



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique

PROJET DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Amélioration des performances du
réseau Basse Tension**

Réalisé Par :

Mlle. Oumaima Abdallaoui Maane
Mlle. Hala Naoui Khir

Encadré par :

Pr. Hicham GHENNIQUI (FST FES)
Mr. Younes RAGHI (RADEEF)

Soutenu le 06 Juin 2018 devant le jury :

Pr. Tajeddine LAMCHARFI (FST FES)
Pr. Hassane EL MARKHI (FST FES)
Pr. Hicham GHENNIQUI (FST FES)

Résumé

Les pertes d'énergies, les chutes de tensions, dans les réseaux électriques et dans les réseaux de distribution représentent un enjeu important. A cet effet, la Régie autonome intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de Fès (RADEEF) insiste sur l'importance de l'amélioration du rendement du réseau de distribution.

En améliorant ce rendement, la régie réduit sa consommation d'énergie, ce qui diminue les pertes d'énergies et les chutes de tensions sur les réseaux de distribution. Par ailleurs, sachant que la longueur des lignes et les conditions climatiques ont un impact sur les pertes d'énergies. Ces dernières jouent un rôle dans la manière dont les réseaux de distribution doivent être conçus et installés pour minimiser les pertes.

Afin d'optimiser le réseau et améliorer sa qualité, la RADEEF nous a demandé de chercher des solutions optimales pour minimiser les pertes d'énergies, les chutes de tension, le transport de l'énergie réactive, le problème des surcharges au niveau des transformateurs et d'élaborer une application de calcul de ces paramètres directement.

Dédicace

Nous dédions ce travail:

A ceux qui nous ont indiqué la bonne voie, nos chers parents pour leurs amours, aides et sacrifices.

A ceux qui nous soutiennent tout le temps, nos chers frères et sœurs pour leurs conseils et encouragements.

A ceux qui nous ont toujours aidés à avoir une bonne formation, nos chers professeurs pour leurs efforts et leur aide.

A toutes personnes qui nous sont chères.

Remerciements

Avant tous, nous remercions Dieu le tout puissant, de nous avoir donné le courage, l'abnégation et l'opportunité de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier également,

- ❖ Monsieur le Directeur Général de la Régie autonome intercommunale de distribution d'eau potable, d'électricité et d'assainissement, pour l'opportunité qui nous est offerte par ses soins afin d'effectuer ce stage au sein de la **R.A.D.E.E.F.**

- ❖ Monsieur **Raghi Younes**, notre encadrant de stage, pour ces conseils et pour l'intérêt qu'il a manifesté durant toute la période de notre stage.

- ❖ l'ensemble du personnel de la R.A.D.E.E.F pour leurs conseils précieux, grâce à eux nous avons dépassé toutes les difficultés.

- ❖ Monsieur **Ghennioui Hicham**, notre Professeur et encadrant à la faculté pour son aide et son encadrement durant toute la durée du stage.

- ❖ Monsieur **Jorio Mohammed**, Coordonateur de la filière LST GE et à tous le corps professoral et administratif de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

- ❖ Enfin nous remercions tous les responsables de l'université sidi Mohammed ben Abdallah Fès et surtout à tous les enseignants du département Génie électrique ainsi que tout le corps pédagogique et administratif de notre faculté.

Table des matières

INDRODUCTION GENERALE.....	8
CHAPITRE 1 – PRESENTATION GENERALE DE RADEEF.....	9
1.1. Evolution de la RADEEF	9
1.2. Fiche technique de la RADEEF.....	9
1.3. Organisation de la RADEEF	10
1.3.1. Conseil d'administration.....	10
1.3.2. Comité de direction.....	10
1.3.3. Direction Générale	10
1.4. Organigramme général de la RADEEF.....	11
1.5. Département Exploitation Electricité	12
1.6. Type de réseau d'électricité exploité par la RADEEF.....	13
1.6.1. Lignes aériennes.....	13
1.6.2. Lignes souterraines	13
1.6.3. Lignes torsadées	14
1.7. Description du réseau électrique de la RADEEF.....	14
1.7.1. Postes sources.....	14
1.7.2. Postes répartiteurs	15
1.7.3. Postes MT/BT.....	15
CHAPITRE 2 –ETUDES DES PERTES D'ENERGIE DANS LES RESEAUX DE DISTRIBUTION BT ET COMPENSATION DE L'ENERGIE REACTIVE	16
2.1. Etude des pertes au niveau du réseau BT.....	16
2.1.1. Pertes techniques	16
2.1.2. Pertes non techniques.....	22
2.2. Compensation de l'énergie réactive	22
2.2.1. Facteur de puissance	23
2.2.2. Avantage d'un bon facteur de puissance	24
2.2.3. Principe de la compensation	24
2.2.4. Pourquoi compenser l'énergie réactive ?	25
2.2.5. Modes de compensation.....	26
2.2.6. Moyen de compensation de l'énergie réactive [11].....	26
CHAPITRE 3 - ETUDE ET APPLICATION DU POSTE SIDI BRAHIM AU NIVEAU DU RESEAU MT/BT.....	28
3.1. Calcul de la puissance dans les départs BT	28
3.2. Calcul de la puissance dans le transformateur	28
3.3. Choix de la valeur de la batterie de compensation du poste SIDI BRAHIM	29
3.4. Calcul des pertes joules du poste SIDI BRAHIM.....	29
3.5. Calcul de la chute de tension du poste	30
3.6. Application CALCUL DES PERFORMANCES DU RESEAU BT	31
CONCLUSION GENERALE.....	33
ANNEXE : FORMULES GENERALES	34
WEBOGRAPHIE	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1- ORGANIGRAMME DE LA RADEEF.....	11
Figure 2 - LIGNE AERIENNE.....	13
Figure 3 - LIGNE SOUTERRAINE.....	14
Figure 4 - LIGNE TORSADEE.....	14
Figure 5 -DIFFERENTES PERTES TECHNIQUES DANS LE RESEAU.....	16
Figure 6 - SECTION DE CABLE DE DISTRIBUTION.....	18
Figure 7 : SCHEMA EQUIVALENT D'UN TRANSFORMATEUR.....	21
Figure 8 : COMPOSITION VECTORIELLE DES PUISSANCES.....	23
Figure 9 : REPRESENTATION VECTORIELLE DU PRINCIPE DE COMPENSATION.....	24
Figure 10 : MODES DE COMPENSATION.....	26
Figure 11 : EXEMPLE DE BATTERIE DE CONDENSATEUR FIXE.....	27
Figure 12 : EXEMPLE DE BATTERIE DE CONDENSATEUR EN GRADIN.....	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1- RESISTIVITE DES MATERIAUX.....	17
Tableau 2 - COEFFICIENT DE TEMPERATURE DES MATERIAUX.....	18
Tableau 3 : LES CHUTES DE TENSION MAXIMALES.....	19
Tableau 4 : PUISSANCE ACTIVE ET REACTIVE POSTE SIDI BRAHIM.....	28
Tableau 5 : PUISSANCE TRANSFORMATEUR AVANT COMPENSATION.....	28
Tableau 6: PUISSANCE TRANSFORMATEUR APRES COMPENSATION.....	28
Tableau 7 : PUISSANCE APPARENTE DELIVREE AVEC ET SANS BATTERIES.....	29
Tableau 8 : CHUTE DE TENSION DU DEPART 1.....	30
Tableau 9 : CHUTE DE TENSION DU DEPART 2.....	30

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

- **BCC** : Bureau Central de Conduite
- **BT** : Basse Tension
- **HT** : Haute Tension
- **I** : Intensité de courant
- **KVA** : Kilo Volte Ampère
- **MT** : Moyenne Tension
- **P** : Puissance active
- **PJ** : Pertes par effet Joule
- **PNT** : Pertes Non Techniques
- **Q** : Puissance réactive
- **RADEEF** : Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de Fès.
- **S** : Puissance apparente
- **U** : Tension
- **W** : Unité de la puissance active (watt)
- **ΔU** : Chute de tension

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre de la réalisation de notre projet de fin d'étude, nous avons eu l'occasion d'effectuer notre stage au sein de la Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de Fès (RADEEF).

