



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES  
Génie Electrique

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Etude de l'intégration de la centrale électrique  
au biogaz de Fès sur le réseau de distribution  
de la RADEEF**

Réalisé Par :

- MOHAMMED GUISSI
- MOHAMMED AYMANE MOUTTAKI

Encadré par :

Pr EL MARKHI HASSANE (FST FES)

Mr AMRANI HICHAM (RADEEF)

Soutenu le 08 Juin 2016 devant le jury

Pr EL MARKHI HASSANE (FST FES)

Pr LAMCHARFI TAJEDDINE (FST FES)

Pr ABDI FARID (FST FES)

# Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions tout d'abord 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.

Aussi, nous tenons à exprimer nos profondes gratitudee à Mr AMRANI HICHAM qui nous a bien accueillis au sein de la division conduite et gestion réseau, pour les conseils précieux qu'on a eu de sa part et ses efforts pour nous aidés à achever ce travail.

Nos vifs remerciements vont également à Mr SEDDIK et Mr SABBANI qui nous ont accompagnés durant notre période de stage et nous ont font bénéficier de leur compétence, leurs conseils constructifs et de leurs grandes qualités humaines.

Nous saisissons aussi l'occasion pour remercier tout le personnel de la R.A.D.E.E.F pour leur bonne collaboration, ainsi que pour les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours de cette expérience professionnelle.

Nous remercions aussi Mr El Markhi Hassane, Professeur dans notre faculté pour son aide et pour nous avoir encadrés durant tout le projet.

Enfin nous remercions tous les enseignants du département Génie électrique ainsi que tout le corps pédagogique et administratif de notre faculté.

# Sommaire :

<b><u>Introduction général</u></b> .....	4
<b><u>Chapitre 1</u></b> : Présentation de l'environnement de projet .....	6
1- Présentation de la RADEEF.....	7
2- L'organigramme général de la RADEEF .....	8
3- Département d'exploitation électricité .....	9
<b><u>Chapitre 2</u></b> : Les réseaux de transport et de distribution .....	12
1- Structure générale des réseaux électriques.....	13
• Structure des réseaux haute tension A (ou HTA).....	13
• Structure des réseaux haute tension B (ou HTB).....	16
2- Description du réseau de distribution de la RADEEF.....	19
• Structure du réseau de distribution de la ville de Fès .....	19
<b><u>Chapitre 3</u></b> : Energies renouvelables, définitions, ressources et exploitations .....	25
1- production d'électricité par les énergies renouvelables .....	26
2- La production d'énergie du biogaz.....	27
3- Description de la centrale électrique au biogaz de Fès .....	30
<b><u>Chapitre 4</u></b> : Impact de la production décentralisée sur le réseau électrique .....	32
1- Couplage d'une source décentralisée avec le réseau de distribution.....	33
2- Etude des protections d'une source décentralisée.....	34
3- Influence d'une source décentralisée sur le réseau distribution (perturbation du réseau, plan de protection,...).....	35
<b><u>Conclusion</u></b> .....	43
<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b> .....	45

# **Introduction générale**

De nos jours, l'énergie électrique est un bien de consommation à part entière devenu indispensable, non seulement pour la vie quotidienne de chacun mais, également, pour l'économie des pays. En effet, les moindres pannes électriques ont des conséquences économiques et sociétales considérables, Ainsi la nécessité d'avoir des réseaux électriques fiables et économiques est un enjeu de plus en plus important.

D'autres aspects comme l'ouverture des marchés, la volonté de préserver l'environnement et l'inquiétude grandissante face à la question de l'épuisement des réserves d'énergies fossiles enjeu de plus en plus important. Conduira, de plus en plus, à envisager l'utilisation accrue de productions décentralisées à base d'énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, entre autres). Ces productions seront intégrées au réseau de distribution qui devra de la même façon que le réseau de transport, assurer la disponibilité de divers services pour les gestionnaires de réseau. En d'autres termes, le réseau de distribution doit évoluer vers un réseau flexible et intelligent qui intègre au mieux les énergies locales et/ou renouvelables. Cette évolution peut être envisagée en développant des systèmes intelligents, capables de minimiser les impacts engendrés par l'insertion de productions décentralisées et/ou par la recherche de nouvelles architectures. Ces deux solutions devraient permettre l'augmentation du taux de production décentralisée dans le réseau de distribution dans les meilleures conditions économiques et de sécurité.

Le réseau de distribution n'a pas été conçu, à l'origine, pour accueillir des unités de production mais pour acheminer, de manière unidirectionnelle, l'électricité qui provient du réseau de répartition jusqu'aux consommateurs moyenne et basse tension. L'utilisation de systèmes intelligents répartis, seuls, ne suffira pas à enrayer tous les problèmes auxquels le réseau de distribution sera confronté en cas de pénétration importante de productions décentralisées.

Pour notre rapport de stage, on a divisé notre travail en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous avons donné un aperçu sur le lieu de stage. Le deuxième chapitre décrit l'architecture du réseau de distribution de la RADEEF, Le troisième chapitre Nous avons abordé le sujet des énergies renouvelables spécifiquement biogaz. Le dernier chapitre traite l'influence de la production décentralisée sur le réseau électrique.

## **Chapitre 1 :**

# **Présentation de l'environnement du projet**

## **1- Présentation de la RADEEF**

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.

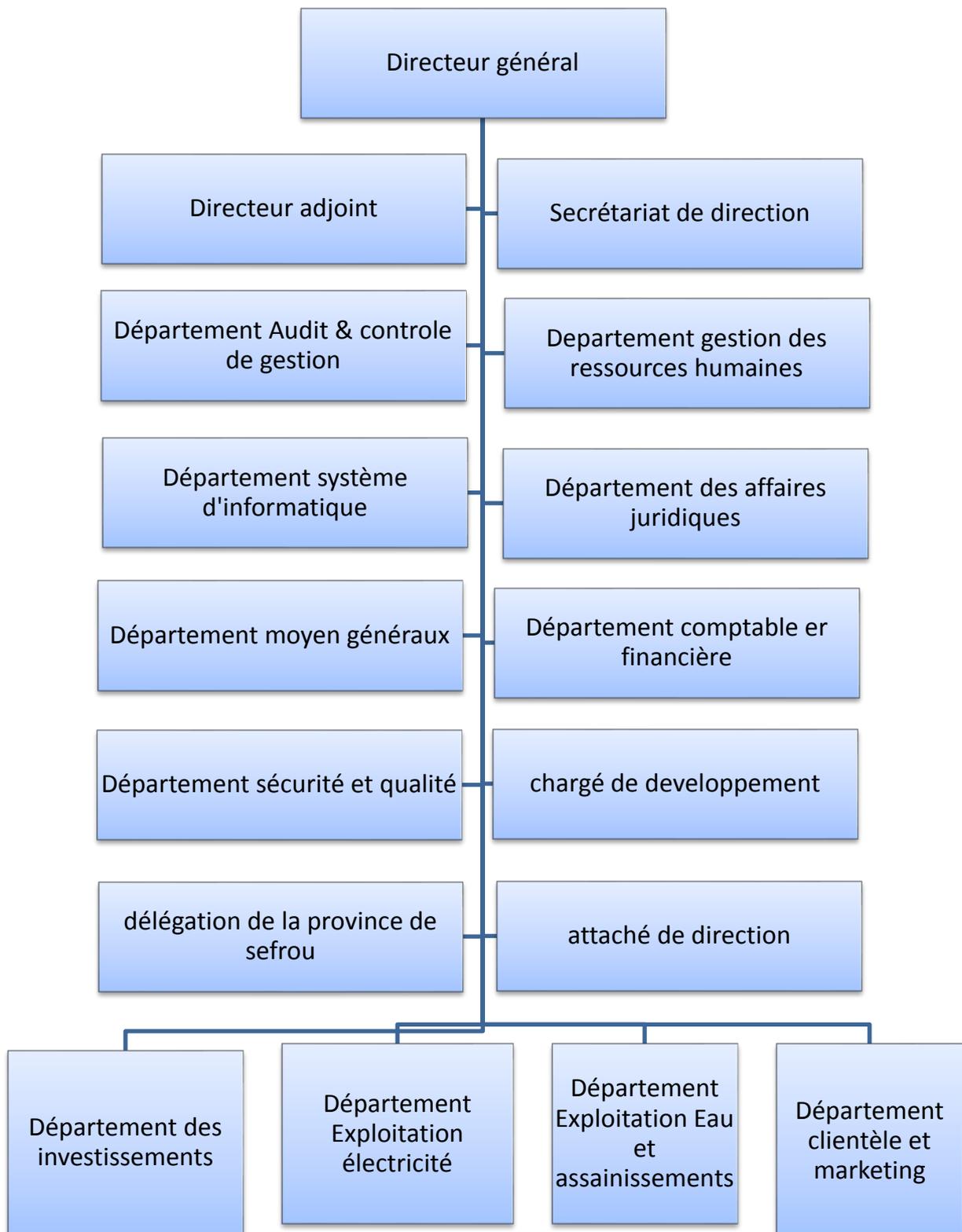
Elle a été créée par la délibération du conseil municipal de la ville de Fès en date du 30 Avril 1969 et avait comme mission principale la gestion du réseau électrique de la ville. A partir de 1970, la régie assurait aussi la distribution de l'eau potable. En 1993, la régie a commencé l'étude, la réalisation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

Par conséquent, la R.A.D.E.E.F 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).

