UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

LICENCE
Electronique Télécommunication et Informatique
(ETI)

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

Amélioration du rendement du réseau BT de la RADEEF

Réalisé Par :

Saïd EL HACHIMI

Encadré par :

Pr Najia ES-SBAI **(FST FES)**

Mr Younes Raghi **(RADEEF)**

Soutenu le 13 Juin 2013 devant le jury

Pr	**Hassane ELMARKHI**	**(FST FES)**
Pr	**Mohammed JORIO**	**(FST FES)**
Pr	**Najia ES-BAI**	**(FST FES)**
M[r]	**Younes Raghi**	**(RADEEF)**

Dédicaces

A mes très chers parents
Dont le mérite revient au bon dieu et à vous. Afin de pouvoir vivre ce jour .Rien au monde ne pourrait compenser tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon bien être afin que je puisse me consacrer à mes études.

A ma chère sœur et mes chers frères
Vous avez toujours été à mes côtés tout au long de mon éduction par votre incessant soutien et vos encouragements. Que rien au monde ne pourrait compenser votre générosité et aucune dédicace ne saurait exprimer ma gratitude et ma fierté de vous avoir comme frères et sœur.

A tous mes amis et collègues
Avec tout mon respect et ma reconnaissance. Je vous dédie ce travail et vous souhaite un avenir à la hauteur de vos ambitions.

A tous ceux que j'ai oublié de citer, pour ceux que j'ai toujours été et non pas pour ce que je suis devenu ou pour ce que je deviendrai .A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce rapport. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond respect, ma reconnaissance et mon estime pour l'encouragement et l'aide qu'ils m'ont accordé.
Votre frère et ami

Said EL HACHIMI

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le directeur général de la RADEEF, Monsieur Najib LAHLOU MIMI qui m'a accordé de passer mon stage au sein de son entreprise.

J'adresse ma gratitude à Madame Najia ES-BAI mon encadrante pour m'avoir conseillé et soutenu durant mon travail.

Mon maître de stage Mr Younes RAGHI pour m'avoir encadré durant mes deux mois de stage, je vous remercie pour vos conseils, votre pédagogie et aussi pour votre disponibilité.

Je tiens à remercier aussi :

Mr Abdelaziz SEBBANI, Mr Abdelhafed BELKADI et Mr Abdelkrim TAYOUB de la RADEEF qui ont fournit un grand effort pour m'aider à réussir ce travail.

Tous les membres du département exploitation électricité pour leur accueil et leur sympathie.

Tous les enseignants du département Génie électrique ainsi que tout le corps pédagogique et administratif de notre faculté.

Sommaire :

ABREVIATIONS ET DEFINITIONS **5**

LISTE DES FIGURES **6**

INTRODUCTION GENERALE **7**

I. ENTREPRISE ET SECTEUR D'ACTIVITES : **9**

1. PRESENTATION GENERALE : 9
2. FICHE D'IDENTIFICATION : 9
3. LES ORGANES DE LA REGIE : 9
4. L'ORGANIGRAMME GENERAL DE LA RADEEF : 10
5. DEPARTEMENT D'EXPLOITATION ELECTRICITE : 11

II. ALIMENTATION ELECTRIQUE ET DISTRIBUTION DE L'ENERGIE DANS LA VILLE DE FES **14**

1. LES POSTES SOURCES : 14
2. LES POSTES REPARTITEURS : 16
3. POSTES DE TRANSFORMATION HTA /BT 17

III. DETERMINANTS DES PERTES D'ENERGIE DANS LE RESEAU DE DISTRIBUTION. **21**

1. LES PERTES TECHNIQUES 21
   - *1.1 Pertes en ligne :* *21*
   - *1.2 Pertes liées à la transformation HTA/BT* *25*
2. LES PERTES NON-TECHNIQUES 33

CONCLUSION GENERALE **34**

REFERENCES : **35**

Abréviations et définitions

RADEEF : Régie autonome intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de Fès.

U_n : Tension nominale.

S_n : Puissance apparente nominale.

Q : Puissance réactive.

P : Puissance active.

Q_c : Puissance réactive fournie par des condensateurs.

FP : Facteur de puissance.

PA : Poste asservi.

BCC : Bureau central de conduite.

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition.

BT : Basse tension, $50<U_n\leq1000$.

HTA : Haute tension A, $1000<U_n\leq50000$.

HTB : Haute tension B, $U_n>50000$.

C_y : Capacité pour le couplage en étoile.

C_Δ : Capacité pour le couplage en triangle.

PT : Pertes techniques.

PNT : Pertes non techniques.

Liste des figures

FIG.1: ORGANIGRAMME GENERAL DE LA RADEEF 10

FIG.2 : ORGANIGRAMME DU DEPARTEMENT EXPLOITATION ELECTRICITE 11

FIG.3: SITUATION GEOGRAPHIQUE DES OUVRAGES D'INFRASTRUCTURE DU RESEAU ELECTRIQUE DE LA RADEEF 14

FIG.4 : SCHEMA UNIFILAIRE SIMPLIFIE D'UN POSTE SOURCE 15

FIG.5 : ORGANIGRAMME DES POSTES REPARTITEURS 16

FIG.6 : SCHEMA UNIFILAIRE SIMPLIFIE DU POSTE REPARTITEUR ELMASSIRA 16

FIG.7 : BLOC DE CELLULES 17

FIG.8 : TRANSFORMATEUR HTA/BT 18

FIG.9 : LA STRUCTURE DES POSTES HTA/BT 19

FIG.10 : SCHEMA REPRESENTANT LES PERTES TECHNIQUES 21

FIG.11 : RESISTIVITE DE DIVERS MATERIAUX 22

FIG.12 : VUE EN COUP D'UN CABLE DE DISTRIBUTION 22

FIG.13 : COEFFICIENT DE TEMPERATURE α_1 A 20°C 23

FIG.14 : INSTALLATION NON COMPENSEE 26

FIG.15 : INSTALLATION COMPENSEE 26

FIG.16 : LE COS Φ ET TAN Φ DES APPAREILS COURANT 27

FIG.17 : DIAGRAMME DES PUISSANCES 28

FIG.18 : EXEMPLE DE CONDENSATEURS FIXES 28

FIG.19 : EXEMPLE DE BATTERIE A REGULATION AUTOMATIQUE 29

FIG.20 : QUELQUES VALEURS DE K POUR RELEVER LE FACTEUR DE PUISSANCE DE COS Φ A COS Φ' 30

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre de la troisième année à la FST, les étudiants sont amenés à réaliser un projet de fin d'étude. Personnellement, j'ai eu l'opportunité d'effectuer ce projet à la RADEEF, Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de Fès.

Contexte du projet

Les pertes d'énergie dans les réseaux électriques, et dans les réseaux de distribution en particulier, représentent pour les gestionnaires de réseaux un enjeu important. Et c'est le cas pour la RADEEF qui 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 sur le réseau de distribution. Par ailleurs, sachant que la longueur des lignes et les conditions climatiques ont un impact sur les pertes d'énergie, ces dernières jouent aussi un rôle dans la manière dont les réseaux de distribution doivent être conçus et installés pour minimiser ces pertes.

Ce stage a pour mission l'amélioration du rendement du réseau basse tension (BT).

Pour mon rapport de stage, j'ai scindé mon travail en trois chapitres. Dans le premier chapitre, j'ai donné un aperçu sur le lieu de stage. Le deuxième chapitre décrit l'architecture du réseau de distribution de la RADEEF. Et le dernier chapitre traite les différents facteurs de pertes auxquels j'ai proposé des solutions.

Chapitre 1

Entreprise & Secteur d'activités

I. *Entreprise et secteur d'activités :*

1. ***Présentation générale :***

La Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la ville de Fès (R.A.D.E.E.F) est un établissement 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 réponds 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 (ONEE).

