur un même fichier (cohérence des impédances, tension, etc.).
- Selon les scénarios de fonctionnement, une même charge peut consommer différemment. Une répartition des charges s'impose, tout en obtenant des résultats plus précis pour votre client.
- La chute de tension d'un circuit dépend, de la tension du point du raccordement, donc de l'utilisation du reste des circuits branchés sur le même point.
- La détermination des pertes des câbles
- La protection contre l'Arc ;
- Le calcul des courts-circuits, dans le cas d'installations BT & HT,
- L'analyse et la simulation.

Des affichages, des configurations d'exploitation de réseau, des révisions, des outils d'analyse, des assistants.

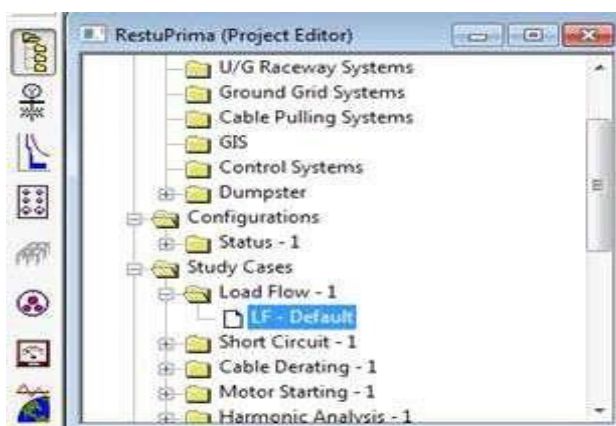
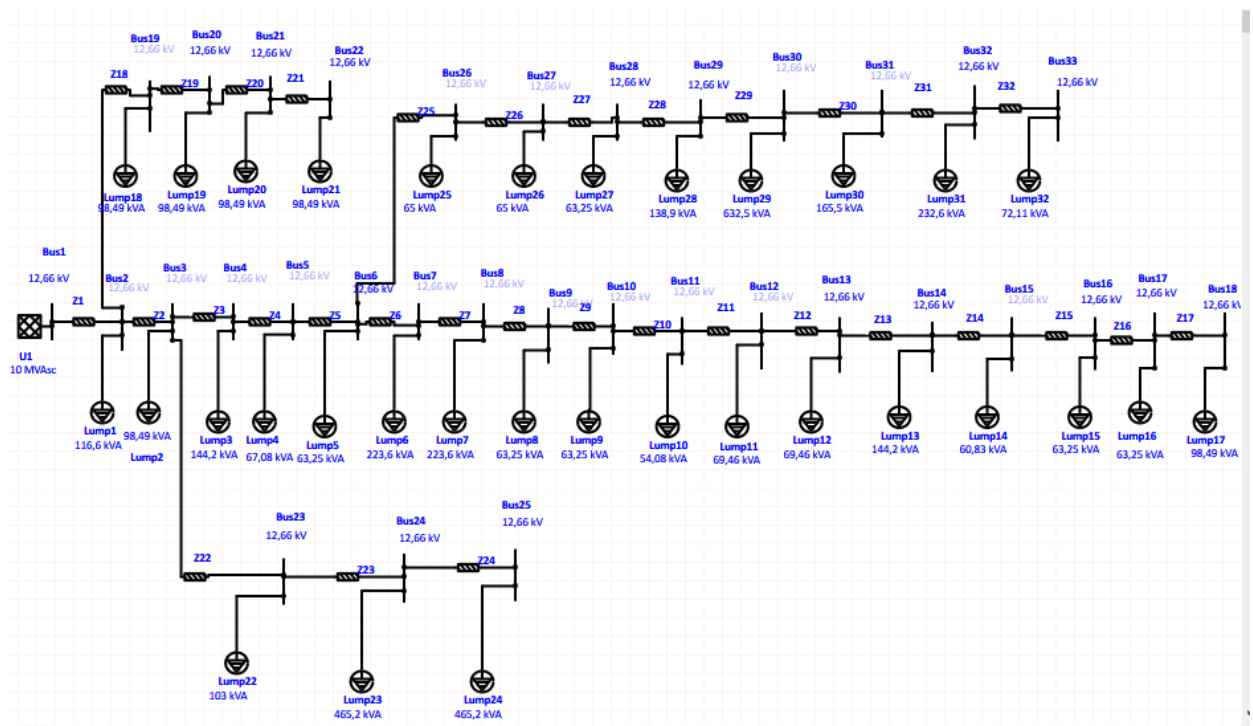


Figure III.2 fenêtre de LF-Default

Pour simuler le placement optimal des condensateurs, on suit les étapes suivantes :

1. On commence par dessiner le réseau sur ETAP après avoir défini le paramètre

écoulement de puissance par défaut Default (Figure III.2) (Figure III.3)



**Figure III.3** schéma de réseau de distribution IEEE 33

2. On clique sur la fenêtre Alerte pour définir la limite critique et marginale des tensions conformément à la norme ( $92\% < \text{Tension critique} < 105\%$ ,  $95\% < \text{Tension marginale} < 102\%$ ) (Figure III.4).

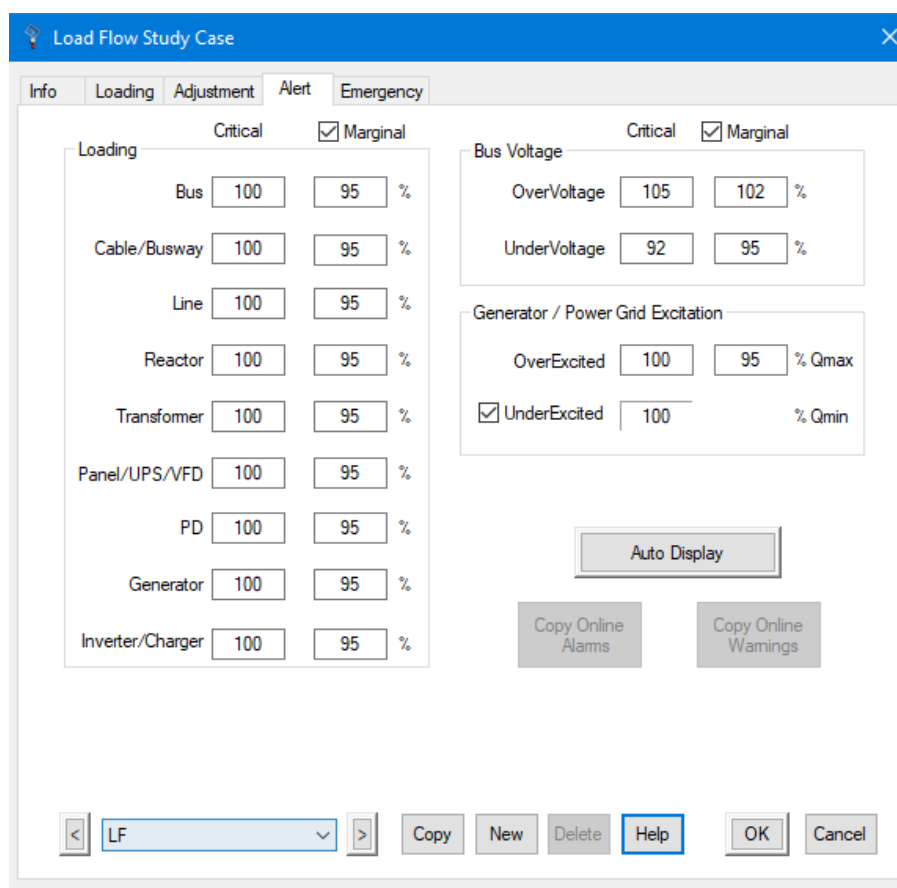


Figure III.4 Fenêtre d'Alerte des Tension (essai)

### 3. Exécution de l'écoulement de puissance

On observe la couleur du bus : si la couleur de bus est rouge, cela signifie que le niveau de tension est critique et si la couleur de bus est bleue, le niveau de tension se situe toujours dans la limite marginale. (Figure III.5)

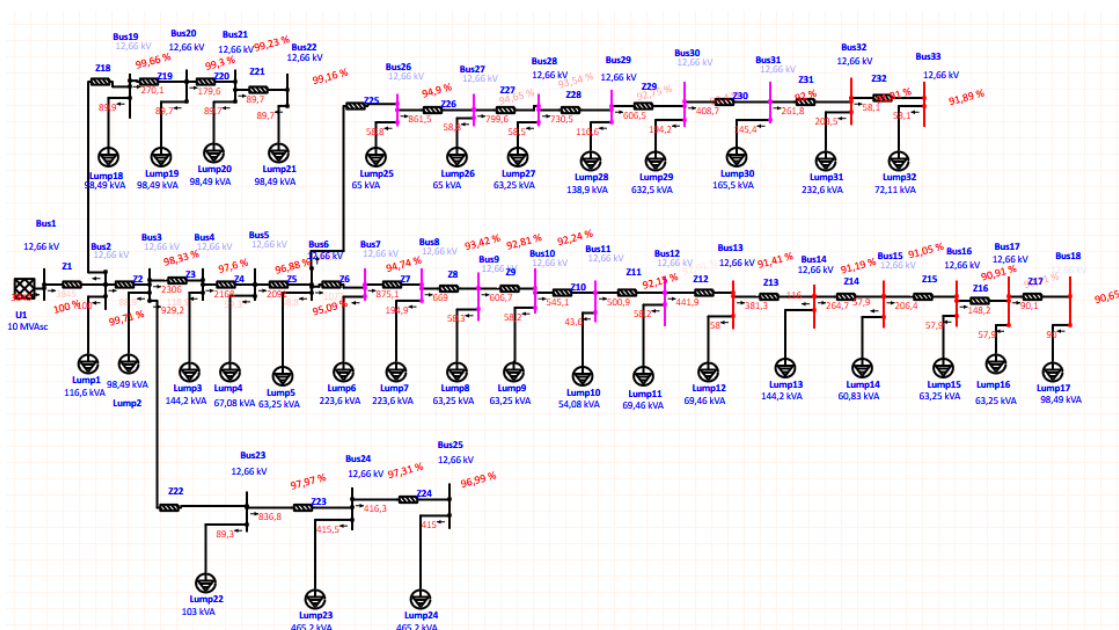


Figure III.5 schéma d'un réseau de 33 bus après écoulement de puissance(essai)

4. Ou on peut également cliquer sur Alerte,  , puis voit les informations suivantes (Figure III.6) :

| Load Flow Analysis Alert View - Output Report: Untitled |      |                     |              |                                                                                             |             |            |
|---------------------------------------------------------|------|---------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| Study Case: LF                                          |      | Data Revision: Base |              | Filter                                                                                      |             |            |
| Configuration: Normal                                   |      | Date: 25-05-2024    |              | <input type="checkbox"/> Zone <input type="checkbox"/> Area <input type="checkbox"/> Region |             |            |
| Critical                                                |      |                     |              |                                                                                             |             |            |
| Device ID                                               | Type | Condition           | Rating/Limit | Operating                                                                                   | % Operating | Phase Type |
| Bus13                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,572                                                                                      | 91.4        | 3-Phase    |
| Bus14                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,544                                                                                      | 91.2        | 3-Phase    |
| Bus15                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,526                                                                                      | 91          | 3-Phase    |
| Bus16                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,509                                                                                      | 90.9        | 3-Phase    |
| Bus17                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,484                                                                                      | 90.7        | 3-Phase    |
| Bus18                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,476                                                                                      | 90.6        | 3-Phase    |
| Bus32                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,636                                                                                      | 91.9        | 3-Phase    |
| Bus33                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,633                                                                                      | 91.9        | 3-Phase    |
| Marginal                                                |      |                     |              |                                                                                             |             |            |
| Device ID                                               | Type | Condition           | Rating/Limit | Operating                                                                                   | % Operating | Phase Type |
| Bus10                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,677                                                                                      | 92.2        | 3-Phase    |
| Bus11                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,667                                                                                      | 92.2        | 3-Phase    |
| Bus12                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,648                                                                                      | 92          | 3-Phase    |
| Bus26                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 12,014                                                                                      | 94.9        | 3-Phase    |
| Bus27                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,983                                                                                      | 94.7        | 3-Phase    |
| Bus28                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,843                                                                                      | 93.5        | 3-Phase    |
| Bus29                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,742                                                                                      | 92.7        | 3-Phase    |
| Bus30                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12.66 kV     | 11,698                                                                                      | 92.4        | 3-Phase    |

