

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées
Département Génie électrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par

RABHI MERIEM

En vue de l'obtention du diplôme de **Master en :**

Filière : ELECTROTECHNIQUE

Option : RESEAUX ELECTRIQUES

Thème :

stabilité de tension dans un réseau de distribution

Devant le jury composé de :

Mr. Huassine Hamza

M.C.B UAMOB Président

Mr. Touafek Mohamed
Yaakoub

M.A.A UAMOB Encadreur

Mr. Saoudi Kamel

M.A.A UAMOB Examineur

Année Universitaire 2019/2020

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage et la force pour réaliser ce mémoire.

Je tiens à remercier en tout premier lieu Mr. TOUAFEK Mohamed Yaakoub , Directeur de ce mémoire.

Je remercie également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté, à mon travail.

Et Je remercie toutes personnes qui ont contribué, à réaliser ce modeste travail.

Je remercie Tous les enseignants qui ont participé à ma formation.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	10
<i>Chapitre 01</i>	<i>11</i>
ÉTAT DE L'ART SUR LES PRODUCTIONS D'ENERGIE ELECTRIQUE DECENTRALISEE.....	12
1.1. Introduction	12
1.2. Définition de la production d'énergie	Erreur ! Signet non défini.
1.3. Caractéristiques de Production Décentralisée [2]	12
1.3.1. Systèmes à alternateurs classiques (machine synchrone) [3]	12
1.3.2. Systèmes à générateurs asynchrones [2].....	13
1.3.3. Systèmes à interface avec convertisseur électronique.....	13
1.4. Différents types de production décentralisée.....	13
1.4.1. Les énergies renouvelables [3].....	13
1.4.2. Les énergies non renouvelables [4] [5] [6].....	17
1.4.3. La cogénération [7].....	18
1.5. Avantages, intérêts et perspectives de développement de la production d'énergie.....	18
1.5.1. Avantages économiques.....	18
1.5.2. Avantages climatiques et perspectives de développement.....	20
1.6. Impacts de la production décentralisée sur le réseau de distribution.....	20
1.6.1. Les principaux impacts d'origines électriques [14].....	21
1.6.2. Perturbations d'origine mécanique [12].....	23
1.7. Conclusion :	24
<i>Chapitre 02</i>	<i>25</i>
REGLAGE DE TENSION DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES	25
2.1. Introduction	25
2.2. Structure du réseau électrique en Algérie.....	25
2.2.1. Réseaux d'utilisation	25
2.2.2. Réseaux de distribution	25
2.2.3. Réseaux de répartition.....	26
2.2.4. Réseaux de transport.....	26
2.3. Réglage de tension sur les réseaux de distribution	26
2.3.1. Définition et objectifs du réglage.....	26
2.3.2. Problématique du réglage de tension sur les réseaux de distribution	27
2.3.3. Structure historique du réglage de tension.....	27

2.3.4. Les réglages dynamiques :.....	28
2.3.5. Les réglages statiques :	29
2.4. Réglage de tension en présence de producteurs décentralisés	29
2.5. Conclusion	31

Chapitre 03..... 33

AMELIORATION DE LA STABILITE DE TENSION PAR LES
SOURCES DECENTRALISEE33

3.1. Introduction	33
3.2. La qualité de la tension :	33
3.2.1. Dégradation de la qualité de la tension: [29].....	34
3.3. Stabilité des réseaux électrique :	39
3.3.1. Limite de stabilité en régime permanent :[41]	40
3.3.2. Stabilité dynamique :	40
3.3.3. Stabilité transitoire :	40
3.4. Instabilité de la tension :	41
3.4.1. Importance et incidents :	41
3.4.2. Facteurs d'influences reliées à la stabilité de la tension :.....	42
3.5. Causes d'Instabilité de tension	42
3.6. Stabilité de tension vis-à-vis des petites perturbations.....	43
3.7. Stabilité de tension vis-à-vis des grandes perturbations	43
3.8. Méthodes d'amélioration de la stabilité de la tension	43
3.8.1. Production trop éloignées de la consommation.....	43
3.8.2. Charge appelée trop importante.....	44
3.9. Intégration de la DG sur les réseaux de distribution.....	44
3.9.1. Généralités	44
3.9.2. Étude de raccordement d'une installation.....	45
3.9.3. Domaine d'application	46
3.9.4. Raccordement.....	46
3.9.5. Couplage:	47
3.10. Calcul d'écoulement de puissance	47
3.10.1. Méthode Newton-Raphson.....	48
3.10.2. Simulation de l'écoulement des puissances	48
3.10.3. Application dans un réseau test 5 noeuds.....	48
3.11. Conclusion.....	61
Conclusions Générales et Perspectives.....	62

Liste des figures

Figure 1-1 énergie éolienne.....	14
Figure 1-2 Les compositions d'une éolienne	14
Figure 1-3 Centrale thermique à biomasse [50].....	15
Figure 1-4 Schéma d'une centrale hydraulique	15
Figure 1-5 énergie géothermique	16
Figure 1-6 pompe à chaleur	17
Figure 1-7 Scénario de référence pour la production d'électricité [29].....	20
Figure 1-8 Influence sur le flux de puissance	21
Figure 2-1 Illustration de l'impact de l'insertion de production décentralisée	30
Figure 3-1 Variation rapide de la tension.	34
Figure 3-2 Creux de tension	35
Figure 3-3 Cas d'une consommation alimentée par une ligne depuis une centrale	36
Figure 3-4 Cas d'une forte consommation alimentée par une ligne depuis une centrale.....	36
Figure 3-5 Cas d'une consommation répartie avec plusieurs centrales	37
Figure 3-6 Exemple de cas de surtensions transitoires	37
Figure 3-7 Déséquilibre de tension	38
Figure 3-8 Distorsion provoquée par un seul harmonique ($h=5$).....	38
Figure 3-9 Classification de la stabilité de réseau électrique [41].....	39
Figure 3-10 Réseau test 5 noeuds.(3.3)	49
Figure 3-11 Réseau test IEEE-57 noeuds.....	50
Figure 3-12 profile de tension aux niveaux du jeu de barres (après la simulation de l'écoulement de puissance) ..	52
Figure 3-13 profile de tension pour première scénarios.	53
Figure 3-14 :profile de tension pour le deuxième scénario.	54
Figure 3-15 profile de tension pour le troisième scénario.	54
Figure 3-16 profile de tension pour le quatrième scénario.....	55
Figure 3-17 :profile de tension pour le cinquième scénario.	56
Figure 3-18 :profile de tension pour le sixième scénario.	56
Figure 3-19 profile de tension pour le septième scénario.....	57
Figure 3-20 Présentation du réseau d'étude MT sous simulink.....	57
Figure 3-21 :profile de tension en jbb25 avec DG.....	58
Figure 3-22 : profile de tension en jbb25 sans DG.....	59
Figure 3-23 : comparaison de profile de tension avec et sans DG avec compensation et avec défaut.....	60
Figure 3-24 Ecoulement de puissance	61