## 2- L'organigramme général de la RADEEF

L'organigramme de la R.A.D.E.E.F se présente comme suit :



*Figure 1 : Organigramme de la RADDEEF*

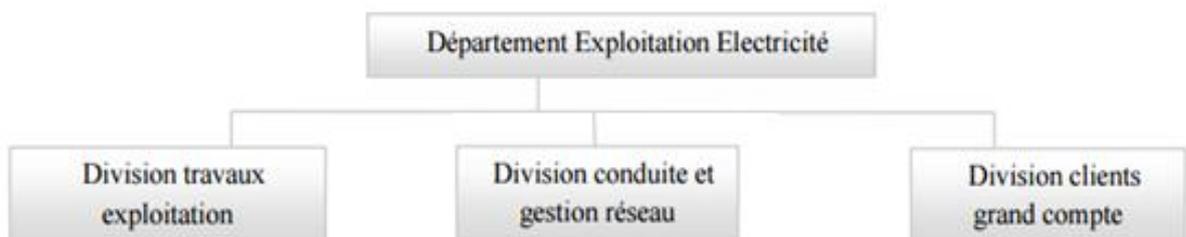
### **3- Département Exploitation électricité**

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

Le département 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 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 trois divisions :



*Figure 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 :

**a- Service conduite du réseau** : 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 :

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

**5- Bureau administrateur système SCADA:** Un SCADA, acronyme de l'anglais Supervisory Control And Data Acquisition (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 tél. éconduite.

- L'élaboration des consignes d'exploitations des postes télécommandés.
  
- b- **Service mesure & protection** : a pour mission de vérifier quotidiennement les postes sources et les réglages des protections et la recherche des défauts HTA & BT.
  
- c- **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 administrative.

## **Chapitre 2 :**

# **Les réseaux de transport et de distribution**

# 1- Structure générale des réseaux électriques

## 1.1- Structure des réseaux haute tension A (ou HTA), ou moyenne tension (MT)

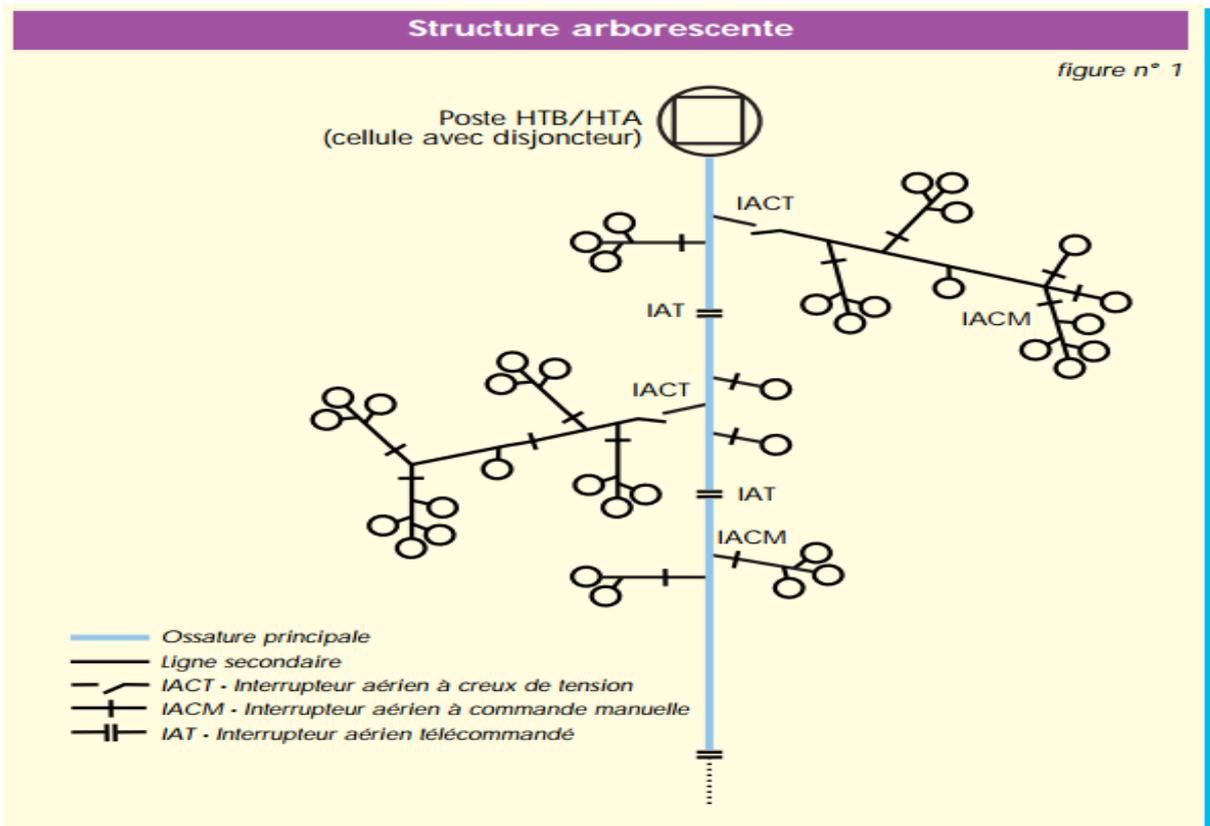
Le choix d'un plan de protection est directement lié au choix de la structure et du mode d'exploitation du réseau, ainsi que du régime de neutre qui lui est appliqué.

Les choix sont eux-mêmes le résultat d'un compromis entre des exigences de qualité de la fourniture à la clientèle, de maîtrise des surtensions, de simplicité et de coût.

Les structures de réseaux peuvent être classées en trois types :

### a- Structure arborescente

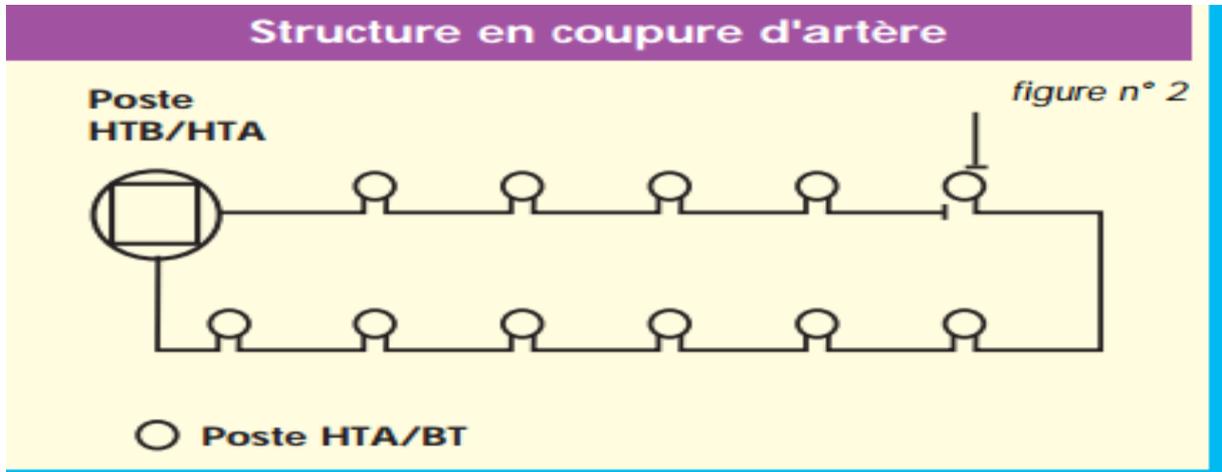
Cette structure est appliquée essentiellement aux réseaux ruraux en technique aérienne et desservant des zones à faible densité de charge.



*Figure 3 : Structure arborescente*

### b- Structure coupure d'artère

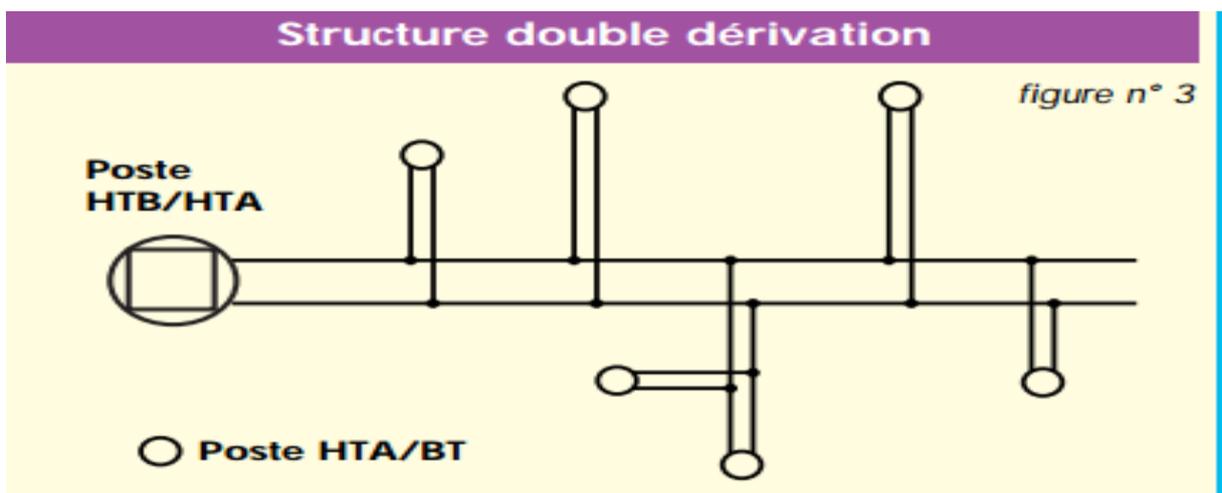
Cette structure est utilisée dans les agglomérations ou dans les zones à "devenir aggloméré".



