

*A toute personne qui m'est chère dans  
ce monde*

*Khadidja*

*Je dédie ce travail à ma famille,  
Mes chers parents sans qui rien de tout  
Cela n'aurait été possible,  
Mes frères et sœurs*

*Ikram*

# Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier Monsieur Z. SARI, qui nous a encadrées tout au long de ce projet de fin d'études. Nous lui sommes reconnaissantes pour son aide, ses efforts et le partage de ses connaissances, son expérience, ses précieux conseils et sa vision qui nous ont permis de réussir notre travail.

Nous remercions sincèrement Monsieur S. ABDI, maître de conférences classe B à l'ESSA Tlemcen d'avoir eu l'amabilité d'accepter la présidence de ce jury.

Nous remercions aussi Monsieur C. SELADJI, Professeur à l'université de Tlemcen, de nous honorer par sa présence parmi nous aujourd'hui en tant que membre du jury.

Nos remerciements également Madame I. BOUSMAHA, maitre-assistante classe B à l'ESSA Tlemcen, pour avoir bien voulu faire partie de ce jury.

Nous saisissons cette occasion pour remercier tous les enseignants de l'ESSA Tlemcen et toute personne qui nous a soutenues tout au long de notre cursus académique.

Nous témoignons notre gratitude à nos amis qui nous ont accompagnés par leur présence et leurs encouragements, qui ont rallumé notre lumière dans les moments les plus sombres

Certains sont là, certains sont loin, d'autres partis.

Merci à tous pour votre contribution de près ou de loin à cet ouvrage.

## Résumé

La tendance mondiale s'oriente vers les énergies renouvelables, en 2017, 25% de l'électricité produite dans le monde était de sources renouvelables. L'injection des énergies renouvelables dans le réseau de distribution pose beaucoup de problèmes, sur le plan de protection et sur le plan de tension. La structure actuelle du réseau ne peut pas accueillir une grande puissance renouvelable. Pour cela nous avons abordé dans notre thèse de mastère le domaine de l'injection des énergies renouvelables sur le réseau de distribution. Notre travail consiste à faire une recherche sur les défauts qui auront lieu lors de l'intégration de ressources renouvelables et de proposer des solutions pour éliminer ces défauts.

## Abstract

In 2017, 25% of the electricity produced in the world was from a renewable source. The integration of distributed energy sources in general causes lot of problems in the electrical grid. both in terms of protection and in terms of voltage. The current structure of the grid cannot fit to receive high electrical power. For that reason we have done our thesis in the field of renewable energy injection in the distribution electrical grid. Our job is to research the flaws that will occur when integrating renewable resources and to propose solutions to eliminate them in order to ensure high quality of energy.

## ملخص

إن استخدام الطاقات المتجددة قد عرف انتشارا واسعا في الآونة الأخيرة، حسب إحصائيات أجريت سنة 2017، أثبت ان 25% من الطاقة الكهربائية المنتجة في العالم ذات مصدر متجدد. وعلى إثر هذا، فإن شبكة توزيع الكهرباء قد عرفت تغيرات جذرية، سواء على مستوى أنظمة الحماية او على طرق تعديل التوتر الكهربائي. إضافة الى هذا فان ادماج الطاقات المتجددة أدى الى ظهور العديد من المشاكل والأعطال مما أثر على جودة الطاقة الكهربائية، وعلى إثر هذا قمنا باختيار مجال إدماج الطاقات المتجددة في شبكة توزيع الكهرباء كموضوع بحث، الهدف منه اقتراح حلول للتسيير الأمثل للطاقات المتجددة والحرص على توزيع الطاقة الكهربائية بجودة عالية

## Sommaire

Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux.....	v
Introduction générale .....	1
I Chapitre I Généralités sur le réseau électrique.....	2
I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition d'un réseau électrique :.....	3
I.3 Caractéristiques d'un réseau électrique : .....	3
I.4 Description du réseau électrique national :.....	5
I.4.1 La société de production de l'électricité :.....	5
I.4.2 Sharikat kahraba wa takat moutadjadida :.....	6
I.4.3 Gestionnaire du Réseau de Transport de l'Electricité : .....	6
I.4.4 L'évolution du réseau électrique national en chiffres .....	7
I.5 Le système de télégestion du réseau électrique : .....	7
I.5.1 Nécessité de surveiller et commander à distance les installations.....	8
I.5.2 Télécouduite du réseau : .....	8
I.5.3 Télésurveillance :.....	9
I.5.4 La télé-relève : .....	9
I.5.5 La télémessure.....	10
II Chapitre II Les principaux défauts dans un réseau électrique.....	11
II.1 Types des pannes électriques dans un réseau .....	12
II.1.1 Défauts permanents.....	12
II.1.2 Défauts transitoires .....	12
II.1.3 Courants de court-circuit.....	12
II.1.3.1 Types de court-circuit.....	12
II.1.4 Les surtensions :.....	13

II.1.4.1	Surtensions de manœuvre :.....	14
II.1.4.2	Surtensions à fréquence industrielle :.....	14
II.1.4.3	Surtensions causées par des décharges électrostatiques.....	14
II.1.4.4	Surtensions d'origine atmosphérique : foudre.....	14
II.1.5	Les surcharges :.....	15
II.1.5.1	Les origines de surcharges.....	15
II.2	Défauts affectant les câbles.....	16
II.2.1	Chutes de tension.....	16
II.2.2	Effets de la foudre.....	16
II.2.3	Rupture de synchronisme du réseau électrique :.....	17
II.2.3.1	Le synchronisme :.....	17
II.2.3.2	La rupture de synchronisme :.....	17
II.2.3.3	Les conséquences de la rupture du synchronisme :.....	17
II.3	Les solutions proposées :.....	18
II.3.1	Le calibrage :.....	18
II.3.2	Equilibrage :.....	19
II.3.3	Le réglage :.....	20
II.3.3.1	Réglage de la fréquence :.....	21
II.3.3.2	Réglage de tension :.....	22
III	Chapitre III Les pannes dans un réseau électrique lors de l'injection d'une source renouvelable (photovoltaïque).....	25
III.1	La production électrique des énergies renouvelables :.....	26
III.1.1	Centrales photovoltaïques en Algérie :.....	28
III.1.2	L'injection des énergies renouvelables (photovoltaïque) dans le réseau électrique.....	29
III.1.2.1	Systemes à connexion directe.....	29

III.1.2.2	Système a bus continu intermédiaire : .....	30
III.2	Les pannes dans un réseau électrique liées à l'injection des ressources renouvelables :     33	
III.2.1	La surtension aux points d'injection : .....	34
III.2.2	La pollution du réseau électrique par des harmoniques : .....	35
III.2.3	Le déséquilibre entre phases : .....	35
III.2.4	Le problème de congestion : .....	35
III.3	Les solutions proposées pour éliminer les pannes : .....	36
III.3.1	Limitation du taux du THD par éloignement du premier terme de la commande MLI vers les hautes fréquences : .....	36
III.3.2	Le filtrage des harmoniques : .....	36
III.3.3	Réglage de la tension : .....	36
III.3.4	Les solutions proposées pour le traitement de la congestion : .....	37
III.3.5	La solution du futur .....	38
III.3.5.1	Notion de smart grid : .....	38
III.3.5.2	La modulation de la consommation : .....	39
III.3.5.3	Le stockage : .....	40
IV	Conclusion générale : .....	42
	Bibliographie .....	43

## Liste des figures

Figure I-1 schéma récapitulatif du transport de l'électricité du producteur aux consommateurs .....	4
Figure I-2 Schéma du réseau électrique avec les différentes gammes de tension .....	5
Figure II-1 Les différents types de courts-circuits.....	13
Figure II-2 Les principales caractéristiques d'une surtension .....	14
Figure II-3 Les formes typiques de différentes surtensions.....	15
Figure II-4 Les éléments qui constituent un poste HTA/BT.....	19
Figure II-5 La courbe de charge de 18/02/2016 donnée par l'opérateur système (OS).....	20
Figure III-1 Programme algérien des énergies renouvelables. [1.7].....	27
Figure III-2 diagrammes représentant la contribution des énergies renouvelable dans la production électrique mondiale en 2017 .....	27
Figure III-3 Mise en série de Plusieurs modules PV à un seul onduleur.....	29
Figure III-4 Bus à basse tension alternative.....	30
Figure III-5 Convertisseur de type forward alimentant le bus continu .....	30
Figure III-6 structure d'un convertisseur de type fly-back .....	31
Figure III-7 Structure d'un système photovoltaïque raccordé au réseau électrique. [1.2].....	32
Figure III-8 Les flux d'énergie dans un réseau de distribution [1.10].....	33

## Liste des tableaux

Tableau III-1 diagrammes représentant la contribution des énergies renouvelable dans la production électrique mondiale en 2017 .....	28
--	----

## Introduction générale

Le réseau électrique est une structure sensible aux perturbations, pour cela de grands efforts sont fournis pour assurer la continuité d'alimentation, la qualité de l'onde de tension et la qualité de service. La qualité d'énergie est définie par ces trois paramètres. L'intégration des énergies renouvelables influe principalement sur la qualité d'énergie, dont elle engendre des perturbations, et des changements globaux sur la structure du réseau.

L'injection des ressources renouvelables (le photovoltaïque, éolienne ...) nécessite des équipements d'électronique de puissance (onduleurs, redresseurs ...) Ces équipements sont à base de semi-conducteur (diodes, transistors, IGBT...). L'utilisation de ces équipements engendre des harmoniques, au-delà de 10% le taux de THD est considéré élevé et il risque d'un dysfonctionnement et un échauffement des appareils.

Notre thèse de master représente un travail de recherche bibliographique qui a pour but de faire une initiation à la recherche dans le domaine de l'injection des énergies renouvelables. Ce sujet représente un thème d'actualité, et un nouvel axe de recherche.

Dans le premier chapitre, nous avons parlé de la structure générale du réseau électrique et le système de télégestion, où nous avons décrit les réseaux électriques en générale.

Dans le deuxième chapitre nous avons cité les défauts les plus fréquents dans un réseau ainsi que leurs origines, et puis nous avons passé aux méthodes classiques appliquées pour assurer la stabilité des systèmes électriques.

Dans le troisième chapitre nous avons abordé les différents types de la production décentralisée d'origine renouvelable. Nous avons détaillé l'injection de la production photovoltaïque au réseau de distribution. Ensuite nous avons parlé des différents phénomènes causés par l'injection de la production décentralisée et les défauts engendrés. Le réseau actuel doit disposer de nouvelles méthodes de réglage pour faire face à ces défauts. Pour cette raison nous avons cité certains travaux ayant pour but d'assurer la fiabilité des réseaux électriques même avec l'injection de la production décentralisée

# **I Chapitre I Généralités sur le réseau électrique**

### I.1 Introduction

La notion d'un réseau électrique a connu un véritable développement ces dernières années. Cela est dû principalement à l'intégration des nouvelles sources de production électrique (la production décentralisée) ainsi que les technologies récentes de télégestion. Le réseau électrique est devenu un ensemble de systèmes en interactions, dont les informations fournies par le client permettent de faire des économies d'énergie.

### I.2 Définition d'un réseau électrique :

Un réseau est considéré comme un système critique et complexe. Il est constitué de plusieurs éléments qui interagissent entre eux. L'ensemble de ces éléments définissent les caractéristiques d'un réseau électrique, parmi eux :

Il provoque beaucoup de phénomènes physiques comme (la propagation des ondes, l'effet Joule, l'effet de peau, l'effet couronne...

La multitude de sources qui sont localisées dans des zones éloignées des consommateurs [1.3]

### I.3 Caractéristiques d'un réseau électrique :

Le réseau électrique classique présente des inconvénients majeurs, comme les pertes et les défauts et la difficulté d'établir un équilibre permanent entre la demande et la production.

Le rôle d'un réseau électrique n'est pas dévolu seulement à l'acheminement de la puissance produite. Aujourd'hui le réseau assure pas mal de fonctionnalités qui servent les clients et assurent des économies d'énergies.

Les réseaux électriques d'aujourd'hui sont plus fiables à l'aide des nouvelles technologies de télégestion et l'intégration des différents ouvrages qui communiquent quotidiennement des données de consommation avec le gestionnaire réseau de distribution électrique. Les pannes sont détectées rapidement, localisées précisément, réparées instantanément, là le réseau assure une alimentation de l'électricité en permanence.