Liste des tableaux

Tableau 3-1 Les tensions, les puissances générées et les pertes actives dans le réseau test.....	49
Tableau 3-2 Les tensions, les puissances générées et les pertes actives dans le réseau test.....	50

Listes des Acronymes et Symboles

DG	production décentralisée.
PD	production décentralisée
Facts	Alternative Current Transmission Systems
SVC	Static Var Compensator.
STATCOM	Static Synchronous Compensator
HT	Haute tension en K Volt.
THT	Très haute tension en K Volt.
MT	moyenne tension en K Volt
JB	Jeu de barres
Pmax	La puissance maximale de la ligne en M Watt.
I	Vecteur des courants complexes injectés aux jeux de barres en Am.
Ybus	Matrice admittance nodale I_i
V_i	Tension d'un jeu de barres « i » en Volt.
V_i et ∇_i	Module et phase de la tension au jeu de barres « i ».
S_i	Puissance apparente injectée à un jeu de barres « i » en MVA.
P_i et Q_i	Puissances active et réactive injectées au jeu de barres en Watt, Var.
P_g et Q_g	Puissance active et réactive du générateur en Watt, Var.
P_l et Q_l	Puissance active et réactive demandée au jeu de barres en Watt, Var.
Z	Impédance de la ligne en ohm
R	La résistance de la ligne en ohm.
X	La réactance de la ligne en ohm.
Un	Tension nominale en Volt.
Tc	Nombre de tronçons.
P	Puissance active de la charge en Watt.
Q	Puissance réactive de la charge en Var.

Un	La tension du réseau en Volt.
Tc	Le nombre de tronçons
Nmr	Le nombre de ramification.
Ndr	Numéro de jeu de barre.
r	La résistance du tronçon en ohm
x	La réactance du tronçon en ohm.
P (i)	la puissance active du tronçon en Watt.
Q(i)	La puissance réactive du tronçon en Var
Rr	Es ce que ce tronçon est ramifié
Ndr	Combien y a-t-il de ramification.
Dr	Es ce que ce tronçon est départ de ramification.
NF	Organe de coupure normalement fermé
NO	Organe de coupure normalement ouvert.
T1, T2, T3	transformateur de puissance.
ΔU	Chutes de tension en volt
B, φ	Ongle de déphasage en Degrés.

INTRODUCTION GENERALE

L'évolution des réseaux électriques fut marquée, durant les dernières années, par de nouvelles stratégies de conception, d'exploitation et de contrôle. En effet, la solution adoptée, par les plupart des pays, pour faire face au problème de croissance rapide de la demande d'énergie électrique se résume dans les points suivants : La mise en service de nouvelles centrales plus puissantes, Le maillage de plus en plus de réseau de transport et de distribution, L'échange d'énergie entre pays par l'interconnexions internationales et même intercontinentales.

Cette complexité de structure, à la base des problèmes actuels rencontrés dans la conduite en ligne et essentielle ment l'affaiblissement de la capacité des réseaux à garder la stabilité suite à un défaut, a favorise l'appel des moyens de contrôle. Jusqu'à la fin des années 1980, les seuls moyens permettant de remplir ces fonctions étaient des dispositifs électromécaniques : les transformateurs-déphaseurs à réglage en charge pour le contrôle de la puissance active ; les bobines d'inductance et les condensateurs commutés par disjoncteurs pour le maintien de la tension et la gestion du réactif. Toutefois, des problèmes d'usure ainsi que leur relative lenteur ne permet pas d'actionner ces dispositifs plus de quelques fois par jour ; ils sont par conséquent difficilement utilisables pour un contrôle continu des flux de puissance. Une autre technique de réglage des transits de puissances actives et réactive utilisant l'électronique de puissance a fait ses preuves. Aujourd'hui, grâce à l'amélioration des performances de l'électronique de puissance, on voit apparaître de nouveaux équipements connus sous l'appellation FACTS (Flexible Alternative Current Transmission System) qui permettent d'améliorer la stabilité des réseaux électriques et accroître la puissance de transport des lignes. Le développement récent des dispositifs FACTS ouvre de nouvelles perspectives pour une exploitation plus efficace des réseaux électriques par action continue et rapide sur les différents paramètres du réseau (tension, déphasage, impédance). Ainsi, les transits de puissance seront mieux contrôler et les tensions mieux tenus, ce qui permettra d'augmenter les marges de stabilité ou de tendre vers les limites thermiques des lignes.

La recherche rapportée dans ce mémoire est motivée par le souci de perfectionner le Contrôle de la tension dans un réseau électrique perturbé au moyen de dispositifs FACTS, Comme celle comportant un onduleur placé en parallèle avec le réseau, tel que le Compensateur statique de puissance réactive de type avancé (acronyme anglais de « Advanced Static Var Compensateur ASVC »).

Le compensateur statique ASVC est un dispositif qui sert à maintenir la tension en Régime permanent et en régime transitoire à l'intérieur de limites désirées. L'ASVC injecte ou Absorbe de la

puissance réactive dans la barre où il est branché de manière à satisfaire la Demande de puissance réactive de la charge.

Le sujet de ce mémoire concerne, en particulier à l'amélioration de la stabilité de tension d'un réseau Stabilité de tension dans un réseau de distribution objectif de recherche, ce mémoire est organisé en trois chapitres:

Le premier chapitre expose les différents types de production d'énergie. Les avantages de cette production seront également présentés, Les effets du raccordement de ces PDE sur le réseau de distribution seront exposés. On s'intéressera plus particulièrement à l'impact de la production éolienne sur le plan de la tension.

Le deuxième chapitre permet de présenter une synthèse descriptive et comparative entre les différentes méthodes existantes pour l'analyse de la stabilité, ainsi que les moyens pour améliorer la stabilité de réseau de distribution.

Au troisième chapitre, nous présenterons les résultats de simulation obtenus à partir d'un programme en langage MATLAB. Celui-ci nous permettra, dévaluer les différents paramètres d'un réseau test pour trois cas d'étude : le réseau à cinq noeuds sans insertion du générateur éolien, ensuite le réseau avec insertion de ce dernier dans un noeud où la tension présente une chute de tension importante et enfin l'insertion d'un compensateur qui est le STATCOM pour réguler la tension aux différents noeuds. On tire de ces résultats et de leurs interprétations des conclusions à propos de l'apport de l'énergie éolienne au système électrique et de l'efficacité du dispositif FACTS pour la compensation de l'instabilité de la tension.

Enfin, dans la conclusion nous donnerons un résumé des points importants de notre étude et présenterons quelques perspectives pour de futurs travaux.