*Figure 4 : Structure coupure d'artère*

### a- Structure double dérivation

Cette structure est employée dans les zones urbaines. Il existe un verrouillage entre les deux interrupteurs pour éviter une alimentation simultanée par les deux câbles.



*Figure 5 : Structure double dérivation*

Ces deux dernières structures sont appliquées aux zones à densité de charge plus importante et en particulier aux réseaux souterrains qui, de par leur délai de dépannage, nécessitent des possibilités de tronçonnement et de reprise.

Ces trois structures sont exploitées en départs non bouclés de façon permanente. Les bouclages ne sont effectués que pendant la durée minimale permettant les reports de charge sans coupure de la clientèle. On admet que le plan de protection fonctionne de manière dégradée lors de ces bouclages occasionnels.

En 1992, 79 % des réseaux étaient aériens, 21 % souterrains. La volonté de maîtriser les incidents généralisés d'origine climatique (tempête, neige collante, givre), la satisfaction des besoins d'amélioration de l'environnement (protocole Etat-EDF du 25 août 1992), font apparaître des structures mixtes. L'amélioration de la technologie des câbles et la diminution des coûts grâce à la pose mécanisée contribueront à accélérer cette tendance.

***b- - Structure mixte des réseaux ruraux***

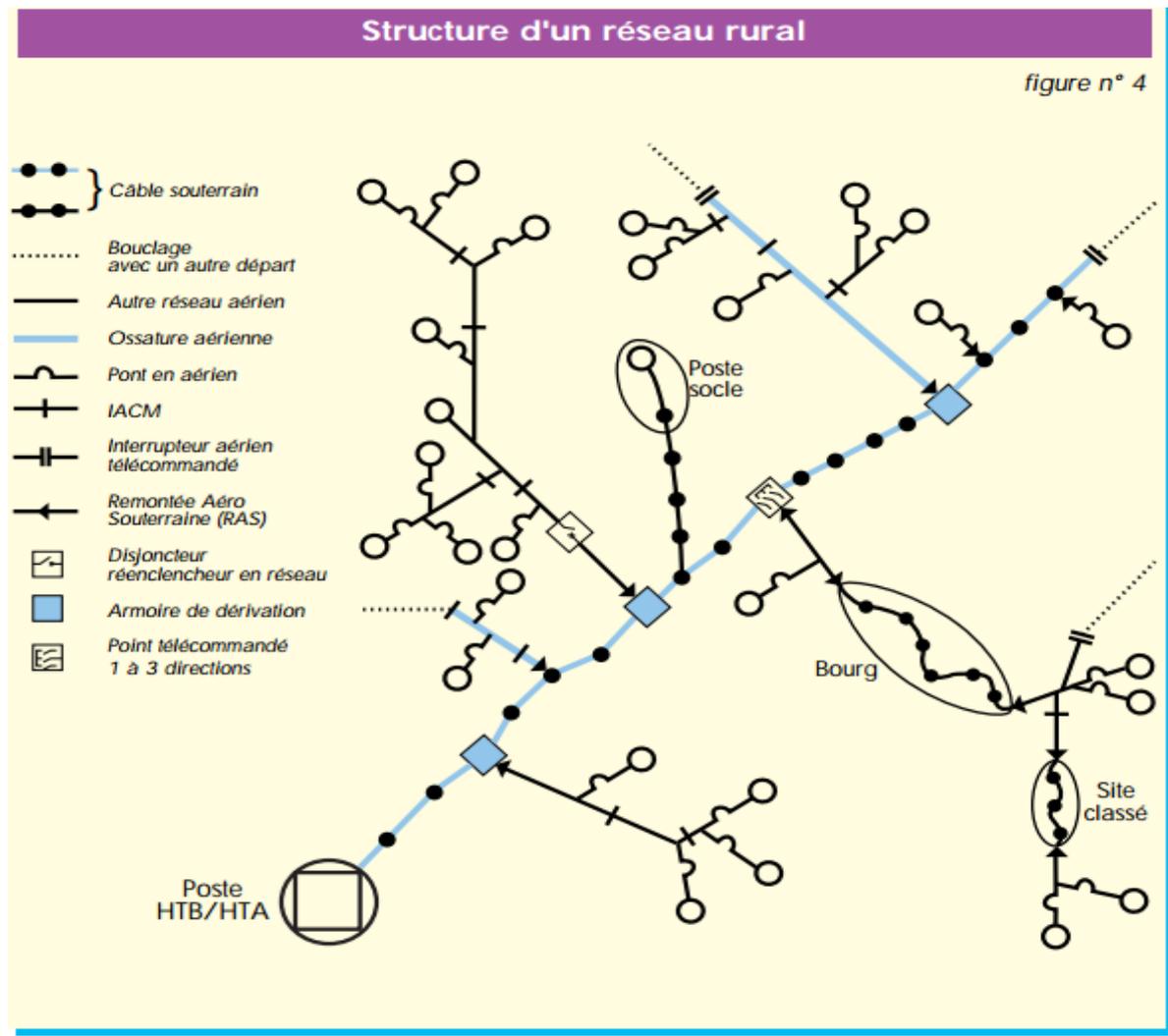


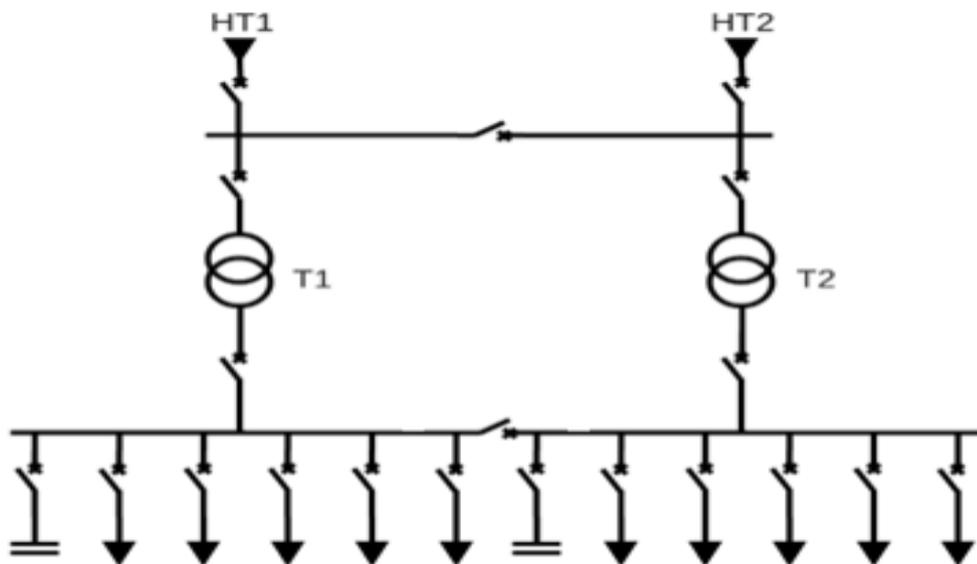
Figure 6 : Structure mixte des réseaux ruraux

L'évolution de la nature des réseaux aura pour conséquence une évolution du régime de neutre, et par conséquent du plan de protection, afin de maîtriser les surtensions et d'atteindre nos objectifs de qualité.

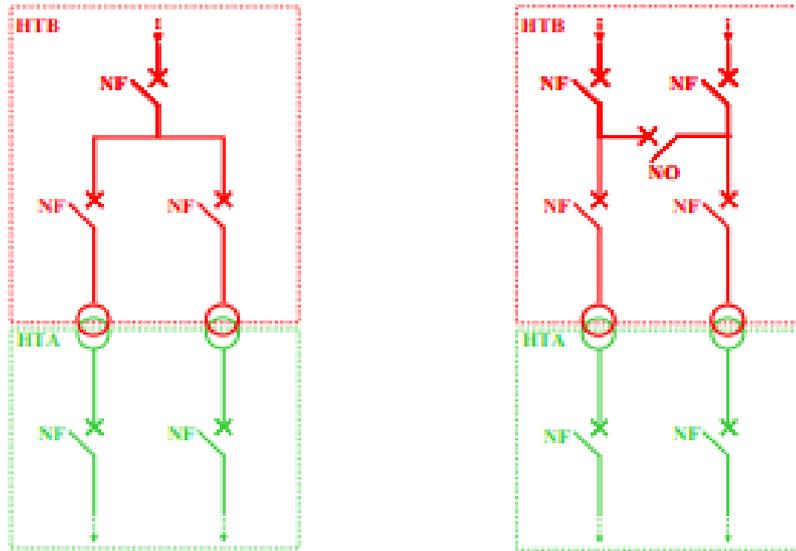
### 1.2- Structure des réseaux haute tension B (ou HTB), ou haute tension (HT)

Les réseaux de distribution sont alimentés par un poste source HTB/HTA. Côté HTA la tension d'alimentation est comprise entre 60kV et 225kV. Classiquement un

jeu de barres connecté à une ou plusieurs arrivées HTB alimente deux transformateurs appelés transformateurs demi-rame. Côté HTA, un autre jeu de barres alimente les différents départs du réseau de distribution. Les transformateurs fonctionnent en régime radial mais en cas de défaillances, il est possible d'isoler un des transformateurs et de répartir la charge sur celui qui reste. En régime nominal, la charge associée à un transformateur ne dépasse donc pas normalement 50% de sa capacité maximale. La figure 7 présente le schéma classique d'un poste source HTB/HTA.