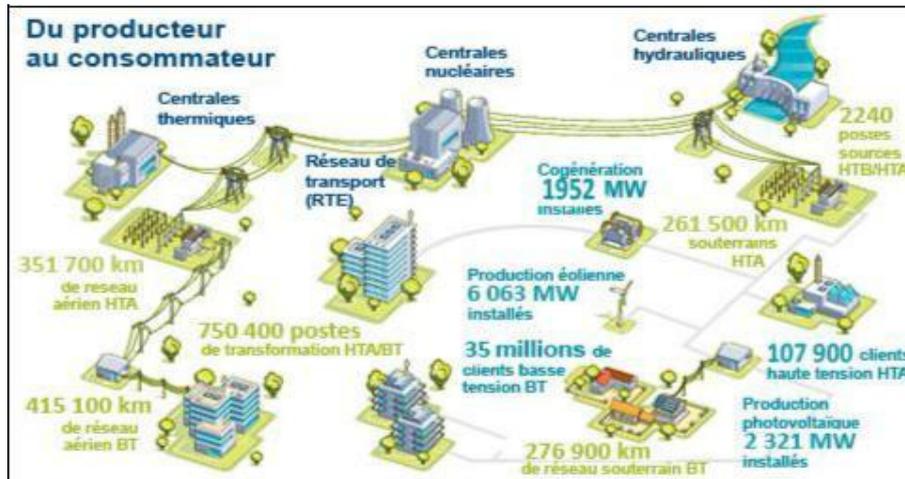


Figure I-1 schéma récapitulatif du transport de l'électricité du producteur aux consommateurs

Le réseau électrique est structuré comme suit :

L'architecture des réseaux électriques est conçue d'une manière verticale où les transferts de l'énergie suivent le schéma dit « du haut en bas » : Production - Transport- Distribution.

La production est la première étape qui se fait grâce aux turbo-alternateurs qui transforment l'énergie mécanique des turbines en énergie électrique à partir d'une source primaire (gaz, pétrole, hydraulique...) ou des centrales à ressources renouvelables comme les fermes éolienne ou solaire. La production électrique est ensuite injectée dans le réseau de transport qui assure le transport régional à travers des postes de transformation transmise dans des lignes à haute ou très haute tension, plus les distances sont grandes plus la tension doit être élevée. Le réseau de répartition, très diversifié, prend sa source dans le réseau de transport à partir des postes d'interconnexion THT/HT (MT) et sert à fournir aux gros consommateurs industriels sous haute ou moyenne tension. A la fin de l'acheminement vient la distribution qui a pour mission d'alimenter les consommateurs en moyenne ou en basse tension, grâce à des postes de transformation MT/BT.

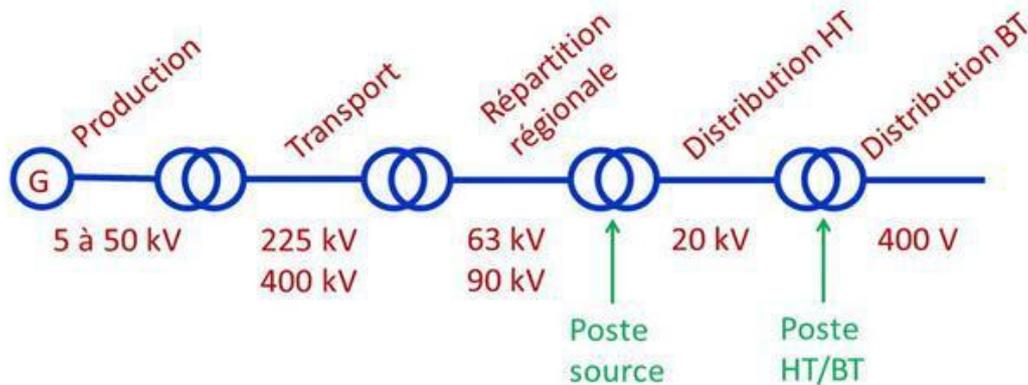


Figure I-2 Schéma du réseau électrique avec les différentes gammes de tension

Le schéma dans la figure I.2 est un exemple qui montre les différentes gammes de tension au niveau de chaque partie du réseau, la production se fait en moyenne tension dans l'intervalle [5 KV 50KV]. Pour minimiser les pertes, la tension est transportée de longues distances en THT (très haute tension, 225KV ou plus). Au niveau des postes sources, la tension est abaissée jusqu'à 20KV. Enfin les postes HTA/BT donnent à leurs sorties la basse tension qui sera distribuée au client.

#### I.4 Description du réseau électrique national :

Dans le réseau Algérien d'énergie électrique, la production est assurée par deux filiales de SONALGAZ :

##### I.4.1 La société de production de l'électricité :

La SPE, la société de production de l'électricité responsable de la production de l'électricité par les méthodes conventionnelles à base d'énergies fossiles telles que les centrales thermiques à vapeur, à gaz ou les centrales à cycle combiné. Sa mission principale est la production d'électricité en répondant aux exigences de disponibilité, fiabilité et sécurité. Son activité s'étend sur tout le territoire national. Elle possède le plus grand parc de production développé à ce jour : c'est l'opérateur principal sur le réseau interconnecté (réseau des centrales de production). Son plus grand défi est de faire face à la demande sans cesse croissante de l'énergie électrique en utilisant et en valorisant au mieux les ressources primaires et en préservant l'environnement [2.11]

### **I.4.2 Sharikat kahraba wa takat moutadjadida :**

La deuxième filiale est SKTM, créée le 07 avril 2013. Sharikat kahraba wa takat moutadjadida est responsable de la production de l'électricité à partir de sources renouvelables : production décentralisée. Elle a pour mission principale l'exploitation des réseaux d'énergie électrique isolés du sud et des énergies renouvelables sur tout le territoire national. Elle est responsable de la gestion et la maintenance d'une vingtaine de champs photovoltaïques et de fermes éoliennes majoritairement installées au sud du pays. Notons que la commercialisation de l'énergie produite pour les filiales de distribution est l'une de ses activités. [2.8]

### **I.4.3 Gestionnaire du Réseau de Transport de l'Electricité :**

D'autre part, le transport de l'électricité est assuré par la filiale GRTE, Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité, créée le 1er janvier 2004. GRTE est chargé de l'exploitation, de la maintenance et du développement du réseau de transport de l'électricité.

Ce réseau est constitué d'un ensemble d'ouvrages lignes et postes haute tension (60, 90, 150, 220 et 400 kV) équipé d'un réseau de télécommunication pour la surveillance, le contrôle et la télécommande de ses différents équipements afin de garantir le transport de la capacité adéquate aux besoins de transit et de réserve.

Le réseau national possède des interconnexions internationales (Tunisie et Maroc) et certaines parties isolées au sud. Et donc, il raccorde principalement les groupes de production, les réseaux de distribution, les clients HT et les connexions avec les réseaux de transports des pays voisins.

En 2013, GRTE a assuré un transit de 52900 GWH avec un réseau composé de :

25000 km de lignes dont 2500 km en 400 kV

283 postes (dont 12 en 400 KV) dotés d'une capacité de transformation de 48800MVA à travers 773 transformateurs et cabines mobiles

Un réseau de fibre optique de 16000 km.

GRTE assure le transit pour les quatre Sociétés de distribution d'électricité (y compris les clients industriels qui sont clients de ces sociétés de distribution). [2.6]

Afin d'acheminer l'électricité aux consommateurs, une autre filiale de SONALGAZ joue un rôle très important : la distribution de l'électricité transportée. Créée le 2017, la Société

Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz, dénommée « SDC.Spa » assure l'activité de distribution de l'électricité pour tous les clients de basse et moyenne tension.

Son activité se divise sur deux grands axes, l'achat des deux énergies (Electricité et gaz) et leur vente aux clients finaux. Elle gère un réseau électrique composé de 17300 km en Basse Tension et 14400 km en Moyenne Tension soit un total de 316350 km. L'exploitation et la maintenance de ce réseau de distribution d'électricité est l'une de ses activités. Elle met au service de ses 8900000 clients d'électricité pas moins de 190 Districts Electricité afin de garantir :

- La distribution et la commercialisation d'énergie, sur la totalité du territoire national
- L'adéquation permanente avec les besoins des clients.
- La satisfaction de la demande de raccordement des clients. [2.7]

### **I.4.4 L'évolution du réseau électrique national en chiffres**

Afin de répondre au besoin des consommateurs qui ne cesse d'augmenter, le réseau électrique algérien a connu un grand développement depuis 2000 jusqu'à 2017 :

La capacité installée est passée de 5,9 GW en 2000 à 19,5 GW en 2017. Les perspectives en 2027 sont à 3,7 GW.

Le réseau de transport d'électricité est passé de 12300 Km en 2000 à 29400Km en2017. Les perspectives en 2027 sont à 62300Km

Le réseau de distribution est passé de 193000 Km en 2000 à 329300Km en 2017. Les perspectives en 2027 sont à 458000 Km.

Le nombre de clients a augmenté en passant de plus de 4,5 millions de clients en 2000 à 9 millions de clients en 2017. Les perspectives en 2027 sont à 13 millions de clients.

### **I.5 Le système de télégestion du réseau électrique :**

Le transport de l'énergie électrique depuis les centres de production jusqu'aux centres de consommation est assuré par un réseau complexe. Celui-ci interconnecte l'ensemble des centres de production et des clients, et permet les échanges avec l'étranger. Grâce à ce réseau, on peut équilibrer en permanence la production et la consommation, optimiser techniquement et économiquement l'utilisation du parc de production et garantir un acheminement satisfaisant de l'énergie. Cette opération, essentielle pour le fournisseur d'énergie électrique, est appelée conduite d'un système de production-transport. [2.21]

### **I.5.1 Nécessité de surveiller et commander à distance les installations**

Le fonctionnement d'un réseau peut être perturbé par différents facteurs dont les principaux sont :

Variation de charge nécessitant des modifications telles que la mise en route ou arrêt de générateurs...

Un défaut tel qu'un court-circuit, une défaillance d'un équipement, de fausses manœuvres, des causes accidentelles...

Les incidents peuvent se produire à tout moment et n'importe où. Pour assurer l'équilibre production-consommation et également la qualité de service, on est dans l'obligation d'éliminer toute perturbation dans les plus brefs délais en minimisant le temps d'interventions. Pour cela une surveillance en temps réelle de l'ensemble des équipements du réseau, géographiquement dispersés, est strictement nécessaire. L'automatisation de l'appareillage (électrique et électromécanique) de contrôle-commande installé dans les postes est d'une priorité majeure pour pouvoir assurer en temps réel la protection et l'intégrité des réseaux ainsi que la continuité du service. Ces opérations sont garanties par le gestionnaire du réseau, le chef d'orchestre qui a la maîtrise directe des moyens de conduite. Il s'agit de préparer les situations à venir, d'anticiper les possibles difficultés et de maîtriser le système, depuis les centres de conduite.

### **I.5.2 Téléconduite du réseau :**

Dans tous les centres de conduite de réseau, il est nécessaire de disposer à tout instant d'informations sur l'état du réseau et de ses moyens d'action. Ce besoin est satisfait grâce à l'utilisation de systèmes de téléconduite. C'est la conduite à distance du fonctionnement du réseau avec une circulation permanente des informations à l'aide d'un réseau de télécommunication : les informations issues des postes de conduite fixes, ou mobiles sont télécommuniquées et centralisées dans un centre de téléconduite.

La téléconduite agit principalement sur les postes électriques, installations complexes qui assurent l'interconnexion des lignes et la transformation des niveaux de tension.

Dans la pratique le terme téléconduite englobe les fonctions de télésignalisation, télésurveillance, télémessure, et télécommande. Ces fonctions peuvent se répartir en deux groupes liés au sens de transmission entre l'exploitant et le réseau :

Télésurveillance, des appareils vers l'exploitant

Télécommande, de l'exploitant vers les appareils

Actuellement, le télécontrôle et la télécommande [1.] sur le réseau de transport se fait à partir de systèmes de type SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ou, plus récemment, WAMS (Wide Area Measurement System). Ce sont des systèmes de téléconduite centralisée qui assurent la surveillance des équipements électriques, mécaniques ou électroniques d'un réseau, et qui permettent aux opérateurs, depuis le centre de contrôle, de traiter, en temps réel, les différents types d'incidents. [1.6]

### **I.5.3 Télésurveillance :**

Elle regroupe toutes les signalisations du réseau comme le déclenchement ou l'enclenchement des appareils, la mesure des consommations instantanées ou pondérées dans les différentes parties du réseau électrique, et toute autre information permettant de connaître l'état réel du réseau. Notons qu'il ya une auto-surveillance, assurée par un « chien de garde » (Watch dog) basé sur un PC industriel qui s'informe en permanence de l'état des composants du système (les processeurs, les équipements de communication, les différents postes asservis, l'alimentation électrique de secours).

Aujourd'hui, la télésurveillance a la capacité d'analyser et de faire la synthèse des informations reçues afin de fournir automatiquement et en continu toutes les informations nécessaires pour conduire le réseau en temps réel, ou pour en effectuer une analyse et des commandes par exemple, la reconfiguration du réseau après un défaut. De plus, à partir des informations de télésurveillance, l'exploitant peut visualiser des schémas d'exploitation, les valeurs des grandeurs d'exploitation (courants, tensions, puissances...), les valeurs de réglage des protections HTA, le contenu détaillé des alarmes, leur chronologie d'apparition...

### **I.5.4 La télé-relève :**

La télé-relève permet la lecture automatique des données à partir des compteurs, pour les gestionnaires de réseau. Ces données sont utilisées pour la facturation et ils servent aussi à établir l'équilibre des réseaux. Pour l'utilisateur cette opération a pour but de suivre sa

consommation et sa production et de réaliser des économies d'énergie de l'ordre de 5 à 20 %.  
[1,9 ]

La télé-relève permet aussi d'avoir des informations pour tracer des courbes qui décrivent la consommation et la production en temps réel. Ces courbes sont utilisées pour la gestion de l'énergie en termes de la quantité consommée et le coût des kilowattheures qui varie à son tour avec le temps les périodes et la demande, pour faire une analyse précise de soutirage et injection sur réseau.