Chapitre 01

ÉTAT DE L'ART SUR LES PRODUCTIONS D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE DÉCENTRALISÉE

1.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous fournirons une introduction à la production d'énergie, puis les différents systèmes de son fonctionnement, en mentionnant ses types d'énergies renouvelables et non renouvelables, etc.

Sans oublier de parler des bénéfices de la production d'énergie et de son rôle dans le développement économique et humain et la technologie contemporaine et son impact sur le rendement du réseau.

1.2. Caractéristiques de Production Décentralisée [2]

Les systèmes de production décentralisée peuvent se caractériser par le type de générateur ou d'interface utilisé. On distingue ainsi les catégories suivantes et leurs domaines d'applications actuels, avec quelques empiètements entre catégories.

1.2.1. Systèmes à alternateurs classiques (machine synchrone) [3]

Ces systèmes sont dits classiques en raison de l'utilisation de générateurs synchrones comme celui dans les centrales thermiques à combustible fossile ou nucléaire, et dans les centrales hydrauliques. Exemple :

- Biomasse
- Énergie géothermique
- Diesel
- Solaire à bac parabolique et tour
- Turbine à gaz à cycle simple
- Turbine à gaz à cycle combiné
- Vent

1.2.2. Systèmes à générateurs asynchrones [2]

- Solaire réflecteur-moteur (à miroirs paraboliques et moteurs à cycle Stirling et Baryton)
- Vent

1.2.3. Systèmes à interface avec convertisseur électronique [2]

- Vent (avec générateur synchrone ou asynchrone)
- Photovoltaïque
- Stockage par batterie
- Stockage par bobine supraconductrice et Piles à combustible

Tout générateur destiné à être raccordé au réseau triphasé à courant alternatif 50/60 Hz doit constituer une source de trois forces électromotrices triphasées symétriques, de même ordre de succession que les tensions du réseau.

De nombreux types de GED existent qui utilisent des technologies matures ou en phase de développement. Les énergies primaires utilisées sont également très variées, d'origine renouvelable ou fossile. Un panel des principales technologies mises en œuvre est proposé ci-dessous

1.3. Différents types de production décentralisée [3]

1.3.1. Les énergies renouvelables [3]

1.3.1.1. Eolien : [3]

Ce mode transmet l'énergie cinétique du vent à l'énergie électrique grâce aux turbines aérogénérateurs. Deux technologies utilisées principalement sont les générateurs synchrones et asynchrones. En fonction de la technologie choisie, leur raccordement au réseau se fait soit directement, soit via des interfaces d'électronique de puissance. En tenant compte de l'intermittence de ce type d'énergie, les turbines éoliennes sont normalement associées avec un système de stockage d'énergie et/ou avec un moteur diesel. Il existe également deux possibilités d'installation des parcs éoliennes: éolien en mer et éolien sur terre dont les installations en mer comportent une capacité très importante. La puissance d'un parc éolien varie de quelques Mégawatts à quelques centaines de Mégawatts.



Figure 1-1 énergie éolienne

a. Principe de fonctionnement d'une éolienne

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne est relativement simple : le vent fait tourner des pales qui font-elles même tourner le générateur de l'éolienne. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique de type éolienne. L'électricité éolienne est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage d'électricité éolienne

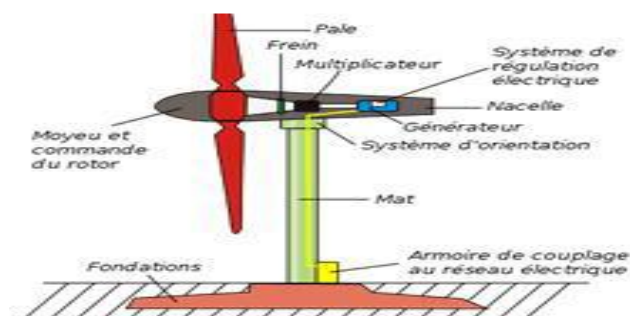


Figure 1-2 Les compositions d'une éolienne

1.3.1.2. Biomasse et déchets : [3]

Certaines centrales thermiques à flamme utilisent comme source Primaire des combustibles issus de la biomasse (bois, biogaz, paille, déchets organiques, etc.) ou de déchets industriels et domestiques.

Il existe trois familles pour la biomasse :



Figure 1-3 Centrale thermique à biomasse

1.3.1.3. Photovoltaïque : [3]

les panneaux photovoltaïques transforment directement l'énergie solaire en énergie électrique à courant continu. Il s'agit de cellules en matériaux semi-conducteurs fonctionnant sur le principe de la jonction P-N et étant réalisées actuellement pour la grande majorité à partir de silicium cristallisé. Ils sont très utilisés pour l'alimentation des sites isolés en association avec un système de stockage

1.3.1.4. Hydrolienne : [3]

Celle-ci utilise l'énergie cinétique des courants marins, comme une éolienne utilise l'énergie cinétique de l'air. La turbine de l'hydrolienne permet la transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique, qui est alors transformée en énergie électrique par un alternateur. La puissance des centrales hydroliennes est très prometteuse, cependant elles restent encore dans une étape de recherche et de développement

1.3.1.5. Petites centrale hydrauliques:[3]

Leur principe de fonctionnement est identique à la centrale hydraulique centralisée traditionnelle. La différence consiste à leur petite taille. Elles sont installées proches des consommateurs pour exploiter les petits fils d'eau locale. Le niveau de puissance va de quelques kW à quelques MW.

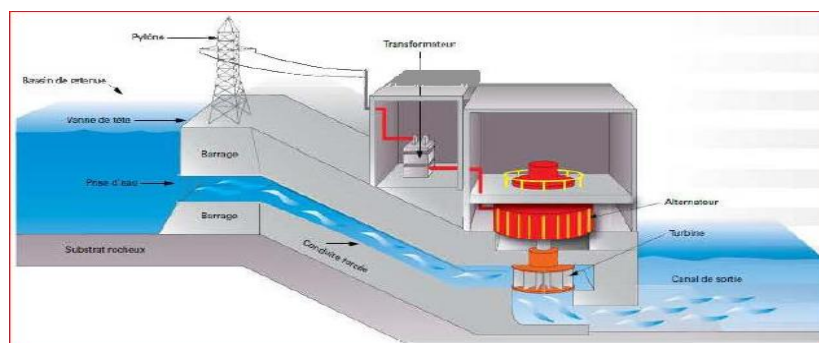


Figure 1-4 Schéma d'une centrale hydraulique

1.3.1.6. L'énergie géothermique [3]

Le principe de la géothermie consiste à puiser dans une nappe phréatique ou le plus souvent à prélever l'énergie gratuite contenue dans le sol pour chauffer une habitation, cette énergie est constamment renouvelée par la nature, le soleil, le vent, la pluie. C'est donc une énergie renouvelable.