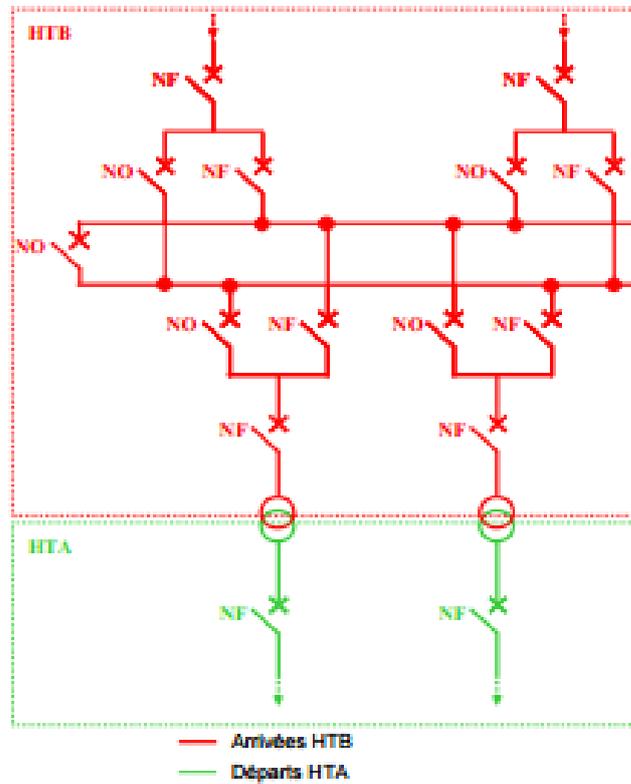


*Figure 7 : Schéma de principe d'un poste source HTB/HTA*



Simple antenne

Double antenne – simple jeu de barre



Double antenne – double jeu de barre

Figure 8 : Postes source HTB/HTA

## **2- Description du réseau de distribution de la RADEEF**

### **2.1- Structure du réseau de distribution de la ville de Fès**

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 1 poste répartiteur.

#### **2.1.1- 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 trois transformateurs ayant en tension primaire 63KV et délivrant en tension secondaire 20KV. Leur puissance apparente est de 36MVA.

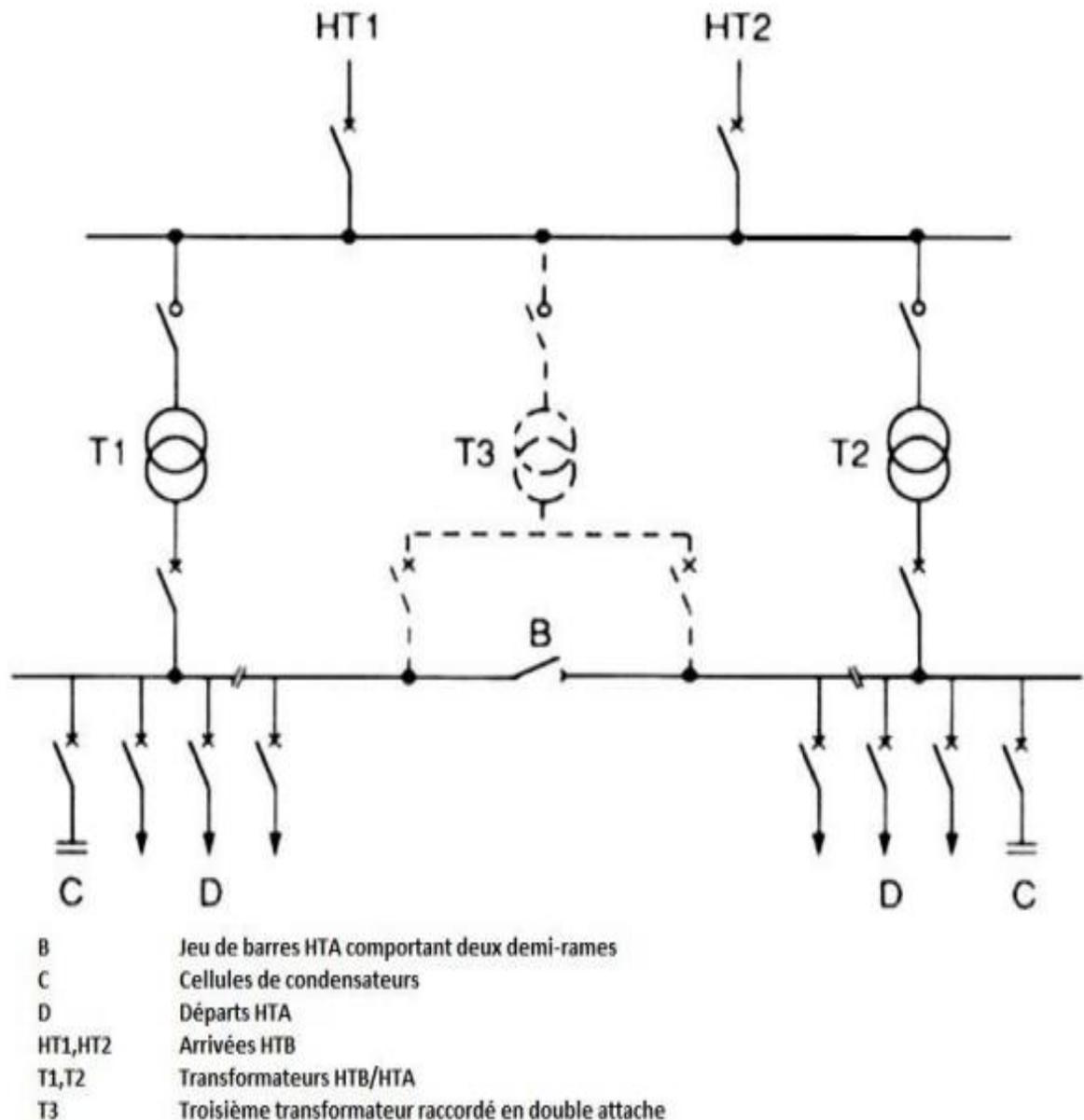
##### **Poste Fès Ouest : (60KV/20KV)**

Il est alimenté par 2 arrivées 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 60/20 KV de 36 MVA chacun et de deux transformateurs 60/5.5KV de 10MVA chacun. Il appelle à la pointe 72 MVA et alimente 22 départs 20 KV.



*Figure 9 : Schéma unifilaire simplifié d'un poste source*

### **2.1.2- Les postes répartiteurs :**

La R.A.D.E.E.F se compose d'un seul poste répartiteur. Ce poste assure 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.

Ce poste répartiteur est équipé 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.

### **2.1.3- Postes de transformation HTA /BT**

Au cours de notre stage nous avons eu l'occasion de visiter des postes de distribution publique et des postes abonnés HTA. En effet, il est intéressant de différencier entre ces deux types de postes. D'une part les postes de distribution publique 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 :



*Figure 10 : Bloc de cellules*

**Cellule Arrivée :** Le rôle de 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.

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.

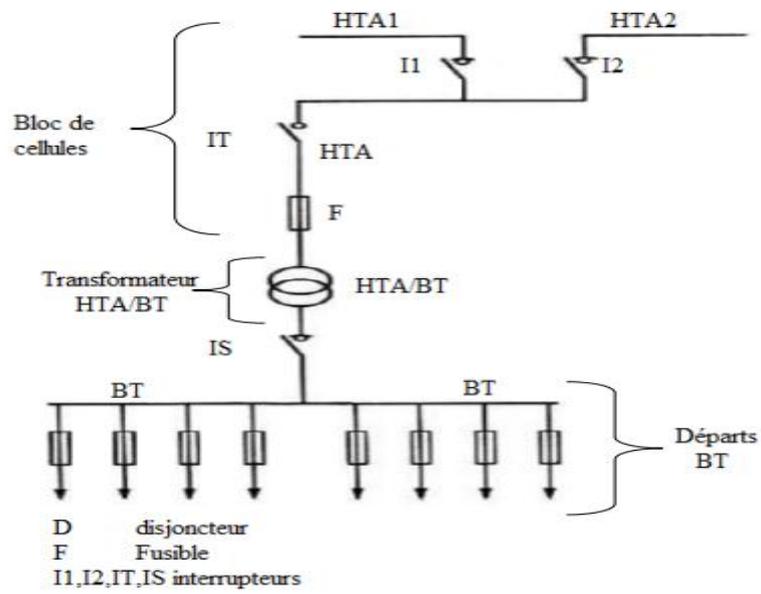
- **Un transformateur :** appelé transformateur local HTA/BT du poste. Il permet de transformer la moyenne tension 20KV en une basse tension 220/380 (tension simple = 220V, tension composée = 380V).

La puissance du transformateur est choisie dans la gamme suivante : 160, 250, 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<sup>2</sup> de surface et qui ont pour rôle l'absorption de l'huile en cas de fuite.