Pour réaliser une télé-relève, il existe plusieurs technologies à exploiter comme : les ondes radio, le réseau téléphonique commuté RTC, le courant porteur de ligne, et le haut débit... le point en commun entre ces technologies c'est le transfert des données sous forme d'un signal. Mais chacune a ses particularités.

La technologie des ondes radio et haut-débit nécessite la mise en place d'un réseau d'émetteur/récepteur parallèle (des fibres optiques ou des réseaux sans fils...) Ce qui implique que le coût d'implémentation sera très élevé. Par contre la technologie de courant porteur de ligne utilise le réseau électrique lui-même pour transporter un signal qui contient des informations télé-relevées. La technique de courant porteur de ligne CPL a été officiellement mise en service en 2013. Son principe de fonctionnement est la superposition d'un signal porteur de l'information sur le signal électrique de 50HZ. Théoriquement, il n'y aura pas d'interférence car les deux signaux sont de différentes gammes de fréquences, sachant que le signal porteur de ligne fonctionne entre 1.6 et 30 MHz. La récupération du signal quand il atteint sa destination se fait par un filtre passe-haut mais en pratique il y a toujours des une probabilité infime que l'information soit détruite ou perturbée.

### **I.5.5 La télémesure**

Comme son nom l'indique, c'est une technique permettant d'obtenir à distance les valeurs de mesures effectuées dans des installations techniques en temps réel. Les appareils de mesures ou les capteurs sont mis en marche à distance. Ces mesures sont télé-relevées grâce au réseau de télécommunication.

## **II Chapitre II Les principaux défauts dans un réseau électrique**

## II.1 Types des pannes électriques dans un réseau

### II.1.1 Défauts permanents

Ils sont consécutifs à une avarie de matériel : détérioration d'une chaîne d'isolateurs, rupture d'un conducteur, échauffement d'une pièce de jonction, avarie d'un ou plusieurs supports. La ligne, dans ce cas, ne peut être remise immédiatement en service et sa réparation nécessite la localisation du défaut puis l'intervention d'une équipe technique. Généralement, ces défauts prennent naissance suite à un court circuit. [1.11]

### II.1.2 Défauts transitoires

Les défauts transitoires qui peuvent affecter le bon fonctionnement du réseau sont généralement de nature externe. Il s'agit de l'impact direct ou indirect d'un coup de foudre. D'autres surtensions transitoires dites "transitoires de manœuvres" sont à prendre en compte pour la coordination de l'isolement, mais ces dernières relèvent du bon fonctionnement du réseau (déclenchement, enclenchement et ré-enclenchement d'une ligne). . [1.11]

### II.1.3 Courants de court-circuit

Les courants de court-circuit, notés  $I_{cc}$ , naissent dans les conducteurs d'un système de transmission d'énergie électrique. Et cela lorsqu'un défaut d'isolation apparaît entre deux ou plusieurs conducteurs (conducteurs de polarité différente entrent en contact). Ils peuvent être auto-extinctif ou fugitifs, interne ou externe. Les courants de court circuit entraînent une décharge de courant nettement supérieure à la normale. Ce qui cause une élévation de la température des conducteurs qui peut provoquer un incendie.

La foudre, les surtensions de manœuvre, les erreurs de câblage, la présence d'un animal ou d'une branche... sont les causes de  $I_{cc}$  les plus fréquentes.

#### II.1.3.1 Types de court-circuit

On distingue plusieurs types de courts-circuits :

le court-circuit PT entre une phase du réseau et la terre, 83 % des cas (figure a)

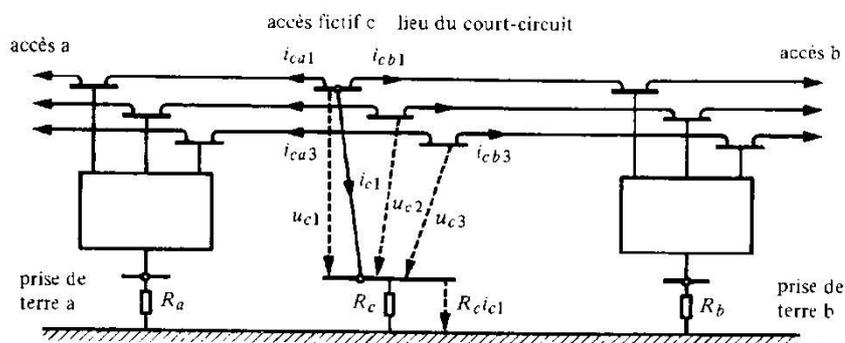
le court-circuit PP entre deux phases du réseau, 9 % des cas (figure b)

le court-circuit PPT entre deux phases du réseau et la terre, 5 % des cas (figure c)

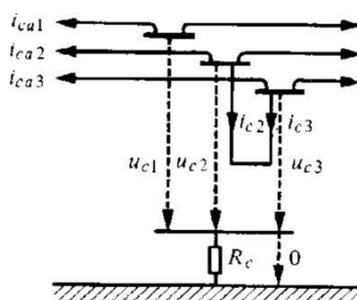
le court-circuit PPP entre les trois phases, 1.5 % des cas (figure d)

le court-circuit PPPT entre les trois phases et la terre, 1.5% des cas (figure e).

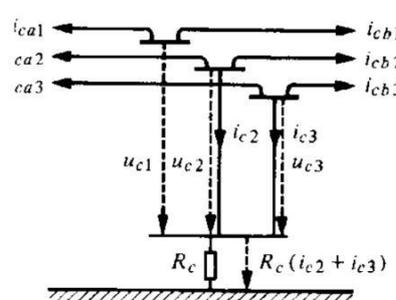
Ces deux derniers types, appelés aussi triphasés symétriques, sont peu fréquents. . [1.9]



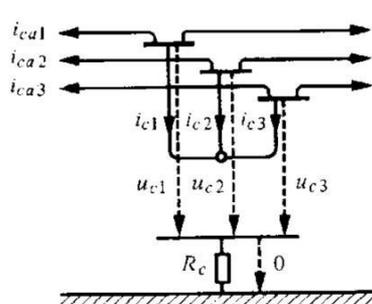
(a) Défaut PT.



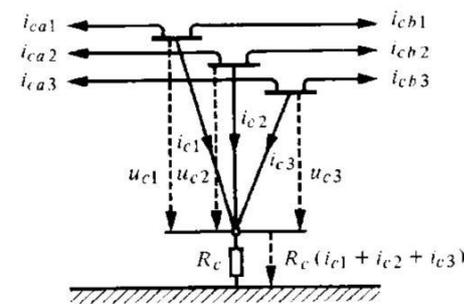
(b) Défaut PP.



(c) Défaut PPT.



(d) Défaut PPP.

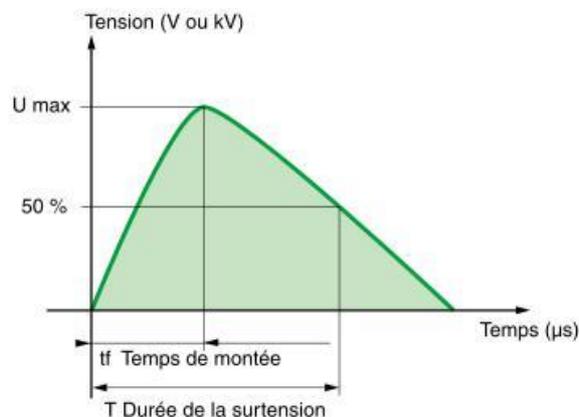


(e) Défaut PPPT.

Figure II-1 Les différents types de courts-circuits.

### II.1.4 Les surtensions :

Une surtension est une impulsion ou une onde de tension qui se superpose à la tension nominale du réseau. Une surtension perturbe les équipements et produit un rayonnement électromagnétique. En plus, la durée de la surtension (T) cause un pic énergétique dans les circuits électriques qui est susceptible de détruire des ouvrages.



**Figure II-2 Les principales caractéristiques d'une surtension**

Tel que la figure 4 le montre, la surtension est caractérisée par sa durée qui a un effet direct sur la durée du défaut et le temps de montée qui décrit la gravité du défaut. la courbe de charge de 18/02/2016 donnée par l'opérateur système national (OS)

Quatre types de surtension peuvent perturber les installations électriques et les récepteurs :

### *II.1.4.1 Surtensions de manœuvre :*

Surtensions à haute fréquence ou oscillatoire amortie causées par une modification du régime établi dans un réseau électrique, lors d'une manœuvre d'appareillage à savoir un organe de coupure.

### *II.1.4.2 Surtensions à fréquence industrielle :*

Surtensions à la même fréquence que le réseau (50, 60 ou 400 Hz) causées par un changement d'état permanent du réseau suite à un défaut : défaut d'isolement, rupture conducteur neutre.

### *II.1.4.3 Surtensions causées par des décharges électrostatiques.*

Surtensions à très haute fréquence très courtes (quelques nanosecondes) causées par la décharge de charges électriques accumulées.

### *II.1.4.4 Surtensions d'origine atmosphérique : foudre*

Leur conséquence majeure est claquage de l'isolation et son vieillissement. Elles sont d'autre effet comme la surcharge, l'échauffement...

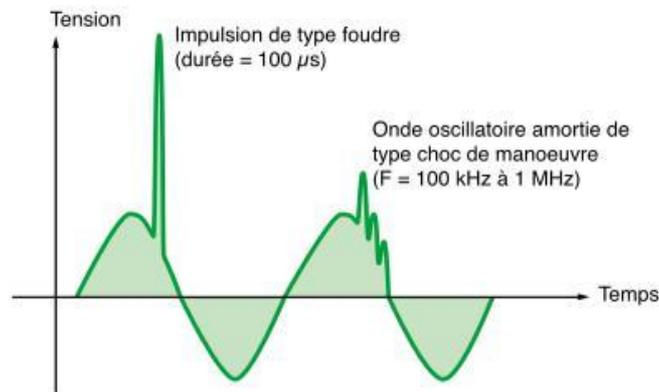


Figure II-3 Les formes typiques de différentes surtensions

La figure 5 montre la forme typique des surtensions qui comportent une série d'impulsions rapides. Les impulsions initiales rapides sont dues à l'amorçage des isolateurs se trouvant sur les pylônes les plus proches du point d'impact. Par contre la forme d'onde plus lisse avec une seule impulsion a une forme similaire à celle du courant de foudre.

### II.1.5 Les surcharges :

Une surcharge électrique est, par définition, une quantité trop importante de courant qui passe dans un fil électrique. Ce phénomène cause l'échauffement du câble et augmente le risque de provoquer un incendie. En d'autres termes, la surcharge électrique est due au passage d'une intensité supérieure à celle prévue.

A la différence du court-circuit, qui provoque une forte augmentation de l'intensité en un temps très bref, la surcharge électrique provoque une hausse moindre de l'intensité mais qui dure dans le temps. À moyen et long terme, cela peut conduire à des échauffements des fils électriques et à des risques d'incendie. . [2.17]

#### II.1.5.1 Les origines de surcharges

Il existe différents origines de surcharge, à titre d'exemple nous citons :

Les courts-circuits.

Les reports de charge (mauvaise répartition de charges électriques). Les pointes de consommation (appareil utilisé au-delà de sa puissance nominale).

L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes sur le réseau et accélèrent le vieillissement des équipements de réseau.

### II.2 Défauts affectant les câbles

Les défauts des câbles électriques représentent une nuance sur le transport d'énergie ou la transmission de signaux à savoir la perte du signal électrique, la mise hors tension d'un système complet, d'incendies ou parfois même d'explosions. Ces défauts peuvent causer la détérioration des équipements connectés sur le réseau de câbles à cause de la surtension. On peut séparer les défauts sur les câbles en deux grandes familles :

Les défauts **d'origine externe** peuvent être dus soit à:

- Une agression mécanique externe,
- Une pénétration d'eau,
- Un défaut de montage.

Les défauts **d'origine interne** sont nombreux, en premier lieu des défauts de fabrication. Ils sont susceptibles de

Altérer un diélectrique.

Provoquer le vieillissement, au cours du temps

Provoquer en particulier une diminution de la rigidité diélectrique.

Ils sont responsables de la majorité des claquages intervenant des mois, voire des années après la mise sous tension. . [1.8]

#### II.2.1 Chutes de tension

Les conducteurs électriques se comportent comme des résistances de faible valeur : lorsque le courant traverse ces fils, il y a des pertes par effet joule. Sur des grandes longueurs de câble, l'effet est amplifié – on parle de chute de tension en ligne. La tension au bout du câble est inférieure à la tension électrique au début du câble. La chute de tension électrique dans les câbles électriques est un élément à ne pas négliger. Un mauvais choix dans la section de votre fil électrique peut vous conduire tout droit au non-respect de la norme NF C 15-100.

#### II.2.2 Effets de la foudre

La foudre est un courant électrique à haute fréquence qui entraîne les mêmes effets que tout autre courant circulant dans un conducteur électrique notamment les effets thermiques (effet joule) ainsi que les effets acoustiques (tonnerre) et les effets lumineux.