Au cours de stage, nous avons pu avoir une fenêtre sur le monde de distribution d'Electricité et cela grâce au contact pratique réalisé au sein de la RADEEF. Elle est chargée d'assurer la gestion du réseau électrique, la distribution de l'eau et de l'électricité ainsi que la gestion du réseau de distribution de la ville de Fès en éliminant les imperfections et les pertes énergétiques pour augmenter les gains et faire bénéficier ses clients d'un service de qualité.

Notre travail portait sur **l'Amélioration des performances du réseau BT de la RADEEF et l'élaboration d'une application de calcul des paramètres de ce réseau.**

Tout au long de ces huit semaines, nous avons été amenés d'une part à visiter les différentes équipes du département d'exploitation d'électricité afin de prendre connaissance des tâches quotidiennes et les processus de travail au sein de ce département. Au cours de ce stage, nous avons également pu enrichir notre formation professionnelle et mettre en pratique nos connaissances acquises lors de notre formation. La période de stage nous est permise de mieux comprendre le monde du travail et de prendre conscience des problèmes rencontrés par les équipes du département d'exploitation d'électricité.

Le document est organisé de la façon suivante : nous présentons dans le premier chapitre l'environnement du stage et le cahier des charges de notre projet. Le second chapitre est consacré à l'étude des pertes au niveau du réseau BT, compensation de l'énergie réactive et la chute de tension. Nous décrivons dans le dernier chapitre l'étude effectuée du poste Sidi Brahim au niveau du réseau MT /BT. Nous présentons également dans ce chapitre, l'application de calcul des performances d'un réseau BT.

CHAPITRE 1 – PRESENTATION GENERALE DE LA RADEEF

Les éléments présentés dans la première section de ce chapitre ont été extraits de la référence [1].

1.1.EVOLUTION DE LA RADEEF

Ces dernières années, la ville de Fès a reconnu une extension tellement considérable que son approvisionnement en eau et électricité est devenu une tâche lourde à assurer, une extension tant sur le plan industriel que celui de l'habitat. Par conséquent des besoins de la population croissante, cette tâche revient à un établissement public à caractère social industriel et commerciale connu sous l dénomination :

R.A.D.E.E.F-Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la wilaya de Fès. C'est une entreprise semi public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

Elle a été créée par la délibération du conseil municipal de la ville de Fès en date du 30 Avril 1969 et avait comme mission principale la gestion du réseau électrique de la ville. A partir de 1970, la régie assurait aussi la distribution de l'eau potable. En 1993, la régie a commencé l'étude, la réalisation ainsi que l'entretien liquide du réseau d'assainissement.

Par conséquent, la R.A.D.E.E.F répond aux besoins de la population en matière d'eau potable et d'électricité. Elle s'occupe de la gestion du patrimoine dans le but d'offrir un service de qualité aux clients ou aux abonnés.

La régie bénéficie d'un monopole d'Etat dans les zones urbaines de Fès puisqu'elle assure ses besoins en Eau et en Electricité à partir de l'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEEP).

1.2. FICHE TECHNIQUE DE LA RADEEF

- **Dénomination** : Régie Autonome intercommunale de Distribution D'Eau et d'Electricité de FES.
- **Siege social** : 10, rue Mohammed El KAGHAT B.P:2007, FES.
- **Date de création** : 1er Janvier 1970.
- **Forme juridique** : établissement Public à caractère Commercial doté L'autonomie financière.
- **Exercice comptable** : du 1er janvier au 31 décembre.
- **L'activité** : la production, la distribution de l'eau potable et l'assainissement liquide et la distribution d'électricité.
- **Principale fournisseur** : ONEE. L'effectif : 1109 agents.
- **Téléphone** : 05-35-62-50-15.
- **Fax** : 05-35-62-07-95.
- **E-mail** : dg@radeef.ma

1.3. ORGANISATION DE LA RADEEF

1.3.1. Conseil d'administration

Le conseil d'administration de la RADEEF est présidé par le Wali de la Région Fès Boulemane et se compose des membres suivants :

- ❖ Huit conseillers communaux représentant les communes de Fès, Séfrou et Bhalil,
- ❖ Le représentant du Ministère de l'Intérieur,
- ❖ Le représentant du Ministère des Finances,
- ❖ Le représentant du Ministère de l'Equipement, Assistent à titre consultatif,
- ❖ Le contrôleur d'état de la RADEEF,
- ❖ L'ingénieur municipal de Fès,
- ❖ Le directeur régional de l'ONE à Fès,
- ❖ Le directeur régional de l'ONEP à Fès,
- ❖ Le directeur régional de l'Energie et des Mines à Fès,
- ❖ Le directeur de l'Agence urbaine de Fès,
- ❖ Le directeur du Bassin Hydraulique du Sebou,
- ❖ Le directeur général de la RADEEF,
- ❖ Le trésorier payeur de la RADEEF.

1.3.2. Comité de direction

Il est composé d'un président et de quatre conseillers désignés par le conseil d'administration. Ce comité se réunit au mois une fois par an et pour mission de gérer la régie.

1.3.3. Direction Générale

Elle comprend les directeur générale qui coordonnent et gère les différents départements et divisions. Il veille à l'exécution des décisions du conseil d'administration.

1.4. ORGANIGRAMME GENERAL DE LA RADEEF

L'organigramme de la RADEEF se présente comme suit :

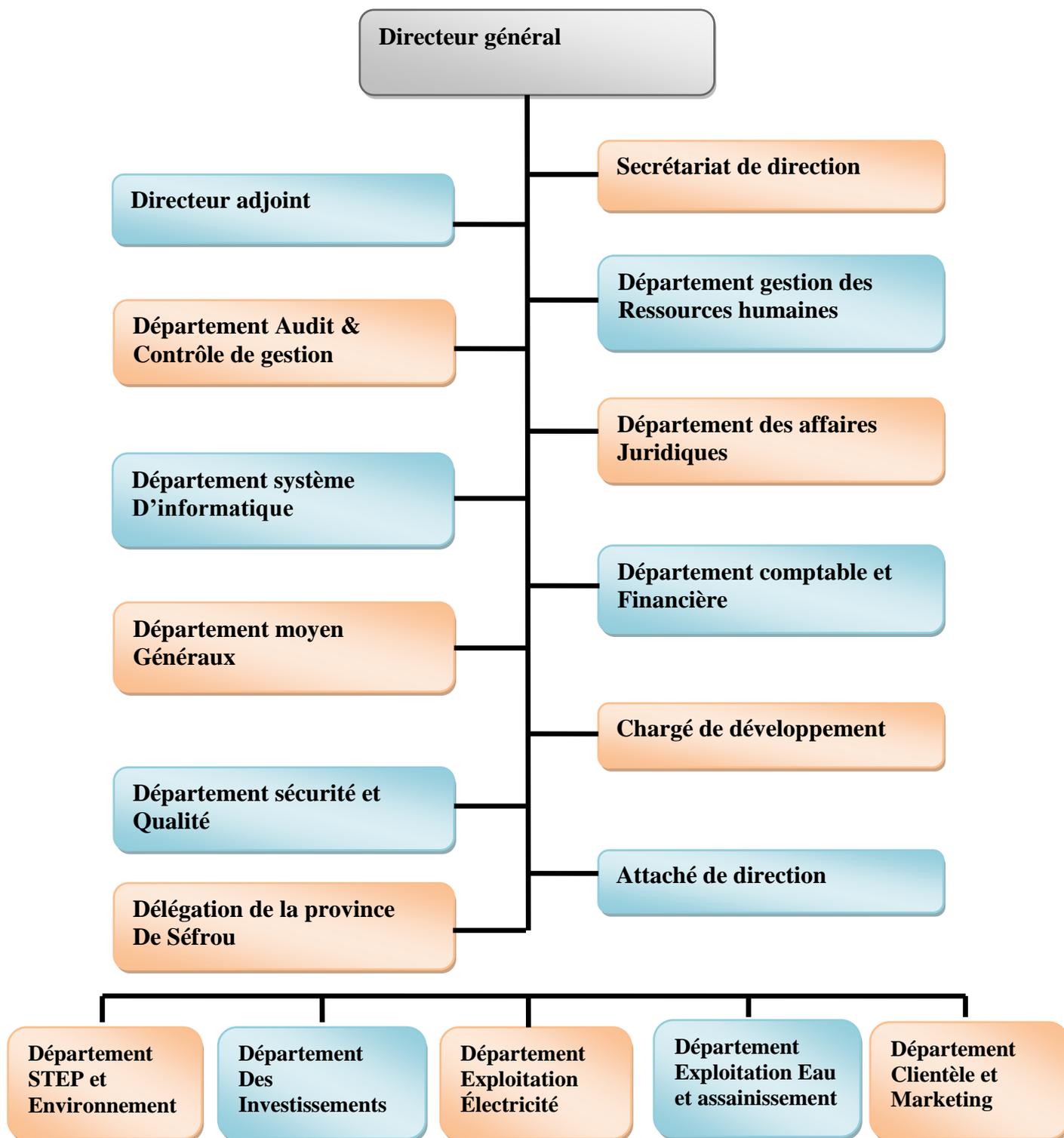


Figure 1- ORGANIGRAMME DE LA RADEEF.