- **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 tel 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 Détecteur de Défaut Souterrain DDS:** permet la détection des défauts au niveau des câbles électriques souterrains. En effet, si entre deux postes voisins, le détecteur du premier poste clignote, cela signifie que ce poste a détecté le défaut. Par conséquent, il est primordial de vérifier le détecteur 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 détecteur 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 :



*Figure 11 : La structure des postes HTA/BT*

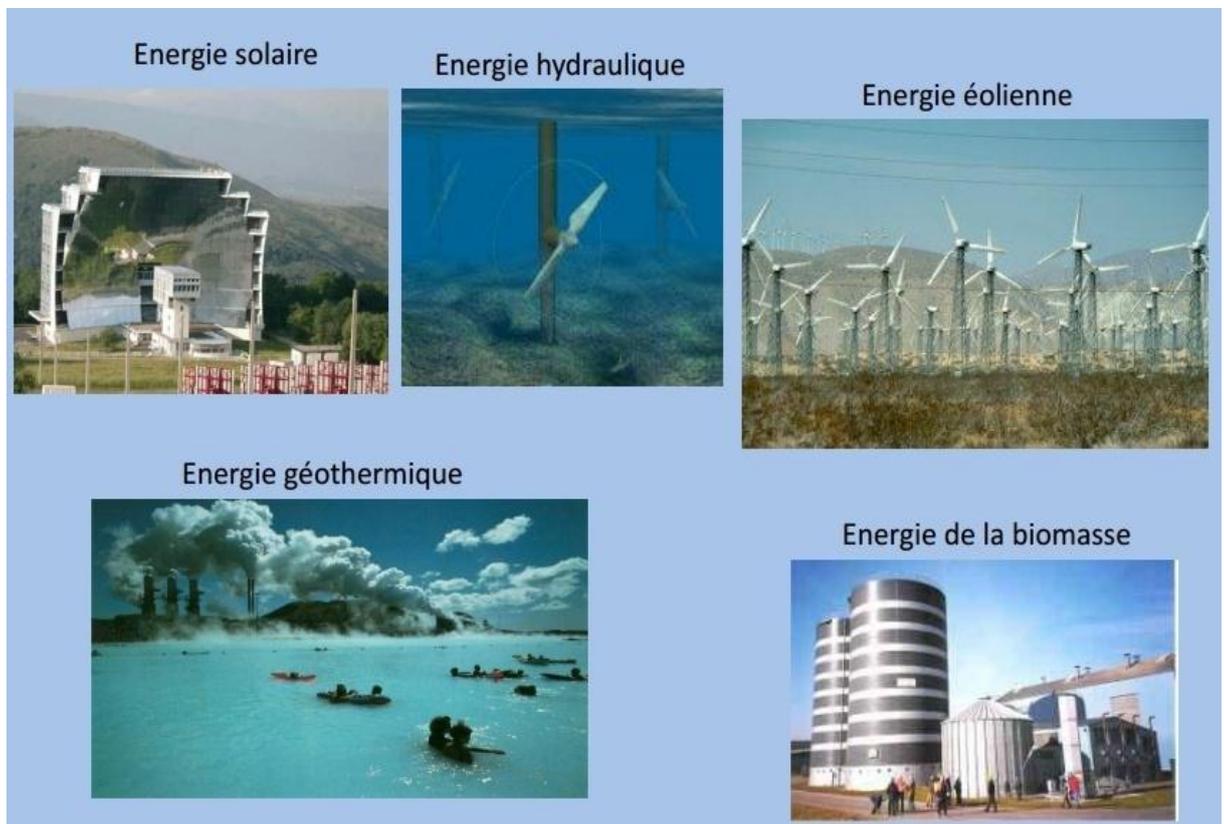
### **Chapitre 3 :**

## **Energies renouvelables, définitions, ressources et exploitations**

# **1- Production d'électricité par les énergies renouvelables**

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la terre (énergie géothermique). Aujourd'hui, on assimile souvent par abus de langage les énergies renouvelables aux énergies propres.

## **1.1- Différents types de l'énergie renouvelable**



*Figure 12 : Exemples des énergies renouvelables*

## 2- La production d'énergie du biogaz

### INTRODUCTION

#### - La matière organique comme source d'énergie

Entre dans la catégorie des bioconversions l'utilisation comme source d'énergie des végétaux ou de leurs sous produits, considérés comme des déchets après une ultime utilisation par l'homme et l'animal.

Le biométhane issu de la fermentation n'est qu'une des possibilités de récupérer de l'énergie parmi de nombreuses autres, parfois plus efficaces et plus adaptés, nous les décrirons ci-après.

#### - Histoire du biométhane

Le biométhane, gaz issu de la décomposition, a été découvert par Shirley en 1667; il est alors connu sous le nom de gaz des marais, en raison de sa présence en abondance dans les fondes eaux stagnantes.

En 1884, Ulysse Gayon, élève de Louis Pasteur présente ses travaux sur la fermentation, et conclut déjà, que le gaz issu de la fermentation serait une source utilisable d'énergie pour le chauffage et l'éclairage.

Ce n'est que dans la première moitié du XX<sup>ième</sup> siècle que sont mises aux points différentes techniques de fermentations. L'influence sur les fermentations des composants de la matière organique, de la faune microbienne, de la température ... sont étudiées.

Dans les années 1950 à 1960, les stations d'épurations ont permis de grandes avancées dans la recherche sur la méthanisation.

## 2.2- Définition du biogaz

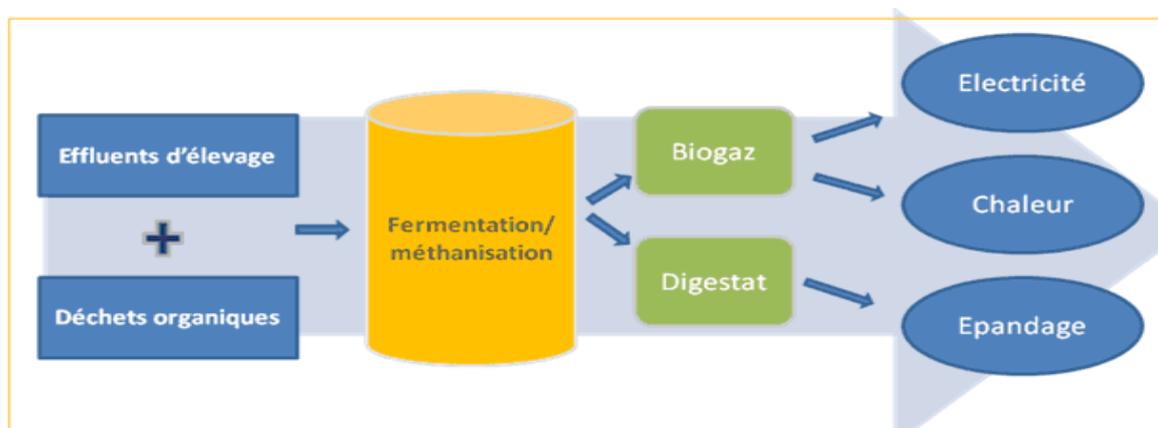
Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène. Cette fermentation appelée aussi méthanisation se produit spontanément dans les décharges contenant des déchets organiques ou artificiellement dans des digesteurs (traitement des boues d'épuration, des déchets organiques industriels ou agricoles, etc.). Le biogaz sert à la production de chaleur, d'électricité ou de biocarburant et le digestat est utilisable comme fertilisant.



*Figure 13 : Centrale Electrique de la production du Biogaz ECOMED FES*

### 2.3- Fabrication du biogaz

Le principe de fabrication du biogaz consiste à placer de la matière organique dans un réservoir hermétiquement fermé, chauffé et brassé que l'on appelle digesteur ou bioréacteur. Les bactéries anaérobies se nourrissent de la matière organique pour se multiplier et produisent ainsi du biogaz. Ce dernier permet la production de chaleur et/ou d'électricité.



*Figure 14 : Schéma du principe de la cogénération*

### 2.4- Combien d'énergie y a-t-il dans le biogaz ?

Chaque mètre cube (m<sup>3</sup>) de biogaz contient l'équivalent de 6 kWh d'énergie calorifique. Toutefois, la conversion du biogaz en électricité par une génératrice électrique ne produit que 2 kWh en électricité, le reste de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur qui peut être récupérée et utilisée pour d'autres applications.

### 2.5- Combien de biogaz est-il possible de produire avec les rejets organiques ?

La quantité de biogaz que l'on peut extraire des rejets organiques dépend du type de déchet, de la performance du digesteur ainsi que du mode d'opération du système. Les installations agricoles de biogaz sont souvent alimentées par le fumier et le lisier issus des activités d'élevage et par des co-produits végétaux. En fonction des substrats utilisés, les rendements en méthane et la composition du biogaz peuvent varier. Ainsi, une tonne de fumier permet de produire 25 m<sup>3</sup> de biogaz et 1 tonne d'herbes ou de maïs frais produit 150 m<sup>3</sup> de biogaz alors qu'une tonne de graisses animales peut produire jusqu'à 800 m<sup>3</sup> de biogaz.