2. ***Fiche d'identification :***

- ✓ *Dénomination* : Régie Autonome intercommunale de Distribution D'Eau et d'Electricité de Fès(R.A.D.E.E.F).
- ✓ *Siège Social :* 10, rue Mohammed El KAGHAT B.P : 2007, Fès.
- ✓ *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 :* Distribution d'eau et d'électricité et service d'assainissement.
- ✓ *Principal fournisseur* : O.N.E.E
- ✓ *L'effectif* : 1109 agents.
- ✓ *Téléphone:* 05-35-62-50-15.
- ✓ *Fax:* 05-35-62-07-95.
- ✓ *E-mail :* dg@radeef.ma .

3. ***Les organes de la régie :***

La RADEEF est administrée par un conseil d'administration et un comité de direction et le directeur générale.

Un conseil d'administration : Ce conseil est présidé par le Wali de Fès et comprend huit membres représentants des conseils communaux de la wilaya ainsi que les membres représentant les ministères de l'intérieur, des finances, de l'équipement et de l'énergie.

Le conseil d'administration se réunit au moins deux fois par an sur convocation du Wali afin de superviser la gestion de la régie et décider des grands axes du travail.

Un comité de direction : Il est composé d'un président et de quatre conseillés désignés par le conseil d'administration. Ce comité se réunit au moins une fois par an et a pour mission de gérer la régie.

Une direction générale : Elle comprend le directeur général qui coordonne et gère les différents départements et divisions. Il veille à l'exécution des décisions du conseil d'administration.

4. *L'organigramme général de la RADEEF :*

Il est à noter qu'à la RADEEF il existe selon l'importance des tâches et des effectifs, des divisions et des services. Cependant ils sont tous pilotés par la direction générale.

Les divisions sont plus importantes que les services en termes de tâches et d'effectif.

L'organigramme général de la RADEEF se présente comme suit :

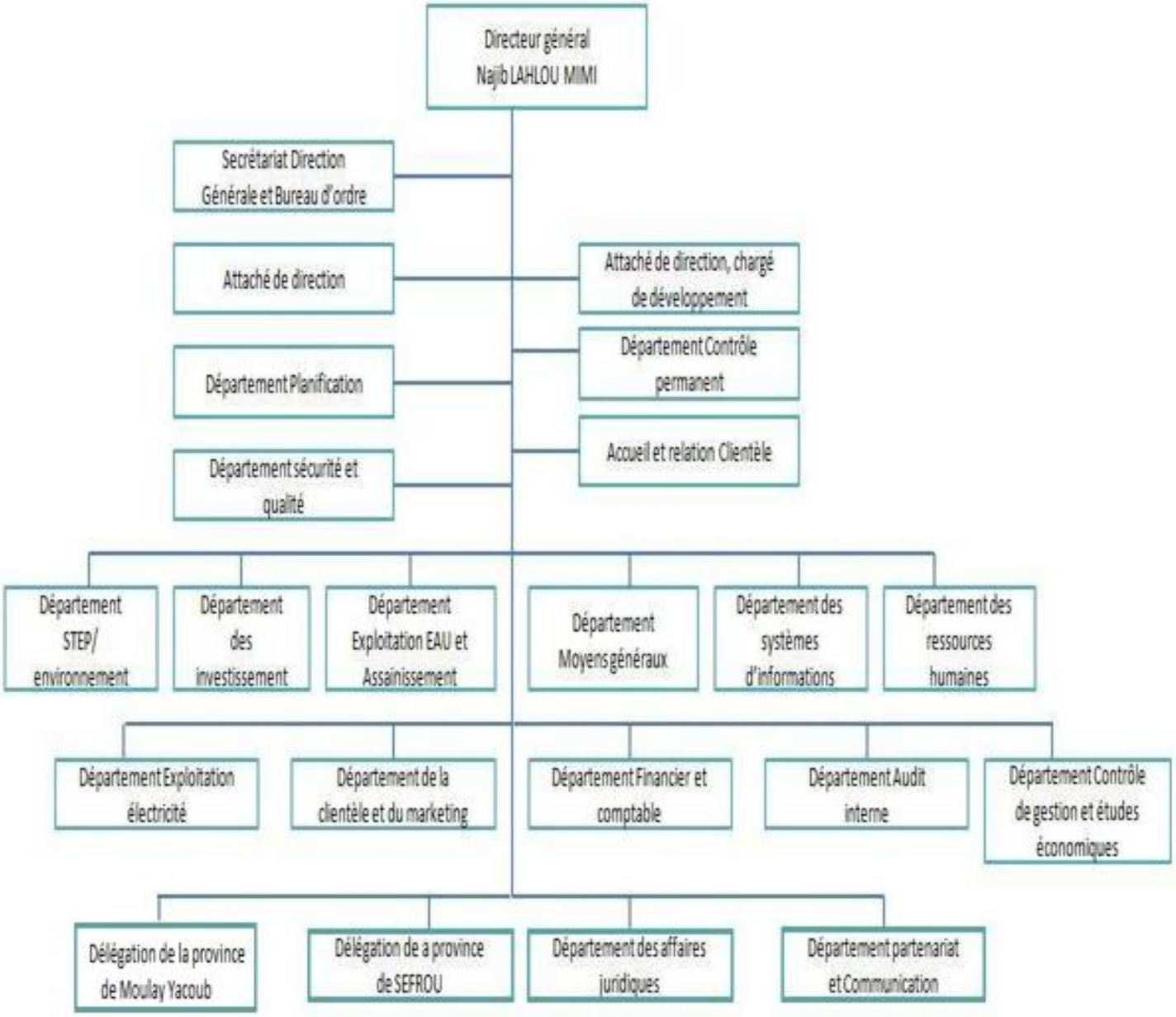


Fig.1: Organigramme général de la RADEEF

5. ***Département d'exploitation électricité :***

**Présentation du département :*

Il est chargé d'assurer en quantité et en qualité la distribution d'électricité selon le besoin de la ville de Fès.

Le département d'exploitation électricité 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 asservis(PA), ces derniers permettant au BCC de commander tous les postes réseaux qui sont éloignés.

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

Ce département possède quatre divisions

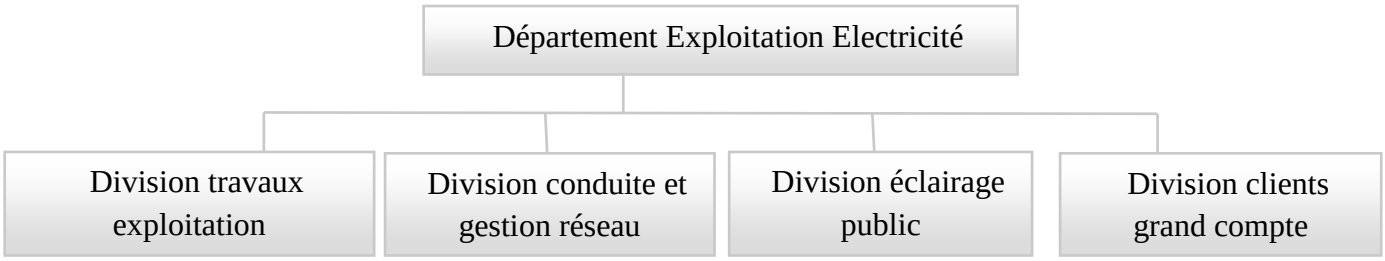


Fig.2 : Organigramme du Département Exploitation Electricité

**Division conduite et gestion réseau :*

Ce stage s'est déroulé dans la division conduite et gestion réseau, cette division se compose de 3 services :

- **Service conduite du réseau** : est chargé des interventions rapides basses et moyennes tension et ses activités principales sont :
  - ✓ Recherche des défauts.
  - ✓ Réparation des défauts HTA & BT.
  - ✓ Les dépannages simples.