1.5. DEPARTEMENT EXPLOITATION ELECTRICITE

Le département d'exploitation d'électricité est chargé d'assurer en quantité et en qualité la distribution d'électricité selon le besoin de la ville de Fès. Ce département a connu de profondes mutations, grâce à la réalisation du projet innovant BCC (Bureau Central de Conduite). Cette innovation permet, à partir d'un bureau central de conduite, de gérer en temps réel l'ensemble du réseau d'électricité moyenne tension de la ville de Fès. Cet accès à distance est réalisé par l'intermédiaire des postes asservies. Ces derniers permettent au BCC de commander tous les postes réseaux qui sont éloignés.

Le département exploitation électricité s'occupe principalement des travaux d'exploitations électricité, de la gestion du réseau électrique et assure aussi la mise en conformité de l'éclairage public de la ville de Fès.

1.5.1. Divisions du Département Exploitation Electricité

Nous avons effectué notre stage au sein du département exploitation électricité. Ce département est composé de quatre divisions différentes qui sont citées ci-après :

- Division abonné MT/BT.
- Division d'Eclairage Public.
- Division des Travaux d'Exploitation.
- Division de la Conduite & Gestion Réseau.

1.5.2. Division Conduite et Gestion Réseau

Ce stage s'est déroulé précisément dans la division conduite et gestion réseau. Cette division se compose de trois services :

Service conduite du réseau : chargé des interventions rapides basses et moyennes tension et ses activités principales sont :

- Recherche des défauts
- Réparation des défauts HTA et BT
- Les dépannages simples

Ce service se compose de cinq bureaux :

Bureau de réclamations : il est chargé de la réception des réclamations téléphoniques des abonnés.

Bureau intervention BT : il effectue les tâches suivantes :

- Intervention sur le réseau HTA/BT.
- Réparation des défauts HTA/BT.
- Contrôle des charges et des tensions des départs BT.

- Réparation des fils coupés.

Bureau opérateur HTA

Bureau central de conduite (BCC) : ses activités principales sont :

- La supervision des réseaux HTA.
- Suivi des puissances appelées.
- Commande à distance des postes HTA/BT.

Bureau administrateur système SCADA : un SCADA, acronyme de l'anglais Supervisory Control and Data Acquisition. Ce bureau a pour but :

- Administration du système SCADA.
- La mise à jour des bases de données du système SCADA.
- Développement des programmes informatiques relatifs à la télégestion du réseau.
- La configuration des équipements de télé conduite.
- L'élaboration des consignes d'exploitation des postes télécommandés.

Service mesure et protection : il a pour mission de vérifier quotidiennement les postes sources et les réglages des protections à la recherche des défauts HTA ET BT.

Service Télécom : ce service a plusieurs tâches à savoir : la surveillance du réseau radio, la maintenance, la réparation et installation des équipements radiocommunication, la gestion du parc radiocommunication, la programmation des émissions/réceptions radio administratif.

1.6. TYPE DE RESEAU D'ELECTRICITE EXPLOITE PAR LA RADEEF

Pour le transport et la distribution de l'électricité, trois types de réseaux existent : les réseaux à base de lignes aériennes, de lignes souterraines et lignes torsadées.

1.6.1. Lignes aériennes

Ces lignes sont composées de câbles conducteurs généralement en alliages d'aluminium et de diamètres différents, suspendus pylônes ou poteaux (Figure 2).



Figure 2 - LIGNE AERIENNE.

1.6.2. Lignes souterraines

Les lignes souterraines sont plus coûteuses à l'installation par rapport aux autres types. Ils sont utilisés pour le transport sous-terrain. Franchissant des sites protégés et pour l'alimentation de grandes villes (Figure 3).



Figure 3 - LIGNE SOUTERRAINE.

1.6.3. Lignes torsadées

Les lignes torsadées (Figure 4) ou sur façade sont des lignes de transmission formées de deux fils conducteurs enroulés en hélice. Leur réparation se fait par des collecteurs.



Figure 4 - LIGNE TORSADÉE.

1.7.DESCRPTION DU RESEAU ELECTRIQUE DE LA RADEEF

1.7.1. Postes sources

Le poste source est un poste électrique du réseau de distribution d'électricité. C'est l'un des derniers éléments entre le client et le réseau électrique. Il est destiné à alimenter des abonnés domestiques ou industrielles par une succession de lignes et transformateurs qui abaissent la tension jusqu'à la tension 20 KV.

A Fès, il est réparti en trois postes élémentaires : Fès Ouest, Fès Sud et Fès Amont qui ont la même structure et le même rôle. Il est implanté sur une base bétonnée et gravillonnée sur laquelle sont installées les lignes d'arrivées 63 KV, les sectionneurs et disjoncteurs et les jeux de barres, les transformateurs. A travers le jeu de barre arrive une tension de 63 KV, elle entre dans le transformateur pour qu'elle soit réduite 20 KV qui se transmet vers les arrivées qui les envoient à leurs tours aux postes abonnés.

Chaque poste source contient trois grands transformateurs abaisseurs 63KV – 20KV, protégés eux aussi contre les défauts. C'est 3 transformateurs fonctionnent de la même façon, en cas de défaut de l'un des transformateurs, les deux autres viennent en aide.

- Fès Sud : le poste source est raccordé au réseau de l'ONE par trois lignes aériennes, équipé de trois transformateurs. Il a trois départs : deux départs DOUYIAT, un départ réserve OUALI

- Fès Amont : ce poste est raccordé aussi au réseau 60KV de l'ONE à la RADEEF et la partie jeu de barre qui reçoit la tension en un point et le transformateur l'abaisse en 20 KV.
- Fès Ouest : il reçoit une tension de 60 KV et l'abaisse en 20 KV. la seule différence c'est qu'il ne contient que deux transformateurs en attendant l'installation du troisième et la communication avec le BCC via 2 fibres optiques.

1.7.2. Postes répartiteurs

Les postes répartiteurs sont des postes intermédiaires entre les sources et les abonnées, reçoivent au départ 20 KV et l'abaisse en 5.5KV ou 400 V. contiennent deux transformateurs abaisseurs 20 KV – 5.5KV ou 400V. Des cellules protectrices des transformateurs et contiennent aussi un poste asservis contenant une batterie pour l'alimentation, un automate programmable veillant sur la sécurité du poste, qui déclenche lors d'un défaut et envoi le signal au BCC pour un moyen de télécommunication : la liaison spécialisé. Il existe cinq postes répartiteurs de la RADEEF : AIN NOKBI, SIDI BRAHIM, G.S.I, FARAH et AIN KADOUSS.

1.7.3. Postes MT/BT

Il contient plusieurs composants :

- Deux cellules munie chacune par un interrupteur à grand pouvoir de coupure, shunté en haut par un jeu de barres. Sur la première on raccorde le câble d'arrivé et sur la deuxième on raccorde le câble de départ
- Une cellule protectrice du transformateur : elle est constituée par un interrupteur à haute pouvoir de coupure 3 fusibles calibrés suivant la puissance de transformateur ,3 relais électromagnétique réglables suivant la puissance du transformateur.
- Un transformateur 20KV – 360KV
- Un tableau urbain des départs : Il recueille la BT directement du transformateur et la répartit avec un jeu de barres en plusieurs nourrices qui seront protégés par des fusibles calibrés ou des disjoncteurs à relais magnétothermique.
- Un bloc d'éclairage public
- Des gants protecteurs
- Un relais bardin

La tension arrive en premier lieu dans le poste, en 20KV entre dans le transfo qui l'abaisse en 380V. Le transformateur est protégé par des cellules comportant des relais qui se déclenchent lors d'un défaut, ce dernier contient de l'huile et une pompe qui sert à le refroidir suite aux échauffements par effets de joule. Une tension simple de 220V est enfin distribuée aux clients.