Figure III.6 fenêtre affiche par l’alerte (essai)

5. On clique sur la fenêtre optimale capacitor placement (Figure III.7)



Figure III.7 fenêtre d’optimal capacitor placement (OCP) (essai)

6. On Sélectionne les bus candidats ou il faut ajouter des batteries de condensateur (Figure III.8)

Optimal Capacitor Placement Study Case

Info Loading Voltage Constraint Power Factor Constraint Capacitor Adjustment

Capacitor Info

|   | Max.kV | Bank Size (kvar) | Max#Banks | Purchase (\$/kvar) | Install (\$) | Operating (\$/BankYr) |
|---|--------|------------------|-----------|--------------------|--------------|-----------------------|
| 1 | 0.48   | 100              | 10        | 10                 | 600          | 100                   |
| 2 | 0.6    | 100              | 10        | 10                 | 600          | 100                   |
| 3 | 2.4    | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                   |
| 4 | 4.8    | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                   |
| 5 | 6.64   | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                   |

Add Delete

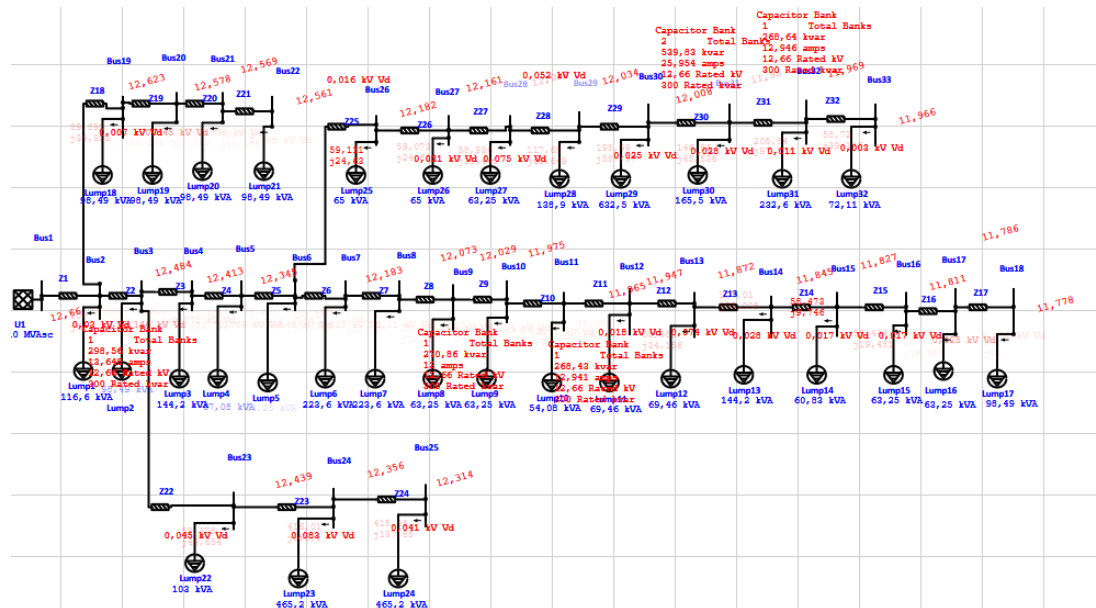
Bus Candidates

| Buses  |       | Bus Category                     | Candidates |       |
|--------|-------|----------------------------------|------------|-------|
| Bus ID | kV    |                                  | Bus ID     | kV    |
| Bus2   | 12.66 | All Buses<br>Add >><br><< Remove | Bus13      | 12.66 |
| Bus3   | 12.66 |                                  | Bus14      | 12.66 |
| Bus4   | 12.66 |                                  | Bus15      | 12.66 |
| Bus5   | 12.66 |                                  | Bus16      | 12.66 |
| Bus6   | 12.66 |                                  | Bus17      | 12.66 |
| Bus7   | 12.66 |                                  | Bus18      | 12.66 |
| Bus8   | 12.66 |                                  | Bus32      | 12.66 |

< OCP > Copy New Delete Help OK Cancel

Figure III.8 Fenêtre de sélectionner les bus candidats (essai)

7. Dans l'image ci-dessus, on trouve également un tableau de données de condensateur comprenant le niveau de tension maximal, la capacité, le nombre de batteries condensateurs, les prix et les coûts d'exploitation.
8. En utilisant le bouton OCP  , il calculera automatiquement la capacité et le nombre minimale des batteries de condensateurs nécessaires pour améliorer le facteur de puissance, le profil de tension ou bien les deux ensembles de notre réseau d'étude (Figure III.9)



**Figure III.9** Fenêtre de nombre de batterie de condensateur (essai)

9. On ajoute des batteries de condensateurs aux bus candidats, puis on remplit les valeurs calculées par ETAP (Figure III.10)

Capacitor Editor - CAP34

Info Rating Cable/Vd Cable Amp Reliability Remarks Comment

12,66 kV 1 x 298,6 kvar Cable Info not available

Rating

kV: 12,66 kvar / Bank: 298,6 # of Banks: 1 kvar: 298,6 Amps: 13,62

Max. kV: 0

☒ kvar ☐ Bank # x kvar

microfarad: 5,93 Xc (ohms): 536,757

Grounding

Y

Loading

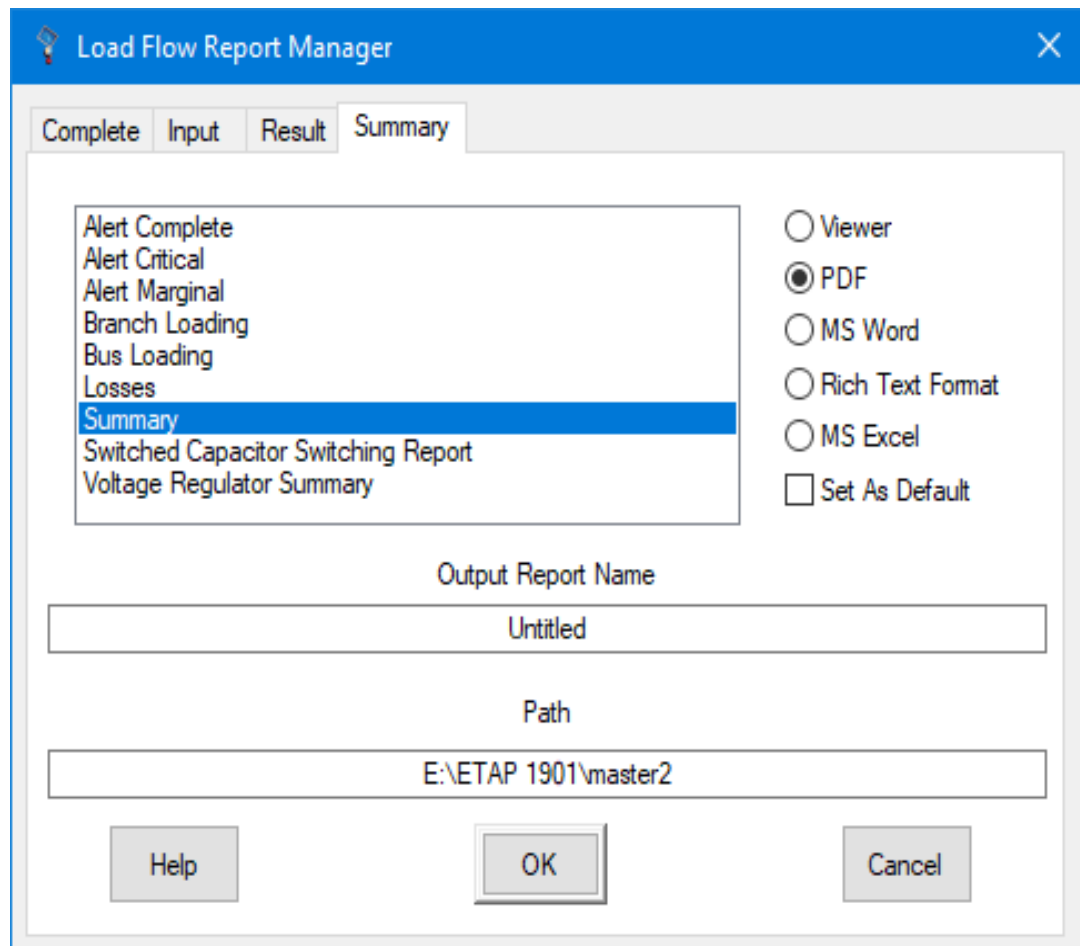
| Loading       |     |        | Feeder Loss |      |    |
|---------------|-----|--------|-------------|------|----|
| Category      | %   | kvar   | kW          | kvar | kW |
| 1 Design      | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |
| 2 Normal      | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |
| 3 Brake       | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |
| 4 Winter Load | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |
| 5 Summer Load | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |
| 6 FL Reject   | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |
| 7 Emergency   | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |
| 8 Shutdown    | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |
| 9 Accident    | 100 | -298,6 | 0           | 0    | 0  |

Operating Load: kW 0 +j kvar -297,1

OK Cancel

Figure III.10 fenêtre de valeur et nombre de capacité (essai)

10. On exécute l'écoulement de puissance une autre fois après placement des batteries sur les bus candidats, et on remarque que les différents paramètres (le niveau de tension, le facteur de puissance, les pertes actives et réactives) de notre réseau s'améliorent.
11. Gestionnaire des rapports, on clique sur l'icône du gestionnaire de rapports OCP pour accéder à la configuration de rapport suivant :



**Figure III.11** Fenêtre de gestionnaire de rapport OCP (essai)

|                   |                |           |            |
|-------------------|----------------|-----------|------------|
| Project:          | ETAP           | Page:     | 2          |
| Location:         | 19.0.1C        | Date:     | 25-05-2024 |
| Contract:         |                | SN:       |            |
| Engineer:         | Study Case: LF | Revision: | Base       |
| Filename: master2 |                | Config:   | Normal     |