### **Effets d'un coup de foudre direct sur une ligne électrique :**

Lorsqu'un coup de foudre frappe un conducteur d'une ligne électrique, il se comporte comme un courant injecté dans le câble. Ce courant se répartit de part et d'autre du point d'impact, et se propage le long du conducteur.

### **Effet d'un coup de foudre indirect sur une ligne électrique :**

Lorsqu'un coup de foudre tombe à proximité d'une ligne, le champ électromagnétique généré par l'arc induit des surtensions. Ce type de coup de foudre représente un danger plus important du fait que ce mécanisme est l'origine de production de surtensions plus importante. [1.13]

## **II.2.3 Rupture de synchronisme du réseau électrique :**

### *II.2.3.1 Le synchronisme :*

Un réseau synchrone ou une zone synchrone est un réseau à fréquence identique. La tension alternative en tout point du réseau a la même fréquence afin d'assurer sa stabilité et sa robustesse. Le premier responsable du synchronisme du réseau est l'ensemble des centrales de production de l'électricité. Quand il s'agit de centrales électriques conventionnelles, la vitesse de rotation des alternateurs est l'élément déterminant la fréquence.

### *II.2.3.2 La rupture de synchronisme :*

La rupture de synchronisme est le fait qu'une centrale ou un groupe de centrales fonctionne à une fréquence différente des autres centrales interconnectées sur le même réseau. Pour les centrales situées à proximité du lieu du court-circuit, ce dernier induit une accélération temporaire de la vitesse de rotation des alternateurs et donc de la fréquence locale du réseau : l'alternateur se désynchronise. Si le lien électrique (lignes du réseau) entre le groupe subissant la perturbation et le reste du réseau n'est pas assez puissant et si, malgré l'action des dispositifs de régulation de la centrale, les alternateurs ne parviennent pas à se recalibrer sur la fréquence du réseau général, alors il y a rupture de synchronisme.

### *II.2.3.3 Les conséquences de la rupture du synchronisme :*

Si le phénomène se prolonge, des automatismes installés sur le réseau réagissent et découpent le réseau suivant des zones prédéfinies de manière à isoler la zone en rupture de synchronisme. Cela évite la propagation du phénomène ainsi que la détérioration des groupes turboalternateurs des centrales. Si le déséquilibre entre production et consommation dans la zone découpée est trop important, il y a un risque que les groupes de production se déconnectent du réseau, ce qui entraîne la **mise hors tension de la zone** «blackout» localisé de la zone. [1.5]

### II.3 Les solutions proposées :

Le réseau électrique est une structure compliquée car il existe plusieurs phénomènes qui peuvent perturber ces paramètres (fréquence, tension, intensité...) Les phénomènes transitoires dans les réseaux électriques sont causés par les fausses manœuvres, les défauts et d'autres perturbations.

70% des défauts sont signalés dans les lignes aériennes, en deuxième rang les défauts au niveau des transformateurs de puissance avec 20% du total, et puis 6.5% des défauts au niveau des générateurs et des transformateurs dans les centrales électriques. Enfin 3.5% des défauts sont signalés dans les appareillages de coupure. . [1.1]

Pour chaque type de pannes il existe une solution adéquate pour l'éliminer, commençant par :

#### II.3.1 Le calibrage :

Le calibrage protège le réseau contre la surintensité, la surcharge...et tous les défauts qui se propagent. Il assure une protection du transformateur en premier lieu car il est considéré l'élément le plus coûteux dans la structure d'un réseau.

Le calibrage qui se fait au niveau des postes de transformation, coté HTA et côté BT a pour rôle de dimensionner les fusibles de protection dans le tableau MT et le tableau BT. Pour cela Il faut calculer les valeur maxi et mini des courant de défaut, aussi les valeurs des courants de court-circuit. Les fusibles sont réglés d'une façon de couper l'alimentation lorsque le courant atteint une valeur inférieure à la valeur du courant max supporté par le transformateur.

Un poste de transformation est défini par : « un ensemble de nœuds ou les différentes branches du réseau (lignes aériennes, souterraine, transformateurs...) sont interconnectés », il existe plusieurs types de postes, chacun a un rôle spécifique :

-  Les postes d'interconnexion.
-  Les postes de livraison.
-  Les postes de distribution.
-  Les postes mixtes.

Un poste HTA/BT a pour rôle d'assurer la distribution en basse tension, à l'aide d'un transformateur abaisseur.

La structure d'un post HTA/BT, présentée dans le schéma dans la figure.6 montre les éléments qui composent le poste.

- Une cellule d'alimentation : le poste peut être alimenté par une ou plusieurs lignes HTA pour éviter la coupure de l'électricité.
- Une cellule de comptage et de protection.
- Une cellule de transformation : elle contient le transformateur abaisseur de la haute tension HTA vers la basse tension BT.
- Un tableau BT permettant de répartir l'énergie électrique sur les différents départs BT issus du poste de transformation et supportant des fusibles de protection.

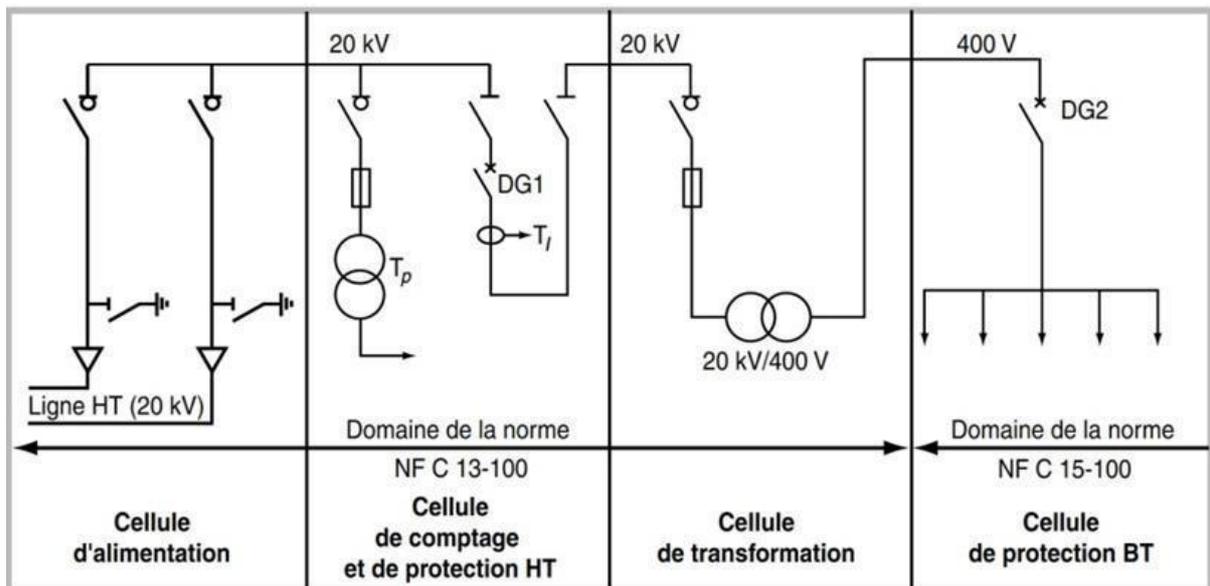


Figure II-4 Les éléments qui constituent un poste HTA/BT

### II.3.2 Equilibrage :

En basse tension, le déséquilibre apparaît lors de la répartition non uniforme de la charge sur les consommateurs, vu que les clients ne consomment pas l'électricité de la même façon (charges, inductives, résistives, capacitives...). Le soutirage sur une phase n'est pas identique sur celui de la phase suivante, cela induit deux types de déséquilibre ; d'amplitude et de phase. L'équilibrage a pour but d'uniformiser la répartition de charges, pour garder le système triphasé équilibré

### II.3.3 Le réglage :

En générale l'énergie produite par les centrales électriques est difficile à stocker, la production doit être consommée instantanément si non elle se perd. L'équilibre entre le soutirage et l'injection a pour but de rapprocher au maximum la production de la consommation. Comme nous constatons dans la figure 7 La courbe de charge donnée par l'opérateur système (national)

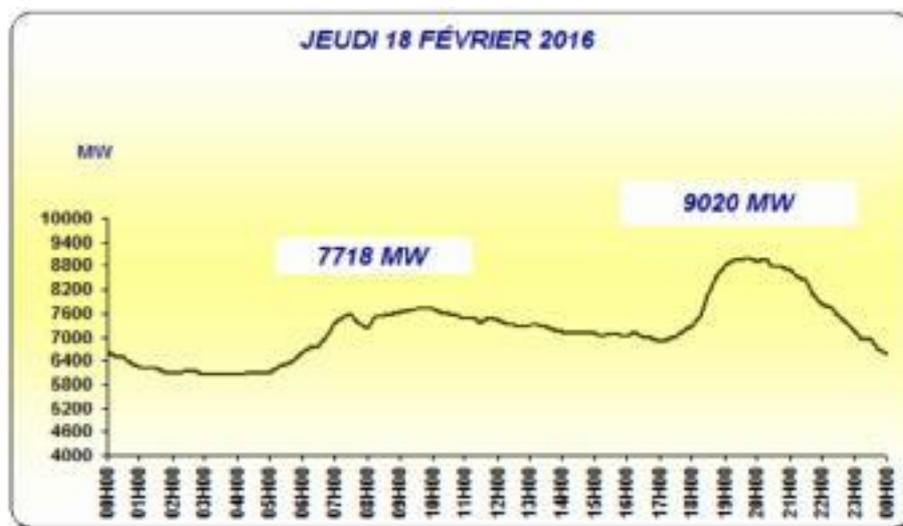


Figure II-5 La courbe de charge de 18/02/2016 donnée par l'opérateur système (OS)

La figure 7 Représente la consommation en puissance active pour le 18/02/2016, on constate que le pic de consommation est approximativement à 20 :00. Pour faire une prévision pour la production, l'opérateur système nationale (OS) collecte les données pendant des années pour estimer la production et assure que la quantité de l'énergie produite soit le plus proche possible à l'énergie consommée.

Pour minimiser le risque de destruction des équipements raccordés au réseau et réduire le nombre de coupures, il faut donc conserver l'équilibre production-consommation ou de le rétablir en cas de déséquilibre.

RTE, le gestionnaire du réseau de transport de l'électricité prend la responsabilité de l'équilibrage du réseau.

En cas de déséquilibre entre injection et soutirage, RTE dispose de deux types d'outils pour rétablir l'équilibre injection-soutirage :

- a) **Les services système** : dès qu'il y a un déséquilibre deux types de réserves sont activées automatiquement ; la réserve primaire avec un délai d'action inférieur à 30 secondes et la réserve secondaire avec un délai d'action inférieur à 15 min.

b) **Le mécanisme d'ajustement** : appelé aussi la réserve tertiaire, on distingue deux types :

- **Les réserves tertiaires contractualisées** : il existe les réserves rapides qui réagissent à la hausse ainsi qu'à la baisse de puissance avec une capacité de 1000 MW et un temps de réaction de 13 min et les réserves complémentaires, ils diffèrent du premier type par la capacité (500MW) et le temps de réaction de 30min. (en France)
- **Les réserves tertiaires non contractualisées** : Il n'y a pas de dimensionnement de ce type de réserves, elles sont dépendantes de ce que les acteurs offrent. . [2.3]

Les processus de régulation des réseaux électriques servent à maintenir ses grandeurs à un état d'équilibre.

- On distingue deux types de réglage :
- Un réglage de fréquence qui se fait en agissant sur la puissance active.
- Un réglage de la tension qui se fait en agissant sur la puissance réactive.

### II.3.3.1 Réglage de la fréquence :

La fréquence d'un réseau interconnecté doit être maintenir stable en chaque point du réseau. Dans chaque pays il y a une marge d'erreur toléré. Le suivi et le contrôle de la valeur de la fréquence se fait en temps réel, car toute perturbation de la fréquence risque de rompre le synchronisme du réseau, endommager les appareils électriques qui sont conçus pour fonctionner à la fréquence du réseau, aussi l'écroulement de la fréquence cause la séparation des groupes de production du réseau électrique.

En absence de rectification et de contrôle de la fréquence du réseau, l'augmentation de la puissance consommée cause un ralentissement de la vitesse de rotation des rotors des alternateurs au niveau des centrales de production, ce qui implique la perturbation de la fréquence. Non seulement la consommation, la variation brutale de la production (comme les arrêts imprévus) engendre des perturbations de la fréquence du réseau électrique.

La variation de la fréquence indique qu'il existe un déséquilibre entre la production et la consommation, donc pour régler le problème le gestionnaire de réseau de transport met une réserve de puissance active qu'il va injecter pour rétablir la valeur de la fréquence.

Le réglage de la fréquence se fait en trois étapes :

### ***Le réglage primaire :***

Pour régler la fréquence, il faut rétablir l'équilibre production-consommation grâce à moitié de la réserve primaire de puissance active qui sera mobilisé en moins de 15s et l'autre moitié en moins de 30s. ce type de réglage a le plus court temps de réponse.