### 3- Description de la centrale électrique au biogaz de Fès

Depuis le 12 juin, la ville marocaine de Fès produit de l'électricité à partir d'une centrale électrique au biogaz issue de la valorisation des déchets ménagers de la ville. D'une puissance de 1,12 Mégawatt cette centrale couvre déjà le tiers des besoins d'éclairage de la ville. Un projet à plus de 9 millions d'euros piloté par l'américain Ecomed.



*Figure 15 : ECOMED FES*

La centrale bioélectrique qui occupe 25 emplois permanents et 10 occasionnels est placée dans une cuvette à l'amont du bassin versant sur une couche d'argile de 80 m de profondeur.

D'une capacité de 1,12 mégawatt de puissance électrique sur les 3,5 mégawatts nécessaires à l'éclairage public de Fès, cette usine est amenée à terme, à couvrir la totalité des besoins de la ville.

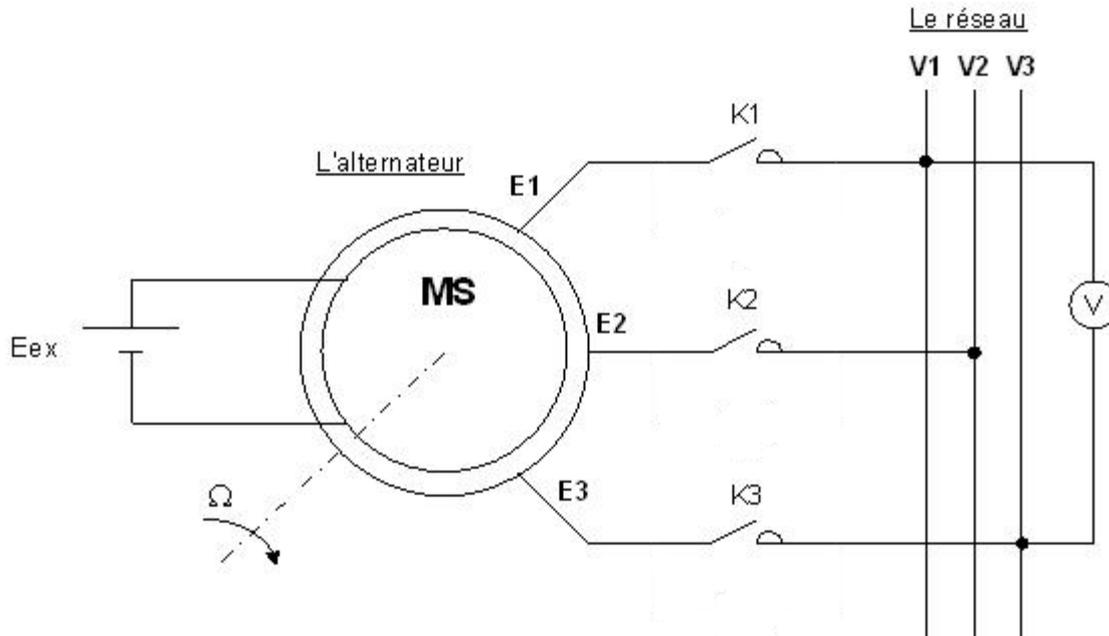
ECOMED a commencé à utiliser l'énergie produite par le *biogaz* généré par ces déchets en 2006 pour leurs propres besoins, pour une capacité d'un kilowatt. Elle a lancé la production de l'électricité pour l'éclairage public de Fès le 12 juin 2015.

Il est à noter que l'énergie électrique produite est intégrée dans le réseau de la régie autonome intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de Fès (Radeef). Ce réseau est indépendant des lignes de l'Office national de l'électricité et de l'eau potable (Onee).

## **Chapitre 4 :**

# **Impact de la production décentralisée sur le réseau électrique**

## 1- Couplage d'une source décentralisée avec le réseau de distribution



**Figure 16:** Couplage d'un alternateur sur le réseau

Le couplage est l'opération qui consiste à connecter les bornes de l'alternateur à celles du réseau triphasé pour débiter de la puissance électrique.

On n'effectue le couplage que lorsque les bornes homologues de l'alternateur et du réseau sont au même potentiel ; sinon la connexion s'accompagne de courants importants susceptibles de provoquer des chutes de tension, la disjonction des appareils de protection et un couple important qui pourront causer la rupture de l'accouplement rotor turbine. Pour éviter cela, il faut réaliser les conditions :

- Même ordre de succession des phases.
- Mêmes valeurs efficaces de tensions.
- Mêmes fréquences.
- Tensions homologues en phases.

Pour un alternateur couplé au réseau,  $V$  est imposé à 220 V et  $f$  à 50 Hz. Les grandeurs variables du réseau sont le courant  $I$  et le déphasage  $\varphi$ .

## **2- Etude des protections d'une source décentralisée**

### **2.1- Définition de la protection de découplage**

Elle est composée d'une protection d'exploitation et d'une protection contre les courts-circuits. Sa présence est obligatoire si le réseau industriel comporte des générateurs susceptibles d'être couplés au réseau de distribution publique.

### **2.2- Objet de l'étude**

Le maillage du réseau public de distribution permet de connecter, d'interconnecter et de coupler tout type de raccordement au réseau. La protection des personnes, des biens et du réseau nous amène à étudier la protection de découplage, concernant plus particulièrement les installations de production. Cette protection a pour objet en cas de défaut sur le réseau :

- d'éviter d'alimenter un défaut ou de laisser sous tension un ouvrage en défaut.
- de ne pas alimenter les autres installations raccordées à une tension ou à une fréquence anormale.
- de permettre les réenclenchements automatiques des ouvrages du réseau.

### **2.3- Rôle de la protection de découplage**

Cette protection doit permettre de détecter les situations de :

- marche en réseau séparé sans défaut.
- défauts HTA à la terre.
- défauts entre phases pour la HTA et entre conducteurs pour la BT.
- risque de faux couplage.

- défauts sur le réseau HTB amont, lorsque le raccordement de l'installation conduit à ce que la somme des puissances maximales actives des installations de production raccordées sur un poste HTB/HTA devienne importante (>12MW).

#### **2.4- Constitution de la protection de découplage**

Les protections de découplage retenues et installées par le producteur agissent sur franchissement d'un des seuils suivants appliqués aux tensions mesurées coté réseau du distributeur :

- **max. de tension homopolaire** à action temporisée (1 à 1,5 s),
- **un max. de tension à 115 % mesuré entre phases**, à action instantanée,
- **trois min. de tension mesurée entre phases**, réglés à 85 % à action temporisée (1 à 1,5 s),
- **min. max. de fréquence, mesuré entre phases**, 47,5/51 Hz ou 49,5/50,5 Hz
- **Protection homopolaire** c'est la protection contre les défauts entre phase et terre.
- **Protection ampérométrique** c'est la protection contre les défauts entre les phases.

### **3- Influence d'une source décentralisée sur le réseau distribution**

#### **3.1- Impact de l'insertion de GED (Générateur d'énergie distribuée) sur les grandeurs électriques**

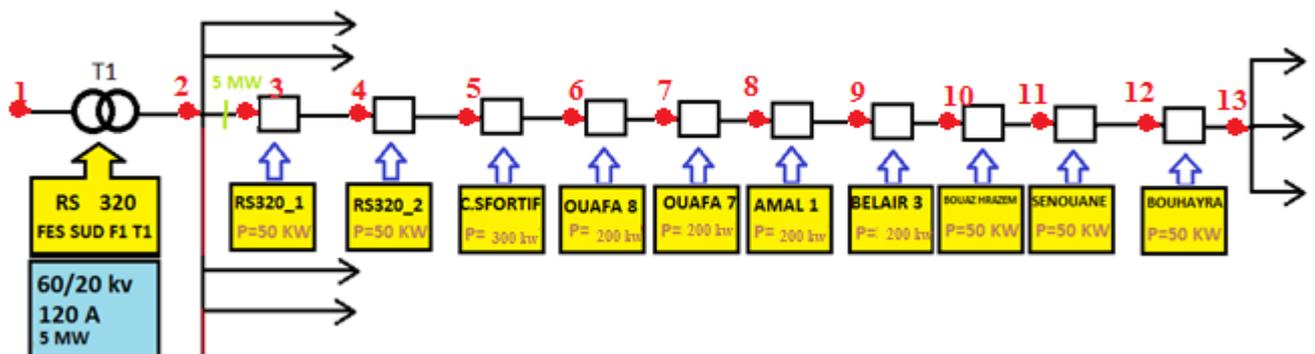
- **Impact sur le plan de tension**

Le réseau de distribution fonctionne sous une tension de 20 kV. L'utilisation de conducteurs pour transporter l'énergie aux consommateurs est responsable d'une chute de tension c'est-à-dire que la tension relevée aux nœuds consommateurs est plus faible que la tension relevée au niveau du poste source. Une tension trop faible provoque le dysfonctionnement du matériel chez le consommateur et une tension trop forte peut endommager les équipements du réseau et ceux du consommateur.

Pour pallier ce problème, on utilise des transformateurs régleurs en charge au niveau du poste source HTB/HTA. Ces sont des transformateurs dont on peut changer les prises c'est-à-dire faire varier le rapport de transformation et donc soit diminuer soit augmenter la tension.