**Branch Losses Summary Report**

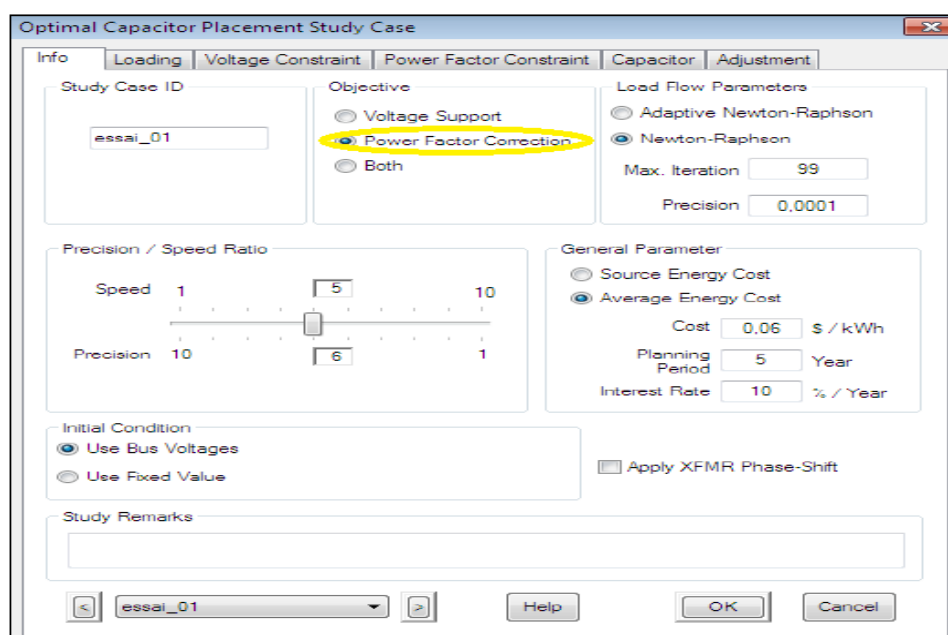
| Branch ID | From-To Bus Flow |        | To-From Bus Flow |        | Losses |      | % Bus Voltage |      | Vd<br>% Drop<br>in Vmag |
|-----------|------------------|--------|------------------|--------|--------|------|---------------|------|-------------------------|
|           | kW               | kvar   | kW               | kvar   | kW     | kvar | From          | To   |                         |
| Z1        | 3803.0           | 897.9  | -3794.2          | -893.4 | 8.8    | 4.5  | 100.0         | 99.8 | 0.25                    |
| Z10       | 547.8            | 35.8   | -547.4           | -35.7  | 0.4    | 0.1  | 94.1          | 94.1 | 0.07                    |
| Z11       | 503.5            | 6.4    | -502.8           | -6.2   | 0.7    | 0.2  | 94.1          | 93.9 | 0.13                    |
| Z12       | 444.2            | -28.0  | -442.1           | 29.6   | 2.1    | 1.6  | 93.9          | 93.5 | 0.41                    |
| Z13       | 383.6            | -63.7  | -383.1           | 64.5   | 0.6    | 0.8  | 93.5          | 93.4 | 0.11                    |
| Z14       | 266.1            | 89.5   | -265.8           | -89.2  | 0.3    | 0.3  | 93.4          | 93.3 | 0.14                    |
| Z15       | 207.3            | 79.5   | -207.1           | -79.3  | 0.3    | 0.2  | 93.3          | 93.2 | 0.13                    |
| Z16       | 148.7            | 59.8   | -148.4           | -59.5  | 0.2    | 0.3  | 93.2          | 93.0 | 0.20                    |
| Z17       | 90.1             | 40.0   | -90.0            | -40.0  | 0.1    | 0.0  | 93.0          | 92.9 | 0.06                    |
| Z18       | 360.2            | 160.7  | -360.1           | -160.5 | 0.2    | 0.2  | 99.8          | 99.7 | 0.05                    |
| Z19       | 270.2            | 120.6  | -269.4           | -119.8 | 0.8    | 0.7  | 99.7          | 99.3 | 0.36                    |
| Z2        | 3334.0           | 672.7  | -3298.2          | -654.5 | 35.8   | 18.2 | 99.8          | 98.6 | 1.13                    |
| Z20       | 179.6            | 79.9   | -179.5           | -79.8  | 0.1    | 0.1  | 99.3          | 99.3 | 0.07                    |
| Z21       | 89.8             | 39.9   | -89.7            | -39.9  | 0.0    | 0.1  | 99.3          | 99.2 | 0.06                    |
| Z22       | 930.3            | 452.7  | -927.2           | -450.6 | 3.1    | 2.1  | 98.6          | 98.3 | 0.35                    |
| Z23       | 837.8            | 400.9  | -832.8           | -396.9 | 5.0    | 4.0  | 98.3          | 97.6 | 0.66                    |
| Z24       | 416.7            | 198.8  | -415.5           | -197.9 | 1.3    | 1.0  | 97.6          | 97.3 | 0.33                    |
| Z25       | 919.2            | -286.2 | -918.0           | 286.8  | 1.3    | 0.6  | 96.4          | 96.3 | 0.10                    |
| Z26       | 858.8            | -311.5 | -857.2           | 312.3  | 1.6    | 0.8  | 96.3          | 96.2 | 0.13                    |
| Z27       | 798.1            | -336.9 | -792.8           | 341.6  | 5.4    | 4.7  | 96.2          | 95.9 | 0.34                    |
| Z28       | 733.7            | -361.3 | -730.1           | 364.5  | 3.7    | 3.2  | 95.9          | 95.7 | 0.22                    |
| Z29       | 612.1            | -433.3 | -610.2           | 434.3  | 1.9    | 1.0  | 95.7          | 95.5 | 0.13                    |
| Z3        | 2278.9           | 162.3  | -2266.6          | -156.1 | 12.3   | 6.2  | 98.6          | 98.1 | 0.55                    |
| Z30       | 413.7            | -37.0  | -412.5           | 38.2   | 1.1    | 1.1  | 95.5          | 95.3 | 0.24                    |
| Z31       | 265.3            | -106.9 | -265.1           | 107.1  | 0.2    | 0.2  | 95.3          | 95.3 | 0.03                    |
| Z32       | 59.0             | -205.2 | -58.9            | 205.4  | 0.1    | 0.2  | 95.3          | 95.3 | 0.06                    |
| Z4        | 2147.6           | 76.7   | -2136.1          | -70.9  | 11.4   | 5.8  | 98.1          | 97.5 | 0.53                    |
| Z5        | 2076.7           | 41.2   | -2053.6          | -21.2  | 23.2   | 20.0 | 97.5          | 96.4 | 1.10                    |
| Z6        | 1075.2           | 287.6  | -1073.6          | -282.5 | 1.6    | 5.1  | 96.4          | 96.2 | 0.24                    |
| Z7        | 876.6            | 184.0  | -867.3           | -177.3 | 9.3    | 6.7  | 96.2          | 95.1 | 1.12                    |
| Z8        | 671.2            | 79.2   | -667.9           | -76.9  | 3.2    | 2.3  | 95.1          | 94.6 | 0.49                    |
| Z9        | 609.2            | 57.3   | -606.5           | -55.4  | 2.7    | 1.9  | 94.6          | 94.1 | 0.45                    |
|           |                  |        |                  |        | 138.5  | 94.4 |               |      |                         |

\* This Transmission Line includes Series Capacitor.

**Figure III.12** Schémas de rapport OCP(essai)

### A. 1<sup>er</sup> Fonction Objectif: Correction de Facteur de Puissance (PF) :

La première étape de notre travail concerne la 1<sup>er</sup> fonction objectif qui est la correction de Facteur de Puissance (PF (Figure III.15). pour le calcul d'écoulement de puissance nous avons utilisé la Méthode de Newton-Raphson le maximum de nombre d'itération dans cette méthode est 99, sa précision est de 0.0001. Son coût énergétique moyen est de 0.06 \$ / kWh. La période de planification est de 5 ans ainsi le taux d'intérêt est de 10 %



**Figure III.13** fenêtre de fonction objective (PF)(cas1)

Une fois l'écoulement de puissance est exécuté la fenêtre Alerte affiche les différents bus qui se situe dans les zones critique et marginales, tous les bus qui se trouvent dans la zone critique, sont des bus candidat pour l'emplacement optimal des batteries de condensateurs. Dans ce cas les bus candidats sont : tous les bus sauf le slack bus 1 (Figure III.15)

Load Flow Analysis Alert View - Output Report: Untitled

Study Case: LF  
Configuration: Normal

Data Revision: Base  
Date: 25-05-2024

Filter  
☐ Zone  
☐ Area  
☐ Region

| Critical  |      |               |              |           |             |            |
|-----------|------|---------------|--------------|-----------|-------------|------------|
| Device ID | Type | Condition     | Rating/Limit | Operating | % Operating | Phase Type |
| Bus13     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.572    | 91.4        | 3-Phase    |
| Bus14     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.544    | 91.2        | 3-Phase    |
| Bus15     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.526    | 91          | 3-Phase    |
| Bus16     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.509    | 90.9        | 3-Phase    |
| Bus17     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.484    | 90.7        | 3-Phase    |
| Bus18     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.476    | 90.6        | 3-Phase    |
| Bus32     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.636    | 91.9        | 3-Phase    |
| Bus33     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.633    | 91.9        | 3-Phase    |

| Marginal  |      |               |              |           |             |            |
|-----------|------|---------------|--------------|-----------|-------------|------------|
| Device ID | Type | Condition     | Rating/Limit | Operating | % Operating | Phase Type |
| Bus10     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.677    | 92.2        | 3-Phase    |
| Bus11     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.667    | 92.2        | 3-Phase    |
| Bus12     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.648    | 92          | 3-Phase    |
| Bus26     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 12.014    | 94.9        | 3-Phase    |
| Bus27     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.983    | 94.7        | 3-Phase    |
| Bus28     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.843    | 93.5        | 3-Phase    |
| Bus29     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.742    | 92.7        | 3-Phase    |
| Bus30     | Bus  | Under Voltage | 12.66 kV     | 11.698    | 92.4        | 3-Phase    |

Figure III.14 fenêtre des bus candidats (cas1)

Optimal Capacitor Placement Study Case

Info

Loading

Voltage Constraint

Power Factor Constraint

Capacitor

Adjustment

Capacitor Info

|   | Max.kV | Bank Size (kvar) | Max#Banks | Purchase (\$/kvar) | Install (\$) | Operating (\$/Bank Yr) |
|---|--------|------------------|-----------|--------------------|--------------|------------------------|
| 1 | 0,48   | 100              | 10        | 10                 | 600          | 100                    |
| 2 | 0,6    | 100              | 10        | 10                 | 600          | 100                    |
| 3 | 2,4    | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |
| 4 | 4,8    | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |
| 5 | 6,64   | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |

Add

Delete

Bus Candidates

Buses

| Bus ID | kV |
|--------|----|
|--------|----|

Bus Category

All Buses

Add >>

<< Remove

Candidates

| Bus ID | kV    |
|--------|-------|
| Bus10  | 12,66 |
| Bus11  | 12,66 |
| Bus12  | 12,66 |
| Bus13  | 12,66 |
| Bus14  | 12,66 |
| Bus15  | 12,66 |
| Bus16  | 12,66 |

<

OCP

>

Copy

New

Delete

Help

OK

Cancel

Figure III.15 Fenêtre de l'emplacement optimale des batteries de condensateurs. (cas1)

Après exécution OCP, nous avons :

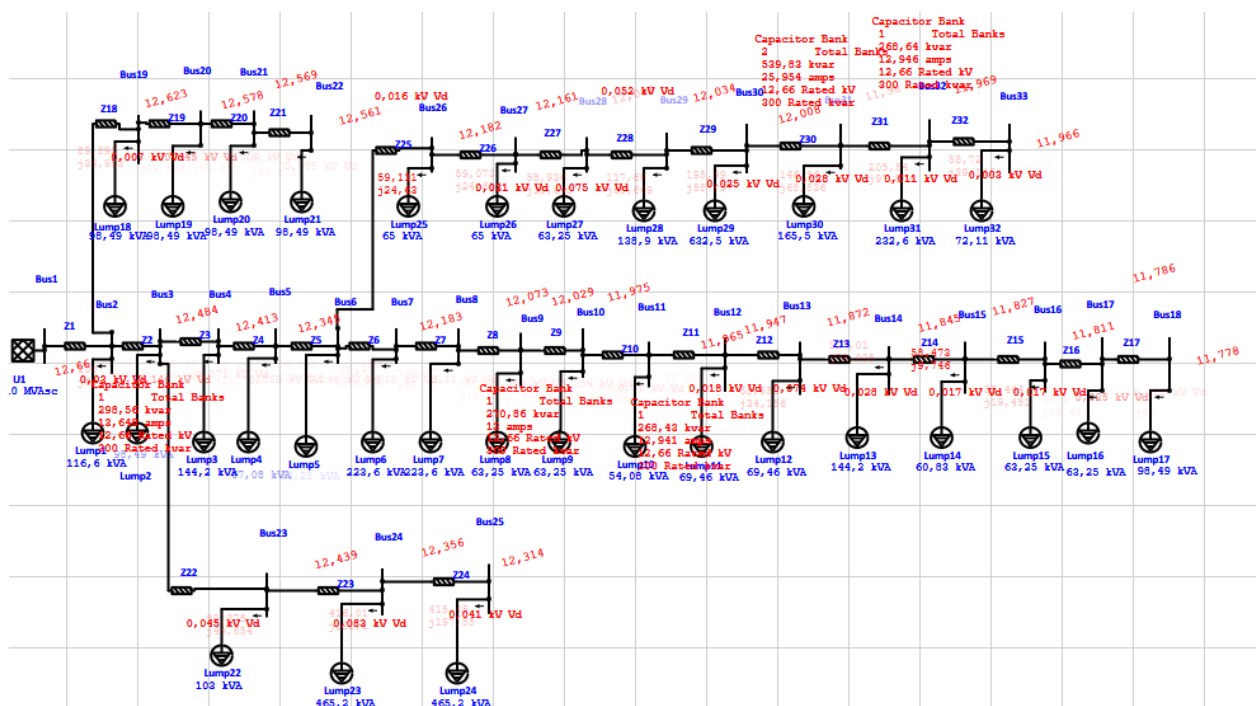


Figure III.16 schéma de nombre et emplacement de batterie de condensateur (cas1)

Tableau III.2 Les bus candidats (cas1)

| Bus candidats | No. De batterie placer | Total KVAR |
|---------------|------------------------|------------|
| Bus2          | 1                      | 298,56     |
| Bus9          | 1                      | 270,86     |
| Bus 10        | 1                      | 268,42     |
| Bus30         | 2                      | 539,82     |
| Bus31         | 1                      | 268,64     |
| Total         | 6                      | 1646,3     |

Après placement des batteries de condensateurs sur les bus candidats, on refait l'écoulement de puissance.