Ce transfert d'énergie de l'extérieur vers l'intérieur est assuré par deux échangeurs (1,2) et un générateur (3) :

1) L'évaporateur est un échangeur de chaleur qui prélève l'énergie dans le sol celui-ci est soit constitué de tuyaux en PEHD (tuyauterie souple) ou circule un fluide caloporteur (eau glycolée) formant une nappe horizontale soit par un forage intégrant un échangeur vertical ou encore en prélevant la chaleur de l'eau directement dans une nappe phréatique Le milieu où l'on prélève l'énergie est appelée la source froide.

2) Le condenseur restitue cette énergie souvent par un chauffage au sol c'est-à-dire des tuyaux intégrés dans une Chappe avant carrelage ou de ventilo-convecteurs (air pulsé), ou encore des radiateurs basse température. Le milieu où l'on restitue l'énergie est appelée la source chaude.

3) Ce transfert d'énergie est possible grâce à un générateur de type pompe à chaleur.

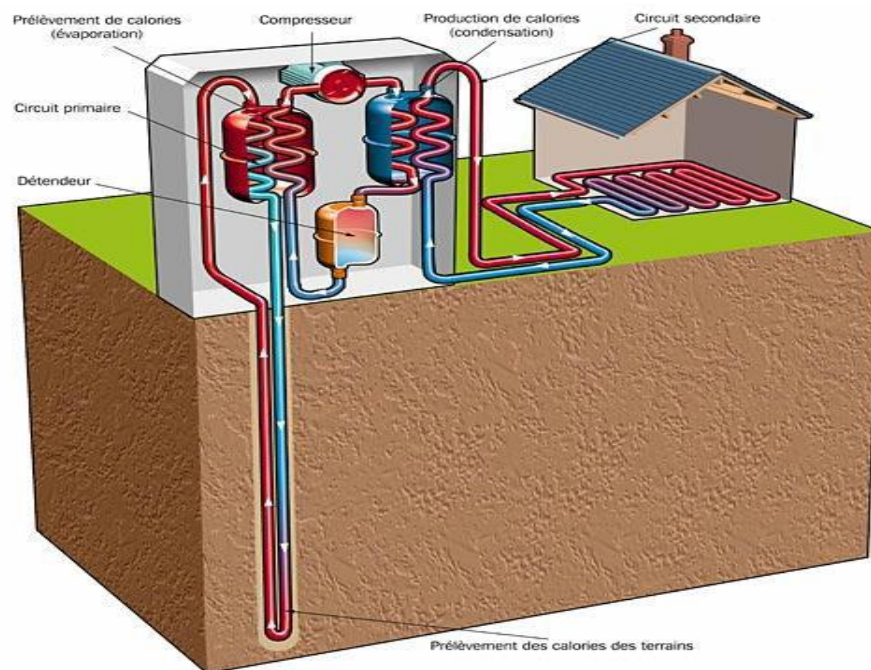


Figure 1-5 énergie géothermique

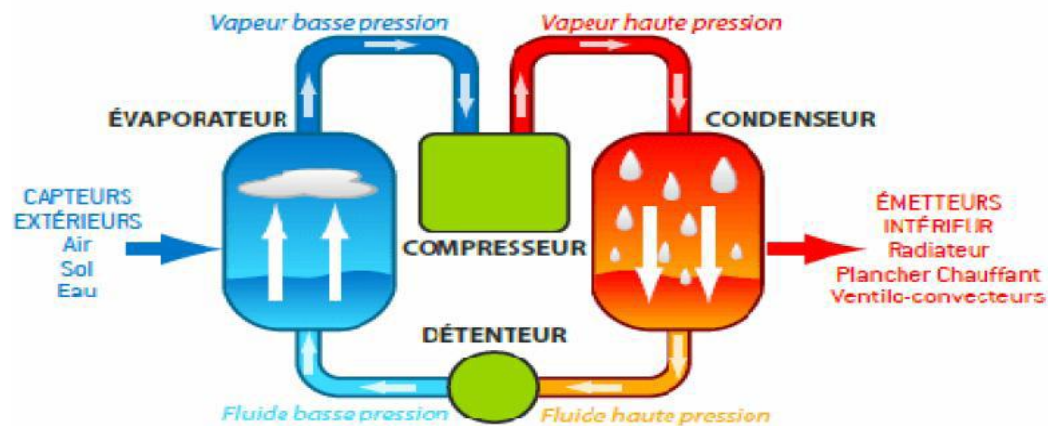


Figure 1-6pompe à chaleur

Comment ça marche une pompe à chaleur ?

Une pompe à chaleur est un système de chauffage thermodynamique basé sur un principe physique, le "changement d'état" et plus précisément l'évaporation et la condensation. Quand un liquide s'évapore pour devenir un gaz, il absorbe de l'énergie, quand il se condense pour revenir à l'état liquide, il dégage de l'énergie.

La température d'évaporation du fluide frigorigère étant toujours plus basse que la température du sol ou d'une nappe d'eau souterraine celui-ci absorbe les calories pour les restituer ensuite dans la phase de condensation. Ce transfert est possible grâce à un compresseur qui aspire, comprime et porte à haute température un fluide, ce compresseur permettra la circulation du gaz dans le circuit frigorigère.

1.3.2. Les énergies non renouvelables [4] [5] [6]

1.3.2.1. L'énergies fossiles :[4][5][6]

(gaz, charbon, pétroles) sont utilisées comme l'énergie primaire pour produire l'électricité. On peut les trouver dans les turbines à combustion (puissance disponible sur le marché de 25kW à 200 MW), les micro turbines à combustion (de 30 à 50kW), les moteurs à gaz (de 5kW à 5MW), les moteurs diesels (de 100kW à 25 MW), les moteurs Stirling (de 5 à 50 kW).

1.3.2.2. L'énergie d'hydrogène :[4][5][6]

Elle est utilisée avec l'oxygène par la réaction électrochimique dans laquelle l'énergie chimique dégagée par la dégradation du combustible est convertie directement en énergie électrique et en chaleur. C'est le principe de piles à combustible. La puissance actuelle des piles à combustible est dans la plage de 1kW à 1MW et elles sont encore améliorées et développées.

1.3.3. La cogénération [7]

La cogénération électricité – chaleur est une technique permettant de récupérer la chaleur produite par toute microcentrale électrique proche de bâtiments et fonctionnant à haute température, qu'il s'agisse de centrales thermiques classiques ou de certains types de piles à combustible. Le rendement énergétique global d'une telle installation peut atteindre 90% et l'utilisation locale de la chaleur produite permet d'éviter une consommation supplémentaire d'énergie pour le chauffage des bâtiments.