On rappelle pour mémoire que la chute de tension en régime triphasé s'exprime par la formule suivante : 
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{r \times L \times P + x \times L \times Q}{V^2}$$

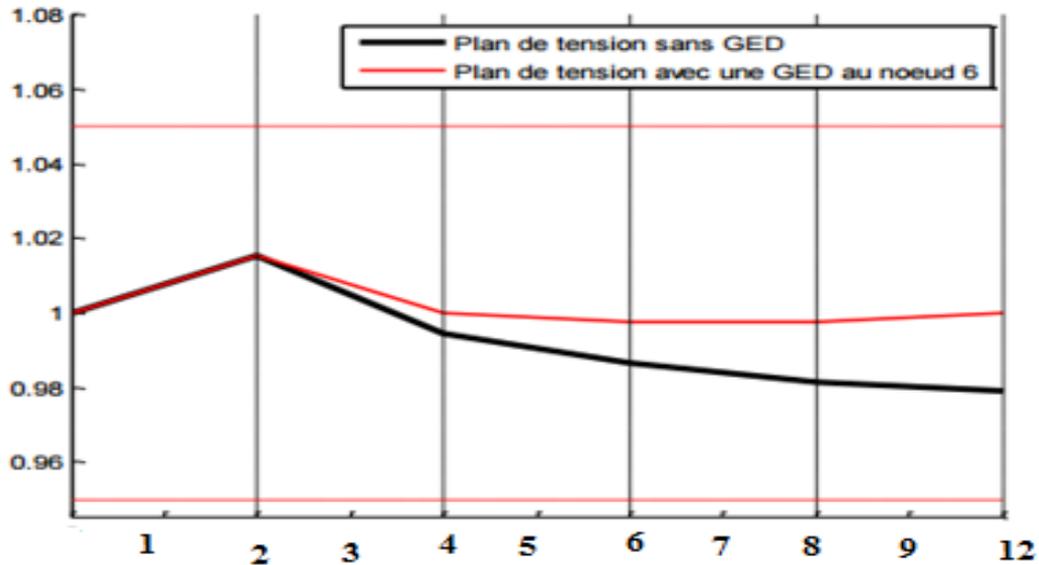
Pour montrer les effets de la GED sur le plan de tension, prenons l'exemple de la Figure 17.



**Figure 17:** Réseau d'étude utilisé pour la mise en évidence des impacts de l'insertion de GED

La Figure 18 illustre un exemple d'impact bénéfique de l'insertion de GED sur la tension. On peut constater qu'au nœud 2 la tension est de 1,02 pu. Cela correspond à la tension de consigne du régulateur en charge. En connectant une GED de 1 MW au nœud 12, l'énergie est consommée plus localement que dans le cas sans GED. La puissance active injectée étant moins importante au nœud 9, 10, 11, la chute de tension

est moins importante. Le plan de tension avec une GED connectée permet dans ce cas de remonter la tension tout en restant dans les limites admissibles. Ceci est bénéfique pour le réseau car cela permet de diminuer les pertes.



**Figure 18:** Exemple d'effet bénéfique de l'insertion de GED dans le réseau test

#### - Impact sur les transits de puissances

La connexion de GED sur le réseau de distribution modifie le transit de puissance dans le réseau. Nous reprenons l'exemple de la Figure 17. La Figure 17 montre les transits de puissance obtenus sur ce réseau test sans GED. Les flux de puissance sont unidirectionnels et proviennent du réseau amont, le réseau de transport. Le transformateur HTB/HTA symbolise la frontière entre le réseau de distribution et le réseau de transport.

On connecte une GED au nœud 12 de puissance 1 MW comme indiquée sur la Figure 19. On suppose que cette GED fonctionne à sa puissance maximale. Non seulement elle alimente la charge connectée au même nœud mais, en plus, elle va exporter de la puissance vers les autres charges. Les flux de puissance deviennent alors bidirectionnels. La puissance provenant du réseau de répartition est alors de 6 MW. Par ailleurs, dans le cas précédent où la puissance provenait intégralement du réseau amont, Dans le cas d'une GED connectée au nœud 12, les pertes sont réduites

Ainsi grâce à la production locale de cette GED, les transits de puissance active ont diminué et par conséquent les pertes également.

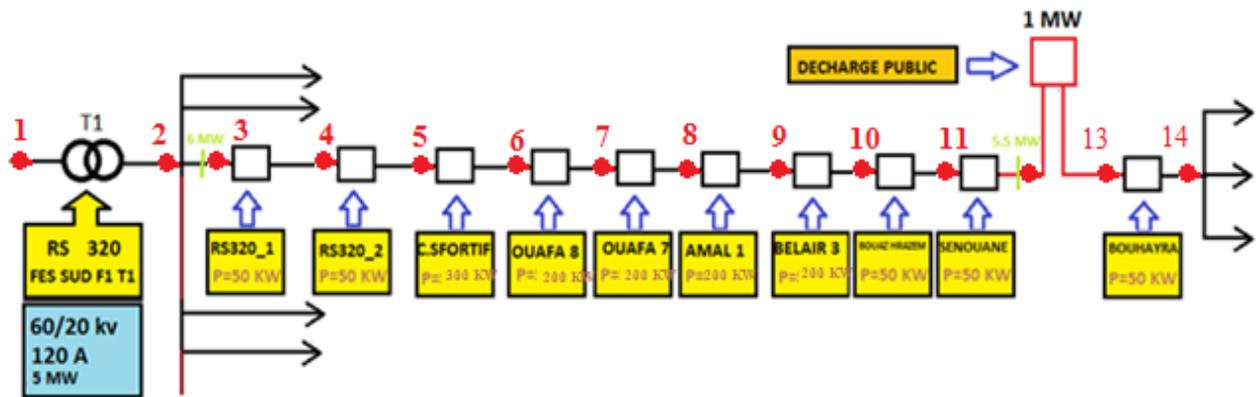


Figure 19: Transit de puissance dans le réseau test avec une GED connectée au nœud 12

#### - Impact sur les courants de court-circuit

L'introduction de GED dans le réseau de distribution modifie l'impédance globale du réseau et donc les courants de court-circuit et la puissance de court-circuit. Ainsi il est possible que le courant de court-circuit soit modifié et puisse provoquer le dysfonctionnement du matériel de protection). Par ailleurs, lors d'un défaut, les producteurs alimentent le courant de défaut. Celui-ci peut alors dépasser la limite admissible des éléments du réseau (conducteurs entre autres).

##### • Cas des défauts à la terre

Les installations de production sont raccordées au réseau MT au travers d'un transformateur à couplage étoile (côté groupe) - triangle (côté réseau). Le groupe de production ne modifie donc pas les courants homopolaires vus par les protections des départs lors de l'apparition d'un défaut phase-terre. La sensibilité et la sélectivité du plan de protection contre les défauts à la terre est donc insensible à la présence des producteurs. Le fonctionnement de la protection homolaire du départ au poste-source n'est donc pas perturbé.

Cependant, après ouverture du disjoncteur au poste source, le groupe de production continue à alimenter le défaut en régime de neutre isolé. Le relais homopolaire de la protection de découplage assure alors le déclenchement du groupe.

- **Cas des défauts polyphasés**

Lorsqu'un défaut polyphasé se produit sur un départ, les groupes de production participent à l'alimentation du défaut. Cette injection de courant peut altérer la sélectivité des protections existantes de deux manières :

- déclenchement intempestif d'un départ sain,
- aveuglement de la protection du départ en défaut.

### **3.2- Impact de l'insertion de GED sur la planification et l'exploitation**

Dans la partie précédente, les impacts de l'insertion de production décentralisée sur les grandeurs électriques ont été mis en évidence. Ceux-ci laissent penser que le réseau de distribution n'a pas été conçu pour accueillir ces productions. Nous allons donc détailler les impacts possibles de l'insertion de GED sur le plan de protection.

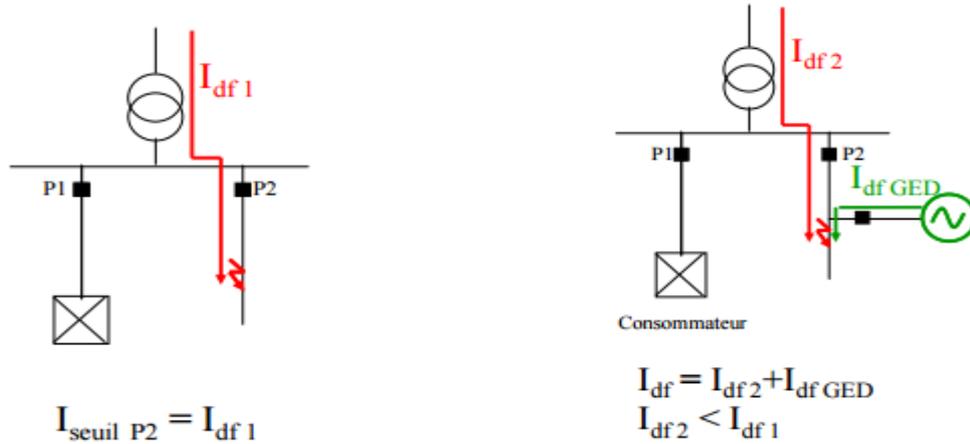
- **Impact sur le plan de protection**

La modification des courants de court-circuit due à l'insertion de GED peut conduire à une modification du réglage des protections voire même à leur changement. Deux principaux problèmes apparaissent suite à une insertion de GED : le problème d'aveuglement de protections et celui du déclenchement intempestif des protections.