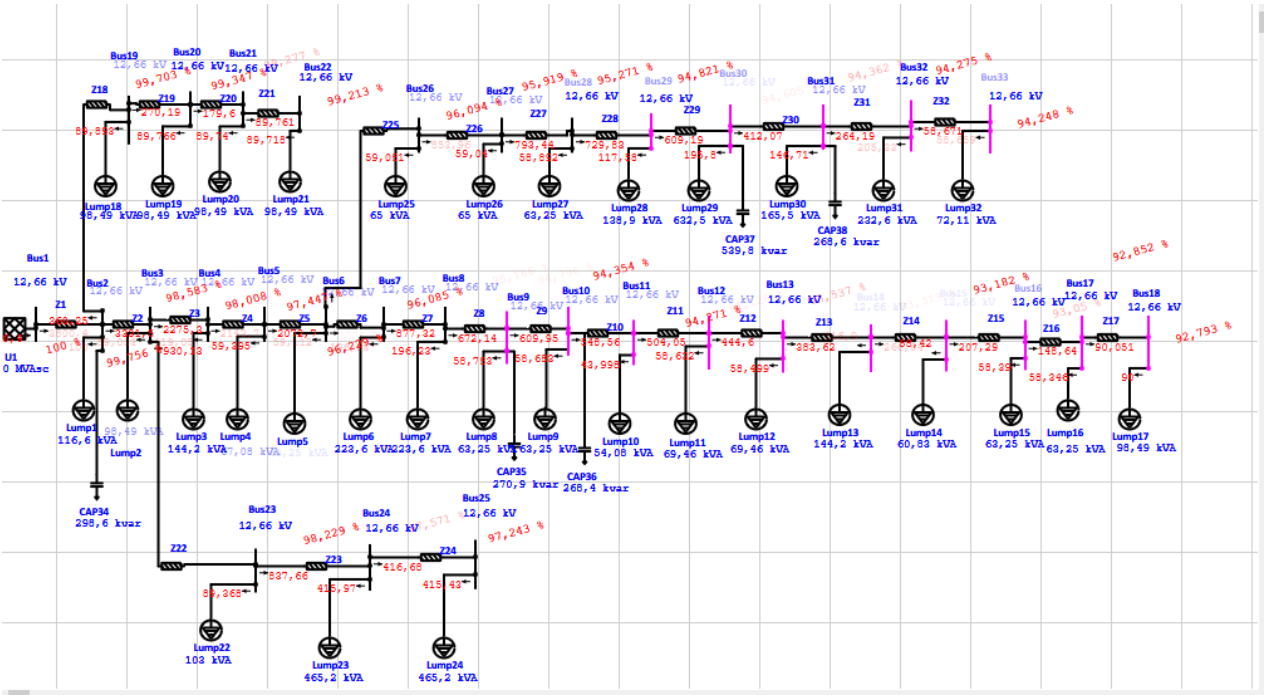


Figure III.17 Schémas de réseau après le placement de condensateur. (cas1)

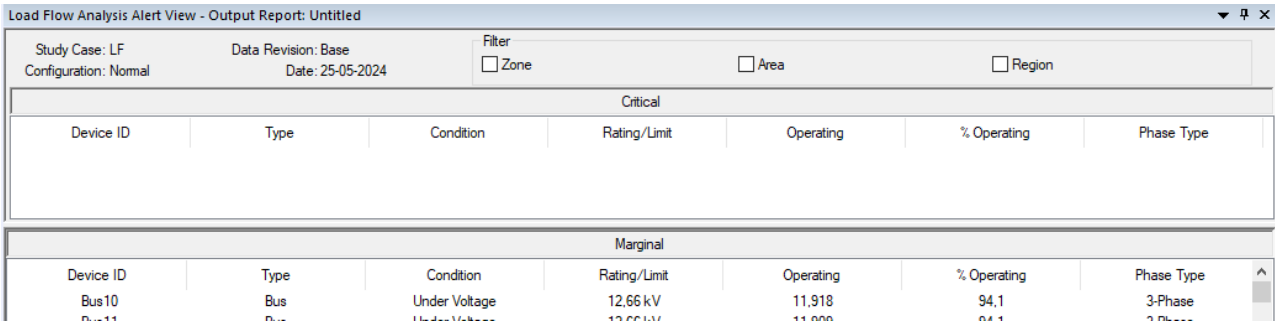


Figure III.18 Fenêtre d'alerte après placement des batteries (cas1)

Tableau III.3 Facteur de puissance de chaque nœud individuel (cas1)

| Bus    | PF avant placement<br>des condensateurs | PF après placement<br>des condensateurs |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Bus1   | 1                                       | 1                                       |
| Bus2   | 0,997                                   | 0.997                                   |
| Bus3   | 0,983                                   | 0.985                                   |
| Bus4   | 0.976                                   | 0.980                                   |
| Bus5   | 0.968                                   | 0.974                                   |
| Bus6   | 0.950                                   | 0.962                                   |
| Bus7   | 0.947                                   | 0.968                                   |
| Bus8   | 0.934                                   | 0.951                                   |
| Bus9   | 0.928                                   | 0.947                                   |
| Bus10  | 0.922                                   | 0.943                                   |
| Bus 11 | 0,921                                   | 0,942                                   |
| Bus12  | 0,92                                    | 0,941                                   |
| Bus13  | 0,914                                   | 0,935                                   |
| Bus14  | 0,911                                   | 0,933                                   |
| Bus15  | 0,905                                   | 0,931                                   |
| Bus16  | 0,90                                    | 0,930                                   |
| Bus17  | 0,907                                   | 0,928                                   |
| Bus18  | 0,906                                   | 0,927                                   |
| Bus19  | 0,996                                   | 0,997                                   |
| Bus 20 | 0,993                                   | 0,993                                   |
| Bus21  | 0,992                                   | 0,992                                   |
| Bus22  | 0,991                                   | 0,9921                                  |
| Bus23  | 0,97                                    | 0,982                                   |
| Bus24  | 0,973                                   | 0,975                                   |
| Bus25  | 0,969                                   | 0,972                                   |
| Bus26  | 0,949                                   | 0,960                                   |
| Bus27  | 0,946                                   | 0,959                                   |
| Bus28  | 0,935                                   | 0,952                                   |
| Bus29  | 0,927                                   | 0,948                                   |
| Bus30  | 0,924                                   | 0,946                                   |
| Bus31  | 0,92                                    | 0,943                                   |
| Bus32  | 0,919                                   | 0,942                                   |
| Bus33  | 0,918                                   | 0,9424                                  |

SUMMARY OF TOTAL GENERATION , LOADING & DEMAND

|                           | kW     | kvar   | kVA    | % PF          |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------------|
| Source (Swing Buses):     | 3845.3 | 2387.2 | 4526.1 | 84.96 Lagging |
| Source (Non-Swing Buses): | 0.0    | 0.0    | 0.0    |               |
| Total Demand:             | 3845.3 | 2387.2 | 4526.1 | 84.96 Lagging |
| Total Motor Load:         | 3010.0 | 1860.0 | 3538.3 | 85.07 Lagging |
| Total Static Load:        | 635.5  | 391.9  | 746.7  | 85.12 Lagging |
| Total Constant I Load:    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |               |
| Total Generic Load:       | 0.0    | 0.0    | 0.0    |               |
| Apparent Losses:          | 199.8  | 135.3  |        |               |
| System Mismatch:          | 0.0    | 0.0    |        |               |
| Number of Iterations: 3   |        |        |        |               |

**Figure III.19** Rapport de facteur de puissance globale avant compensation(cas1)SUMMARY OF TOTAL GENERATION , LOADING & DEMAND

|                           | kW     | kvar    | kVA    | % PF          |
|---------------------------|--------|---------|--------|---------------|
| Source (Swing Buses):     | 3800.4 | 856.0   | 3895.6 | 97.56 Lagging |
| Source (Non-Swing Buses): | 0.0    | 0.0     | 0.0    |               |
| Total Demand:             | 3800.4 | 856.0   | 3895.6 | 97.56 Lagging |
| Total Motor Load:         | 3010.0 | 1860.0  | 3538.3 | 85.07 Lagging |
| Total Static Load:        | 651.4  | -1098.2 | 1276.8 | 51.02 Leading |
| Total Constant I Load:    | 0.0    | 0.0     | 0.0    |               |
| Total Generic Load:       | 0.0    | 0.0     | 0.0    |               |
| Apparent Losses:          | 139.1  | 94.1    |        |               |
| System Mismatch:          | 0.0    | 0.0     |        |               |
| Number of Iterations: 3   |        |         |        |               |

**Figure III.20** Rapport de facteur de puissance globale après compensation(cas1)

Tableau III.4 Résultats d'emplacement optimale de capacité(cas1)

| capacité<br>(KVAR)           | Total pertes |             | No. Batterie de<br>condensateurs | Total kVAR  |
|------------------------------|--------------|-------------|----------------------------------|-------------|
|                              | kW           | kVAR        |                                  |             |
| 00                           | 199,8        | 135,3       | 00                               | 00          |
| 300<br>(Méthode<br>proposée) | <b>139,1</b> | <b>94,1</b> | <b>6</b>                         | <b>1800</b> |

Maintenant, en ce qui concerne l'emplacement de la batterie de condensateurs, le meilleur emplacement doit être aussi proche que possible de la charge pour l'amélioration maximale du facteur de puissance de la charge. Parfois, les batteries de condensateurs sont installées pour agir en tant que correction de groupe, c'est-à-dire connecté avec le bus principal.

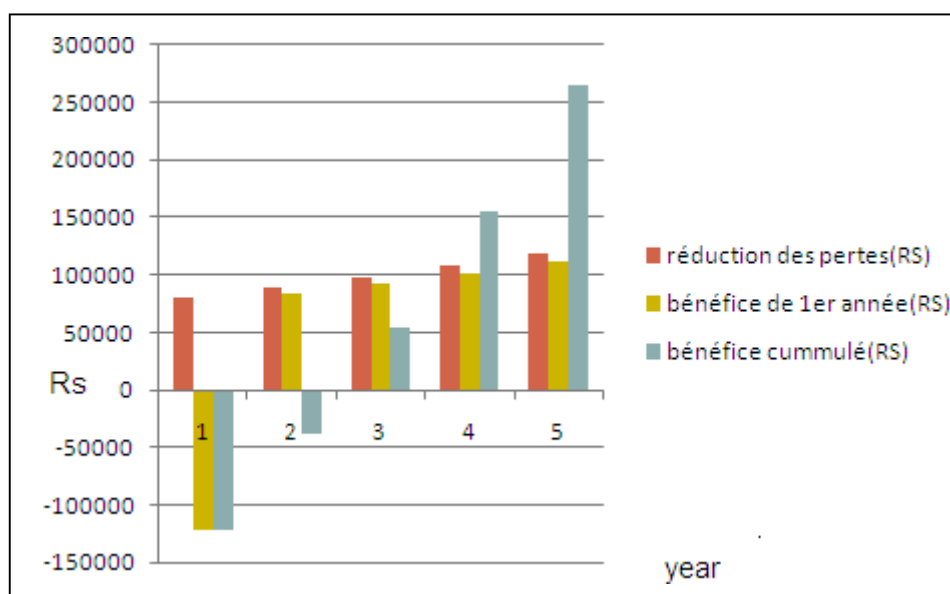


Figure III.21 Analyse par diagramme à barres pour le rapport de coûts OCP(cas1)

#### Interprétation des résultats :

- Après exécution du programme OCP, on obtient 5 emplacements des batteries de condensateurs (bus2, bus9, bus10, bus30 et bus31) comme montrer la FigureIII.18, avec l'ampérage, la taille, le nombre des batteries et la tension de chaque emplacement sur le bus.
- Après insertion des batteries de condensateur sur le réseau, et après exécution de

l'écoulement de puissance on remarque que le profil de la tension s'est amélioré ce qui est montré sur la Figure III.18 et Figure III.19, traduit par la disparition de tous les bus de la zone critique des tensions.