1.4. Avantages, intérêts et perspectives de développement de la production d'énergie [8]

Les générateurs d'énergie peuvent être installés près des sites de consommation, réduisant ainsi le coût de transport, les pertes en lignes et l'appel de puissance réactive au niveau du poste source. D'autre part, le temps d'installation est plus court que pour la production centralisée et les sites d'installation sont plus faciles à trouver. Enfin, les nouvelles technologies mises en oeuvre sont plus propres et l'utilisation des producteurs d'énergie en cogénération améliore nettement le rendement énergétique global de l'installation et donc son attrait économique.

Le potentiel énergétique de la grande centrale hydraulique est exploité près de son maximum au niveau mondial avec 740 GW installés [8].

Le monde comptera 3,2 TW de solaire photovoltaïque et d'éolien en 2030. La capacité électrique installée dans le monde va presque doubler d'ici 2030 selon le rapport « 2030 Market Outlook » de «Bloomberg New Energy Finance (BNEF) » passant de 5,5 TW en 2012 à 10.5 TW en 2030. Cependant, 60 % des nouvelles capacités ajoutées sur la période seront renouvelable [8].

Les deux principaux moteurs de ce changement global seront le panneau solaire et l'éolien terrestre. La puissance photovoltaïque cumulée en 2030 sera de 1,9 TW (0,14 TW en 2013), soit davantage que celle de l'éolien, qui atteindra 1,3 TW. La puissance installée des autres énergies renouvelables (dont l'hydroélectricité) sera de 2 TW]. La part combinée du solaire photovoltaïque et de l'éolien terrestre dans le mix électrique mondial passera de 3 % en 2013 à 17 % en 2030 (entre 16 et 18 % selon les hypothèses retenues). Le troisième élément majeur sera l'hydroélectricité. En revanche, les contributions de la bioélectricité et de l'éolien «offshore» seront relativement modestes, tandis que celles du solaire thermodynamique (CSP) et de la géothermie seront faibles [8] .

1.4.1. Avantages économiques [9]

Une étude menée par Hugo A. Gil et Geza Joos en 2008 a montré que la production d'énergie peut amener des avantages économiques pour tous les acteurs du système électrique [9].

Les consommateurs, en installant leurs propres générateurs d'énergie, peuvent augmenter la fiabilité de leur approvisionnement. Ceci est particulièrement important pour les consommateurs sensibles (banques, hôpitaux, etc.). Ils peuvent aussi diminuer leur facture électrique en consommant l'électricité produite, voire en la revendant au distributeur à des tarifs de rachat supérieurs aux tarifs de vente.

Les gestionnaires des réseaux peuvent, grâce aux générateurs d'énergie, différer leurs investissements sur le réseau. La production d'énergie, à condition qu'elle ne dépasse pas en puissance la consommation locale, permet de produire localement l'électricité consommée par les charges proches, les pertes en lignes sur les réseaux et les appels de puissance dans les postes sources sont donc diminués. Cela permet aussi, entre autre, d'effacer les pointes de consommation importantes. Ce constat reste cependant théorique puisqu'en pratique, partout dans le monde, on assiste à une hausse des investissements liée à la production d'énergie dans les réseaux électriques (construction de départs dédiés et renforcement des lignes)

L'installation de producteurs d'énergie au niveau mondial permettrait aussi de diminuer globalement les prix de l'électricité, quel que soient les marchés (marchés à long terme, spot, ajustement, bilatéraux, etc.). De manière générale, sur les marchés, la production est généralement répartie de la moins chère à la plus chère jusqu'à ce que l'offre égale la demande prévue, c'est-à-dire la consommation attendue. Par conséquent, une diminution de la demande devrait, théoriquement, faire baisser le prix de clôture du marché. L'excédent de demande est couvert par la production d'énergie.

Enfin, pour le responsable d'équilibre, l'agrégation de la production centralisée en centrales virtuelles lui permettrait de disposer de réserves de production. Cette réserve pourrait être moins chère à mobiliser dans certains cas que d'utiliser le marché d'ajustement.

Ces avantages économiques de la production d'énergie sont attendus dans un marché économique idéal, où les différents acteurs pourraient être en position de concurrence équivalente. Il apparaît évident que ce n'est pas le cas aujourd'hui dans le système électrique. Le marché de l'énergie électrique est dominé par les anciennes entreprises publiques qui se retrouvent en situation de monopole, car le marché de l'énergie

Électrique étant un marché fortement capitalistique nécessitant de forts investissements, l'établissement d'un marché concurrentiel prend du temps. Leur capacité de production est très importante et permet des économies d'échelle que ne peuvent se permettre les petits producteurs. Par ailleurs, ces entreprises publiques étaient chargées, du temps des monopoles, de vendre l'électricité à prix coûtant. La privatisation de ces entreprises et l'arrivée d'acteurs privés entraînera probablement la

recherche de bénéfices financiers. Le passage dans une économie libéralisée amènera donc certainement des prix de revente de l'électricité supérieurs aux anciens tarifs régulés

1.4.2. Avantages climatiques et perspectives de développement [9]

Les principales sources d'énergie utilisées par la production d'énergie sont renouvelables. L'énergie éolienne est un bon exemple: les émissions de dioxyde de carbone sont très faibles et concernent uniquement la fabrication et l'entretien des installations. Bien que les puissances individuelles soient faibles, le déploiement à grande échelle de générateurs d'énergie permettrait donc d'augmenter la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie électrique.

En 2004, dans le monde, 17.8 % (soit 3 179 TWh) de l'énergie électrique totale produite (soit 17 408 TWh) l'a été à partir d'énergies renouvelables. L'énergie hydraulique représente cependant près de 90 % de cette part. Dans les tendances données par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), les énergies renouvelables devraient atteindre 20.3 % en 2030 pour un doublement de la production totale D'électricité (33 750 TWh) [10]. L'énergie hydraulique passera alors à 70 %, la biomasse à 10 % contre 75.6 % en 2015 et les autres énergies renouvelables de 8 à 20 % contre 4.5 % en 2015.

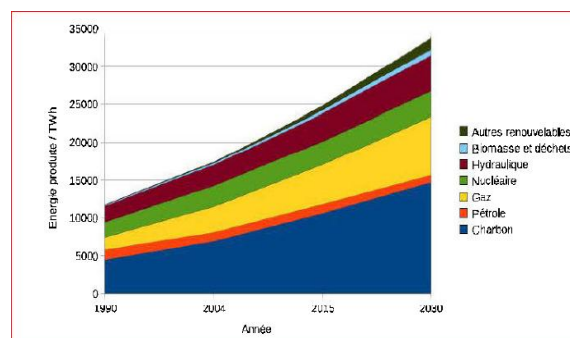


Figure 1-7 Scénario de référence pour la production d'électricité [29].

Durant les deux prochaines décennies, la croissance de la production d'électricité issue des énergies renouvelables va donc être sensible. Même si une partie de cette production sera assurée par des installations connectées au réseau de transport (hydraulique et grandes fermes éoliennes), les générateurs d'énergie en assureront une part grandissante. La croissance de la production d'énergie sera donc elle aussi importante, d'autant plus que d'autres technologies fonctionnant avec des sources d'énergie non renouvelable seront à prendre en compte (véhicules électriques, cogénération, micro centrales, etc..).