Certain groupe de production dispose d'une réserve primaire en puissance active. Vu que le réseau est interconnecté, l'ensemble de ces réserves représentent la réserve globale qui contribuera au réglage primaire de la fréquence.

En asservissement le système responsable à ce réglage est un correcteur PID qui fait appelle à une action proportionnelle uniquement.

### ***Le réglage secondaire :***

Dans cette étape, le réglage se fait en appelant une puissance réglant secondaire mise

A disposition par des groupes participants au réglage. Le but du réglage secondaire est de :

Résorber l'écart résiduel de fréquence induite par le réglage primaire

Corriger les écarts de bilan des zones de réglage

Le régulateur responsable au réglage secondaire est de type PID, il fait appel à l'action proportionnelle et intégrale.

### ***Le réglage tertiaire***

Le réglage tertiaire est une action manuelle qui se présente en cas où la puissance réglante du réglage secondaire est insuffisante,

Le réglage tertiaire fait appel au mécanisme d'ajustement. Cette réserve supplémentaire d'énergie est dite rapide si elle peut être mobilisée en moins de 15 minutes ou complémentaire si elle est mobilisable en moins de 30 minutes.

#### ***II.3.3.2 Réglage de tension :***

La tension doit être maintenue stable en chaque point du réseau, car une tension trop élevée peut causer la destruction des équipements et une tension trop basse provoque une surintensité (à puissance égale).

Le réglage de la tension doit tenir compte du fait qu'elle n'est pas identique aux différents points du réseau. Pour cela le moyen de réglage est adapté avec le niveau de la tension, par exemple le réglage au niveau du réseau de distribution peut se faire par des transformateurs qui

ont plusieurs points de sortie au secondaire. Donc en changeant de point de sortie, on change le nombre de spires et donc on change le rapport de transformation. GRTE (gestionnaire du réseau de transport électrique) dispose d'autres moyen pour rétablir la tension comme :

- Batteries de condensateurs
- Compensateurs statiques de puissance réactive

Dans les paragraphes suivants nous allons détailler le réglage de tension au niveau du réseau de transport et de distribution. [2.1]

La tension dans le réseau électrique est influencée par plusieurs facteurs, du côté production ; le générateur synchrone (alternateur) est utilisé pour produire de grandes puissances pour les injecter au réseau interconnecté, ce dernier subit des perturbations et des variations de charges qui influent sur le fonctionnement du générateur. Pour assurer la stabilité de la tension, les constructeurs jouent sur les paramètres de conception des alternateurs. A ce niveau le système d'excitation de l'alternateur a pour rôle de minimiser au maximum l'influence des perturbations de charge sur la tension générée par l'alternateur. Du côté utilisateurs, des régulations automatiques peuvent garder l'équilibre en tension.

Le réglage de la tension au niveau du réseau de transport se fait en trois niveaux

### ***Le réglage primaire :***

Les groupes de production sont équipés de régulateurs qui assurent le réglage primaire de la tension. Le régulateur maintient la tension délivrée par l'alternateur à sa valeur de consigne fixée par RTE (gestionnaire du réseau de transport électrique). Lorsque l'alternateur est sur-excité, il produit de la puissance réactive qui aura pour effet d'augmenter la tension, et inversement dans le cas de sous-excitation. Donc le principe de réglage primaire est d'agir sur l'excitation pour maintenir la tension stable au point de connexion. Ce niveau de réglage de tension est le plus rapide avec un temps de réaction de quelques centaines de millisecondes.

### ***Réglage secondaire de tension***

Ce niveau de réglage s'effectue aux points pilotes ; ces derniers sont choisis comme référence, dont chaque nœud représente la tension d'une zone du réseau. Ces tensions sont mesurées et transmises par le dispatching. Le réglage secondaire permet aussi de limiter les transits de puissance réactive sur les lignes d'interconnexion entre chaque zone ; le réglage secondaire agit sur les groupes participants au réglage, le temps de réponse du réglage secondaire est de l'ordre de la minute.

### ***Réglage tertiaire de tension***

Le réglage tertiaire consiste en un ensemble d'opérations manuelles qui servent à maintenir ou rétablir la tension, après avoir calculé les tensions dans les points pilotes. Ils sont gérés par le dispatching. En France Le réglage tertiaire consiste à réévaluer à intervalles de quinze minutes. [2.2]

Le réglage de la tension au niveau du réseau de distribution consiste à piloter la tension au jeu de barres HTA à l'aide du régleur en charge et compenser avec les bancs de condensateurs.

Le régleur en charge au transformateur HTB/HTA

Comme nous l'avons mentionné avant, le réglage de la tension peut se faire à l'aide de transformateurs dotés d'un système électromécanique qui permet de changer le rapport de transformation, en ajoutant, ou retranchant, quelques spires de réglage. L'avantage principal de ce type de réglage c'est qu'il peut se faire en charge et hors charge. En charge le régleur OLTC installé au transformateur HTB/HTA permet de stabiliser le réseau en maintenant une tension quasi-constante. Pour cela il est considéré comme le moyen le plus utilisé dans le réseau de distribution.

### **Les bancs de condensateur**

Le principe de réglage par banc de condensateur est d'injecter une puissance réactive au jeu de barre HTA, pour compenser la puissance réactive transférée via le transformateur et donc réduire le transit de puissance réactive.

La compensation par bancs de condensateurs assure :

L'amélioration du facteur de puissance

La réduction des chutes de tension.

La diminution des pertes actives du réseau de transport puisqu'il y a moins de transits de courant.

Parmi les inconvénients :

Les bancs de condensateurs sont considérés comme moyen de compensation donc ils ne sont pas adaptés à des variations rapides, comme le cas de la production des énergies renouvelable,

L'utilisation de banc de condensateur peut dégrader la qualité de l'énergie. . [1.13]

### **III Chapitre III Les pannes dans un réseau électrique lors de l'injection d'une source renouvelable (photovoltaïque)**

### III.1 La production électrique des énergies renouvelables :

Ils existent plusieurs types de production d'énergie renouvelables

- Hydraulique.
- Eolien.
- Solaire photovoltaïque.
- Solaire thermique.
- Marémotrice.
- Géothermique.
- Bioénergie.

Nous allons nous concentrer sur le photovoltaïque parce qu'il est le plus utilisé en Algérie, avec environ 23 centrales. Il existe aussi des projets en cours de réalisation. Pour la production photovoltaïque à domicile il y a moins de problèmes par rapport à la production des grandes centrales photovoltaïques, car elle ne nécessite pas de lignes de transmission ce qui réduit le coût de transport et les pertes joule. Par contre la production photovoltaïque des grandes centrales injecte une puissance importante dans le réseau.

Les énergies renouvelables sont caractérisées par l'intermittence, il est pratiquement impossible de prévoir la production disponible, surtout en photovoltaïques, la chute de production peut être causée par ; les nuages, l'accumulation de la poussière et l'augmentation de la température... Cela influe sur la qualité de l'énergie dans le réseau de distribution.

Aujourd'hui, en Algérie, les énergies renouvelables produisent une puissance faible par rapport à la puissance totale du réseau. Donc ils ne sont pas encore observables ou dispatchables par les gestionnaires du réseau de distribution. Mais avec les futurs projets, le taux d'intégration de ces énergies est en augmentation permanente.

Chapitre III Les pannes dans un réseau électrique lors de l'injection d'une source renouvelable (photovoltaïque)

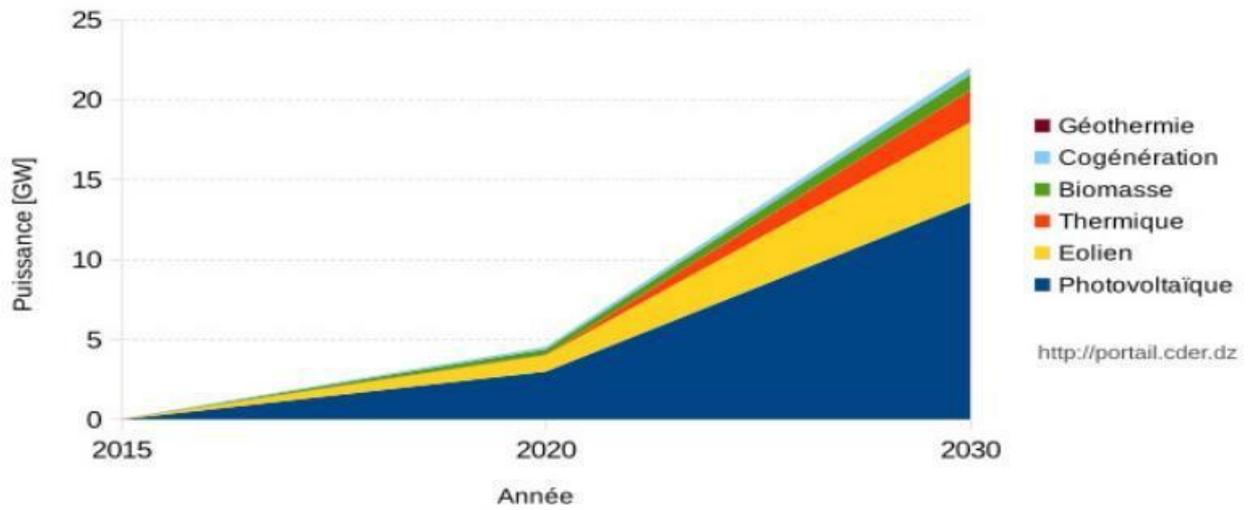


Figure III-1 Programme algérien des énergies renouvelables. [1.7]

On constate dans la figure 8 que l'Algérie a pour but de relever sa part en énergie photovoltaïque à **13575MW** à l'horizon de 2030. **27%** de la production nationale d'électricité sera d'une source renouvelable.

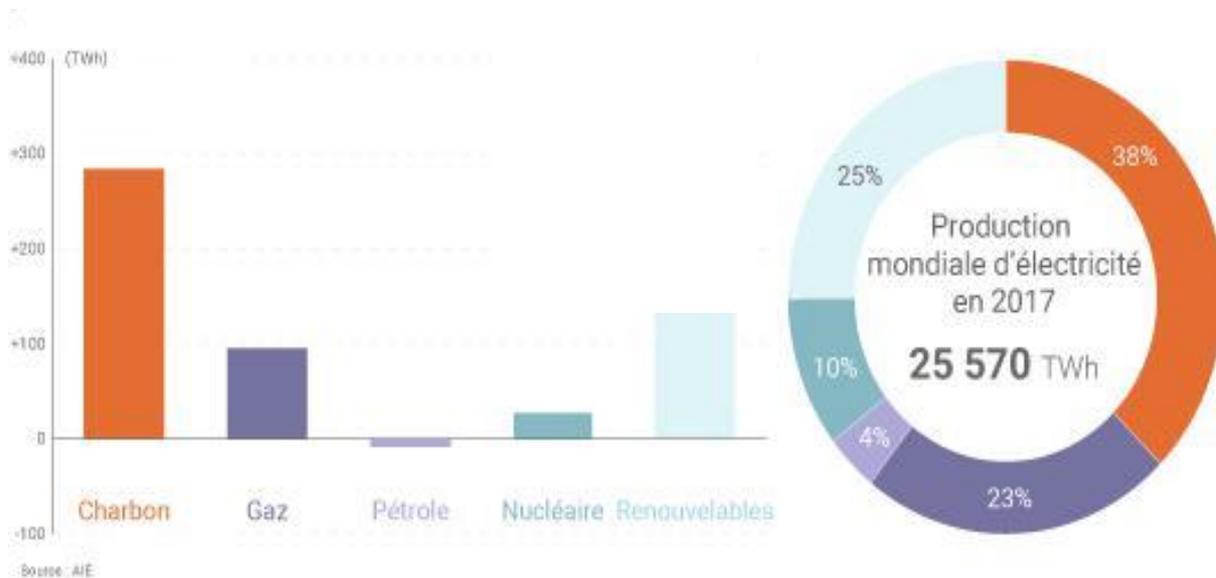


Figure III-2 diagrammes représentant la contribution des énergies renouvelable dans la production électrique mondiale en 2017

La figure 9 représente la contribution des énergies renouvelables dans la production électrique mondiale en 2017. On constate dans cette figure que le charbon garde la première place en tant que source la plus utilisée pour produire de l'électricité avec **38%**, l'énergie **nucléaire** représente **10%** et les **énergies renouvelables** représentent 25% de l'électricité produite dans le monde.

D'après ce que nous avons vu, les énergies renouvelables, notamment le solaire PV, prennent de l'importance chaque année, le taux d'augmentation du solaire photovoltaïque est estimé par 30 à 40%/an, les puissances injectées dans les réseaux de distribution sont de plus en plus grandes ce qui posent de nouvelles contraintes qu'il faut prendre en considération.

Cela peut poser des problèmes en cas de fort taux de pénétration si les moyens de réglage classiques de la distribution deviennent inaptes à assurer la tenue en tension.