CHAPITRE 2 –ETUDE DES PERTES D'ENERGIE DANS LES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'ELECTRICITE BT ET COMPENSATION DE L'ENERGIE REACTIVE

2.1. ETUDE DES PERTES AU NIVEAU DU RESEAU BT

Lors de son transport entre le point de production et le point de livraison, l'électricité connaît des pertes dont le volume dépend de la valeur du courant, de la distance de transport et des caractéristiques du réseau. On parle alors de pertes en ligne. Même si elles sont invisibles, les pertes d'électricité sont bien réelles et impossibles à éviter, mais on peut chercher à les réduire.

Les pertes d'énergie dans un réseau de distribution d'électricité BT sont de deux types: les pertes techniques et les pertes non-techniques.

2.1.1. Pertes techniques

Pertes sur les réseaux par échauffement des conducteurs et les pertes fer provenant des transformateurs (Figure 5).

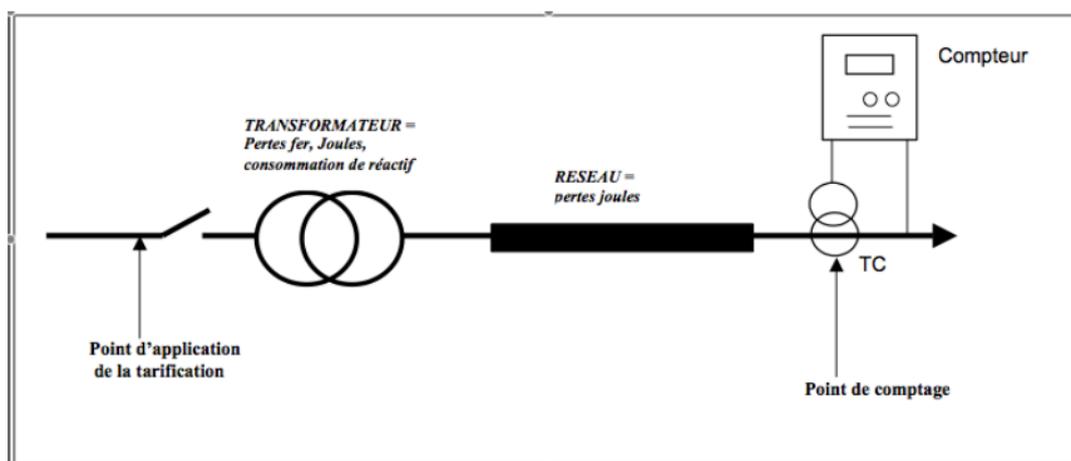


Figure 5 -DIFFERENTES PERTES TECHNIQUES DANS LE RESEAU (Source [2]).

Les pertes techniques ont des origines diverses, elles peuvent provenir de :

A. Pertes en lignes :

Les **pertes en ligne** [3] sont dues principalement à l'**effet Joule** qui dépend essentiellement de l'**intensité** et de la **résistance** : plus celles-ci sont élevées, plus l'effet Joule et les pertes qui en découlent sont importants.

- **Pertes par effet Joule :**

Les pertes par effet Joule [4] constituent la composante principale des pertes de transport. Ces pertes sont causées par le courant qui circule dans les lignes et les transformateurs.

- **Effet Joule**

L'effet Joule est un effet thermique de la résistance électrique qui se produit lors du passage du courant électrique dans un conducteur. Il se manifeste par une augmentation de l'énergie thermique du conducteur et généralement de sa température. Dans le cas de conducteurs de distribution de l'énergie électrique, cet effet provoque des pertes non désirées.

L'expression des pertes par effet Joule est :

$$P_J = R \cdot I^2, \quad \text{Eq. 1}$$

avec :

P_J : pertes par effet Joule en W

R : résistance en Ω

I : intensité de courant en A

- **Résistance d'un câble électrique**

Elle est proportionnelle à la longueur. En doublant la longueur d'un conducteur, sa résistance électrique est aussi doublée. De plus, en augmentant la section d'un conducteur, sa résistance est alors diminuée [2]. La formule qui permet de calculer la résistance d'un conducteur de longueur L et de section S est la suivante:

$$R = \rho * \frac{L}{S}, \quad \text{Eq. 2}$$

avec :

R : résistance en Ohm

ρ : Résistivité en Ohm. Mètre ou $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$

L : longueur du câble en mètre

S : section en mètre-carré

Nom du métal	Résistivité à 300 K ($\Omega \cdot \text{m}$)	Nom du métal	Résistivité à 300 K ($\Omega \cdot \text{m}$)
Argent	16×10^{-9}	Laiton	71×10^{-9}
Cuivre	17×10^{-9}	Cadmium	76×10^{-9}
Or	22×10^{-9}	Nickel	87×10^{-9}
Aluminium	28×10^{-9}	Fer	100×10^{-9}
Magnésium	43×10^{-9}	Platine	111×10^{-9}
Bronze	55×10^{-9}	Étain	120×10^{-9}
Zinc	61×10^{-9}	Plomb	208×10^{-9}

Tableau 1- RESISTIVITE DES MATERIAUX (Source [5]).

Les câbles de distribution étant composés de plusieurs conducteurs (Figure 6). La relation décrite au niveau de l'Eq. 2, nous obligerait à calculer la résistance de chaque conducteur afin de pouvoir déterminer la résistance de l'ensemble du câble.

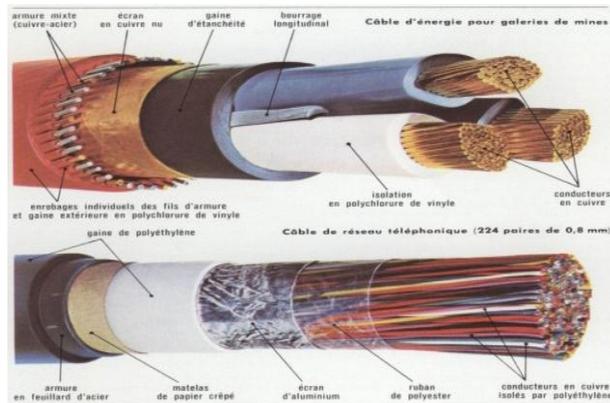


Figure 6 - SECTION DE CABLE DE DISTRIBUTION.

De plus, la résistance des conducteurs évolue avec leur température selon la relation suivante :

$$R_T = R_0 (1 + \alpha \Delta T), \quad \text{Eq. 3}$$

avec :

R_T : Résistance en Ω à la température T

R_0 : Résistance en Ω à la température de référence

α : Coefficient de température du matériau (voir tableau 2)

ΔT : Écart de température = $T - T_0$

Matériaux	Coefficient de température α
Argent	0.0038
Cuivre	0.00393
Or	0.0034
Aluminium	0.00391
Tungstène	0.005
Fer	0.0055
Nickel	0.006
Constantan	0.000008
Nichrome	0.00044
Carbone	-0.0005

Tableau 2 - COEFFICIENT DE TEMPERATURE DES MATERIAUX.

Plus la valeur de α est grande, plus la variation de la résistance avec la température est grande. Plus le courant circulant dans un câble est élevé, plus le câble chauffe, plus la résistance augmente, plus les pertes par effet Joule sont importantes.

- **Pertes par effet Joule d'une ligne de distribution triphasée**

Les lignes de distribution sont composées de trois câbles et équilibrées (courant identique dans chacune des phases), les pertes par effet Joules sont :

$$P_J = 3.R.I^2. \quad \text{Eq. 4}$$

Le courant transporté, dépend de la puissance distribuée et de la tension de distribution, soit :

$$P = UI\sqrt{3}\cos\varphi \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi} \quad \text{Eq. 5}$$

Il est alors possible d'exprimer les pertes par effet joule en fonction de la puissance distribuée et de la tension :

$$P_J = \left(\frac{R}{U^2\cos^2\varphi}\right) P^2 \rightarrow P_J = a*P^2, \quad \text{Eq. 6}$$

avec P la puissance injectée.