- **Problème d'aveuglement des protections**

Le problème d'aveuglement de protections se produit lorsqu'un défaut apparaît sur un départ possédant une GED. Ce problème est illustré sur la Figure 20. En effet, en l'absence de GED, le seuil de la protection P2 est réglé à  $I_{seuil\ P2} = I_{df\ 1}$  (courant de défaut provenant du réseau amont). Si on raccorde une GED, alors la GED va

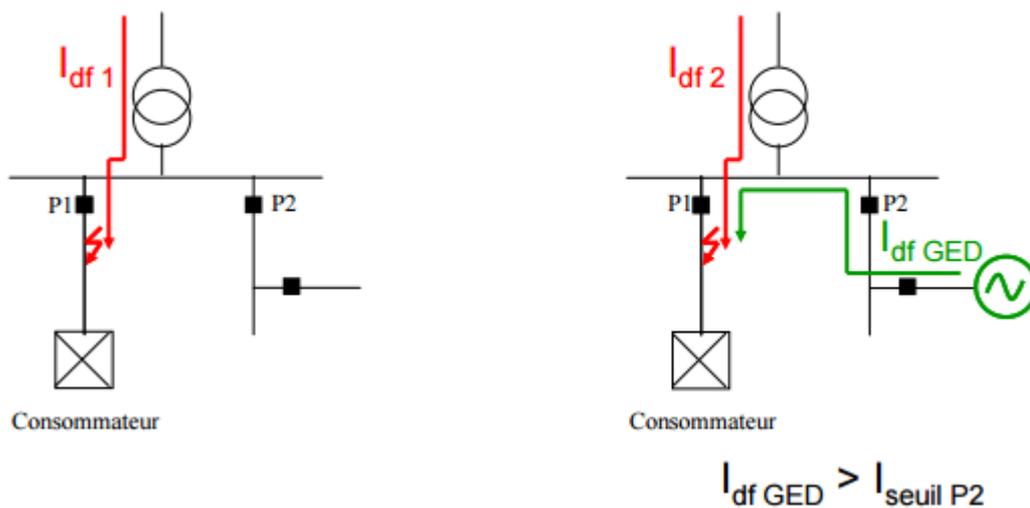
participer au courant de défaut. Le courant de défaut apporté par le réseau amont,  $I_{df 2}$ , est alors plus faible que  $I_{df 1}$  est donc inférieur au seuil de la protection P2 qui ne déclenche pas d'où le terme d'aveuglement.



*Figure 20: Problème d'aveuglement de protections*

- Problème du déclenchement intempestif des protections

Le problème de déclenchement intempestif (illustré sur la Figure 21) se produit lorsqu'un défaut apparaît sur un départ adjacent au départ possédant une GED. En effet, la GED participant au courant de défaut peut faire déclencher la protection P2 si le courant de défaut apporté par la GED est supérieur au seuil de la protection P2.



*Figure 21: Problème du déclenchement intempestif de protections*

En effet, ce type de problème est déjà survenu sur le réseau de la RADEEF occasionnant alors le déclenchement intempestif du départ alimentant la centrale de biogaz.

Pour pallier à ce problème, les solutions suivantes peuvent être envisagées :

- **Augmentation du seuil de disjoncteur (P2):**

Le seuil de déclenchement de la protection est augmenté de telle façon à obtenir un  $I_{df\ GED} < I_{seuil\ P2}$  et cela dans le but d'éviter le déclenchement intempestif.

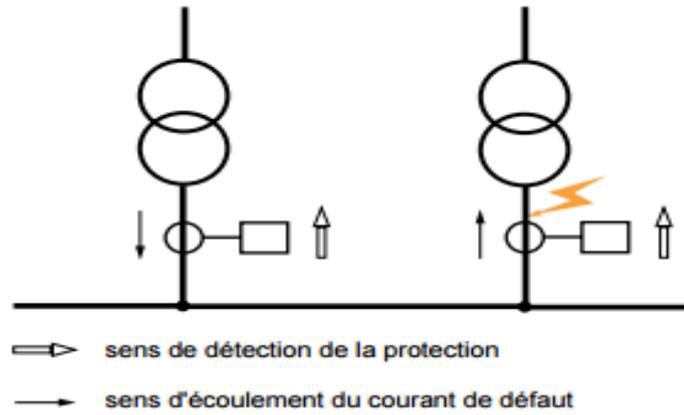
Cependant, cette solution pourrait compromettre l'ouverture du disjoncteur alimentant la GED. En effet, dans certains cas, l'augmentation du réglage de la protection P2 pourrait occasionner l'aveuglement de cette protection. ( $I_{df} < I_{seuil\ P2}$ )

**Mise en place d'une protection directionnelle au niveau du départ alimentant la GED :**

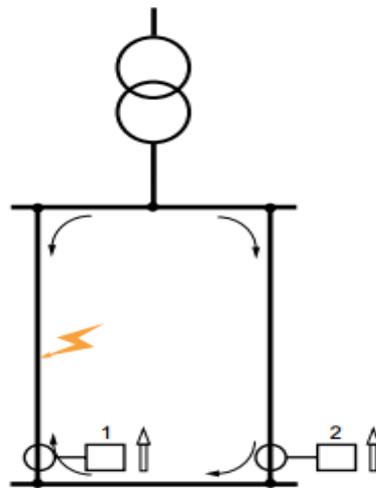
**Protection directionnelle :** Une protection directionnelle est un type de protection électrique se servant du sens du courant ou de l'écoulement de la puissance, active ou réactive, pour déterminer si la zone protégée subit un défaut. Lors l'une de ces trois valeurs dépassent un seuil et que le sens est anormal, la protection déclenche. Elle est utilisée pour protéger des lignes, des alternateurs, des transformateurs.

Les protections directionnelles de phase sont utilisées sur un réseau dans le cas d'un poste alimenté par plusieurs sources simultanément. Pour obtenir une bonne continuité de service, il est important qu'un défaut affectant une des sources n'entraîne pas le déclenchement de toutes les sources.

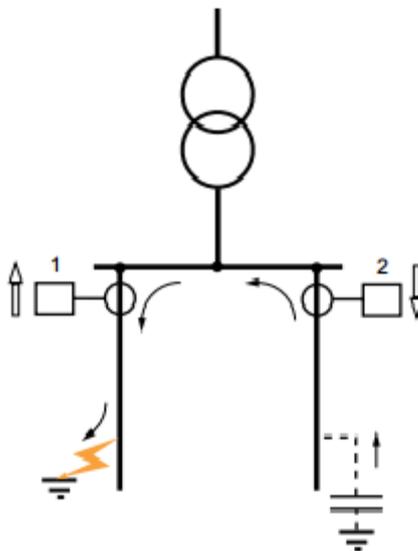
Les figures suivant montrent le rôle de la protection directionnelle :



**Figure 22:** illustration du rôle des protections directionnelles



**Figure 23:** la protection directionnelle (1) déclenche car le sens d'écoulement du courant est anormal



**Figure 24 :** La protection directionnelle de courant résiduel (2) ne déclenche pas car le sens du courant est inversé.

## Conclusion

Durant le PFE nous avons effectuée les tâches :

- Etudes des réseaux de distribution de la RADEEF.
- Etudes la production d'électricité par les énergies renouvelables.
- Description de la centrale électrique au biogaz de Fès.
- Etudes l'impact de la production décentralisée sur le réseau électrique en particulier l'impact sur le plan de protection et l'impact sur les transits de puissance ainsi sur les courants de court-circuit
- Proposition des solutions pour résoudre les problèmes du déclenchement intempestif des protections au sein de la RADEEF à cause de la nouvelle centrale de biogaz.

Ce stage nous a permis d'appliquer et de rendre pratique nos connaissances acquises au cours de notre parcours scolaire. Il nous a permis l'implication dans la vie active et professionnelle avant l'obtention du diplôme.

Outre les bénéfices techniques, ce stage au sein de la RADEEF a contribué à développer le côté ingénieur de l'élève ingénieur à savoir l'esprit d'équipe et le sens de responsabilité. Sans oublier tous les nouveaux contacts que nous avons établis avec le personnel qui nous a encadrés et qui nous servirait dans l'avenir.

On a aussi beaucoup appris en ce qui concerne la conduite au sein d'une entreprise : le règlement, la hiérarchie, le respect, le sérieux, le dévouement, la rigueur et la persévérance.

# BIBLIOGRAPHIE

- <http://www.radeef.ma/>
- <https://fr.wikipedia.org/>
- Document, ARCHITECTURES DES RESEAUX DE DISTRIBUTION DU FUTUR EN PRESENCE DE PRODUCTION DECENTRALISEE.
- Rapport RADDEF 2013 , Amélioration du rendement du réseau BT de la RADEEF.
- Document, Protections des installations de production raccordées au réseau public de distribution.( <http://www.enedis.fr/>).
- Document, les protections directionnelles (<http://www2.schneider-electric.com/>).
- Document, protection découplage. (<https://www.vialis.tm.fr>)
- Document, Plan de protection des réseaux HTA ([http://www.iufmrese.cict.fr/liste/Doclidie/B6121\\_principes\\_protection.pdf](http://www.iufmrese.cict.fr/liste/Doclidie/B6121_principes_protection.pdf))
- <http://www.fellah-trade.com/fr/produire/conseil-technique/bio-gaz>
- <http://f.holst.pagesperso-orange.fr/TP%201TSEL/TP20.pdf>