- On remarque d'après les Figure III.20 et III.21 qu'il ya une nette amélioration du facteur de puissance globale de 84,96 à 97,56 proche de la valeur unitaire.
- Concernant les pertes de puissance, on obtient une net réduction active de 199,8 kW à 139,1 c-à-d une réduction de 12,5% et une net réduction concernant les pertes réactive de 135,3 kVAR à 94,1 kVAR c-à-d une réduction de 14,1% (Tableau III.4)
- On remarque aussi une grand amélioration du profile de la tension (Figure III.22) et une réduction acceptable concernant les chute de tension au niveau de tous les charges
- Concernant le coté économique de l'étude, on s'aperçoit Que le cumule de bénéfice s'accroît d'une année à une année durant les 05 ans de planification.

### 2<sup>eme</sup> Fonction Objectif : Correction de la tension :

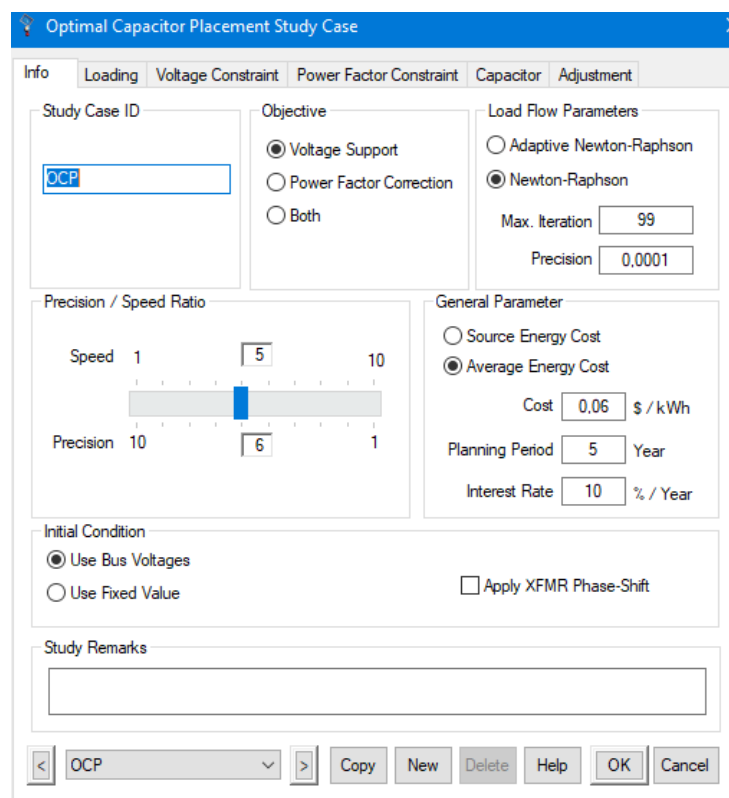


Figure III.22 fenêtres de fonction objective tension (cas2)

Une fois l'écoulement de puissance est exécuté la fenêtre Alerte affiche les différents bus qui se situe dans les zones critique et marginales, tous les bus qui se trouvent dans la zone critique, sont des bus candidat pour l'emplacement optimal des batteries de condensateurs. Dans ce cas les bus candidats sont : tous les bus (Figure III.24)

Load Flow Analysis Alert View - Output Report: Untitled

Study Case: LF  
Configuration: Normal

Data Revision: Base  
Date: 25-05-2024

Filter  
☐ Zone  
☐ Area  
☐ Region

Critical

| Device ID | Type | Condition     | Rating/Limit | Operating | % Operating | Phase Type |
|-----------|------|---------------|--------------|-----------|-------------|------------|
| Bus13     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,572    | 91,4        | 3-Phase    |
| Bus14     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,544    | 91,2        | 3-Phase    |
| Bus15     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,526    | 91          | 3-Phase    |
| Bus16     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,509    | 90,9        | 3-Phase    |
| Bus17     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,484    | 90,7        | 3-Phase    |
| Bus18     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,476    | 90,6        | 3-Phase    |
| Bus32     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,636    | 91,9        | 3-Phase    |
| Bus33     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,633    | 91,9        | 3-Phase    |

Marginal

| Device ID | Type | Condition     | Rating/Limit | Operating | % Operating | Phase Type |
|-----------|------|---------------|--------------|-----------|-------------|------------|
| Bus10     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,677    | 92,2        | 3-Phase    |
| Bus11     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,667    | 92,2        | 3-Phase    |
| Bus12     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,648    | 92          | 3-Phase    |
| Bus26     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 12,014    | 94,9        | 3-Phase    |
| Bus27     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,983    | 94,7        | 3-Phase    |
| Bus28     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,843    | 93,5        | 3-Phase    |
| Bus29     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,742    | 92,7        | 3-Phase    |
| Bus30     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,698    | 92,4        | 3-Phase    |

**Figure III.23** fenêtre d'alerte (les bus candidats) (cas2)

Optimal Capacitor Placement Study Case

Info Loading Voltage Constraint Power Factor Constraint Capacitor Adjustment

Capacitor Info

|   | Max.kV | Bank Size (kvar) | Max#Banks | Purchase (\$/kvar) | Install (\$) | Operating (\$/Bank.Yr) |
|---|--------|------------------|-----------|--------------------|--------------|------------------------|
| 1 | 0.48   | 100              | 10        | 10                 | 600          | 100                    |
| 2 | 0.6    | 100              | 10        | 10                 | 600          | 100                    |
| 3 | 2.4    | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |
| 4 | 4.8    | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |
| 5 | 6.64   | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |

Add Delete

Bus Candidates

Buses

| Bus ID | kV    |
|--------|-------|
| Bus2   | 12.66 |
| Bus3   | 12.66 |
| Bus4   | 12.66 |
| Bus5   | 12.66 |
| Bus6   | 12.66 |
| Bus7   | 12.66 |
| Bus8   | 12.66 |

Bus Category

All Buses

Add >>

<< Remove

Candidates

| Bus ID | kV    |
|--------|-------|
| Bus13  | 12.66 |
| Bus14  | 12.66 |
| Bus15  | 12.66 |
| Bus16  | 12.66 |
| Bus17  | 12.66 |
| Bus18  | 12.66 |
| Bus32  | 12.66 |

< OCP > Copy New Delete Help OK Cancel

Figure III.24 Fenêtre d'emplacement optimale des batteries de condensateurs(cas2)

Après exécution OCP, nous avons :

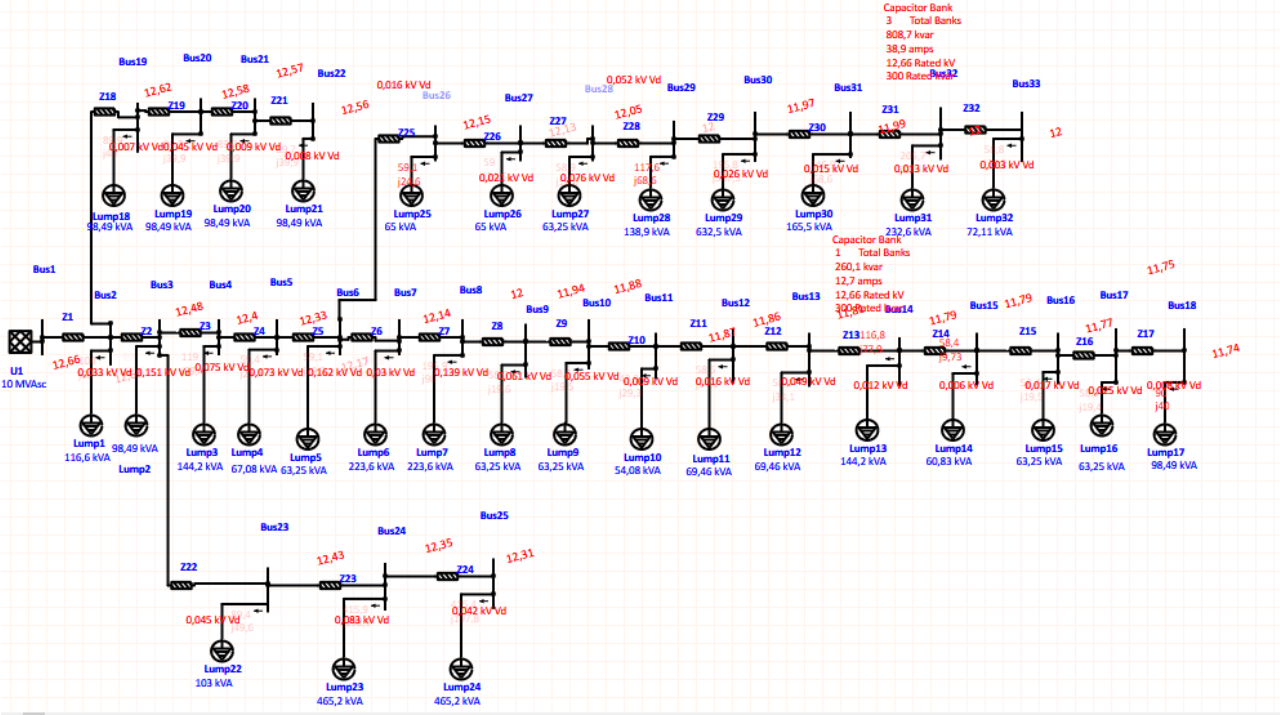


Figure III.25 schéma de nombre et emplacement de batterie de condensateur(cas2)

Tableau III.5 Les bus candidats (cas2)

| Bus candidats | No. De batterie placer | Total kVAR |
|---------------|------------------------|------------|
| Bus 15        | 1                      | 260,1      |
| Bus32         | 3                      | 808,7      |
| Total         | 4                      | 1068,8     |

Après placement des batteries sur les bus candidats, on refait l'écoulement de puissance :

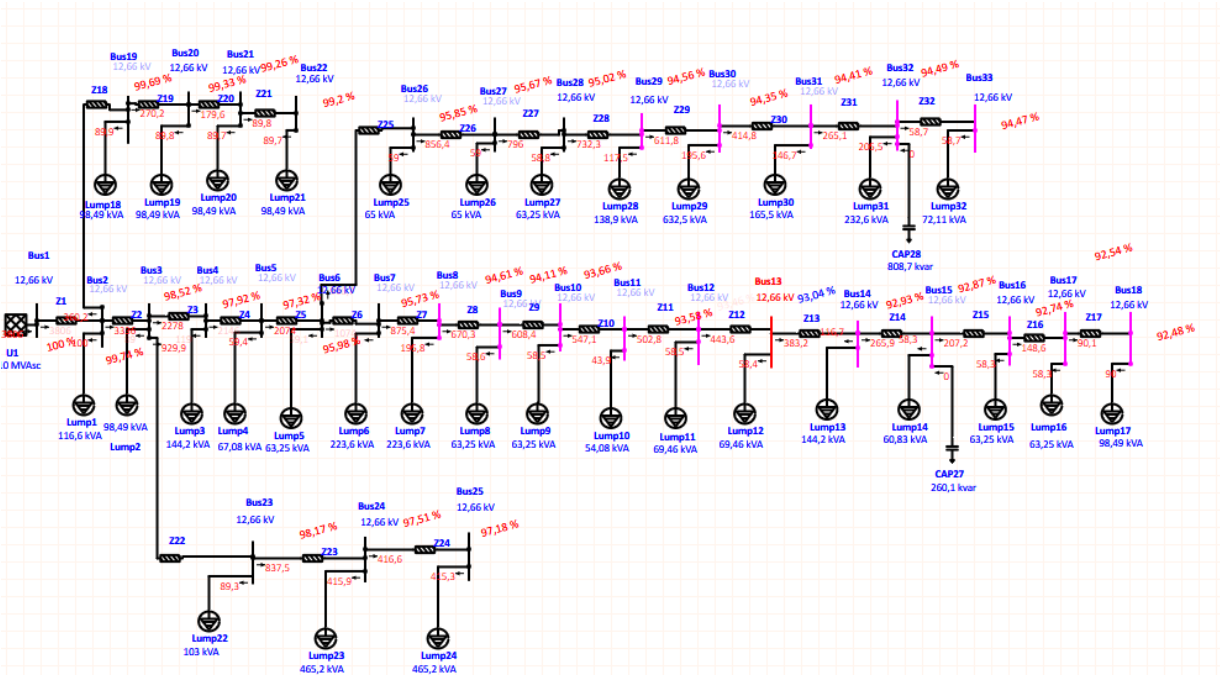


Figure III.26 Schéma de réseau après placement des batteries (cas2)

| Load Flow Analysis Alert View - Output Report: Untitled |      |                     |              |                                                                                             |             |            |
|---------------------------------------------------------|------|---------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| Study Case: LF                                          |      | Data Revision: Base |              | Filter                                                                                      |             |            |
| Configuration: Normal                                   |      | Date: 26-05-2024    |              | <input type="checkbox"/> Zone <input type="checkbox"/> Area <input type="checkbox"/> Region |             |            |
| Critical                                                |      |                     |              |                                                                                             |             |            |
| Device ID                                               | Type | Condition           | Rating/Limit | Operating                                                                                   | % Operating | Phase Type |
| Marginal                                                |      |                     |              |                                                                                             |             |            |
| Device ID                                               | Type | Condition           | Rating/Limit | Operating                                                                                   | % Operating | Phase Type |
| Bus10                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,914                                                                                      | 94,1        | 3-Phase    |
| Bus11                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,905                                                                                      | 94          | 3-Phase    |
| Bus12                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,889                                                                                      | 93,9        | 3-Phase    |
| Bus13                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,837                                                                                      | 93,5        | 3-Phase    |
| Bus14                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,823                                                                                      | 93,4        | 3-Phase    |
| Bus15                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,815                                                                                      | 93,3        | 3-Phase    |
| Bus16                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,799                                                                                      | 93,2        | 3-Phase    |
| Bus17                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,774                                                                                      | 93          | 3-Phase    |
| Bus18                                                   | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,766                                                                                      | 92,9        | 3-Phase    |
| Bus9                                                    | Bus  | Under Voltage       | 12,66 kV     | 11,971                                                                                      | 94,6        | 3-Phase    |