1.5. Impacts de la production décentralisée sur le réseau de distribution

On trouve dans la littérature plusieurs études [12] [13] [14] qui ont été faites afin d'identifier et évaluer les impacts de la production décentralisée sur le réseau, puis de proposer des solutions adaptées.

L'opérateur du réseau se préoccupe de ce type d'étude lors de la phase de planification ou de l'approbation d'un projet de raccordement des productions décentralisées.

1.5.1. Les principaux impacts d'origines électriques [14]

Le raccordement de production décentralisée aux réseaux de tension inférieure (par rapport au réseau de transport) apporte des intérêts économiques et énergétiques, mais il sera pénalisé sur le plan de l'exploitation du système.

1.5.1.1. Impact sur le sens de transit de puissance

Les réseaux sont dimensionnés pour recevoir les flux d'énergie du réseau de transport vers la distribution. L'insertion des PD dans les niveaux de tension autres que le réseau de transport peut créer une injection de puissance dans le sens contraire, c'est-à-dire, de la distribution vers le transport. Les équipements, notamment les protections doivent alors être Bidirectionnelles.

Sachant que les réseaux aux niveaux de tension inférieure sont normalement surdimensionnés afin de faire face à l'accroissement de Consommation, on n'aura peut-être pas, à court terme, de problèmes liés à des limites de la capacité de transfert d'énergie ; mais à plus long terme, lorsque le taux de pénétration de PD augmentera, la modification du sens de transit de puissance pourra éventuellement provoquer des congestions locales.

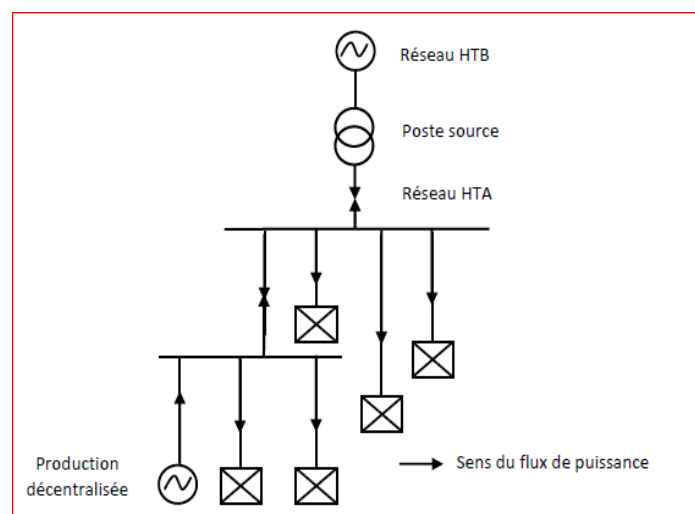


Figure 1-8 Influence sur le flux de puissance

1.5.1.2. Impact sur le profil de tension

On sait que les nœuds proches d'une source ont une tension plus élevée, la tension diminuant au fur et à mesure que l'on s'éloigne. La connexion de sources de PD à proximité des charges modifiera donc naturellement le profil de tension sur le réseau.

1.5.1.3. Impact sur la stabilité du système

Les génératrices de productions décentralisées peuvent être de type synchrone ou asynchrone. L'insertion de générateurs synchrones dans le réseau va changer le temps critique d'élimination de défaut (correspondant à la durée maximale d'une perturbation à laquelle le système peut résister sans perte de stabilité). Ceci influencera directement la limite de la stabilité dynamique du système en considération.

1.5.1.4. Impact sur le plan de protection

La connexion de nouveaux générateurs au réseau modifiera également les courants de court-circuit et donc le réglage des seuils des protections. D'ailleurs, ce changement peut provoquer une mauvaise sélectivité, des déclenchements intempestifs ou l'aveuglement du système de protection.

1.5.1.5. Impact sur l'observabilité et de contrôlabilité du système

Les PD, notamment celles à type énergie nouvelle et renouvelable, sont caractérisées par l'intermittence des sources primaires. Cela sera difficile pour l'opérateur d'estimer la puissance de sortie de ces producteurs, donc la puissance fournie du système, par conséquent.

1.5.1.6. Impact sur la continuité de service

Pour la même raison concernant la caractéristique d'intermittence, l'indisponibilité des PD lorsque le système les sollicite peut occasionner la rupture d'électricité par manque de Puissance.

1.5.1.7. Impact sur la qualité de service

Les PD de type asynchrone consomment de la puissance réactive afin de magnétiser leur circuit magnétique. Lors de la connexion au réseau, elles appellent un courant fort, ce qui contribue au creux de tension (en profondeur). D'ailleurs, la présence d'interfaces d'électronique de puissance peut faire augmenter le taux des harmoniques qui nuisent gravement à la qualité de service fournie.

1.5.2. Perturbations d'origine mécanique [12]

1.5.2.1. Fluctuations de puissance

Les contraintes mécaniques conduisent à des fluctuations de puissance pouvant atteindre plus de 10% de la puissance nominale du réseau. Ces différentes contraintes peuvent être classées selon leur effet temporel sur le rotor.

a. Les charges stationnaires dans le temps, mais pas dans l'espace, qui provoquent des contraintes cycliques sur le rotor : augmentation du vent avec la hauteur, interférence entre la tour et l'écoulement du vent.

b. Les forces de gravité dues au poids des pales qui entraînent aussi des fluctuations périodiques.

c. Les contraintes non périodiques et stochastiques dues aux turbulences du vent. Il faut également prendre en compte le caractère dynamique de la conversion.

1.5.2.2. Effet d'ombre ou effet de tour

L'effet de tour est produit du fait de la résistance de la turbine à l'écoulement du vent, perturbe en amont et en aval. Loin de l'influence de la tour, la vitesse de vent est supposée constante alors qu'elle augmente à l'approche de la tour et diminue ensuite. Dans le cas d'éoliennes à trois pales, on retrouve des harmoniques $3f_T$ et leurs multiples, dans le spectre de la puissance délivrée par une turbine éolienne, ou représente la fréquence de rotation de la turbine.

1.5.2.3. Phénomène de cisaillement [11]

Le phénomène de cisaillement du vent produit également des oscillations de couple provoquées par le gradient de vitesse de vent le long du secteur balayé par les pales. Pendant que le rotor prélève l'énergie du vent entrant, il voit les profils de vent comme des fonctions périodiques du temps avec des harmoniques multiples de $3f_T$.

Ces fluctuations de couple produisent des fluctuations de puissance en sortie de la turbine, qui vont altérer la qualité de l'énergie renvoyée vers le réseau. Les raies apparaissant sont toutes de l'ordre du Hertz. Les raies de fréquence $3f_T$ sont dans ce cas-là prépondérants.