### III.1.1 Centrales photovoltaïques en Algérie :

#### Liste des 23 centrale PV en Algérie (capacité installée)

Les prévisions pour l'énergie solaire en Algérie ont mis pour but d'atteindre les 2600Mw à l'an 2020 pour le marché national avec une estimation d'exportation d'une puissance de 2000Mw. Actuellement la capacité installée est de 384Mw étalée sur 23 centrales tout au long du territoire algérien

Nom de la centrale	Type de la centrale	Localité	Puissance
Oued Kebrit	Photovoltaïque	Souk Ahras	15 MWe
El Hadjira	Photovoltaïque	Touggourt	10 MWe
Ain El Melh	Photovoltaïque	M'Sila	20 MWe
Ain El Bel	Photovoltaïque	Djelfa	20 MWe
Ain Skhouana	Photovoltaïque	Saida	30 MWe
E.B.S Chikh	Photovoltaïque	El Bayadh	24 MWe
Telga	Photovoltaïque	Tlemcen	12 MWe
Naama	Photovoltaïque	Naama	20 MWe
Kaberten	Photovoltaïque	Sud Algérie	03 MWe
Kaberten	Eolienne	Sud Algérie	10 MW
Timimoune	Photovoltaïque	Sud Algérie	09 MWe
Ain Salah	Photovoltaïque	Sud Algérie	05 MWe
Aoulef	Photovoltaïque	Sud Algérie	05 MWe
Reggane	Photovoltaïque	Sud Algérie	05 MWe
Z.Kounta	Photovoltaïque	Sud Algérie	06 MWe
Adrar	Photovoltaïque	Sud Algérie	20 MWe

Tableau III-1 diagrammes représentant la contribution des énergies renouvelable dans la production électrique mondiale en 2017

### III.1.2 L'injection des énergies renouvelables (photovoltaïque) dans le réseau électrique

Dans la thèse de doctorat réalisé par Boudiah Merad (2010), il a détaillé les structures des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau comme suivant :

#### III.1.2.1 Systèmes à connexion directe

Ils contiennent à son tour deux structures de connexion :

##### a) Structure à convertisseur unique :

Le principe est de mettre en série plusieurs modules PV et de les raccorder avec un seul onduleur, la mise en série de plusieurs modules PV va augmenter la tension, cette méthode présente comme avantage l'élimination du hacheur élévateur ce qui rend l'installation plus simple, et donc la tension obtenue alimente directement l'onduleur central pour passer au courant alternatif, il est possible de rajouter un transformateur dans ce type d'installation pour isoler électriquement les modules PV au réseau pour les protéger.

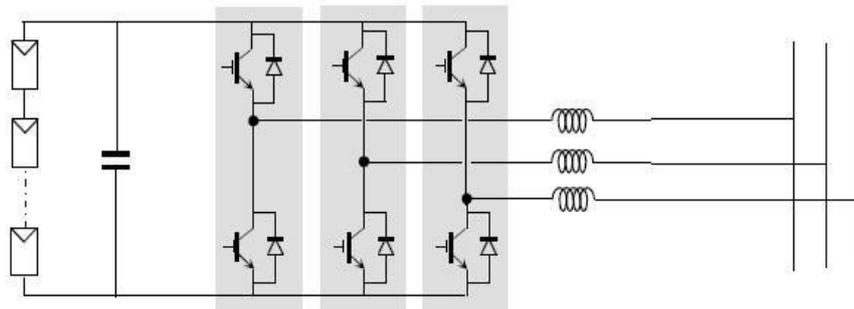


Figure III-3 Mise en série de Plusieurs modules PV à un seul onduleur

Dans la figure.11 on remarque que les panneau sont mis en série pour augmenter la tension, l'onduleur assure la conversion de cette tension en alternatif.

##### b) Structure avec bus à basse tension alternative :

Le principe de fonctionnement de cette structure est de raccorder directement le module PV avec l'onduleur, on obtient une tension alternative qui sera transportée par un bus alternatif vers un transformateur élévateur central qui assure l'augmentation de la tension. L'avantage majeur présenté par cette méthode est la sécurité de personnel car la tension qui circule dans les bus est faible, contrairement à la première méthode la mise en série des modules PV engendre une tension importante. Pour minimiser les pertes joules on doit réduire au maximum la distance entre le transformateur et le module

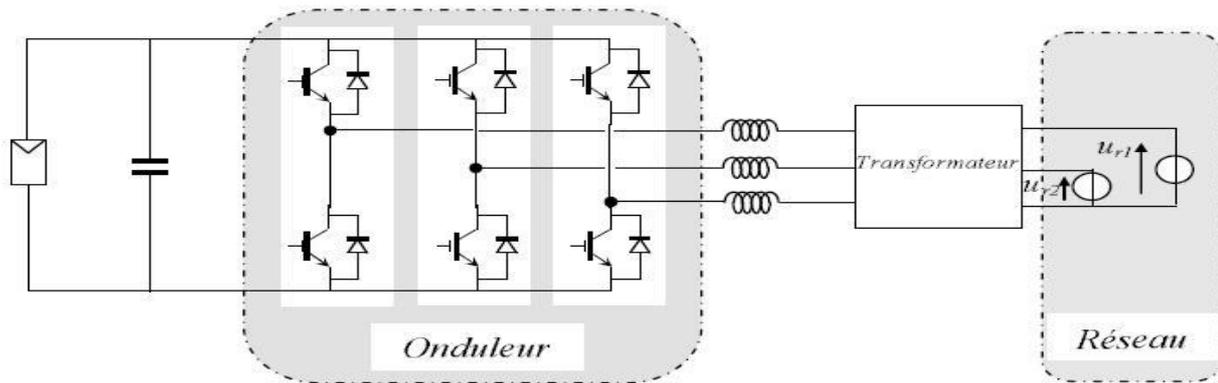


Figure III-4 Bus à basse tension alternative

La figure.12 montre la structure de bus à basse tension, on remarque que le module photovoltaïque est raccordé à un onduleur. La tension alternative sera transportée par un bus alternatif vers le transformateur élévateur.

### III.1.2.2 Système a bus continu intermédiaire :

#### a) Structure avec convertisseur forward :

Le convertisseur forward est une alimentation à découpage avec isolation galvanique, est utilisée dans cette structure pour augmenter la tension, donc le transformateur ne sera plus nécessaire, le passage du courant continu à l'alternatif est assuré toujours par un onduleur central.

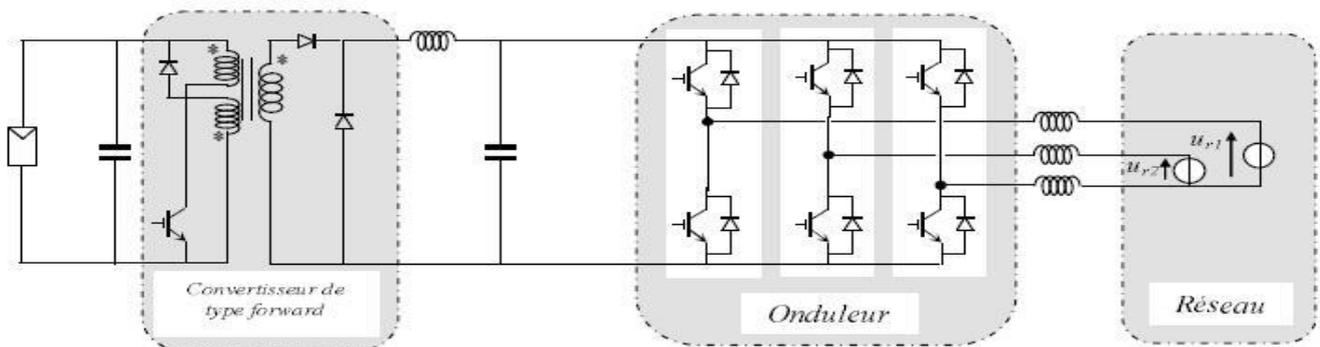


Figure III-5 Convertisseur de type forward alimentant le bus continu

Bien que cette méthode paraisse simple à exploiter, elle présente des inconvénients majeurs, notamment la sécurité du personnel d'entretien car la tension transportée dans le bus continu est importante.

**b) Structure avec un convertisseur de type fly-back :**

Cette structure est composée d'un convertisseur fly-back, et un onduleur. Le convertisseur augmente la tension en assurant une isolation galvanique à l'aide du transformateur, et l'onduleur transforme la tension en alternatif.

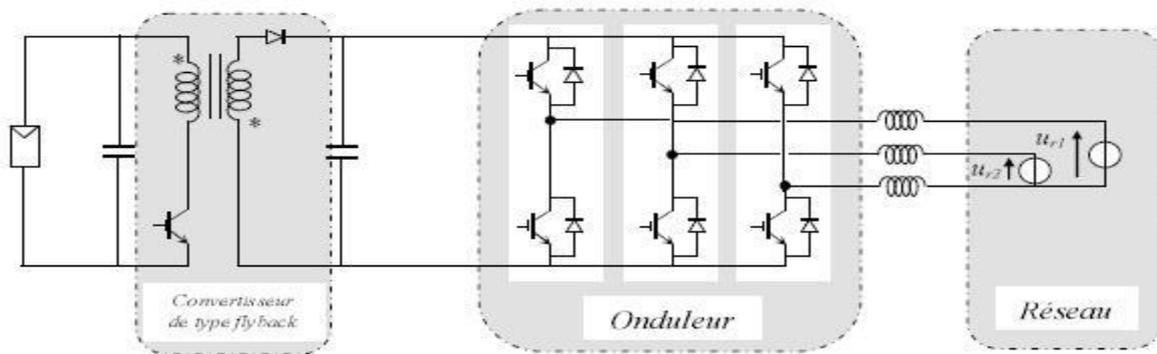


Figure III-6 structure d'un convertisseur de type fly-back

**c) Structure avec hacheur et onduleur :**

Cette structure est constituée d'un hacheur pour élever la tension en sortie du module, cette tension ne peut pas atteindre le niveau désiré à cause de l'impédance d'inductance, pour cela on place un onduleur puis un transformateur qui va augmenter la tension. Ce système permet d'installer des batteries facilement sur le bus et donc d'assurer l'autonomie.

**Remarque :**

La différence entre une alimentation de type forward et une alimentation de type flyback, c'est que la première assure une transmission instantanée de l'énergie, par contre la deuxième stock l'énergie sous forme magnétique dans une bobine et la libère ensuite dans un circuit secondaire.

D'après ce que nous avons vu, l'onduleur est un élément clé dans les installations PV raccordées au réseau électrique, donc il doit s'adapter aux impératifs techniques en assurant la sécurité de l'installation PV et le réseau électrique.

Par la suite on va voir l'impact de l'utilisation de l'onduleur sur la qualité de la tension, et la solution pour éliminer les harmoniques qui polluent le réseau.

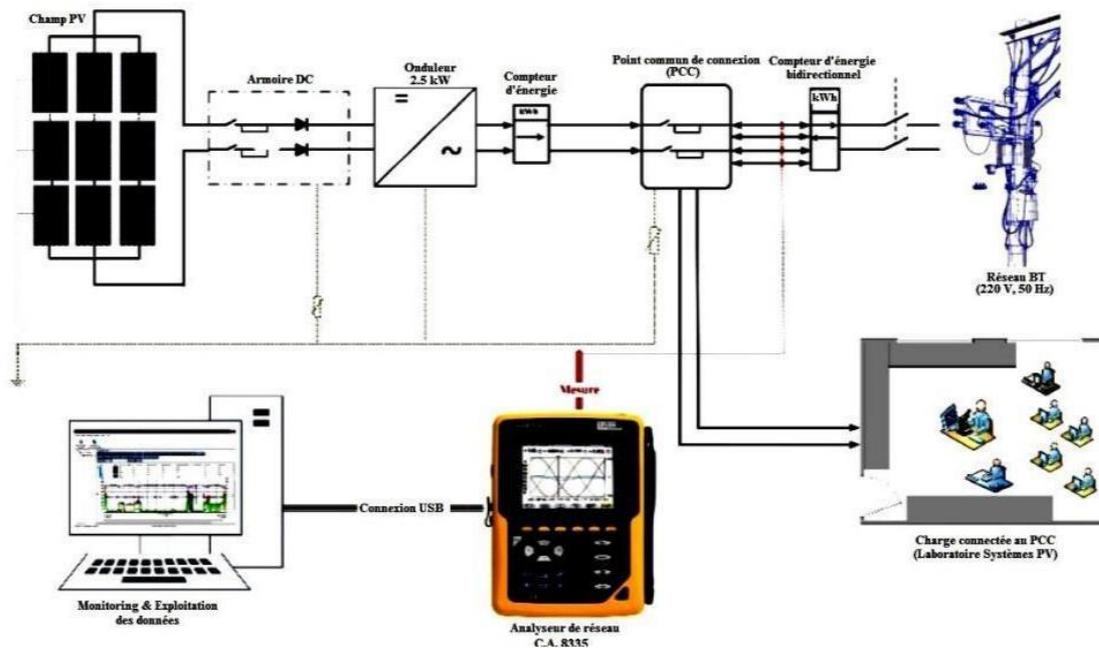


Figure III-7 Structure d'un système photovoltaïque raccordé au réseau électrique. [1.2]

Le schéma dans la figure 11 Représente une installation photovoltaïque réalisée au niveau du CDER. C'est un système à connexion direct à convertisseur unique. Ce mini central est composé de 90 panneaux, divisés sur trois champs de 30 panneaux ; 15 panneaux sont connectés en série et deux branches sont connectées en parallèle.