- **Perte par chute de tension**

Tout réseau électrique ne manque pas d'imperfection, ce qui en fait de même pour le réseau de distribution de la RADEEF. Parmi les problèmes rencontrés dans le réseau, on trouve les chutes de tension en fin de ligne qui cause des dégâts que ce soit pour le client ou bien pour la RADEEF.

La chute de tension dans un conducteur résulte des pertes par effet Joule. Une partie de l'énergie véhiculée est absorbée par ces mêmes conducteurs et dissipée sous forme de chaleur.

Parmi les raisons qui mènent à la chute de tension :

- ✓ *Le mauvais dimensionnement de l'installation électrique.*
- ✓ *Le déséquilibre des départs.*
- ✓ *La puissance réactive.*

Le tableau suivant représente la chute de tension maximale normalisée entre l'origine de l'installation et l'abonnée :

	Eclairage	Autre usages
Abonnée alimentée par le réseau BT de distribution public	3%	5%
Abonnée propriétaire de son poste HTA/BT	6%	8%

Tableau 3 : LES CHUTES DE TENSION MAXIMALES (source [6]).

- **Calcul de chute de tension**

La chute de tension peut être calculée par la relation suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} . I_b . (R . \cos\varphi + X . \sin\varphi), \quad \text{Eq. 7}$$

avec

ΔU : Chute de tension (V)

I_b : Courant maximal d'utilisation (A)

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

L : Longueur en canalisation (m)

φ : Déphasage ($\cos \varphi$ facteur de puissance)

ρ : Résistivité du conducteur

S : Section des conducteurs (mm²)

X : Réactance linéique des conducteurs (Ω/m)

- Section de chute de tension

Dans cette partie, nous allons traiter le choix d'une bonne section de câble pour minimiser les chutes de tension.

L'impédance Z d'un câble est faible mais non nulle. Lorsqu'elle est traversée par le courant de service, il y a une chute de tension entre son origine et son extrémité. Par exemple, le bon fonctionnement d'un récepteur est conditionné par la valeur de la tension à ses bornes.

En connaissant les caractéristiques des appareils à alimenter et celles des liaisons, il faut déterminer la section des conducteurs permettant pour un réseau dont le facteur de puissance est $\cos \varphi$ d'assurer le transport du courant I par un câble de longueur L sans dépasser la valeur limite de la chute de tension permise.

En se basant sur la formule de chute de tension décrite au niveau de l'Eq. 7, nous affirmons alors qu'en augmentant la section du câble la chute de tension diminue.

Il est donc nécessaire pour limiter les chutes de tension en ligne de faire un dimensionnement correct des câbles d'alimentation.

Solution proposée

1. Diminuer la résistivité ρ : en agissant sur la résistance au mètre (nature de l'alliage utilisé, section du câble...). Cette solution ne peut être considérée que pour les nouvelles installations.
2. Les câbles exposés au soleil présentent plus de pertes par rapport à ceux exposés à l'ombre. D'où l'idée de remplacer les câbles aériens par des câbles torsadés en
3. Aluminium fixé au mur car ils ne seront pas exposés toute la journée au soleil. Ils auront donc une durée de vie largement supérieure à celle des câbles aériens et donc moins de pertes.

4. Equilibrer les charges sur le réseau pour ne pas avoir un courant circulant dans le conducteur neutre très important, ce qui augmente par la suite les pertes dans le réseau

B. Pertes dans les transformateurs HTA /BT

- Les pertes Joules

Les pertes Joules sont généralement dues à la résistance interne des enroulements, ils sont souvent appelés pertes cuivre.

- Les pertes fer

Dans les transformateurs sous tension, les pertes fer dépendent du type du transformateur, de la tension et de la fréquence d'alimentation des matériaux utilisés.

- Essai à vide

Le schéma équivalent d'un transformateur à vide est présenté dans la figure suivante,

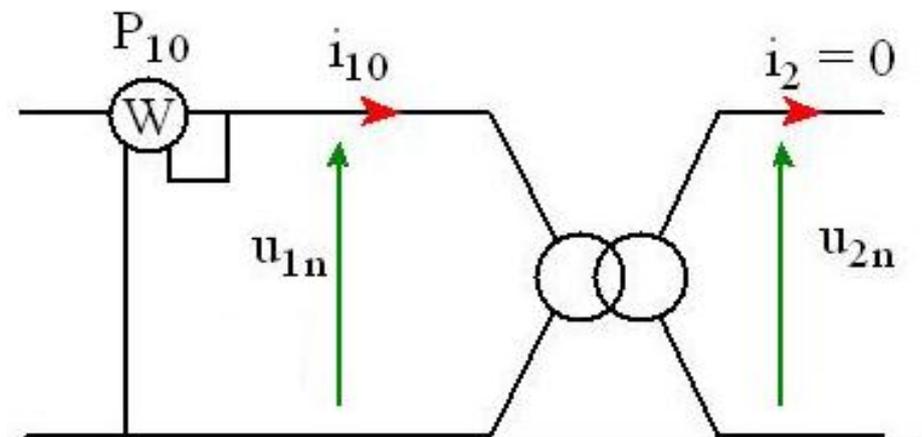


Figure 7 : SCHEMA EQUIVALENT D'UN TRANSFORMATEUR.

A vide le circuit secondaire est ouvert : $I_2 = 0$ alors $P_2 = 0$ et $PJ_2 = 0$.

Toute l'énergie absorbée au primaire est utilisée pour compenser les pertes fer et les pertes Joules au primaires.

A vide I_{10} est très faible. par conséquent $PJ_{10} \ll P_{10}$.

$$P_{10} = P_{fer}$$

Alors :

Solution proposée

Afin d'améliorer le rendement des postes HTA / BT, la RADEEF doit :

1. Remplacer certains transformateurs de mauvais rendement (à cause de vieillissement) par des transformateurs à haut rendement.
2. Assurer l'aération des poste car la température du transformateur augmente lors de son fonctionnement.

3. Optimiser le réseau : cette solution consiste à équilibrer les volumes de charge dans les transformateurs, ou à « court-circuiter » certains transformateurs inutiles à l'été tout en préservant la sécurité du réseau.

2.1.2. Pertes non techniques

Le terme de pertes non techniques (PNT) désigne le vol d'électricité sur le réseau.

Ces pertes non techniques sont essentiellement constituées par l'énergie consommée sans être enregistrée par les compteurs électriques. Elle peut être consommée dans un foyer abonné à l'électricité sans que le compteur ne la comptabilise. Les causes les plus probables de PNT sont :

- ✓ les compteurs défectueux et non remplacés,
- ✓ le non-paiement par les clients,
- ✓ les erreurs dans le calcul des pertes techniques,
- ✓ la consommation non mesurée,
- ✓ les raccordements clandestins (fraude),
- ✓ la mauvaise estimation de la charge raccordée,
- ✓ la consommation mesurée sans exactitude,
- ✓ les erreurs administratives,
- ✓ et le retard de facturation.

Solution proposée

La méthode la plus couramment utilisée pour résoudre le problème des PNT est la suivante :

Installer des compteurs à la sortie des transformateurs des postes HTA. Ainsi, nous aurons la possibilité de connaître les « achats du poste » pour comparer l'énergie enregistrée par le compteur du poste HTA/BT à la somme des énergies enregistrées sur les compteurs pour l'ensemble des clients BT.

2.2. COMPENSATION DE L'ENERGIE REACTIVE

L'énergie électrique [7] est essentiellement distribuée aux utilisateurs sous forme du courant alternatif par des réseaux en haute, moyenne et basse tension.

L'énergie consommée est composée d'une partie active, transformée en chaleur ou mouvement, et d'une partie réactive transformée par les actionneurs électriques pour créer leurs propres champs électromagnétiques.

Tout système électrique utilisant le courant alternatif (câble, moteur, transformateur...) dont l'intensité est déphasée par le rapport à la tension absorbe une puissance totale que l'on appelle énergie apparente. Cette énergie qui s'exprime généralement en (KVAh), correspond à la puissance apparente S en (KVA) et se répartit en deux éléments :

- ❖ **L'énergie active** consommée (KWh) résulte de la puissance active P (KW) des récepteurs. Elle se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes).