Ce service se compose de 5 bureaux :

1. Bureau des réclamations: est chargé de la réception des réclamations téléphoniques des abonnés et de la coordination avec le bureau intervention rapide.
2. Bureau intervention BT **:** Il effectue les tâches suivantes :
   - ✓ Interventions sur le réseau HTA/BT.
   - ✓ Réparations des défauts HTA/BT.
   - ✓ Contrôle des charges et des tensions des départs BT.
   - ✓ Réparations des fils coupés.
3. Bureau opérateur HTA : s'occupe de la réception des nouveaux postes HTA/BT et de l'établissement des réseaux HTA en cas de déclenchement ainsi que du suivi des défauts signalés par la télégestion en coordination avec le BCC.
4. Bureau Central de Conduite BCC : Ses activités principales sont :
   1. La supervision des réseaux HTA.
   2. Suivi des puissances appelées.
   3. Commande à distance des postes HTA/BT.
5. Bureau administrateur système SCADA: Un SCADA, acronyme de l'anglais **S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition (télésurveillance et acquisition de données) ce bureau a pour but :
   - ✓ Administration du système SCADA.
   - ✓ La mise à jour des bases de données du système SCADA.
   - ✓ Développement des programmes informatique relatifs à la télégestion du réseau.
   - ✓ La configuration des équipements de téleconduite.
   - ✓ L'élaboration des consignes d'exploitations des postes télécommandés.

- ❖ **Service mesure & protection** : a pour mission de vérifier quotidiennement les postes sources et les réglages des protections et la recherche des défauts HTA & BT.
- ❖ **Service Télécoms :** 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.

Chapitre 2

ALIMENTATION ELECTRIQUE & DISTRIBUTION DE L'ENERGIE DANS LA VILLE DE FES

II. ALIMENTATION ELECTRIQUE ET DISTRIBUTION DE L'ENERGIE DANS LA VILLE DE FES

L'alimentation en énergie électrique haute tension de la ville de Fès est assurée par les postes 225KV/60KV Ain El Ouali et Douyet de l'ONEE. A partir de ces deux postes sont issues les lignes aériennes 60 KV desservant les trois postes sources de la RADEEF.

La régie dispose de 3 postes sources et 5 postes répartiteurs.

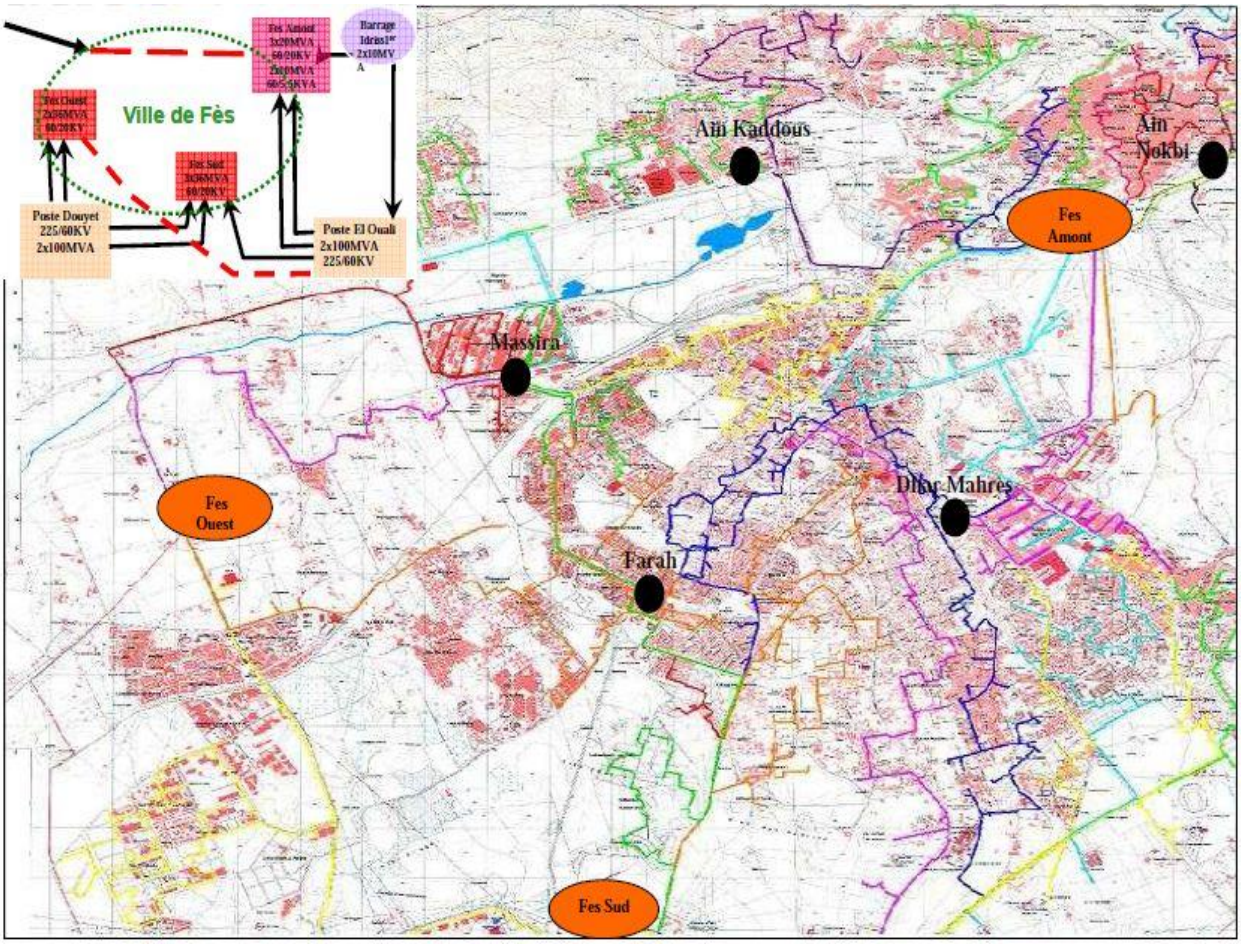


Fig.3: Situation géographique des ouvrages d'infrastructure du réseau électrique de la RADEEF

1. Les postes sources :

✓ ***Poste Fès Sud :*** (60KV/20KV)

Il se trouve au Sud de la ville et est alimenté par deux circuits aériens de tension 63KV arrivant au même jeu de barre en exploitation normale et un autre départ de secours de 60KV qui est primordial et devient fonctionnel en cas de panne pour assurer la continuité d'alimentation en électricité des clients.

Ce poste source est équipé de deux transformateurs ayant en tension primaire 63KV et délivrant en tension secondaire 20KV. Leur puissance apparente est de 36MVA.