La capacité de cette installation est de 9.54 kWc

Les trois champs sont connectés au réseau de distribution BT à travers des onduleurs monophasés d'une puissance nominale de 3 KW. La puissance produite sera consommée par la charge, l'éventuel surplus sera injecté au réseau.

A.Hadj Arab et al [1.2] ont fait l'analyse de l'injection par un analyseur de réseau, où ils ont pris les mesures suivantes :

- Les valeurs efficaces vraies (TRMS) des tensions triphasées.
- Les valeurs efficaces vraies (TRMS) des courants triphasés.
- La puissance active de chaque phase.
- Le taux de distorsion harmonique (THD) des tensions et des courants.

Les résultats de la comparaison de ces mesures sans et avec injection photovoltaïque ont prouvé qu'il y a une augmentation locale de la valeur de la tension (au point d'injection), par contre l'effet de la production photovoltaïque sur l'onde de tension est positif, le taux d'harmonique n'a pas dépassé les normes exigées. (Ces résultats reflètent le cas d'une injection d'une très faible puissance).

### III.2 Les pannes dans un réseau électrique liées à l'injection des ressources renouvelables :

Les énergies renouvelables sont caractérisées par l'intermittence, (éolienne, solaire) donc il est impossible de prévoir la production. Aujourd'hui, ces énergies ne forment qu'un petit pourcentage de la puissance totale injectée dans le réseau. Pour cette raison ils ne sont pas observables ou dispatchables par le gestionnaire réseau. Cette situation ne va pas durer longtemps car le taux d'intégration des énergies renouvelables est en croissance chaque année.

La production décentralisée est un ensemble de faibles puissances injectées dans le réseau de distribution. Les énergies renouvelables font partie de cette production, qui a connu un taux d'intégration non négligeable ces dernières années. L'injection de cette production pose beaucoup de problème qui influe sur la qualité de l'énergie fournie.

Les problèmes qui peuvent arriver lors de l'injection des énergies renouvelables sont :

**Les flux de puissance bidirectionnel** : le réseau électrique actuel est conçu pour transporter des flux de puissance depuis le poste source vers les consommateurs. Dans le cas des productions décentralisées, il peut arriver que la production dépasse la consommation, cela crée un flux de puissance active ascendant (vers le réseau de transport).

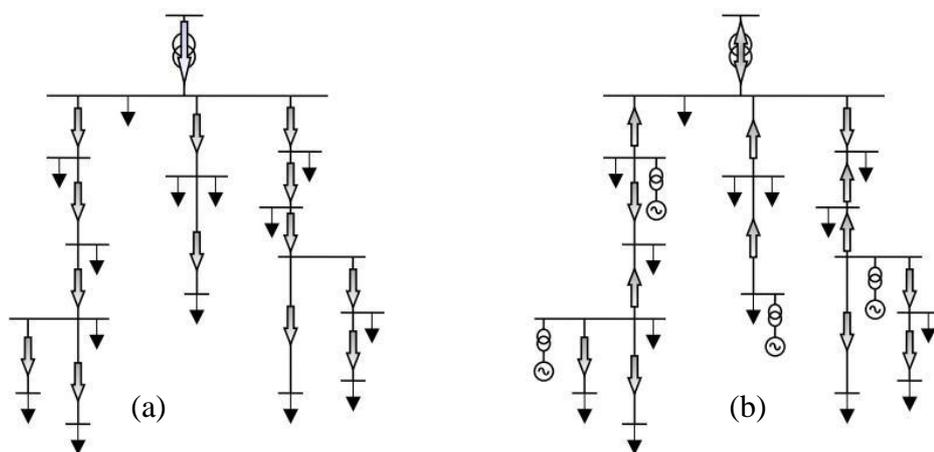


Figure III-8 Les flux d'énergie dans un réseau de distribution [1.10]

Dans la figure 12 on remarque que les flux d'énergie dans un réseau de distribution sans production décentralisée prennent un seul sens, par contre avec injection la production décentralisée (b), les flux d'énergie prennent un double sens.

Pour faire face à ce phénomène, il faut adopter un nouveau plan de protection du réseau de distribution.

***L'élévation locale de la tension*** : dans le cas d'un réseau sans production décentralisée, la tension s'atténue avec la distance, mais avec l'injection de la production décentralisée, il peut arriver une augmentation de la tension, ce problème a été mis en expérience par A. Hadj Arab et al [1.2] bien que la puissance injectée fût trop faible, ils ont remarqué que la tension au point d'injection était élevée par rapport au cas sans injection.

Par la suite, nous allons voir que ces élévations sont assez importantes pour causer des surtensions.

Tout comme les autres énergies renouvelables, le photovoltaïque a un impact sur le plan de tension et sur les dispositifs de réglage du réseau. D'après Thi Minh Chau Le(2012), la production photovoltaïque a une influence faible sur le plan de protection par rapport à d'autres source de production décentralisée, mais en termes de

Sélectivité et de sensibilité elle peut provoquer un déclenchement intempestif du départ sain ou un aveuglement de la protection du départ en défaut.

L'intégration des énergies renouvelables, influe principalement sur la continuité de l'alimentation ainsi que la qualité d'onde, les défauts que peut générer l'injection décentralisée de la production sont :

### **III.2.1 La surtension aux points d'injection :**

Comme nous avons mentionné auparavant, l'intégration de la production décentralisée engendre une élévation locale de la tension, qui peut dépasser les limites admissible et cause des surtensions. En cas de faible charge sur le réseau, les transformateurs régleurs en charge des postes sources HTB/HTA mesurent la tension à leurs bornes.

Si les centrales de production décentralisée se trouvent loin, les transformateurs régleurs en charge ne détecteront pas les élévations de tension. Pour le solaire photovoltaïque, pendant une période de fort ensoleillement et de faible consommation, la tension de certains nœuds du réseau peut dépasser le seuil admissible ce qui peut provoquer le découplage de certains systèmes.

### **III.2.2 La pollution du réseau électrique par des harmoniques :**

Le problème principal qui peut apparaître dans le réseau, est l'augmentation du taux d'harmoniques, lors de la conversion du courant continu vers l'alternatif l'onduleur est commandé en général par une commande de type MLI sinus- triangle, le principe de cette commande est de comparer un signal de référence avec un autre signal « signal porteur », pour obtenir d'une loi de commande qu'on doit appliquer aux interrupteurs de notre convertisseur.

L'injection du photovoltaïque engendre des harmoniques qui perturbent la forme d'onde de la tension. Lorsque celle-ci n'est pas sinusoïdale, il y aura un dysfonctionnement et un échauffement des récepteurs et appareillages raccordés au réseau.(A. Hadj Arab et al ;2017« *Qualité de la tension au point d'injection du système photovoltaïque du CDER* »,Revue des Energies Renouvelables Vol. 20 N°1 (2017) 1 – 9)

Les conséquences de ces harmoniques peuvent être instantanées sur certains appareils électroniques, troubles fonctionnels, disjonctions intempestives, erreurs de mesure sur des compteurs d'énergie...

### **III.2.3 Le déséquilibre entre phases :**

Ce type de défaut apparaît principalement avec les systèmes photovoltaïques, en cas d'utilisation d'onduleurs monophasés, ces systèmes engendrent un déséquilibre entre phases. Si la puissance produite n'est pas correctement répartie entre les 3 phases d'un même système photovoltaïque triphasé, ce qui contribue au déséquilibre du réseau. N'oubliant pas le caractère d'intermittence pour ce type de production, qui a un impact négatif sur la qualité s'énergie. [1 ;13]

### **III.2.4 Le problème de congestion :**

L'injection de la production décentralisée se fait au niveau du réseau de distribution. Le réseau électrique actuel est dimensionné pour transiter les flux d'énergie du réseau de transport vers le réseau de distribution, si le taux d'intégration des énergies renouvelables est assez élevé, les flux d'énergies pourraient transiter du réseau de distribution vers le réseau de transport. Cela provoque des congestions locales. Selon Vincent MANZO (2004), parmi les raisons de l'augmentation du nombre de congestion, la multiplication de projets de production décentralisée.

### **III.3 Les solutions proposées pour éliminer les pannes :**

Pour assurer la fiabilité du réseau de distribution il faut faire une étude avant l'injection de la production décentralisée. Cette étude consistée à plusieurs étapes, qui ont pour but d'établir les modifications que doit subir le réseau de distribution pour garder sa stabilité. Parmi les méthodes les plus efficace pour l'élimination citant :

#### **III.3.1 Limitation du taux du THD par éloignement du premier terme de la commande MLI vers les hautes fréquences :**

Dans la thèse de doctorat réalisée par Mr MEHDI MERAD-BOUDIA(2010), il a réussi à réduire le pourcentage des harmonique de 3.77%.Son travail consiste en la mise en série de 18 panneaux PV de 17.4V tension maximale pour obtenir 314V. Pour passer du continue à l'alternatif et l'injecter au réseau, il a fixé la fréquence du signale porteur à 500Hz il a trouvé un taux d'harmonique de 30.97% et quand il a fixé la fréquence de la porteuse à 1000Hz (1KHz) il a réduit le taux d'harmonique jusqu'à 27.20% avec un écart de 3.77%.

Donc pour réduire les harmoniques dues à l'injection d'une puissance photovoltaïque on peut adopter comme solution l'éloignement du premier terme vers les hautes fréquences (environ 1175 Hz).

#### **III.3.2 Le filtrage des harmoniques :**

L'onduleur de tension avec la commande MLI ou autres, génèrent des harmoniques de découpage. Un filtre permet d'éliminer les harmoniques et garder seulement la fondamentale, ce filtre sera inséré entre le réseau et l'onduleur. Le type d'utilisé est un filtre LC passe bas. Les filtres les plus utilisées sont divisé en deux types ; des filtres actifs et des filtres passif.

#### **III.3.3 Réglage de la tension :**

Les méthodes classiques de réglage de tension, ne sont plus efficaces. Car les transformateurs régleurs en charge ne peuvent pas détecter l'élévation de tension si la centrale est loin, la localisation et le dimensionnement des sources décentralisées joue un rôle important dans la stabilité du système et de la tension dans un réseau de distribution. La bonne localisation de la source permet aussi de minimiser les pertes.

Une technique efficace a été présentée pour un placement et un dimensionnement optimal des centrales de production décentralisée dans un système de distribution. [1.12]

Dans ce même contexte, Boris Berseneff, (2010) a fait sa thèse de doctorat sur le réglage de la tension en cas d'injection de la production décentralisée, il a abordé plusieurs méthodes de régulation de la tension ;

Les méthodes de réglage de tension au niveau du réseau de distribution citées dans le chapitre II, ne sont pas adaptées à gérer des flux bidirectionnels générés par la production décentralisée, La méthode de réglage adoptée pour assurer la stabilité est appelée « Volt VAR Control ou VVC » cette méthode utilise les équipements déjà installés dans le réseau de distribution pour limiter le coût d'investissement, ce type de réglage permet aussi de Contrôler les flux de puissance réactive.

Sur le plan actuel il n'existe pas de méthode efficace pour le réglage de tension avec l'injection de la production décentralisée, mais les travaux réalisés jusqu'à maintenant, permettent de dégager un axe de recherche promoteur.

### **III.3.4 Les solutions proposées pour le traitement de la congestion :**

Pour faire face au problème de la congestion à long terme, le réseau a besoin du développement et du renforcement. Pour cela beaucoup de solutions ont été appliquées dans certains pays, et ils ont prouvé leur efficacité.

La congestion est un phénomène qui existe même avant l'intégration de la production décentralisée. Actuellement le taux de congestion a connu une augmentation à cause de l'intégration de la production décentralisée. Les méthodes classiques de gestion de la congestion sont :

**La méthode de gestion « non marché » :** Elle englobe les méthodes utilisées par les gestionnaires de réseau électrique, dans cette méthode, on distingue :

**Méthodes liées à l'exploitation du réseau électrique :** ils permettent de déterminer un schéma d'exploitation garantissant la stabilité et la fiabilité du système électrique. Cette catégorie contient les méthodes appliquées par le gestionnaire de réseau de transport et les méthodes proposées par la littérature. Le gestionnaire de réseau de transport français est arrivé à prévoir les congestions éventuelles, cette étude prévisionnelle se base sur un calcul de Load Flow qui permet d'établir la répartition des flux de puissance sur le réseau électrique suivant les lieux de production et de consommation.

**Méthodes liées à la réglementation** : dans cette catégorie il existe des méthodes qui sont actuellement employées, tenant comme exemple la méthode des contrats qui permet un producteur d'utiliser une ligne pendant une durée bien déterminé sur le contrat.

**La méthode de gestion « marché »** : Il existe beaucoup d'autres méthodes de gestion de la congestion. L'intégration des énergies renouvelables (production décentralisée en générale) modifie les transits sur les lignes, ce qui augmente le risque de congestion. Donc il faut adopter un traitement spécifique pour Controller la congestion en présence des énergies renouvelable.

Tenant comme exemple les pays nordiques qui ont un problème de congestion vu que la production sont concentrée au nord du pays et la consommation est beaucoup plus au sud. Le traitement est assuré par une bourse d'énergie, qui agit comme agent de régulation de flux.