- ❖ **L'énergie réactive** consommée sert essentiellement à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques. Elle correspond à la puissance réactive Q (Kvar) des récepteurs. la puissance réactive est improductive pour l'utilisateur.
- ❖ **L'énergie apparente** (KVAh) est la somme vectorielle des deux énergies précédentes. Elle correspond à la puissance apparente S (KVA) des récepteurs,

P , Q et S se représentent vectoriellement par un triangle de puissance (Figure 8) :

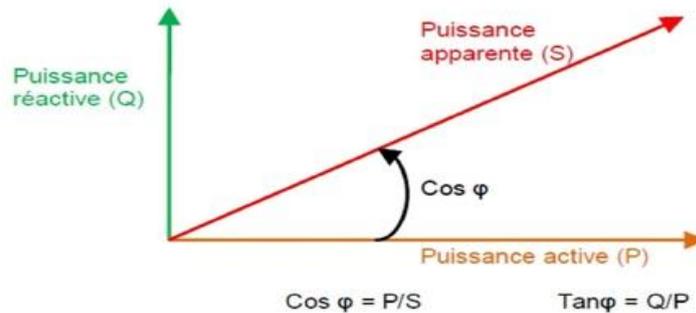


Figure 8 : COMPOSITION VECTORIELLE DES PUISSANCES.

Avec :

- $S = \sqrt{3}UI$ (KVA) représente la puissance apparente.
- $P = \sqrt{3}UI \cdot \cos \varphi$ (kW) est la puissance active.
- $Q = \sqrt{3}UI \cdot \sin \varphi$ (Kvar) est la puissance réactive.
- φ indique le déphasage entre la puissance apparente et la puissance active (égal au déphasage entre le courant et la tension).

2.2.1. Facteur de puissance

Par définition le facteur de puissance d'un appareil électrique est le quotient de la puissance active P (KW) consommée et la puissance apparente S (KVA) fournie. Il peut varier entre 0 et 1.

Il est égal au cosinus de l'angle de déphasage φ entre la puissance active et la puissance apparente,

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad \text{Eq. 8}$$

On utilise également la variable $\tan \varphi$. Dans les mêmes conditions, nous avons la relation suivante :

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}. \quad \text{Eq. 9}$$

Un facteur de puissance proche de 1 indique une faible consommation d'énergie réactive et optimise le fonctionnement d'une installation.

2.2.2. Avantage d'un bon facteur de puissance

Un bon facteur de puissance est : $\cos \varphi$ Élevé (proche de 1), où $\tan \varphi$ faible. Il permet d'optimiser une installation électrique et apporte les avantages suivants :

- ✓ Augmentation de la puissance disponible au secondaire du transformateur,
- ✓ Diminution du courant véhiculé dans l'installation en aval du disjoncteur BT, ceci entraîne la diminution des pertes par effet Joule dans les câbles.

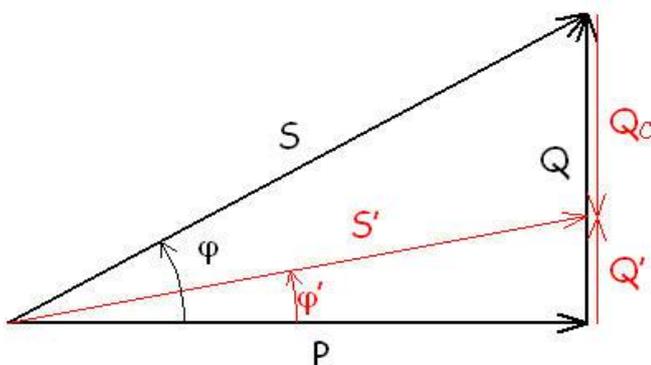
2.2.3. Principe de la compensation

Le transport de la puissance réactive [8] par les lignes électriques cause des pertes, une diminution de la stabilité du réseau et de facteur de puissance, une chute de tension à son extrémité, ce qui augmente la puissance apparente. Afin d'éviter cette situation, la compensation de l'énergie réactive est utilisée pour limiter ce transport.

Elle permet d'augmenter la puissance disponible, tout en réduisant le courant de l'installation et une diminution de la facture énergétique.

Il est noté que la compensation de l'énergie réactive d'une installation consiste à rajouter une source aussi d'énergies réactives de compensation permettant ainsi d'améliorer le facteur de puissance de l'installation.

La figure 9 illustre le principe de compensation par réduction de la puissance réactive importante Q d'une installation à une valeur plus faible Q' au moyen d'une batterie de condensateur de puissance réactive Q_c . La valeur de la puissance apparente de l'installation S a été ensuite réduite à la valeur S' , ceci implique une augmentation du $\cos \varphi$.



P = Puissance active

Q = Puissance réactive sans compensation d'énergie réactive

S = Puissance apparente avant compensation d'énergie réactive

φ = Déphasage sans compensation

Q' = Puissance réactive après compensation d'énergie réactive

S' = Puissance apparente après compensation d'énergie réactive

φ' = Déphasage avec compensation

Figure 9 : REPRESENTATION VECTORIELLE DU PRINCIPE DE COMPENSATION (source [9]).

La circulation de l'énergie réactive sur les réseaux de distribution entraîne :

- ✓ des surcharges au niveau des transformateurs (si Q augmente S augmente selon la formule $S^2=P^2+Q^2$),
- ✓ l'échauffement des câbles d'alimentation,
- ✓ des pertes supplémentaires,
- ✓ des chutes de tension importantes,
- ✓ des pertes joules dans les circuits,
- ✓ et dégradation de la qualité de l'installation électrique.

2.2.4. Pourquoi compenser l'énergie réactive ?

Compenser l'énergie réactive revient à fournir cette énergie à la place du réseau de distribution par l'installation d'une batterie de condensateurs. Cette dernière est une source d'énergie réactive de puissance Q_c permettant d'améliorer le facteur de puissance de l'installation.

Les avantages de cette compensation sont multiples soit du point de vue technique soit économique.

Avantages techniques

- Une augmentation de la puissance disponible au secondaire des transformateurs.
- Une diminution des pertes de Joules dans les câbles.

Pour une puissance active transportée constante, nous pouvons réécrire l'Eq. 4 de la manière suivante :

$$Perte = 3.R.I^2 = R.\left(\frac{P}{U.\cos\varphi}\right)^2 \quad \text{Eq. 10}$$

Nous déduisons que les pertes sont inversement proportionnelles à $\cos^2\varphi$.

L'augmentation de $\cos\varphi$ permet donc de minimiser les pertes et par conséquent de diminuer la facture de l'électricité.

- Une diminution de la section des câbles.

Pour une même puissance active P , à fournir, la diminution du facteur de puissance impose le choix des câbles de plus grande section.

D'après l'Eq. 5, L'augmentation de $\cos\varphi$ entraîne alors la diminution du courant et par conséquent la diminution des sections des câbles.

- Une diminution de chute de tension dans les câbles

L'amélioration du facteur de puissance diminue l'énergie réactive transportée et de ce fait diminue les chutes de tension en ligne.

Avantage économique

Réduction de la facture d'électricité : l'énergie réactive permet de diminuer la puissance souscrite donc diminuer la facture.

2.2.5. Modes de compensation

Les trois modes de compensation sont schématisés dans la figure suivante.