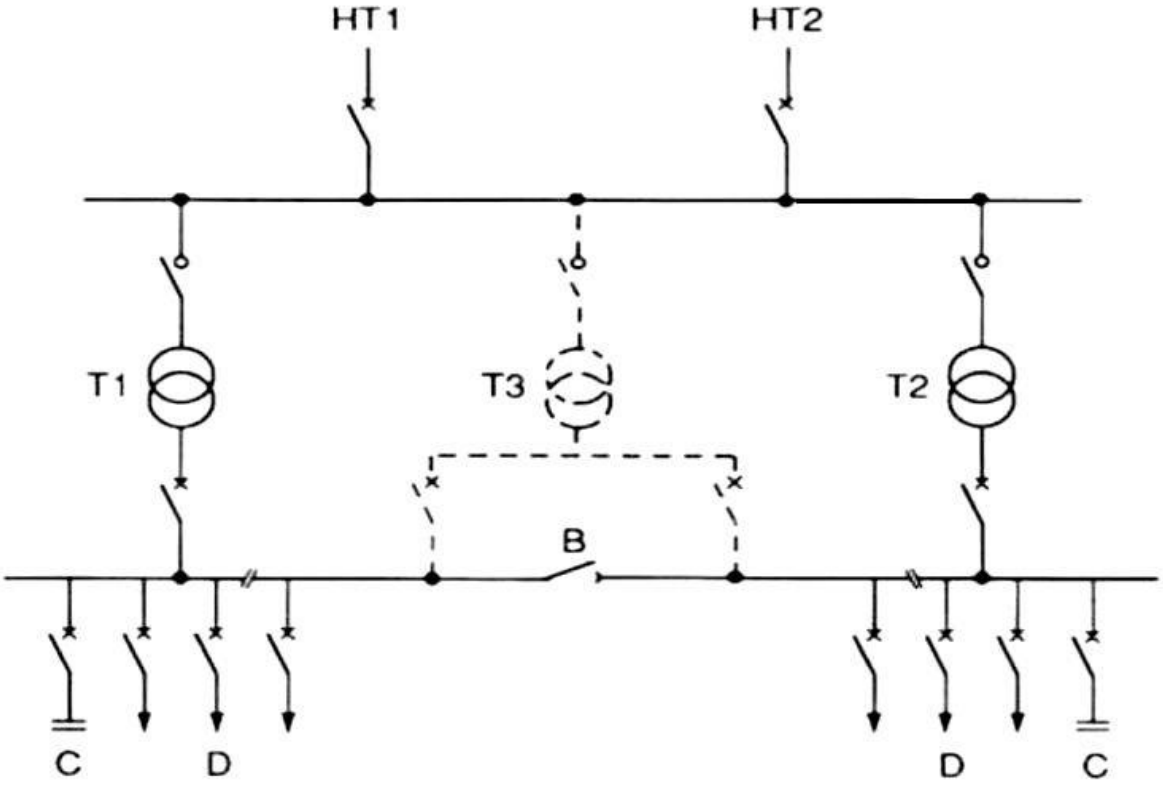
✓ ***Poste Fès Ouest :*** (60KV/20KV)

Il est alimenté par 2 à 3 arrivés de 60KV.

Il est équipé de 2 transformateurs 60/20KV d'une puissance de 36MVA et un transformateur pour l'alimentation des auxiliaires.

✓ ***Poste Fès Amont :*** (60KV/20KV/5.5KV)

Il est raccordé au réseau 60KV de l'ONEE par quatre lignes aériennes dont deux proviennent du poste Ain EL Ouali, une du barrage Idriss 1er et la 4ème étant celle qui relie Fès Amont à Sidi Kassem. Il est équipé de trois transformateurs 60/5.5KV de 10MVA chacun. Il appelle à la pointe 45KVA et alimente principalement à l'aide de 14feeders dont 4 en 5.5KV.



B	Jeu de barres HTA comportant deux demi-rames
C	Cellules de condensateurs
D	Départs HTA
HT1,HT2	Arrivées HTB
T1,T2	Transformateurs HTB/HTA
T3	Troisième transformateur raccordé en double attache

Fig.4 : Schéma unifilaire simplifié d'un poste source

2. ***Les postes répartiteurs :***

La régie dispose de cinq postes répartiteurs. Ces postes assurent la répartition de l'énergie électrique au sein du réseau urbain de la ville de Fès de telle sorte qu'il n'y est ni problèmes de surcharge sur le réseau HTA ni interruption de courant sans secours immédiat.

Ces postes répartiteurs sont équipés de :

- ✓ Salle de batteries
- ✓ Un transformateur auxiliaire pour l'éclairage du poste
- ✓ Deux tableaux des cellules HTA
- ✓ Deux salles de transformateurs (hors service suite à l'élimination de la partie 5,5 KV sauf dans le poste Ain Nokbi).
- ✓ Un redresseur dont le rôle est d'alimenter les batteries ainsi que les appareils de protection.

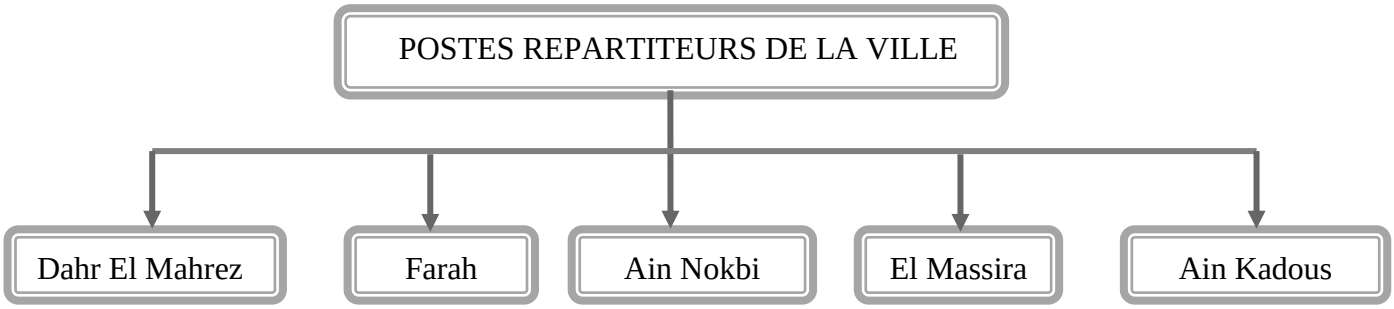


Fig.5 : Organigramme des postes répartiteurs

Le schéma unifilaire d'un poste répartiteur se présente comme suit :

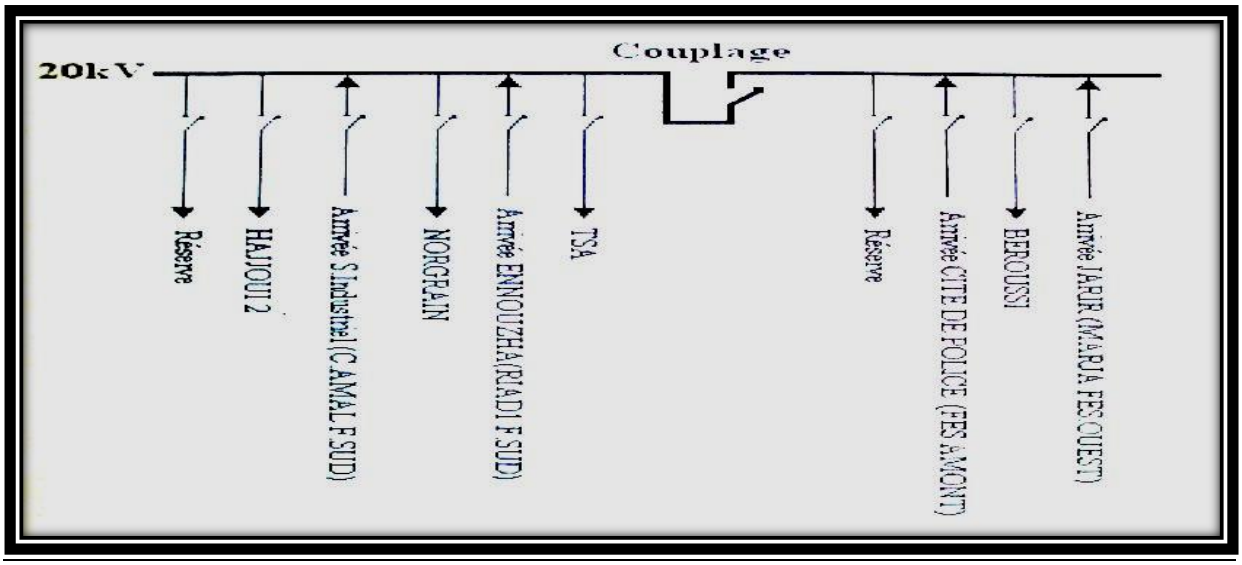


Fig.6 : Schéma unifilaire simplifié du poste répartiteur ELMASSIRA

3. *Postes de transformation HTA /BT*

Au cours de mon stage j'ai eu l'occasion de visiter plusieurs postes réseau et clients. En effet, il est intéressant de différencier entre ces deux types de postes. D'une part les postes réseau sont des postes HTA/BT qui permettent la distribution de la basse tension (220/380V) à plusieurs clients voire un lotissement. D'autre part, on parle de postes clients qui sont des postes HTA/BT privés et qui ne servent qu'à l'alimentation d'un seul client par exemple une usine ou un supermarché.