Figure III.27 Fenêtre d’alerte après placements batterie(cas2)

Tableau III.6 Facteur de puissance de chaque nœud individuel(cas2)

| <b>Bus</b> | <b>Avant placement des condensateurs</b> | <b>Après placement des condensateurs</b> |
|------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| Bus1       | 1                                        | <b>1</b>                                 |
| Bus2       | 0,997                                    | <b>0,997</b>                             |
| Bus3       | 0,983                                    | <b>0.985</b>                             |
| Bus4       | 0.976                                    | <b>0.979</b>                             |
| Bus5       | 0.968                                    | <b>0.973</b>                             |
| Bus6       | 0.950                                    | <b>0.959</b>                             |
| Bus7       | 0.947                                    | <b>0.957</b>                             |
| Bus8       | 0.934                                    | <b>0.946</b>                             |
| Bus9       | 0.928                                    | <b>0.941</b>                             |
| Bus 10     | 0.922                                    | <b>0.936</b>                             |
| Bus11      | 0,921                                    | <b>0,934</b>                             |
| Bus12      | 0,92                                     | <b>0,935</b>                             |
| Bus 13     | 0,914                                    | <b>0,930</b>                             |
| Bus14      | 0,911                                    | <b>0,929</b>                             |
| Bus15      | 0,905                                    | <b>0,928</b>                             |
| Bus16      | 0,90                                     | <b>0,927</b>                             |
| Bus17      | 0,907                                    | <b>0,925</b>                             |
| Bus18      | 0,906                                    | <b>0,924</b>                             |
| Bus19      | 0,996                                    | <b>0,996</b>                             |
| Bus20      | 0,993                                    | <b>0,993</b>                             |
| Bus21      | 0,992                                    | <b>0,9921</b>                            |
| Bus22      | 0,991                                    | <b>0,992</b>                             |
| Bus23      | 0,97                                     | <b>0,981</b>                             |

|       |       |               |
|-------|-------|---------------|
| Bus24 | 0,973 | <b>0,975</b>  |
| Bus25 | 0,969 | <b>0,971</b>  |
| Bus26 | 0,949 | <b>0,958</b>  |
| Bus27 | 0,946 | <b>0,956</b>  |
| Bus28 | 0,935 | <b>0,950</b>  |
| Bus29 | 0,927 | <b>0,945</b>  |
| Bus30 | 0,924 | <b>0,935</b>  |
| Bus31 | 0,92  | <b>0,941</b>  |
| Bus32 | 0,919 | <b>0,9449</b> |
| Bus33 | 0,918 | <b>0,9447</b> |

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

|                           | <u>kW</u> | <u>kvar</u> | <u>kVA</u> | <u>% PF</u>   |
|---------------------------|-----------|-------------|------------|---------------|
| Source (Swing Buses):     | 3845.3    | 2387.2      | 4526.1     | 84.96 Lagging |
| Source (Non-Swing Buses): | 0.0       | 0.0         | 0.0        |               |
| Total Demand:             | 3845.3    | 2387.2      | 4526.1     | 84.96 Lagging |
| Total Motor Load:         | 3010.0    | 1860.0      | 3538.3     | 85.07 Lagging |
| Total Static Load:        | 635.5     | 391.9       | 746.7      | 85.12 Lagging |
| Total Constant I Load:    | 0.0       | 0.0         | 0.0        |               |
| Total Generic Load:       | 0.0       | 0.0         | 0.0        |               |
| Apparent Losses:          | 199.8     | 135.3       |            |               |
| System Mismatch:          | 0.0       | 0.0         |            |               |

Number of Iterations: 3

**Figure III.28** Rapport de facteur de puissance globale avant compensation(cas2)

SUMMARY OF TOTAL GENERATION , LOADING & DEMAND

|                           | kW     | kvar   | kVA    | % PF          |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------------|
| Source (Swing Buses):     | 3805.8 | 1415.1 | 4060.4 | 93.73 Lagging |
| Source (Non-Swing Buses): | 0.0    | 0.0    | 0.0    |               |
| Total Demand:             | 3805.8 | 1415.1 | 4060.4 | 93.73 Lagging |
| Total Motor Load:         | 3010.0 | 1860.0 | 3538.3 | 85.07 Lagging |
| Total Static Load:        | 649.0  | -545.1 | 847.6  | 76.57 Leading |
| Total Constant I Load:    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |               |
| Total Generic Load:       | 0.0    | 0.0    | 0.0    |               |
| Apparent Losses:          | 146.8  | 100.3  |        |               |
| System Mismatch:          | 0.0    | 0.0    |        |               |
| Number of Iterations:     | 3      |        |        |               |

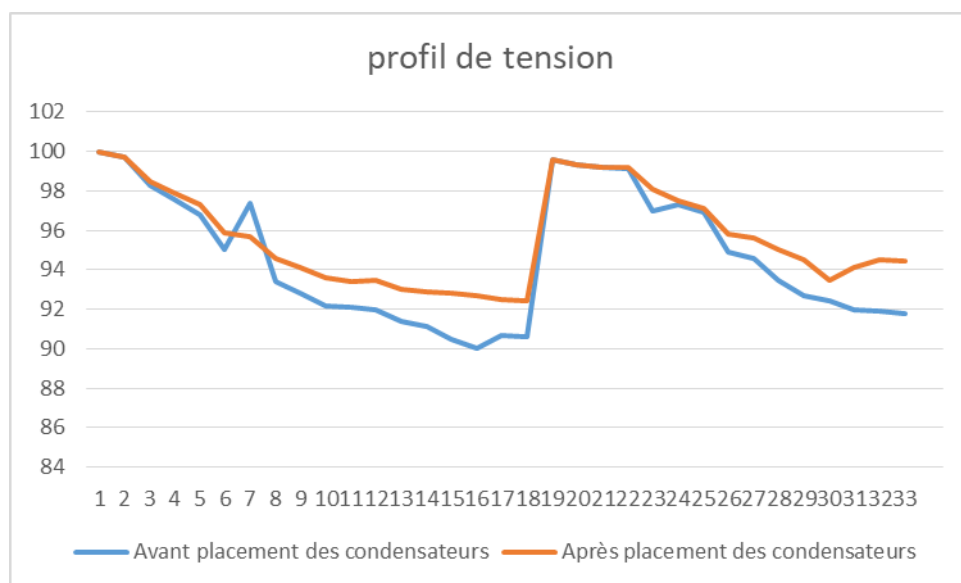
**Figure III.29** Rapport de facteur de puissance globale après compensation(cas2)**Figure III.30** profil de tension du réseau IEEE 33 bus (cas2)

Tableau.III.7 Résultats d'emplacement optimale de condensateur de 300 KVAR(cas2)

| capacité<br>(kVAR) | Total pertes |              | No. Batterie de<br>condensateurs | Total kVAR    |
|--------------------|--------------|--------------|----------------------------------|---------------|
|                    | kW           | kVAR         |                                  |               |
| 00                 | 199,8        | 135,3        | 00                               | 00            |
| <b>300</b>         | <b>146,7</b> | <b>100,1</b> | <b>4</b>                         | <b>1068,8</b> |

### Interprétation des résultats :

On obtient pour la 2<sup>ème</sup> fonction objectif qui est amélioration de la tension qu'il y a une amélioration de facteur de puissance globale du réseau du 84,96 à 97,73 (Fig. III.29 Fig III.30) est une amélioration très significatif concernant les chutes de tension au niveau de tous les charges (Tableau III8) .

Le seul point négatif dans cette 2<sup>ème</sup> fonction objectif, est l'augmentation des pertes actives et réactives, une augmentation de 20,56 % pour les pertes actives et de 12, 3 % pour les pertes réactives

On remarque aussi une grande amélioration du profil de la tension

### 3<sup>ème</sup> Fonction Objectif: Correction de la tension et PF :

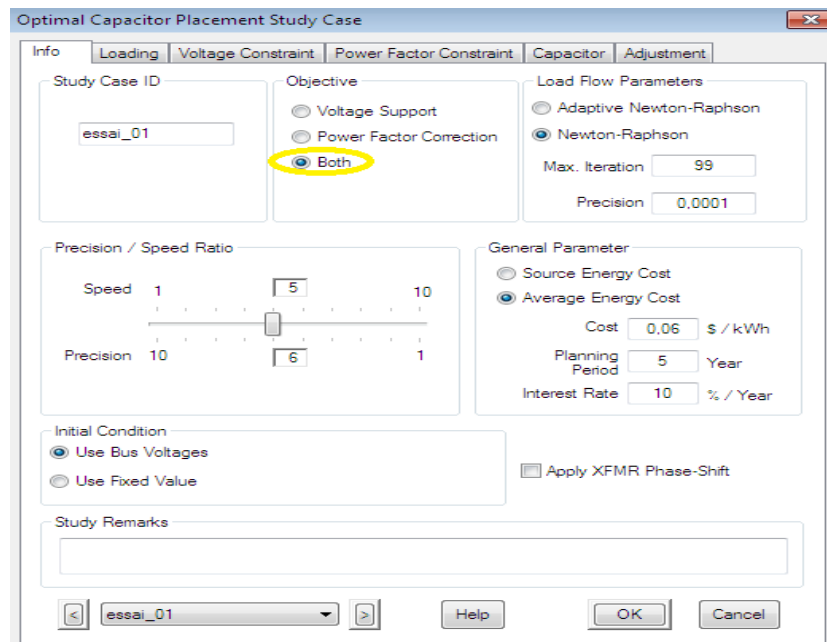


Figure III.31 Schéma de fonction objectif (pf et voltage) (cas3)

Une fois l'écoulement de puissance est exécuté la fenêtre Alerte affiche les différents bus qui se situe dans les zones critique et marginales, tous les bus qui se trouvent dans la zone critique, sont des bus candidat pour l'emplacement optimal des batteries de condensateurs.