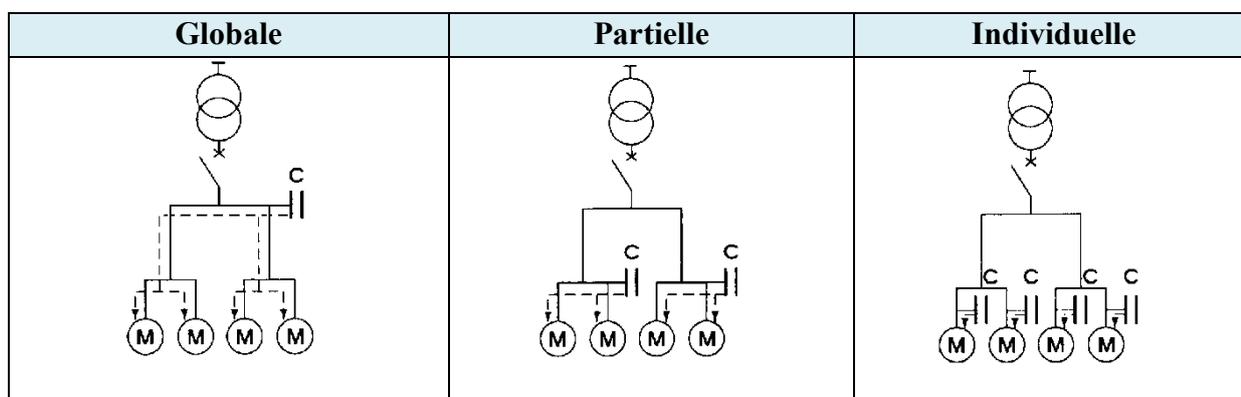


Figure 10 : MODES DE COMPENSATION (source [10]).

La compensation peut être alors :

- **Globale** : la batterie de condensateurs est raccordée en tête de l'installation et reste en service de façon permanente. Ce mode de compensation convient lorsque la charge est stable et continue.

- **Partielle** : la batterie de condensateurs est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier ou par groupe de récepteur. Ce mode de compensation convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.

- **Individuelle** : la batterie de condensateurs est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur du type inductif, notamment les moteurs. Elle convient lorsque la puissance de certains récepteurs est très importante par rapport à la puissance totale, elle offre le plus d'avantages.

2.2.6. Moyen de compensation de l'énergie réactive [11]

La solution du problème de l'énergie réactive consiste à installer au niveau des transformateurs (primaire ou secondaire) des batteries de condensateurs qui vont compenser cette énergie réactive.

Une "batterie de condensateurs" est constituée généralement de plusieurs condensateurs unitaires monophasés ou triphasés assemblés et interconnectés pour réaliser des ensembles de puissance importante.

A. Installation des batteries de compensation

Les batteries de condensateurs sont en dérivation sur le réseau. Elles peuvent être de type fixe ou automatique.

- **Batteries fixes**

Ces batteries de condensateurs (Figure 10) sont d'une puissance unitaire et leur mise en œuvre peut être :

- Manuelle : commande par disjoncteur ou interrupteur.
- Semi-automatique : commande par contacteur.

L'ensemble de la batterie est mis en service, avec une valeur fixée de Kvar. C'est un fonctionnement de type "tout ou rien". Ce type de compensation est utilisé lorsque leur puissance réactive est faible (15 % de la puissance du transformateur en amont) et la charge relativement stable.



Figure 11 : EXEMPLE DE BATTERIE DE CONDENSATEUR FIXE.

- **Batteries de condensateurs en gradins avec régulation automatique**

Les batteries de condensateurs (Figure 11) sont divisées en gradin (condensateur et contacteur). La valeur du $\cos \varphi$ est détectée par un relai qui commande automatiquement l'enclenchement et le déclenchement des gradins en fonction de la charge et le $\cos \varphi$ désiré.

Ce type d'équipement est utilisé dans le cas où la puissance réactive consommée est forte par rapport à la puissance du transformateur et varie dans des proportions importantes :

- Aux bornes des tableaux générés BT.
- Sur les départs de puissance importante.
- Sur les installations à charge variable.



Figure 12 : EXEMPLE DE BATTERIE DE CONDENSATEUR EN GRADIN.

Le choix entre les batteries fixes et les batteries de condensateurs en gradins avec régulation automatique se fait selon le critère suivant :

- ✓ Si la puissance des condensateurs (Kvar) est inférieure à 15% de la puissance du transformateur, on choisit une batterie fixe.
- ✓ Si la puissance des condensateurs (Kvar) est supérieure à 15% de la puissance du transformateur, on choisit une batterie avec régulation automatique

CHAPITRE 3 - ETUDE ET APPLICATION DU POSTE SIDI BRAHIM AU NIVEAU DU RESEAU MT/BT

3.1. CALCUL DE LA PUISSANCE DANS LES DEPARTS BT

Chaque départ basse tension fait appel à une charge, ce qui induit à l'existence d'une puissance active et autre réactive.

Afin de pouvoir calculer la puissance active et réactive, il faut connaître la tension composée, le courant qui circule dans chaque départ et le facteur de puissance.

- La puissance active : $P = \sqrt{3}U.I.\cos \varphi$
- La puissance réactive : $Q = \sqrt{3}U.I.\sin \varphi$
- La puissance apparente : $S = \sqrt{3} U.I$

Le tableau suivant résume la puissance active et réactive dans les départs du poste SIDI BRAHIM :

Départ	Puissance active P en (KW)	Puissance réactive Q en (Kvar)
Départ 1	32.18	19.94
Départ 2	30.42	18.85

Tableau 4 : PUISSANCE ACTIVE ET REACTIVE POSTE SIDI BRAHIM.

Les puissances active et réactive totales des deux départs sont respectivement

$$P = P1 + P2 = 62.6 \text{ KW et } Q = Q1 + Q2 = 38.79 \text{ Kvar.}$$

3.2. CALCUL DE LA PUISSANCE DANS LE TRANSFORMATEUR

Les valeurs des puissances apparente, active et réactive du transformateur triphasé sont avant et après compensations sont fournies dans les tableaux ci-dessous,

➤ Avant compensation

	Puissance apparente S en (KVA)	Puissance active P En (kW)	Puissance réactive Q en (kvar)
Transformateur Triphasé	93.83	75.85	49.48

Tableau 5 : PUISSANCE TRANSFORMATEUR AVANT COMPENSATION.

➤ Apres compensation

	Puissance apparente S en (KVA)	Puissance active P En (KW)	Puissance réactive Q en (Kvar)
Transformateur Triphasé	82.9	75.23	34.27

Tableau 6: PUISSANCE TRANSFORMATEUR APRES COMPENSATION.

3.3. CHOIX DE LA VALEUR DE LA BATTERIE DE COMPENSATION DU POSTE SIDI BRAHIM

L'objectif de cette partie est d'augmenter le facteur de puissance du réseau BT de la valeur 0.85 à 0.91. Pour cela, nous aurons besoin des batteries de condensateurs.

Notre but est alors de déterminer l'énergie réactive Q_C de la batterie de compensation.

La puissance réactive avant compensation est donnée par la relation suivante,

$$Q = \sqrt{3}U.I. \sin \varphi = P \tan \varphi$$

Tandis que la puissance réactive après compensation est la suivante,

$$Q' = \sqrt{3}U.I. \sin \varphi' = P \tan \varphi'$$

L'énergie réactive de la batterie devient alors,

$$Q_C = Q' - Q = P \tan \varphi' - P \tan \varphi,$$

avec :

$$P = 62.6 \text{ KW}$$

$$Q = 38.79 \text{ Kvar}$$

$$\text{AN: } Q = 38.79 \text{ Kvar}$$

$$Q' = 28.52 \text{ Kvar}$$

$$Q_C = Q' - Q$$

$$Q_C = 28.52 - 38.79$$

La valeur de l'énergie compensée est donc :

$$Q_C = -10.27 \text{ Kvar}$$

Le tableau 7 résume la puissance apparente délivrée avant et après compensation de l'énergie réactive.

	Sans batteries	Avec batteries
Facteur de puissance	0.85	0.91
Puissance délivrée	93.83	82.9

Tableau 7 : PUISSANCE APPARENTE DELIVREE AVEC ET SANS BATTERIES.

3.4. CALCUL DES PERTES JOULES DU POSTE SIDI BRAHIM

Les pertes Joules dans les deux départs sont :

$$P_j = 3.R.I^2 = \frac{3*\rho*L}{S}.I^2$$

$$\text{Départ 1: } \rho = 0.028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \quad L = 30 \text{ m} \quad S = 150 \text{ mm}^2 \quad I = 54,66 \text{ A}$$

$$P_j = 50,19 \text{ W}$$

$$\text{Départ 2: } \rho = 0.028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \quad L = 70 \text{ m} \quad S = 150 \text{ mm}^2 \quad I = 51,66 \text{ A}$$

$$P_j = 104,61 \text{ W}$$

3.5. CALCUL DE LA CHUTE DE TENSION DU POSTE

En utilisant l'Eq 7, nous trouvons la valeur de chute de tension fournie dans les tableaux 8 et 9.