En Californie, le traitement de la congestion se fait par une bourse centrale de l'énergie ainsi que des acteurs de marché. Il consiste à faire des prévisions, l'avantage principal que présente ce système, c'est qu'il a la possibilité de faire la différence entre une congestion interzonale et une congestion interzonale. Il existe aussi une méthode de traitement des congestions par coupures de transactions. C'est un modèle américain, son principe consiste à détecter un danger potentiel de congestion sur une ligne, l'opérateur système dans ce cas agit par élaguer les transactions qui ont une contribution physique allant dans le même sens que le transit de la ligne congestionnée. [1.15]

### III.3.5 La solution du futur

La complémentarité des sources d'énergies diversifiées représente une solution exploitable qui aboutira à l'optimisation du système électrique. Notons que le développement des infrastructures du réseau électrique est primordial pour intégrer efficacement les énergies renouvelables en contrôlant en temps réel les différentes unités de production.

La solution la plus intéressante à long terme est le développement de l'intelligence du réseau en y intégrant davantage de communication numérique et les nouvelles technologies. Le but étant d'assurer une gestion des flux d'information plus souple, plus réactive, plus riche et ajustée en temps réel de toute anomalie pouvant apparaître

#### III.3.5.1 Notion de smart grid :

Le Smart Grid, ou réseau intelligent, est une nouvelle notion de réseau qui associe le développement d'infrastructures et le pilotage électronique de la production, de la consommation et de la régulation, et améliore la résilience des réseaux et développe leur

capacité d'absorption. C'est bien un réseau électrique avec une couche d'intelligence artificielle.

Il assure une gestion plus précise de la demande en associant les consommateurs aux enjeux d'équilibre offre/demande pour réduire ou reporter leur consommation quand il y a une pression sur le réseau. Ces stratégies permettent de transformer le consommateur en « consom'acteur ».

Du côté de la production, il assure la bonne répartition de la production en donnant une priorité à l'injection de l'énergie électrique de source renouvelable et planifie la mise en marche de toute centrale électrique qui fait partie du réseau interconnecté des centrales.

#### *III.3.5.2 La modulation de la consommation :*

La production des énergies renouvelables injectée dans le bouquet électrique est variable, principalement celles du PV et de l'éolien. Elle représente de nouveaux défis au gestionnaire de réseau. En parallèle, les pic de consommation représente un autre défi qui exige la nécessité de gérer la consommation pour dépasser les situations tendues.

En d'autres termes, il faut introduire la flexibilité de la production ainsi que celle de la consommation. C'est bien l'un des principaux enjeux de la transition énergétique.

La flexibilité de la consommation ou la modulation de la consommation est définie comme une gestion de la demande qui implique les consommateurs aux enjeux d'équilibre offre/demande par la réduction ou report de leurs consommations quand il y a une forte demande sur le réseau. Cette stratégie permet de transformer le consommateur en consom'acteur.

Le compteur intelligent ou smart-meter, installé chez chaque consommateur, met à la disposition des citoyens des informations sur l'état du système électrique, même en dehors des périodes d'alerte. Il invite les particuliers, entreprises et collectivités à consommer de manière plus éclairée, notamment lors de la hausse de consommation, en réduisant leur consommation électrique. Il est pour le moment déployé en région Bretagne et en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

De nombreuses études sont faites sur l'évolution de la consommation pour différentes périodes en tenant compte des nouveaux usages électriques et de la progression démographique. Les informations reçues des compteurs intelligents sont la base de ces études ponctuelles. Ces études permettent de prévoir tous les phénomènes qui entraînent des pics de consommation de plus en plus importants. A titre d'exemple le pic de la consommation journalière est repéré durant les heures de pointe. D'autre part, suivant les saisons, la consommation électrique est

maximale dans les pays chauds durant l'été (les canicules) et dans les pays froids durant l'hiver. Dans ces cas, les consommateurs sont incités à injecter leur production renouvelable dans le réseau interconnecté et à baisser leur consommation.

Et de son côté, l'opérateur doit les prévoir et agir en temps réel pour répondre à une grande partie de ces changements de besoin qui causent un changement de production vu que l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité doit forcément être maintenu. Et ce malgré une complexité liée à l'intégration des énergies renouvelables sur le réseau précédemment développé.

#### *III.3.5.3 Le stockage :*

L'électricité produite au cours de la journée par les PV a toutes les chances d'être perdue au pic de la production en milieu de journée si le réseau ne permet pas de l'acheminer vers des centres de consommation. Pour cela le stockage de l'énergie est une alternative qui sert à optimiser la gestion de l'énergie. Aussi, assurer la fiabilité du réseau tout le temps et spécifiquement durant les pics de consommation. D'autant plus, les avancées technologiques récentes ouvrent la voie à une utilisation massive des énergies renouvelables.

Les technologies de stockage de l'énergie sont de plus en plus appliquées et adoptées compte tenu des réductions de coûts, des améliorations du rendement et des nouvelles applications des technologies. Elles sont capables de fournir un certain degré de fiabilité du réseau. Elles sont capables de retirer de l'électricité du réseau pendant les périodes de surplus, de la réinjecter plus tard lorsque la demande du client en électricité est élevée et de soutenir la fréquence et de contrôler de la tension.

Les deux principaux types de stockage d'énergie utilisés dans le réseau de production-transport d'électricité sont le stockage dans des batteries et la technologie des volants d'inertie. Les batteries peuvent assurer une bonne fiabilité, car elles peuvent rapidement ajuster leur entrée ou sortie, ce qui est une condition nécessaire pour satisfaire la demande et contrôler la fréquence. Les volants d'inertie sont bien adaptés pour la régulation de la fréquence. Ces technologies peuvent aussi offrir un contrôle de la tension avec les modifications et le matériel nécessaires.

A titre d'exemple, en Allemagne, le Ministère fédéral de l'économie finance des technologies innovantes en stockage de l'électricité permettant d'intégrer la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables.

L'un des premiers projets soutenus par la nouvelle initiative du BMWi est la réalisation d'un accumulateur adiabatique à air comprimé.

L'objectif de ce projet est de stocker efficacement une grande quantité d'énergie et de la restituer au bon moment dans le réseau électrique. Une première installation de démonstration devait être construite en 2013, avec une capacité de stockage de 1 GWh et une puissance électrique de 200 MW. [2.23]

## **IV Conclusion générale :**

D'après les recherches que nous avons effectuées, nous sommes arrivées à conclure que les énergies renouvelables jouent un rôle principal dans la stabilité de la structure du réseau électrique. D'ici 2030, le taux d'intégration va augmenter encore plus. La structure actuelle du réseau est inapte de gérer les grandes puissances de la production décentralisée. L'impact de l'injection des énergies renouvelable apparaît principalement sur la qualité d'énergie fournie. Les défauts qui sont causés par l'injection de la production décentralisé peuvent perturber tout le réseau électrique. Afin d'assurer une protection des systèmes électrique raccordés au réseau électrique, plusieurs méthodes ont été adoptées, pour le réglage de la tension, filtrage des harmoniques, gestion de la congestion. La recherche dans ce domaine est toujours active, pour améliorer les performances des méthodes et assurer l'injection des énergies renouvelable tout en garantissant la stabilité du réseau. Notons que le passage au réseau intelligent est inévitable.

## Bibliographie

- [1.1] A. ADNANE ex Directeur de GRTE protection réseau électrique ( doc de SONALGAZ
- [1.2] A. Hadj Arab et al ;2017
- [1.3] F. Rachidi, “la foudre et ses effets électromagnétiques”,Notes de cours de la Compatibilité électromagnétiques, EPFL de Lausanne, Suisse 2004.
- [1.4] *Florin Bogdan ENACHEANU ,2007*
- [1.5] *Hervé Mignon* Directeur Economie, Prospective et Transparence chez RTE.Source L’intégration des énergies renouvelables dans le réseau de transport d’électricité Juin 2014
- [1.6] M. Virlogeux, «Systèmes De Téléconduite Des Postes Electriques », echnique De L’ingenieur, d4850, pages 1-11, 1999
- [1.7] MERZOUGUI et BADACHE,2018
- [1.8] Mohamed OUMRI, DIAGNOSTIC DE DÉFAUTS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES FILAIRES PAR LA RÉFLECTOMÉTRIE THÈSE DE DOCTORAT 2014
- [1.9] Mr A Adnane ; protection réseau électrique, école technique de blida).
- [1.10] O. RICHARDOT;2006
- [1.11] S. KAOULA , analyse des défauts dans un réseau de ligne de câbles,université de Jijel,1998
- [1.12] Satish Kumar Injetiet N. Prema Kumar,2012 A novel approach to identify optimal access point and capacity of multipleDGs in a small, medium and large scale radial distribution systems Electrical Power and Energy Systems 45 (2013) 142–151.)
- [1.13] Thi Minh Chau Le, 2012
- [1.14] Yujun HE, ’ Contribution au réglage de la tension sur un réseau HTA avec producteurs. Apport de la flexibilité de la demande ’,ECOLE DOCTORALE STITS. ,2015)
- [1.15] Vincent Manzo, 2004
- Webographie :**
- [2.1] (<http://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-tht-cotentin-maine/docs/pdf/dossier-mo/chapitre-3/chapitre-3-4.pdf>)
- [2.2] ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Stabilit%C3%A9\\_des\\_r%C3%A9seaux\\_%C3%A9lectriques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Stabilit%C3%A9_des_r%C3%A9seaux_%C3%A9lectriques))
- [2.3] ,[https://observatoireelectricite.fr/IMG/pdf/oie\\_fiche\\_pedago\\_flexi\\_avril\\_2017.pdf](https://observatoireelectricite.fr/IMG/pdf/oie_fiche_pedago_flexi_avril_2017.pdf))  
fiche pédagogique,avril2017

## Bibliographie

- [2.4] [http://lycees.acrouen.fr/maupassant/Melec/co/2melec/co/Distribution/webMob/co/4\\_2\\_HTA\\_BT.html](http://lycees.acrouen.fr/maupassant/Melec/co/2melec/co/Distribution/webMob/co/4_2_HTA_BT.html) → consulté le 22/06/2019
- [2.5] <http://www.energie.sia-partners.com/la-telereleve-bouleverse-la-distribution-electrique> → consulté 21/06/2019
- [2.6] <http://www.grte.dz/spip.php?article35>
- [2.7] <http://www.sdc.dz/spip.php?article788>
- [2.8] <http://www.sktm.dz/?page=article&id=11>
- [2.9] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=compteurs-telerelev>
- [2.10] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=compteurs-telereleve>)
- [2.11] <http://www.spe.dz/index.php/fr/domaine-d-activite>
- [2.12] [https://fr.scribd.com/document/372229371/Chap-9-FR>\\_very\\_important](https://fr.scribd.com/document/372229371/Chap-9-FR>_very_important)
- [2.13] [https://fr.scribd.com/document/372229371/Chap-9-FR>\\_very\\_important](https://fr.scribd.com/document/372229371/Chap-9-FR>_very_important)
- [2.14] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Stabilit%C3%A9\\_des\\_r%C3%A9seaux\\_eaux\\_%C3%A9lectriques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Stabilit%C3%A9_des_r%C3%A9seaux_eaux_%C3%A9lectriques) → consulté le 12/05/2019
- [2.15] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me\\_de\\_contr%C3%B4le\\_et\\_d%27acquisition\\_de\\_donn%C3%A9es\\_\(SCADA\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_contr%C3%B4le_et_d%27acquisition_de_donn%C3%A9es_(SCADA)) → consulté 21/06/2019
- [2.16] [https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9conduite\\_d%27un\\_r%C3%A9seau\\_%C3%A9lectrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9conduite_d%27un_r%C3%A9seau_%C3%A9lectrique)
- [2.17] <https://total.direct-energie.com/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/comprendre-le-marche-de-l-energie/surcharge-electrique-peut-on-l-eviter>
- [2.18] [https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf\\_-\\_actualites/reglage\\_de\\_la\\_frequence.pdf](https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf_-_actualites/reglage_de_la_frequence.pdf) → consulté le 12/05/2019
- [2.19] [https://www.google.com/search?q=structure+r%C3%A9seau+%C3%A9lectrique&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwimyYmnj\\_vIAhVS5uAKHd8PB7sQ\\_AUIECgB&biw=1366&bih=657#imgrc=qXeIHeG8HNb3AM:](https://www.google.com/search?q=structure+r%C3%A9seau+%C3%A9lectrique&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwimyYmnj_vIAhVS5uAKHd8PB7sQ_AUIECgB&biw=1366&bih=657#imgrc=qXeIHeG8HNb3AM:)
- [2.20] <https://www.planetoscope.com/Source-d-energie/229-consommation-mondiale-d-energie-en-tep-.html> → consulté le 15/06/2019
- [2.21] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/reseaux-electriques-de-transport-et-de-repartition-42263210/conduite-d-un-systeme-de-production-transport-d4080/>
- [2.22] [https://www.notre-planete.info/actualites/2379-eolien\\_stockage\\_electricite](https://www.notre-planete.info/actualites/2379-eolien_stockage_electricite)