Dans ce cas les bus candidats sont : tous les bus sauf le slack bus (Figure III.33)

Load Flow Analysis Alert View - Output Report: Untitled

Study Case: LF  
Configuration: Normal

Data Revision: Base  
Date: 25-05-2024

Filter  
☐ Zone ☐ Area ☐ Region

| Critical  |      |               |              |           |             |            |
|-----------|------|---------------|--------------|-----------|-------------|------------|
| Device ID | Type | Condition     | Rating/Limit | Operating | % Operating | Phase Type |
| Bus13     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,572    | 91,4        | 3-Phase    |
| Bus14     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,544    | 91,2        | 3-Phase    |
| Bus15     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,526    | 91          | 3-Phase    |
| Bus16     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,509    | 90,9        | 3-Phase    |
| Bus17     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,484    | 90,7        | 3-Phase    |
| Bus18     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,476    | 90,6        | 3-Phase    |
| Bus32     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,636    | 91,9        | 3-Phase    |
| Bus33     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,633    | 91,9        | 3-Phase    |

| Marginal  |      |               |              |           |             |            |
|-----------|------|---------------|--------------|-----------|-------------|------------|
| Device ID | Type | Condition     | Rating/Limit | Operating | % Operating | Phase Type |
| Bus10     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,677    | 92,2        | 3-Phase    |
| Bus11     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,667    | 92,2        | 3-Phase    |
| Bus12     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,648    | 92          | 3-Phase    |
| Bus26     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 12,014    | 94,9        | 3-Phase    |
| Bus27     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,983    | 94,7        | 3-Phase    |
| Bus28     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,843    | 93,5        | 3-Phase    |
| Bus29     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,742    | 92,7        | 3-Phase    |
| Bus30     | Bus  | Under Voltage | 12,66 kV     | 11,638    | 92,4        | 3-Phase    |

Figure III.32 fenêtre d’alerte (bus candidats) (cas3)

Optimal Capacitor Placement Study Case

Info Loading Voltage Constraint Power Factor Constraint Capacitor Adjustment

Capacitor Info

|   | Max.kV | Bank Size (kvar) | Max#Banks | Purchase (\$/kvar) | Install (\$) | Operating (\$/Bank.Yr) |
|---|--------|------------------|-----------|--------------------|--------------|------------------------|
| 1 | 0,48   | 100              | 10        | 10                 | 600          | 100                    |
| 2 | 0,6    | 100              | 10        | 10                 | 600          | 100                    |
| 3 | 2,4    | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |
| 4 | 4,8    | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |
| 5 | 6,64   | 200              | 10        | 20                 | 800          | 200                    |

Add Delete

Bus Candidates

Buses

| Bus ID | kV |
|--------|----|
|--------|----|

Bus Category  
All Buses

Add >> << Remove

Candidates

| Bus ID | kV    |
|--------|-------|
| Bus10  | 12,66 |
| Bus11  | 12,66 |
| Bus12  | 12,66 |
| Bus13  | 12,66 |
| Bus14  | 12,66 |
| Bus15  | 12,66 |
| Bus16  | 12,66 |

< >

< OCP > Copy New Delete Help OK Cancel

Figure III.33 Fenêtre d’emplacement optimal des batteries de condensateurs

(cas3)

Après exécution OCP, nous avons :

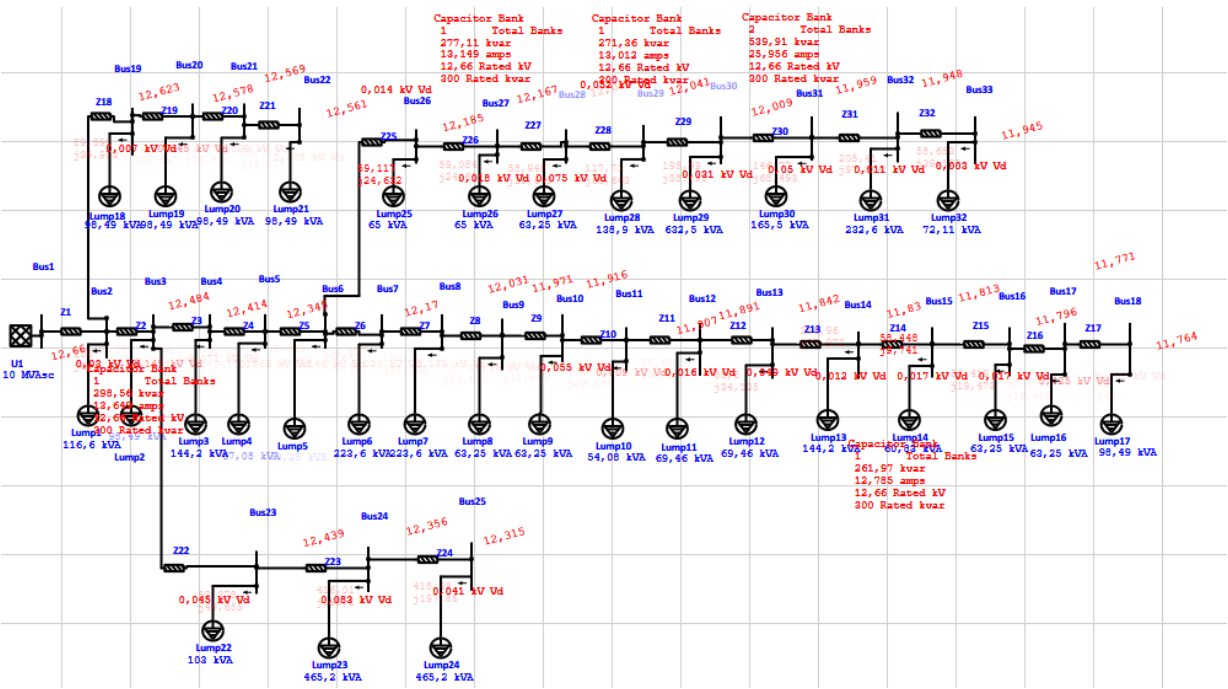
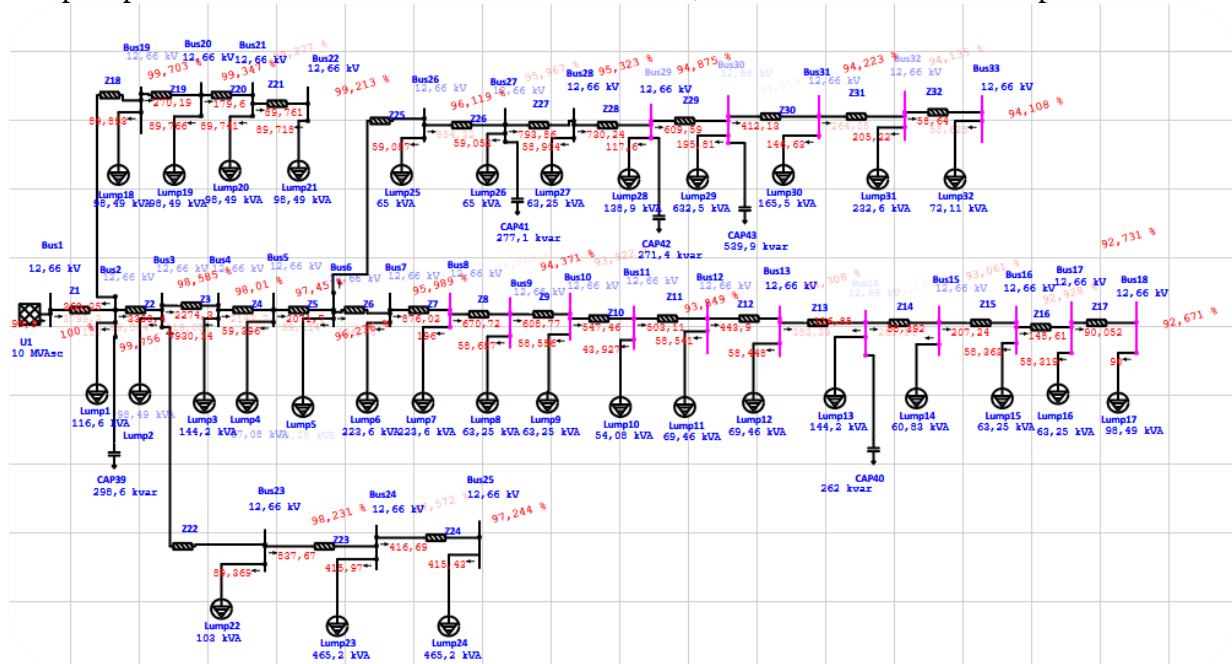


Figure III.34 schéma de nombre et emplacement de batterie de condensateur(cas3)

Tableau.III.8 Les Bus candidats (cas3):

| Bus candidats | No. De batterie<br>placer | Total kVAR |
|---------------|---------------------------|------------|
| Bus2          | 1                         | 298,56     |
| Bus 14        | 1                         | 261,97     |
| Bus27         | 1                         | 277,11     |
| Bus29         | 1                         | 271,36     |
| Bus30         | 2                         | 539,91     |
| TOTAL         | 4                         | 1648,91    |

Après placement des batteries sur les bus candidats, on refait l'écoulement de puissance :



**Figure III.35** Schémas de réseau après le placement des batteries de condensateur(cas3)

| Load Flow Analysis Alert View - Output Report: Untitled |      |                                         |              |                                                                                                       |             |            |
|---------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| Study Case: LF<br>Configuration: Normal                 |      | Data Revision: Base<br>Date: 26-05-2024 |              | Filter<br><input type="checkbox"/> Zone <input type="checkbox"/> Area <input type="checkbox"/> Region |             |            |
| Critical                                                |      |                                         |              |                                                                                                       |             |            |
| Device ID                                               | Type | Condition                               | Rating/Limit | Operating                                                                                             | % Operating | Phase Type |
| Marginal                                                |      |                                         |              |                                                                                                       |             |            |
| Device ID                                               | Type | Condition                               | Rating/Limit | Operating                                                                                             | % Operating | Phase Type |
| Bus10                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,914                                                                                                | 94,1        | 3-Phase    |
| Bus11                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,905                                                                                                | 94          | 3-Phase    |
| Bus12                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,889                                                                                                | 93,9        | 3-Phase    |
| Bus13                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,837                                                                                                | 93,5        | 3-Phase    |
| Bus14                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,823                                                                                                | 93,4        | 3-Phase    |
| Bus15                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,815                                                                                                | 93,3        | 3-Phase    |
| Bus16                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,799                                                                                                | 93,2        | 3-Phase    |
| Bus17                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,774                                                                                                | 93          | 3-Phase    |
| Bus18                                                   | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,766                                                                                                | 92,9        | 3-Phase    |
| Bus9                                                    | Bus  | Under Voltage                           | 12.66 kV     | 11,971                                                                                                | 94,6        | 3-Phase    |

**Figure III.36** l'alerte après placement batterie de condensateur(cas3)

Tableau III.9 Facteur de puissance de chaque nœud individuel(cas3)

| <b>Bus</b> | <b>Avant placement<br/>des condensateurs</b> | <b>Après placement des<br/>condensateurs</b> |
|------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Bus1       | 1                                            | <b>1</b>                                     |
| Bus2       | 0,997                                        | <b>0.997</b>                                 |
| Bus3       | 0,983                                        | <b>0.985</b>                                 |
| Bus4       | 0.976                                        | <b>0.980</b>                                 |
| Bus5       | 0.968                                        | <b>0.974</b>                                 |
| Bus6       | 0.950                                        | <b>0.962</b>                                 |
| Bus7       | 0.947                                        | <b>0.959</b>                                 |
| Bus8       | 0.934                                        | <b>0.948</b>                                 |
| Bus9       | 0.928                                        | <b>0.943</b>                                 |
| Bus10      | 0.922                                        | <b>0.939</b>                                 |
| Bus11      | 0,921                                        | <b>0.938</b>                                 |
| Bus12      | 0,92                                         | <b>0.937</b>                                 |
| Bus13      | 0,914                                        | <b>0.933</b>                                 |
| Bus14      | 0,911                                        | <b>0.931</b>                                 |
| Bus15      | 0,905                                        | <b>0.930</b>                                 |
| Bus16      | 0,90                                         | <b>0.929</b>                                 |
| Bus17      | 0,907                                        | <b>0.927</b>                                 |
| Bus18      | 0,906                                        | <b>0.926</b>                                 |
| Bus19      | 0,996                                        | <b>0.997</b>                                 |
| Bus20      | 0,993                                        | <b>0.993</b>                                 |
| Bus21      | 0,992                                        | <b>0.992</b>                                 |
| Bus22      | 0,991                                        | <b>0.992</b>                                 |
| Bus23      | 0,97                                         | <b>0.982</b>                                 |
| Bus24      | 0,973                                        | <b>0.975</b>                                 |

|       |       |               |
|-------|-------|---------------|
| Bus25 | 0,969 | <b>0.972</b>  |
| Bus26 | 0,949 | <b>0.961</b>  |
| Bus27 | 0,946 | <b>0.959</b>  |
| Bus28 | 0,935 | <b>0.953</b>  |
| Bus29 | 0,927 | <b>0.948</b>  |
| Bus30 | 0,924 | <b>0.946</b>  |
| Bus31 | 0,92  | <b>0.922</b>  |
| Bus32 | 0,919 | <b>0.941</b>  |
| Bus33 | 0,918 | <b>0.9410</b> |