Départ 1 :

Type du réseau	Triphasé
Type du câble	150 mm ² alu
Longueur en mètres	30 m
Intensité I_b	54,66 A
Tension	400 V
$\cos \varphi$	0.85
Résistivité	0.028 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Réactance	0.09*L= 2.7 *10 ⁻³ $\Omega \text{ m}$
Chute de tension (ΔU)	0.58V
Chute de tension en %	0.14%

Tableau 8 : CHUTE DE TENSION DU DEPART 1.

Départ 2 :

Type du réseau	Triphasé
Type du câble	150 mm ² alu
Longueur en mètres	70 m
Intensité	51.66 A
Tension	400 V
$\cos \varphi$	0.85
Résistivité	0.028 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Réactance	0,09*L = 6.3*10 ⁻³ $\Omega \text{ m}$
Chute de tension (ΔU)	1.28 V
Chute de tension en %	0.32%

Tableau 9 : CHUTE DE TENSION DU DEPART 2.

La chute de tension dans :

Le départ 1 : 0.14%

Le départ 2 : 0.32%

D'après le tableau 3, la chute de tension dans les deux départs est acceptable.

3.6. APPLICATION CALCUL DES PERFORMANCES DU RESEAU BT

Nous avons réalisé une application Excel permettant de calculer directement les chutes de tensions, les pertes et l'énergie réactive des condensateurs à installer dans le poste Tout en basant sur les formules présentées dans le chapitre précédent.

Nous avons également validé l'application en effectuant différents scénarios de test.

Ces calculateurs sont fournis dans le CD joint à notre document.

Il y a trois calculateurs : le premier et le second permettent respectivement de calculer la chute de tension et les pertes tout en considérant huit départs. Le dernier calculateur sert à calculer l'énergie réactive des condensateurs nécessaires à installer dans le poste.

Etude de cas du poste Sidi Brahim

Nous avons utilisé les calculateurs développés pour étudier le cas du poste de Sidi Brahim. Nous notons que ce poste ne possède que deux départs. Nous avons obtenus les résultats présentés dans les trois tableaux suivants.

- Chute de tensio

	Départ N°1	Départ N°2	Départ N°3	Départ N°4	Départ N°5	Départ N°6	Départ N°7	Départ N°8
Cal. Fusible (A)	250	250	0	0	0	0	0	0
Courant Id (A)	54,66	51,66	0	0	0	0	0	0
Section (mm ²)	0,00015	0,00015	0	0	0	0	0	0
Longueur (m)	30	70	0	0	0	0	0	0
Nature	alu	alu	0	0	0	0	0	0
ρ ($\Omega \cdot m$)	0,000000028	0,000000028	0	0	0	0	0	0
X (Ω/Km)	0,0027	0,0063	0	0	0	0	0	0
Cos Φ	0,85	0,85	0	0	0	0	0	0
U2	400	400						
U3	399,4153893	398,710776						
ΔU (V)	0,58461067	1,289223749						
ΔU (%)	0,146152667	0,322305937						

Nous constatons que le taux de chute de tensions est inférieur à 5%, ceci ne pose pas alors de problème pour le poste.

- Pertes

	Départ N°1	Départ N°2	Départ N°3	Départ N°4	Départ N°5	Départ N°6	Départ N°7	Départ N°8
Fusible (A)	250	250	0	0	0	0	0	0
Courant Id (A)	54,66	51,66	0	0	0	0	0	0
Section (mm ²)	0,00015	0,00015	0	0	0	0	0	0
Longueur (m)	30	70	0	0	0	0	0	0
Nature	alu	alu	0	0	0	0	0	0
ρ ($\Omega \cdot m$)	0,000000028	0,000000028	0	0	0	0	0	0
Resistance(Ω)	0,0056	0,013066667						
Pj	50,19362208	104,6152195						

- **Compensation de l'énergie réactive**

	Poste
Puissance Active total P (KW)	62537,424
Puissance réactive total Q (Kvar)	38757,21446
Cos (Φ) réseau	0,85
Cos (Φ') envisagé	0,91
Puissance Q' après compensation	28492,89214
Qc à installer	-10264,32232

CONCLUSION GENERALE

Notre stage a été effectué au sein du service Conduite et Gestion réseau de la Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de Fès (RADEEF). Ce stage nous a permis avant tout de découvrir les différents postes de la régie et d'avoir un aperçu globale de son fonctionnement et avoir une idée générale sur le département Exploitation Electricité et comprendre le réseau électrique de la ville de Fès

Notre stage portait sur l'amélioration des performances du réseau BT. .Notre première mission était de classier les différentes sources de pertes d'énergie au niveau du réseau BT et chercher les solutions optimale afin d'optimiser le réseau. Nous avons pu ainsi identifier les problèmes de pertes techniques : pertes en ligne, chute de tension, pertes dans le transformateur et de perte non technique.

Une seconde mission de notre stage consistait à régler le problème de l'énergie réactive en installant des batteries de condensateurs afin de compenser cette énergie et améliorer le facteur de puissance de l'installation et réduire la facture d'électricité et d'élaborer une application de calcul des performances du réseau BT.

ANNEXE : FORMULES GENERALES

Puissance active	$P = U.I.\cos\varphi$	Courant de service	$I_b = \frac{S}{U.\sqrt{3}}$
Puissance réactive	$Q = U.I.\sin\varphi$	Intensité fictive	$I'_z = \frac{I_z}{k}$
Puissance apparente	$S = U.I$	Courant court de circuit	$I_{cc} = \frac{I_n}{U_{cc}}$
Facteur de puissance	$\cos\varphi = \frac{P}{S}$	Pertes par effet Joule	$P_J = R.I^2$
Rendement du transformateur en %	$\rho = \frac{p_2}{p_1}$	Pertes fer	$P_{fer} = \frac{v_1^2}{R_F}$
Chute de tension	$\Delta U = \sqrt{3}.I_b.(R.\cos\varphi + X.\sin\varphi)$	Chute de tension absolue	$\Delta U = U_1 - U_2$
Résistance d'un câble électrique	$R = \rho.\frac{L}{S}$	Rapport de transformation à vide	$m = \frac{N_2}{N_1} \quad M = \frac{U_2}{U_1}$

WEBOGRAPHIE

[1] Site Web de la

RADEEF :<http://www.radeef.ma/Accueil/Pr%C3%A9sentationetactivit%C3%A9s/Pr%C3%A9sentation/Pr%C3%A9sentationg%C3%A9n%C3%A9rale.aspx>, consulté le 10 avril 2018

[2] Différentes pertes techniques dans le réseau :

https://mathiaslaffont.files.wordpress.com/2011/01/rdv-tel-27_04_091.pdf consulté le 2 mai 2018

[3] Pertes en lignes :[https://fr.wikipedia.org/wiki/Perte_en_ligne_\(%C3%A9lectricit%C3%A9\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Perte_en_ligne_(%C3%A9lectricit%C3%A9)),

consulté le 20 avril 2018

[4] Effet Joule :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Joule consulté le 2 mai 2018

[5] Résistivité des matériaux :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sistivit%C3%A9> consulté le 2 mai 2018

[6] Les chutes de tension maximales :

<https://www.schneider-electric.fr/documents/pageFlip/gb/pdf/page/GBAP050.pdf> consulté le 5 mai 2018

[7] Gérard Gay, la compensation de l'énergie réactive :

https://sitelec.org/download_page.php?filename=schneider/compensation.pdf consulté le 10 mai 2018

[8] Compensation de l'énergie réactive :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Compensation_de_puissance_r%C3%A9active consulté le 10 mai 2018

[9] Présentation vectorielle du principe de compensation :

https://www.google.com/search?q=triangle+de+puissance&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioiLTN87DbAhWKvBQKHQj2DvIQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=FsE7hL3GGZKIEM: consulté le 15 mai 2018

[10] Modes de compensation :

<http://www.geea.org/IMG/doc/compreac.doc> consulté le 20 mai 2018

[11] Moyen de compensation de l'énergie réactive :

<http://www.geea.org/IMG/doc/compreac.doc> consulté le 20 mai 2018