1.6. Conclusion :

Nous avons exposés les différents moyens de production d'énergie ainsi que leurs avantages. À la fin du chapitre, nous avons présenté une description sommaire des réseaux du futur. Ces derniers sont connus, en anglais, sous le terme de « *Smart Grids*».

La dérégulation du secteur électrique a favorisé l'apparition de moyens de production au sein des réseaux de distribution. Cette insertion de production, comme nous allons le voir dans le chapitre suivant, n'est pas sans impact sur ceux-ci. Plusieurs de ces impacts vont être présentés (impact du plan de tension, modification des courants de défaut, impact sur la stabilité, diminution des temps d'élimination critique de défaut, etc.).

Chapitre 02

REGLAGE DE TENSION DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES

2.1. Introduction

Les installations de production, de transport et de distribution de l'électricité constituent un système très vaste et très complexe (non linéarité). De nombreux acteurs, des producteurs aux consommateurs qui passent par le réseau électrique, ont des effets variés sur ce système. Chacun de ces acteurs ou combinaison d'acteurs peut avoir des incidences favorables ou défavorables sur la qualité et la stabilité de l'énergie électrique, en termes de tension et de fréquence, ainsi que sur la sûreté des réseaux. Dans ce chapitre, on va couvrir les méthodes d'analyse de stabilité de tension

Dans ce chapitre, nous parlerons de la structure du réseau électrique en Algérie puis de la régulation de la tension sur les réseaux de distribution en général, puis de la régulation de la tension en présence de générateurs décentralisés.

2.2 .Structure du réseau électrique en Algérie

2.2.1. Réseaux d'utilisation

Ces sont les réseaux de basse tension (BT) qui alimentent les maisons, l'éclairage public, les moteurs et les appareils domestiques. Ce type de réseau électrique doit présenter une continuité de service permanente. Généralement la gamme de tension est de 220 volts à 380 volts.

2.2.2. Réseaux de distribution

Ce sont les réseaux de moyenne tension (MT) qui fournissent aux réseaux d'utilisation les puissances nécessaires demandées. Ils doivent observer des distances limitées de voisinage, c'est pour cela que ces réseaux se réalisent en souterrain dans les villes. (En Algérie le niveau de tension de distribution de l'énergie est fixé à 10 kV).

2.2.3. Réseaux de répartition

Ce sont les réseaux HT/MT (30/10 kV), ils fournissent les puissances nécessaires aux réseaux de distribution reliés entre eux, ils facilitent le secours mutuel entre régions.

2.2.4. Réseaux de transport

Ils assurent l'alimentation de l'ensemble du territoire national grâce à des transits de puissances importantes et de tensions qui sont de 60, 220, et 400 kV.

Les réseaux doivent assurer le transit de l'énergie électrique avec une sécurité suffisante, cette sécurité d'alimentation est augmentée soit :

- Par les lignes aux appareillages plus solides.
- Par des circuits plus nombreux.

2.3. Réglage de tension sur les réseaux de distribution

2.3.1. Définition et objectifs du réglage [15]

La qualité de fourniture implique, en particulier la garantie de la qualité de l'onde de tension au point de raccordement de chaque client. Théoriquement, l'onde de tension devrait être une sinusoïde de fréquence constante (50 Hz en France) et d'amplitude constante (fixée par le niveau de tension du point de raccordement). En pratique, le contenu spectral et l'amplitude de la tension varient dans le temps. Le gestionnaire s'engage à maintenir ces variations dans les bornes fixées par le législateur afin d'éviter de perturber le fonctionnement des appareils connectés au réseau [15].

Dans ces travaux, nous nous intéressons aux perturbations du type contraintes de tension haute – dites surtensions – et contraintes de tension basse. Un nœud est dit en surtension (respectivement en contrainte de tension basse) si sa tension est supérieure (respectivement inférieure) à la borne de tension haute (respectivement basse) de la plage de tension admissible. Sur le réseau moyenne tension, la plage de tension admissible est définie légalement et contractuellement (norme C13-200 pour la HTA et C15-100 pour la BT) [16]

Le gestionnaire de réseau de distribution (GRD) s'engage à maintenir la moyenne sur dix minutes de l'amplitude de la tension dans une plage de plus ou moins 5 % autour de l'amplitude de la tension de consigne (U_c). La tension de consigne est fixée contractuellement au raccordement de l'utilisateur et doit se trouver dans une plage de plus ou moins 5 % de l'amplitude de la tension nominale du réseau (U_n) – généralement 20 kV en France. Sur les réseaux basse tension, le gestionnaire s'engage à maintenir la moyenne sur dix minutes de l'amplitude de la tension au point de raccordement

d'un utilisateur dans une plage de plus ou moins 10 % autour de la tension nominale du réseau – par exemple 400 V pour un raccordement triphasé en France. Le tableau 1.3 résume les définitions des contraintes de tensions basse et haute en fonction du niveau de tension du point de raccordement d'un utilisateur.

2.3.2. Problématique du réglage de tension sur les réseaux de distribution

Des tensions trop basses peuvent perturber le bon fonctionnement des matériels des utilisateurs, mais aussi du réseau – comme les plans de protection, etc. –, l'augmentation des pertes et la diminution de la puissance maximale transmissible dans les lignes ce qui risque d'entraîner une surcharge du réseau [17].

Il est donc important d'éviter les contraintes de tensions haute et basse. En pratique, si la tension sort des plages admissibles de fonctionnement, les plans de protection des réseaux prennent en charge l'élimination du risque en allant jusqu'à, si besoin, interrompre l'alimentation de certains utilisateurs. Le lecteur intéressé pourra trouver des détails sur les plans de protection des réseaux de distribution français dans [18] et [19].

Afin d'éviter les interruptions et donc d'assurer la continuité de l'alimentation des utilisateurs, le gestionnaire contrôle le niveau de tension de ses réseaux en agissant de la **planification** jusqu'à la **conduite** des réseaux. Ces différentes actions sont regroupées sous le nom de réglage de tension.

2.3.3 Structure historique du réglage de tension

Les structures des réseaux de transport et de distribution étant historiquement différentes, l'organisation du réglage de tension l'est aussi. On ne détaillera ici que le réglage de tension sur les réseaux de distribution. Le lecteur intéressé trouvera des détails sur le fonctionnement du réglage de tension sur les réseaux de transport dans [17].

Les différents moyens permettant le réglage de la tension ont été conçus avant l'insertion massive de production décentralisée. Dans un premier temps, nous allons détailler le fonctionnement du réglage de tension dans le contexte historique (sans production décentralisée). Nous discuterons ensuite de l'impact des producteurs sur ce réglage.