Les postes de transformation comportent généralement :

- **Un bloc de cellules** : qui alimentent le transformateur par une tension de 20KV.

On trouve généralement dans les postes clients trois cellules :

- ✓ **Cellule Arrivée :** Le rôle cette cellule est d'assurer une liaison entre un transformateur local et le jeu de barres HTA.

- ✓ **Cellule Départ :** Le rôle de cette cellule est d'alimenter, à partir d'un jeu de barres HTA le réseau HTA qui peut être souterrain, aérien ou mixte.

- ✓ **Cellule de protection Transformateur :** Comme son nom l'indique, elle sert à protéger le transformateur local du poste. Elle comporte aussi trois fusibles de protection qui sont reliés au transformateur à l'aide d'un câble unipolaire PRC en cuivre.

Fig.7 : Bloc de cellules

On peut trouver aussi des cellules motorisées qui peuvent être contrôlées à distance par le Bureau Central de Conduite (BCC). Les agents de ce bureau sont capables d'ouvrir ou de fermer les interrupteurs de ces cellules à distance. De plus, grâce à une antenne, le bureau récupère toutes les informations possibles concernant le poste.

Toutes les cellules comportent une résistance chauffante de 50Watt, qui en hiver permet le réchauffement de ces dernières.

- **Un transformateur** : appelé transformateur local HTA/BT du poste. Il permet de transformer la moyenne tension 20KV en une basse tension 220/380 (tension simple = 220V, tension composée = 380V).

  La puissance du transformateur est choisie dans la gamme suivante : 160,250, 315, 400 et 630 KVA.

  Le transformateur comporte un thermomètre à cadran qui permet de mesurer la température du transformateur ainsi qu'un indicateur du niveau d'huile permettant la détection des fuites d'huile. Il est à signaler que le côté HTA possède un couplage triangle tandis que dans le côté BT, on trouve un couplage étoile (trois phases et neutre). De plus, il est intéressant de relever la présence de petites roches appelées galets en dessous du transformateur ainsi qu'un fossé souterrain d'huile d'environ $1m^2$ de surface et qui ont pour rôle l'absorption de l'huile en cas de fuite.

Fig.8 : Transformateur HTA/BT

- **Une aération basse et haute :** En effet, il est fort possible que la température du transformateur augmente lors de son fonctionnement. C'est pour cette raison qu'il est primordial d'avoir un système de refroidissement. Plusieurs technologies sont utilisées pour le refroidissement d'un transformateur local telles que les ailettes ou les aérogénérateurs. En ce qui concerne la ventilation, l'air pénètre dans le poste grâce à l'aération basse et est ensuite absorbée par l'aération haute ce qui crée un courant d'air permettant de refroidir le transformateur.
- **Un relai BARDIN :** permet la détection des défauts au niveau des câbles électriques souterrains. En effet, si entre deux postes voisins, le relai du premier poste clignote, cela signifie que ce poste a détecté le défaut. Par conséquent, il est primordial de vérifier le relai du deuxième poste. Si celui-ci ne clignote pas, cela veut dire que le deuxième poste n'a pas détecté le défaut. Ce dernier est donc localisé entre les deux postes. Ainsi, le relai facilite les manœuvres en cas de défaut dans une liaison souterraine.

- **Tableau général Basse Tension :** Les trois phases ainsi que le neutre qui sortent du secondaire du transformateur local alimentent un tableau Basse tension qui permet ainsi la distribution de cette tension aux différents clients. Il est à signaler que ce tableau est muni de monoblocs. Chaque monobloc comporte trois fusibles de protection (un fusible protège une phase).

La structure simplifiée d'un poste réseau est donnée par :

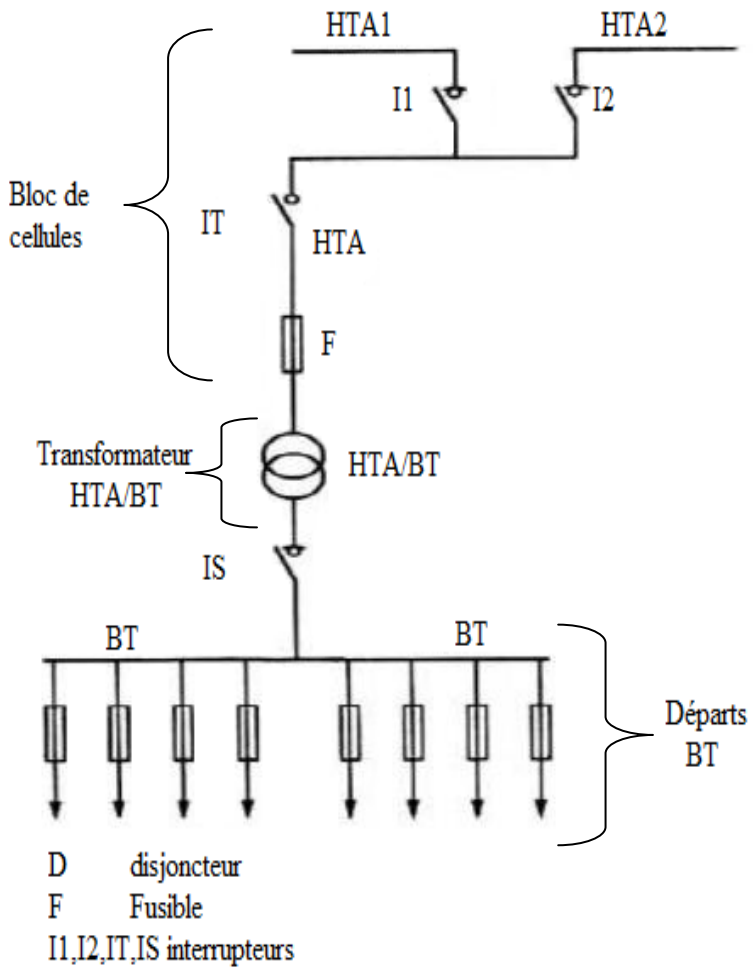


Fig.9 : La structure des postes HTA/BT

Déterminants des Pertes d'énergie dans le réseau de distribution

III. *Déterminants des Pertes d'énergie dans le réseau de distribution BT.*

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

1. *Les pertes techniques*

La figure suivante représente les différentes pertes techniques :