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

|                           | <u>kW</u> | <u>kvar</u> | <u>kVA</u> | <u>% PF</u>   |
|---------------------------|-----------|-------------|------------|---------------|
| Source (Swing Buses):     | 3845.3    | 2387.2      | 4526.1     | 84.96 Lagging |
| Source (Non-Swing Buses): | 0.0       | 0.0         | 0.0        |               |
| Total Demand:             | 3845.3    | 2387.2      | 4526.1     | 84.96 Lagging |
| Total Motor Load:         | 3010.0    | 1860.0      | 3538.3     | 85.07 Lagging |
| Total Static Load:        | 635.5     | 391.9       | 746.7      | 85.12 Lagging |
| Total Constant I Load:    | 0.0       | 0.0         | 0.0        |               |
| Total Generic Load:       | 0.0       | 0.0         | 0.0        |               |
| Apparent Losses:          | 199.8     | 135.3       |            |               |
| System Mismatch:          | 0.0       | 0.0         |            |               |
| Number of Iterations: 3   |           |             |            |               |

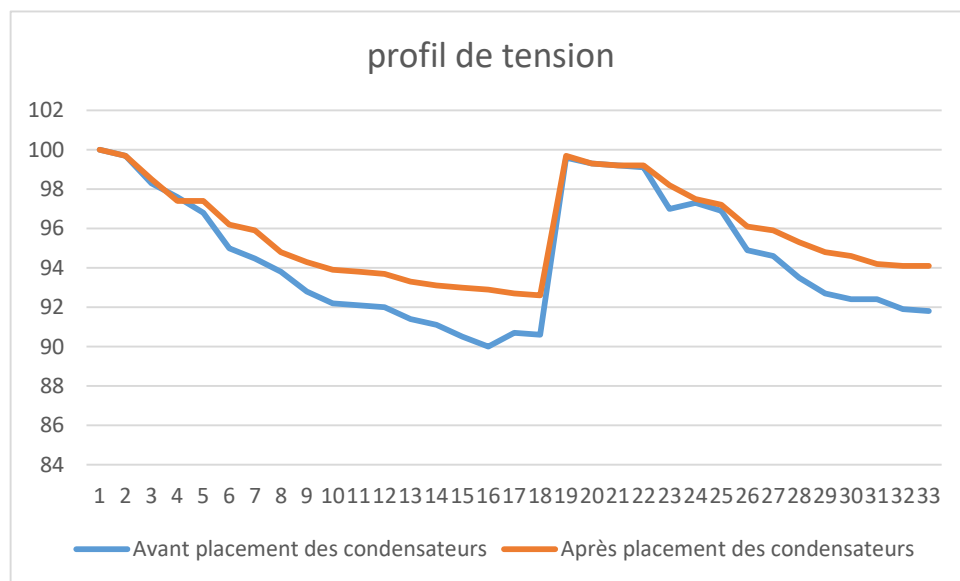
**Figure III.37** Rapport de facteur de puissance avant compensation(cas3)

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

|                           | kW     | kvar    | kVA    | % PF          |
|---------------------------|--------|---------|--------|---------------|
| Source (Swing Buses):     | 3799.3 | 850.0   | 3893.3 | 97.59 Lagging |
| Source (Non-Swing Buses): | 0.0    | 0.0     | 0.0    |               |
| Total Demand:             | 3799.3 | 850.0   | 3893.3 | 97.59 Lagging |
| Total Motor Load:         | 3010.0 | 1860.0  | 3538.3 | 85.07 Lagging |
| Total Static Load:        | 650.4  | -1104.4 | 1281.6 | 50.75 Leading |
| Total Constant I Load:    | 0.0    | 0.0     | 0.0    |               |
| Total Generic Load:       | 0.0    | 0.0     | 0.0    |               |
| Apparent Losses:          | 138.9  | 94.4    |        |               |
| System Mismatch:          | 0.0    | 0.0     |        |               |

Number of Iterations: 3

**Figure III.38** Rapport de facteur de puissance globale après compensation(cas3)



**Figure III. 39** Profils de tension du réseau IEEE33bus(cas3)

Tableau III.10 Résultats d'emplacement optimale de condensateur de 300 kVAR(cas3)

| capacité (kVAR) | Total pertes |             | No. Batterie de condensateurs | Total kVar  |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------------------|-------------|
|                 | kW           | kVAR        |                               |             |
| 00              | 199.8        | 135,3       | 00                            | 00          |
| <b>300</b>      | <b>138.9</b> | <b>94.4</b> | <b>6</b>                      | <b>1800</b> |

**Interprétation des résultats :**

On obtient pour la 3<sup>ème</sup> fonction objective qui est l'amélioration de facteur de puissance et la tension qu'il y a une amélioration de facteur de puissance globale du réseau du 84,54 à 97.59 (Figure III.38, Figure III.39) est une amélioration très significative concernant la chute de tension au niveau de toutes les charges.

Le seul point négatif dans cette 3<sup>ème</sup> fonction objectif, est l'augmentation des pertes actives et réactives, une augmentation de 12% pour les pertes actives et de 8, 88 % pour les pertes réactives (Tableau III.13).

On remarque aussi une grande amélioration du profile de la tension (Figure III.40)

**Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a étudié sur un réseau IEEE 33 bus la possibilité de minimiser les pertes de puissance actives et réactives par l'amélioration de facteur de puissance. On constater que le meilleur moyen de minimiser les pertes de puissance, en améliorent le facteur de puissance qui est comparé avec d'autre solution, c.-à-d. l'amélioration du profile de la tension ou bien les deux au même temps (amélioration du facteur de puissance et la tension en même temps).

On a remarqué que les pertes de puissances actives et réactives augmenter si on choisit l'option d'amélioration de la tension ou bien tension et facteur de puissance au même temps.

On essayer d'introduire des facteurs économiques telle que le prix de batterie, et voir leur impactes sur la rentabilité de cet outil de compensation sur le réseau électrique.

# Conclusion générale

# Conclusion générale

Le sujet de ce mémoire concerne en particulier le contrôle des puissances réactives dans des réseaux industriels BT, plus précisément ce travail a été consacré à l'étude de la compensation de l'énergie réactive dans une installation électrique industrielle Basse tension.

Dans un premier lieu, des généralités sur la qualité d'énergie électrique et le contrôle de l'énergie électrique ont été présentés. Par la suite, nous avons montré les effets néfastes constatés dans un réseau de distribution provoqués par la présence d'énergie réactive à savoir la chute de tension, l'augmentation des pertes d'énergie et par conséquent l'augmentation des coûts de consommation.

Ensuite à tous ces conséquences, l'installation des systèmes de compensation d'énergie électrique est devenue primordiale pour le bon fonctionnement du réseau électrique. Nous avons procédé à l'intégration du système de compensation dans le réseau étudié d'une façon optimale d'un point de vue capacité et emplacement en tenant compte bien sûr des différentes contraintes rencontrées dans le réseau.

En finalité de ce travail, nous avons constaté que la compensation de l'énergie réactive engendre certains avantages pour le réseau électrique, à savoir :

- Réduction du surdimensionnement des équipements électriques suite à la diminution des puissances appelée diminution.
- Augmentation de la puissance active dans le réseau
- Rétablissement des valeurs de tension en bout de ligne
- L'amélioration du facteur de puissance dans le réseau
- Un gain considérable sur la facture d'électricité, en diminuant la consommation d'énergie réactive.

Pour conclure, il faut savoir que durant ces dernières années, l'industrie de l'énergie électrique est confrontée à des problèmes liés à de nouvelles contraintes qui touchent différents aspects de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique. On peut citer entre autres les restrictions sur la construction de nouvelles lignes de transport, l'optimisation du transit dans les systèmes actuels, la Cogénération de l'énergie, les interconnexions avec d'autres compagnies d'électricité et le respect de l'environnement.

Dans ce contexte, il est intéressant pour le gestionnaire du réseau de disposer des moyens permettant de contrôler les puissances réactives, les tensions et les transits de puissance dans les

lignes afin que le réseau de transport ou distribution existant puisse être exploités de la manière la plus efficace et la plus sûre possible.

# Bibliographie

- [1] Melle BOUTABA Samia, « Amélioration de la stabilité d'un réseau électrique par l'utilisation d'un ASVC », Mémoire de magister, Option : Réseaux électriques, Université de Chlef, 09/06/2009.
- [2] Nabil MANCER, « Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs de compensation dynamique (FACTS) », Mémoire de Magister Option : Réseaux électriques, Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie, 28/01/2012
- [3]:sit web : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformateur\\_électrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformateur_électrique) . en date du 30 mai 2024 à 11:49
- [4] Rabah BENABID: «Optimisation Multi objectif de la Synthèse des FACTS par les Particules en Essaim pour le Contrôle de la Stabilité de Tension des Réseaux Électriques» Thèse de Magister. Université Amar Telidji, Laghouat. 04/09/2007
- [5] Mostefa HAMED, « Dispatching économique dynamique par utilisation de méthodes d'optimisation globales », Mémoire de Magister Option : Réseaux électriques, Université Mohamed Khider – Biskra, 14/01/2013.
- [6] MERZOUGUI Nassima, « Gestion de congestion dans les réseaux électriques », Mémoire de Magister Option : Réseaux électriques, Université Mohamed Khider – Biskra, 03/06/2014
- [7]: HAIMOUR Rachida: « Contrôle des Puissances Réactives et des Tensions par les Dispositifs FACTS dans un Réseau Électrique » Thèse Magister En Electrotechnique. Année Universitaire 2008-2009.
- [8] Khiat Mounir, « Répartition optimale des puissances réactives dans un réseau d'énergie électrique sous certaines contraintes de sécurité » Thèse de doctorat d'état Oran 2003.
- [9] Martin Hennebel, ''valorisation des services système sur un réseau de transport d'électricité en environnement concurrentiel thèse de doctorat de l'université paris 11 2009

- [10] Legrand Catalogue, « *Compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques* », P0910ALPESFR- EX210027 - MARS 2010
- [11] Melle BOUTABA Samia, « Amélioration de la stabilité d'un réseau électrique par l'utilisation d'un ASVC », Mémoire de magister, Option : Réseaux électriques, Université de Chlef, 09/06/2009.
- [12] chettih saliha, « Optimisation des Puissances Réactives en tenant compte des Méthodes Heuristiques d'un Système Electrique Complexe -Application au Réseau Algérien, cours, specialite : electrotechnique. Option : réseaux electriques, 2009
- [13] HADDAD Salim, « Compensation d'énergie réactive par convertisseur statique », Mémoire de magister département d'électromécanique, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2006.
- [14] SEMAOUI Hammou, « master en génie électrique option : ingénierie des systèmes électromécaniques, université mohamed boudiaf- m'sila 2015/2016
- [15] Site web [http://www.wikiwand.com/fr/Compensateur\\_statique\\_d'énergie\\_réactive](http://www.wikiwand.com/fr/Compensateur_statique_d'énergie_réactive)
- [16] Schneider Electric, « *La compensation de l'énergie réactive* », Guide technique, Intersections - novembre 2006
- [17] Schneider Electric, « La conception des réseaux industriels en haute tension », ct 169, 10/1993.
- [18] Schneider Electric, « *Compensation de l'énergie réactive et filtrage des harmoniques* », Guide de l'installation électrique 2010, GIE\_chap\_L-2010.indb 26, 22/01/2010.
- [19] Legrand Catalogue, « *Compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques* », P0910ALPESFR- EX210027 - MARS 2010.
- [20] Schneider Electric, « Compensation de l'énergie réactive et filtrage des harmoniques », Guide de l'installation électrique 2010, GIE\_chap\_L-2010.indb 26, 22/01/2010

- [21] B. Venkatesh, Member, IEEE, Rakesh Ranjan, and H. B. Gooi, Senior Member, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS VOL. 19, NO. 1, FEBRUARY 2004
- [22] ETAP12.6 user guide, opération technology, Inc. Registered to ISO 9001 :2008.certification No.10002889 QM08,MARCH 2014