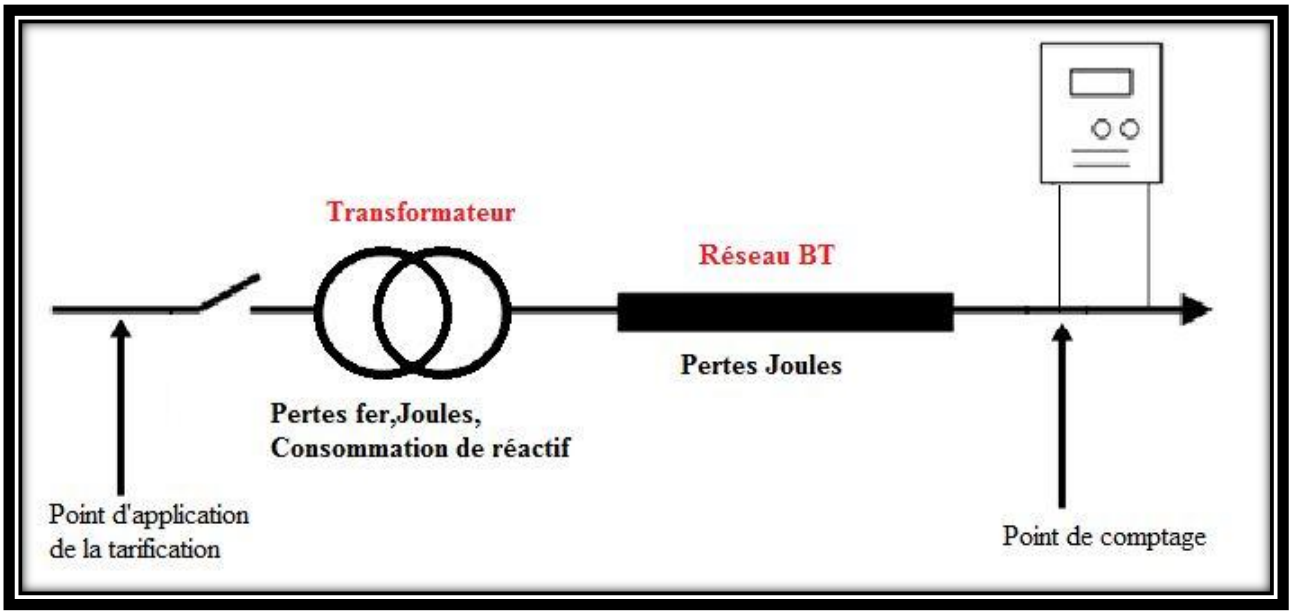


Fig.10 : Schéma représentant les pertes techniques

Les pertes techniques ont des origines diverses. Elles peuvent provenir de :

1.1 *Pertes en ligne :*

L'un des très grands intérêts de l'énergie électrique est de se distribuer seule et sans bruit. Toutefois, une partie de l'énergie distribuée se dissipe en chaleur, par « effet Joule », dans la résistance des câbles de la ligne.

- ***L'effet Joule***

L'effet Joule est un effet thermique 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 donc de sa température.

Dans le cas de conducteurs de distribution de l'énergie électrique, cet effet provoque des pertes non désirées, mais inévitables.

L'expression des pertes par effet Joule est donnée par :

$$P_J = R.I^2$$

Avec : P_J : pertes par effet Joule en W
R : résistance en Ω
I : intensité du courant en A

- ***Résistance d'un câble électrique***

La résistance d'un conducteur électrique se détermine à partir de la relation suivante :

$$R = \frac{\rho \times l}{S}$$

Avec : R : résistance en Ω
ρ : résistivité du câble en Ω.mm2/m
l : longueur du câble en m
S : section du câble en mm2

Matériaux	ρ (en ohms mètres) à 20°C
Argent	16,4 x 10^{-9}
Cuivre	17,2 x 10^{-9}
Or	24,4 x 10^{-9}
Aluminium	28,2 x 10^{-9}
Tungstène	54,7 x 10^{-9}
Nickel	78 x 10^{-9}
Fer	123 x 10^{-9}
Constantan	490 x 10^{-9}
Nichrome	996 x 10^{-9}
Calorite	1.195 x 10^{-9}
Carbone	24.860 x 10^{-9}

Fig.11 : Résistivité de divers matériaux

Les câbles de distribution étant composés de plusieurs conducteurs, la relation précédente nous obligerait à calculer la résistance de chaque conducteur afin de pouvoir déterminer la résistance de l'ensemble du câble.

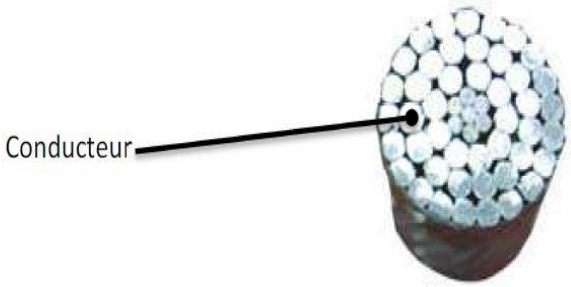


Fig.12 : Vue en coup d'un câble de distribution

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

$$R = R_1 + \alpha_1(T - T_1)$$

Avec :

R : résistance en Ω

R_1 : résistance en Ω mesurée à 20°C

α_1: coefficient de température du matériau

T : température du matériau en °C

Matériaux	Coefficient de température α_1
Argent	0,0038
Cuivre	0,00393
Or	0,0034
Aluminium	0,00391
Tungstène	0,005
Nickel	0,006
Fer	0,0055
Constantan	0,000 008
Nichrome	0,000 44
Carbone	-0,0005

Fig.13 : Coefficient de température α_1 à 20°C

On retiendra aussi que plus grande est la valeur de α, plus grande est la variation de la résistance avec la température.

Ainsi, 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*

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

$$P_J = 3 \times R \times I^2$$

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

$P = \sqrt{3}\, UI \cos\varphi$ et donc $I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi}$

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

$$P_J = \underbrace{\left(\frac{R}{U^2 \times \cos\varphi^2}\right)}_{a} P^2$$

Soit une formule de type **Pertes=a×P²** Avec P la puissance injectée

Solutions proposées :

Action 1 : Pour une puissance donnée, les pertes en ligne sont inversement proportionnelles au carré de la tension, ce qui explique l'intérêt d'éliminer carrément la distribution en B1 (110/220V) par B2 (220/380V) pour la basse tension et la distribution en 5.5KV par 20KV pour la moyenne tension.

Action 2 : Diminuer 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 et s'avère trop onéreuse pour des lignes installées.

Action 3 : 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 Aluminium fixés au mur car ils ne seront pas exposés toute la journée au soleil et donc ils auront une durée de vie largement supérieure à celle des câbles aériens et donc moins de pertes.

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

1.2 Pertes liées à la transformation HTA/BT

- **Les *pertes* fer :**

Les pertes liées à la transformation HTA/ BT apparaissent dans les transformateurs HTA/BT et proviennent de pertes par effet Joule et de "pertes fer". Les "pertes fer" dépendent de la tension et de la fréquence d'alimentation, des matériaux utilisés et sont décomposées en pertes par courants de Foucault et pertes par hystérésis.

Un peu de théorie !!

A vide :

$$P = P_0 = P_{fer}$$

En court-circuit :

$$P_{Joules} \gg P_{fer} \;\; => P_{Joules} = P_{cc} = 3.R.I_{2N}^2 \;\; => \;\; P_{Joules}\,(t) = 3.R.I_2^2(t)$$
$$= \frac{P_{cc}}{I_{2N}^2} I_2^2(t)$$

Or $\quad \dfrac{I_2(t)}{I_{2N}} = \dfrac{P(t)}{P_N} \quad => \quad P_{Joules}\,(t) = \left(\dfrac{P_{cc}}{P_N^2}\right).P^2(t)$

$$Pertes(t) = P_{Joules}\,(t) + P_{fer} = \left(\frac{P_{cc}}{P_N^2}\right).(P(t) - P_{fer})^2 + P_{fer}$$

Soit : $\quad Pertes(t) = \underbrace{\left(\frac{P_{cc}}{P_N^2}\right)}_{A}.P^2(t) - \underbrace{\frac{2.P_{fer}.P_{cc}}{P_N^2}}_{B}.P(t) + \underbrace{P_{fer}.(1 + \frac{P_{fer}\,P_{cc}}{P_N^2})}_{C}$

Hypothèse : On néglige les pertes fer devant la puissance soutirée, alors :

$$Pertes(t) = \left(\frac{P_{cc}}{P_N^2}\right).P^2(t) + P_{fer}$$

Soit une formule de type **Pertes=A×P²+C.** où P est la puissance injectée

Avec :

P_{cc}=Puissance de court-circuit.

P_N=Puissance nominale.

P_{fer}=Pertes « fer »

N.B : Toutes ces données sont fournies par le constructeur.

➢ *Consommation de réactif :*

Les réseaux électriques à courant alternatif fournissent l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente (ou puissance appelée), cette énergie se décompose en deux formes d'énergie :

*L'énergie active, transformée en énergie mécanique (travail) et en chaleur (dont pertes) (exprimée en kWh).

*L'énergie réactive, utilisée pour créer des champs magnétiques (ne fournit pas de travail utile) (exprimée en kVArh).

Les consommateurs d'énergie réactive sont les transformateurs, les moteurs asynchrones, les inductances (ballasts de tubes fluorescents) et les convertisseurs statiques (redresseurs).

Pour la puissance active, il est plus économique de la produire d'une manière centralisée et de la distribuer ensuite aux clients.

En revanche, pour la puissance réactive, il est économiquement plus intéressant de la produire, localement par des générateurs d'énergie réactive autonomes comme les condensateurs par exemple, pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau et augmenter ainsi le rendement de l'installation !! Cette pratique est appelée COMPENSATION.

❖ Cheminement des puissances ACTIVE et REACTIVE

Fig.14 : Installation non compensée

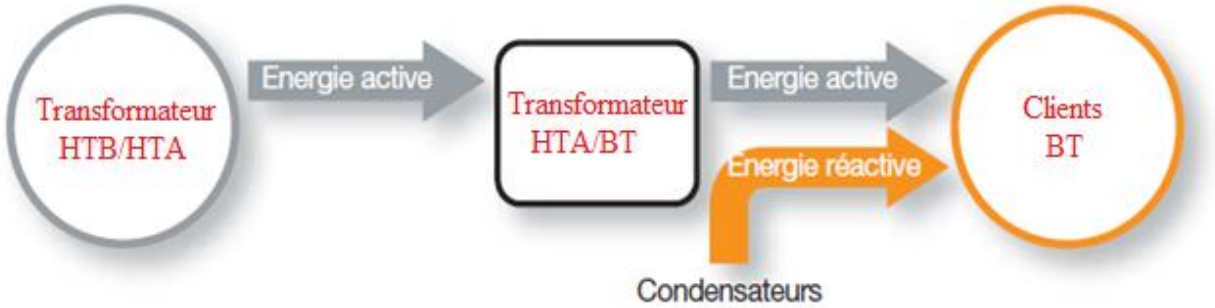


Fig.15 : Installation compensée

Cette circulation de l'énergie réactive sur le réseau de distribution entraîne, du fait d'un courant appelé plus important, les problèmes suivants :

- la surcharge des transformateurs (Si Q augmente S augmente selon la formule $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$).
- des chutes de tension supplémentaires.
- des échauffements dans les liaisons et dans le transformateur et donc des pertes.

La compensation de l'énergie réactive consiste à améliorer le facteur de puissance de l'installation.

❖ ***Le facteur de puissance :***

C'est le quotient de la puissance active consommée et de la puissance apparente fournie (FP$= \frac{P}{S} = \frac{\sqrt{3}UI\cos\varphi}{\sqrt{3}UI} = \cos\varphi$).

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

Le tableau de la Figure 16 indique les valeurs moyennes du facteur de puissance pour les équipements et les appareils les plus couramment utilisés.

Equipements et appareils		cos φ	tan φ
■ Moteur asynchrone ordinaire	chargé à 0 %	0,17	5,80
	25%	0,55	1,52
	50 %	0,73	0,94
	75 %	0,80	0,75
	100 %	0,85	0,62
■ Lampes à incandescence		1,0	0
■ Lampes fluorescentes (non compensées)		0,5	1,73
■ Lampes fluorescentes (compensées)		0,93	0,39
■ Lampes à décharge		0,4 à 0,6	2,29 à 1,33
■ Fours à résistance		1,0	0
■ Fours à induction avec compensation intégrée		0,85	0,62
■ Fours à chauffage diélectrique		0,85	0,62
■ Machines à souder à résistance		0,8 à 0,9	0,75 à 0,48
■ Postes statiques monophasés de soudage à l'arc		0,5	1,73
■ Groupes rotatifs de soudage à l'arc		0,7 à 0,9	1,02 à 0,48
■ Transformateurs-redresseurs de soudage à l'arc		0,7 à 0,8	1,02 à 0,75
■ Fours à arc		0,8	0,75

Fig.16 : Le cos φ et tan φ des appareils courant

❖ **Relèvement du facteur de puissance :**

La Figure 17 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 condensateurs de puissance réactive Qc. Par suite, la valeur de la puissance apparente de l'installation S a été réduite à la valeur S' ce qui implique une augmentation du cos φ.

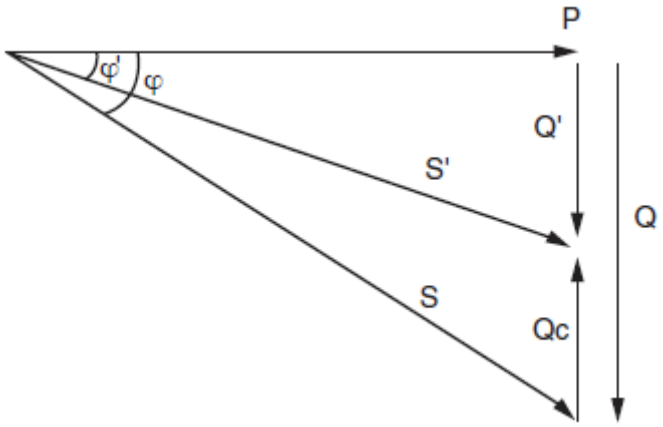


Fig.17 : Diagramme des puissances

❖ **Installation des batteries de compensation :**

En basse tension, la compensation est réalisée par :

✓ des condensateurs fixes :

Ces condensateurs sont d'une puissance unitaire constante et leur mise en œuvre peut être :

* manuelle : commande par disjoncteur ou interrupteur,
* semi-automatique : commande par contacteur,
* directe : asservie aux bornes d'un récepteur.

Fig.18 : Exemple de condensateurs Fixes

- ✓ des équipements de régulation automatique, ou des batteries de condensateurs qui permettent un ajustement continu aux besoins de l'installation.

Ce type d'équipement permet l'adaptation automatique de la puissance réactive fournie par les batteries de condensateurs en fonction d'un cos φ désiré et imposé en permanence.

Il s'utilise dans les cas où la puissance réactive consommée ou la puissance active varie dans des proportions importantes, c'est-à-dire essentiellement :

* aux bornes des tableaux généraux BT,

* pour les gros départs.

Fig.19 : Exemple de batterie à régulation automatique

- ❖ **Choix entre condensateurs fixes et batterie de condensateurs à régulation automatique**

Si le dimensionnement en kVAr des condensateurs est y 15 % du dimensionnement du transformateur, une compensation à une valeur fixe est appropriée. Au-delà de 15 % il est conseillé d'installer une batterie de condensateurs à régulation automatique.

Comme la consommation de l'énergie réactive n'est pas trop importante je propose d'installer des batteries fixes car c'est moins cher que les batteries à régulation automatique.

- ❖ **Comment déterminer le niveau optimal de compensation ?**

Puissance réactive sans compensation (charge seule) :

$$Q = \sqrt{3}UI \sin\varphi = P \times \tan\varphi$$

Puissance réactive après compensation (charge+condensateurs) :

$$Q' = P \times \tan\varphi'$$

Donc $Q_c = P(\tan\varphi - \tan\varphi') = S \times \cos\varphi \times (\tan\varphi - \tan\varphi') = S \times K$

Pour déterminer la valeur de K on peut utiliser le tableau suivant :

	Après compensation									
Avant compensation	cos φ'	0,80	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96
cos φ										
0,4	K	0,617	0,669	0,723	0,734	0,746	0,758	0,771	0,785	0,800
0,5		0,491	0,556	0,624	0,638	0,653	0,668	0,685	0,702	0,720
0,55		0,423	0,494	0,569	0,585	0,601	0,618	0,636	0,654	0,675
0,6		0,350	0,428	0,509	0,527	0,544	0,563	0,582	0,603	0,625
0,64		0,288	0,372	0,458	0,477	0,496	0,515	0,536	0,558	0,582
0,66		0,256	0,342	0,432	0,451	0,470	0,490	0,512	0,534	0,559
0,68		0,223	0,312	0,404	0,423	0,444	0,464	0,486	0,510	0,535
0,7		0,189	0,280	0,375	0,395	0,416	0,437	0,460	0,484	0,510
0,72		0,154	0,248	0,345	0,366	0,387	0,409	0,433	0,457	0,484
0,74		0,118	0,214	0,314	0,335	0,357	0,380	0,404	0,429	0,457
0,76		0,080	0,179	0,282	0,304	0,326	0,350	0,374	0,400	0,428
0,78		0,041	0,142	0,248	0,270	0,294	0,318	0,343	0,369	0,398
0,79		0,021	0,124	0,230	0,253	0,277	0,301	0,326	0,353	0,383
0,8		0,000	0,104	0,213	0,236	0,259	0,284	0,310	0,337	0,367
0,82			0,064	0,175	0,199	0,223	0,248	0,275	0,303	0,333
0,84			0,022	0,136	0,160	0,185	0,211	0,238	0,266	0,298
0,85			0,000	0,115	0,140	0,165	0,191	0,218	0,247	0,279
0,86				0,094	0,118	0,144	0,170	0,198	0,228	0,259
0,87				0,072	0,097	0,122	0,149	0,177	0,207	0,239
0,88				0,049	0,074	0,100	0,127	0,156	0,186	0,218
0,89				0,025	0,050	0,077	0,104	0,133	0,163	0,196
0,9				0,000	0,026	0,052	0,080	0,109	0,140	0,173

Fig.20 : Quelques valeurs de K pour relever le facteur de puissance de cos φ à cos φ'

- **Choix du couplage :**

Couplage des condensateurs en triangle	Couplage des condensateurs en étoile
Tension aux bornes d'un condensateur : U **Puissance réactive absorbée par les trois condensateurs :** $Qc = -3C_{\Delta}\omega U^2$	**Tension aux bornes d'un condensateur : V** **Puissance réactive absorbée par les trois condensateurs :** $Qc = -3C_y\omega V^2$

Avec : $U = \sqrt{3}V$

Donc pour une même puissance réactive : $C_y = 3C_{\Delta}$

Le couplage en étoile est donc moins intéressant puisque la capacité des condensateurs nécessaires est trois fois plus grande que pour le couplage en triangle. Plus la capacité est grande, plus le condensateur est volumineux et onéreux.

Exemple : Poste JNAN KADRI 1

La puissance nominale du transformateur est : S_n =400KVA et cos φ = 0.84

Sans batteries de compensations **:**

La puissance délivrée par le transformateur est S=420KVA, soit : 105% de sa charge nominale !!!

Avec batteries de compensations ***:***

Si on veut améliorer le facteur de puissance de 0.84 à 0.9.

A partir du tableau de la figure 20, l'intersection de la ligne cos φ = 0,84 (avant compensation) avec la colonne cos φ = 0,9 (après compensation) indique une valeur de K=0.136

Soit Q_c=S*K=420*0.139=58KVAr.

Donc la puissance délivrée par le transformateur est : S'=389KVA.

	Sans batteries	Avec batteries
Facteur de puissance	Cos φ = 0.82	Cos φ = 0.9
Puissance délivrée	S=420KVA	S=389KVA
S(%)	105%	97%

La puissance économisée est de 31KVA. Soit une puissance active économisée de

P'=31×0.82=25.5kw.

Si le transformateur fonctionne à cette charge 8 heures/Jour , l'énergie économisée est :

E=25.5×8h=204Kwh/jour.

Soit : E=204×365=74460Kwh/an

On sait que :

1Kwh=0.94dh la régie gagnera environ 70 000 Dhs/an.

Si on fait la même chose pour 500 postes la régie gagnera **35MDHS/an**.

Solutions proposées

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

Action 1 : *Remplacer* certains transformateurs de mauvais rendement (à cause du vieillissement) par des transformateurs à haut rendement.

Action 2 : *Assurer* l'aération des postes car la température du transformateur augmente lors de son fonctionnement.

Action 3 : *optimiser* le réseau: c'est la seule solution pour les ouvrages existants; elle consiste à équilibrer les volumes de charge dans les transformateurs ou à "court-circuiter" certains transformateurs inutiles l'été tout en préservant la sécurité du réseau.

Action 4 : *Installer* des batteries de compensation pour diminuer les pertes réactives.

2. ***Les pertes non-techniques***

L'énergie consommée non enregistrée constitue la composante principale des pertes non techniques. S'il paraît aisé d'en estimer le niveau global par déduction des pertes globales ou de la différence entre l'énergie injectée au réseau de distribution et l'énergie effectivement facturée, les origines de ces pertes ne sont pas toujours évidentes et elles ne peuvent êtres mesurées précisément.

Dans le cadre de l'exploitation du réseau de distribution et des relations avec les clients, de nombreux dysfonctionnements relatifs au non-enregistrement de la consommation sont décelés sur les systèmes de comptage. Leur nature doit être cernée afin d'imaginer les solutions de lutter contre ces dysfonctionnements.

Non-enregistrements de l'énergie

Deux types de dysfonctionnements à l'origine des non-enregistrements de l'énergie peuvent être identifiés :

- ✓ La consommation n'est pas mesurée. Les causes en sont :

Mauvaise estimation de la charge raccordée, long délai de prise en compte des appareils de mesure installés, etc ...

- ✓ La consommation est mesurée sans exactitude. Les facteurs responsables peuvent se résumer en :

Fraude et sabotage sur les appareils de mesure, défectuosité des appareils de mesure, mauvais raccordement des installations, etc.

Exemples de fraudes techniques :

Fraudes pratiquées sur les parties mécaniques ou électriques des comptages :

– fraudes mécaniques (plombs laboratoires enlevés, capot compteur percé pour bloquer le disque, etc.)

– fraudes électriques (sectionnement interne du fil de tension, shuntage des conducteurs, branchement direct, etc.)

Solutions proposées :

Action 1 : L'installation des compteurs à la sortie des transformateurs des postes sources et les considérer comme des « clients virtuels Moyenne tension », on pourra ainsi comparer l'énergie enregistrée par le compteur en tête de départ à la somme des énergies enregistrées sur les compteurs pour l'ensemble des clients HTA et des clients virtuels HTA.

$$E_{PNT} = E_{HTB/HTA} - E_{HTA} - PT$$

Action 2 : 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(E_{BT}).

$$E_{PNT} = E_{HTA} - E_{BT} - PT$$

CONCLUSION GENERALE

Le réseau moyenne tension de la RADEEF est parfaitement maitrisé, contrairement au réseau basse tension qui présente quelques perturbations qui ont des influences sur le rendement.

En effet au cours de mon stage j'ai pu relever les différentes pertes qui existent dans le réseau basse tension et dans les postes de transformations HTA/BT et proposer par la suite des solutions qui permettent d'améliorer le rendement du réseau.

Ce stage de fin d'étude effectué à la RADEEF m'a été bénéfique sur tous les plans à savoir: technique et relationnel. En effet, il m'a permis d'acquérir et d'approfondir mes connaissances en électrotechnique et aussi ça était une occasion d'approcher le monde socio-économique et d'apprendre à travailler en équipe.

Références :

- http://fr.wikipedia.org
- http://www.schneiderelectric.com
- http://www.erdfdistribution.fr/reseau_electrique
- Document, Perte d'énergie dans les réseaux de distribution d'électricité, auteur Mathias Laffont, Juin 2009.
- Rapport RADEEF, Janvier 2011.
- Rapport de synthèse ETE 2012, mesures systématiques.