Comme dit précédemment, le but de ce réglage est de maintenir la tension dans les bornes admissibles (tableau 1.3). Aujourd'hui, les GRD disposent de moyens de réglage en conduite (réglages dynamiques) et en planification (réglage statique) pour régler la tension. Ils sont tous construits sur les mêmes principes physiques. La tension sur le réseau dépend entre autres [20]:

- de la tension en quelques nœuds stratégiques du réseau ;

- des flux de puissance réactive ;
- des flux de puissance active.

2.3.4. Les réglages dynamiques :

Il en existe principalement deux sur les réseaux de distribution.

a. Les régulateurs en charges :

Situés dans les postes sources, les régulateurs en charge ont pour but de maintenir constante la tension en aval du poste source – dite tension au jeu de barres et notée U_{jdb} (figure 1.2) en agissant sur le plan de tension [21].

Ceci permet de découpler les plans de tension des réseaux amont (réseau de transport) et aval (réseau de distribution).

Pour y parvenir, les régulateurs en charge sont des automates qui adaptent de façon discrète le rapport de transformation du transformateur du poste source lorsque la tension en aval (U_{jdb}) s'écarte de la consigne ($U(\text{ref})_{jdb}$). En pratique, la tension en aval est mesurée et comparée à la valeur de consigne choisie en planification par le GRD. Si la mesure s'écarte de plus de 1 % de la consigne, et ce pendant une minute, l'automate « passe une prise » c'est-à-dire qu'il augmente (ou diminue) le nombre de spires au primaire du transformateur afin de diminuer (ou d'augmenter) le rapport de transformation et donc la tension au jeu de barres U_{jdb} .

Il convient de noter qu'après le passage de prise, si la tension ne revient pas à moins de 1 % de la consigne en dix secondes, une deuxième prise est passée. Ceci continue jusqu'à ce que la tension au jeu de barres revienne dans la plage admissible ou que le régulateur en charge arrive en butée.

b. Les bancs de condensateurs :

Situés en sortie des postes sources – soit en tête de départ, les bancs de condensateurs ont pour rôle de compenser la puissance réactive absorbée par les départs du réseau de distribution raccordés au poste source. Ainsi, ils agissent sur la tension des départs en modifiant le flux de puissance réactive même si ce n'est pas leur but premier. En effet, les condensateurs fournissent de la puissance réactive ce qui a pour effet de faire augmenter la tension. Les bancs de condensateurs sont des automates qui mesurent le flux de puissance réactive et raccordent au réseau un ou plusieurs gradins de condensateurs si les départs consomment trop de puissance réactive [22].

2.3.5 Les réglages statiques :

Nous regroupons dans les réglages statiques les principaux paramètres que les GRD peuvent fixer lors des études de raccordement d'un nouveau consommateur et qui ont un impact direct sur le plan de tension. En effet, le GRD réalise une étude – dite étude de raccordement – lorsque l'arrivée d'un nouvel utilisateur modifie le fonctionnement du réseau. Un aperçu du principe de ces études est proposé ci-dessous. Pour une description plus détaillée des études de raccordement, le lecteur pourra se référer à [23].

Le but de cette étude de planification est de prévoir d'éventuelles contraintes de courant et de tension basse 5. Pour y parvenir, les GRD simulent le fonctionnement statique du réseau dans le cas le plus contraignant – pour une consommation maximale – grâce à des calculs de répartition des charges.

Si l'étude ne met pas de contrainte en évidence, le nouvel utilisateur peut être raccordé en l'état. Sinon, le GRD a plusieurs moyens d'action pour éviter la contrainte.

- Dans un premier temps, il peut ajuster la tension de consigne des régleurs en charge ($U(\text{ref})_{\text{jdb}}$) afin de lutter contre les contraintes de tension basse. Dans le cas d'un départ ne raccordant que de la consommation, la tension diminue le long du départ. En pratique, afin d'éviter les contraintes de tension basse, la consigne $U(\text{ref})_{\text{jdb}}$ est réglée au maximum admissible sur le réseau 6.

- Le GRD peut aussi choisir de modifier le rapport de transformation fixe d'un poste de distribution pour lutter contre les contraintes de tension basse sur un départ basse tension. Il convient de noter que les postes de distribution ont généralement trois prises fixes. Le changement de prise se fait uniquement hors tension.

Finalement, si les leviers précédents ne suffisent pas à éviter les contraintes, le GRD peut choisir de renforcer un ouvrage en contrainte ou de créer un nouvel ouvrage. En pratique il s'agit par exemple de remplacer les lignes ou les câbles d'une liaison ou encore de créer une nouvelle liaison pour éviter des cas de contrainte de courant. Ce dernier est généralement choisi en dernier recours à cause de son coût et de la durée des travaux potentiels.

L'organisation du réglage de tension a été établie avant l'arrivée massive de production décentralisée. Nous allons maintenant étudier l'impact de cette production sur le fonctionnement du réglage de tension et les adaptations de ce réglage qui ont été effectuées par les GRD.

2.4. Réglage de tension en présence de producteurs décentralisés

L'insertion massive de production sur les réseaux de distribution a profondément modifié les flux de puissance transités par ces derniers. Conçus pour des flux descendants – du poste source vers

les consommateurs, les liaisons des réseaux de distribution transportent maintenant des flux bidirectionnels – des producteurs décentralisés vers les consommateurs – voire ascendants – lorsque la production d'un départ dépasse sa consommation.

Cette modification impacte le fonctionnement du réseau de distribution à plusieurs niveaux, des plans de protection aux plans de tension en passant par l'observabilité. Dans ces travaux, nous nous intéressons aux impacts sur les plans de tension. Le lecteur intéressé pourra trouver des informations détaillées sur les impacts de la production décentralisée dans [24]–[25]. Comme dit précédemment, sur un départ raccordant uniquement des consommateurs, la tension décroît lorsque l'on s'éloigne du poste source en fonction des puissances consommées et des caractéristiques des liaisons électriques (figure 2.1).

Dans le cas d'un départ raccordant de la production, la tension risque d'augmenter localement. Des surtensions peuvent donc apparaître et être invisibles depuis la mesure de la tension au poste source (figure 1.4b). Ainsi, les régleurs en charge ne suffisent donc pas à éviter les contraintes de tension en présence de production décentralisée. De même, les bancs de condensateurs ne sont pas suffisants. Jusqu'à présent, le risque de surtension causé par les producteurs décentralisés est maîtrisé à l'aide des réglages statiques de tension présentés précédemment. En plus des moyens déjà présentés, l'arrêté du 23 avril 2008 (article 10) prévoit que le GRD puisse imposer aux producteurs qui se raccordent au réseau moyenne tension de fournir ou d'absorber une puissance réactive égale à une fraction de la puissance active – appelée « $\tan(\varphi)$ » – qu'ils injectent au réseau. Pour ce faire, le GRD fixe le $\tan(\varphi)$ des producteurs entre -0,35 (en cas de risque de surtension) et 0,4 (en cas de risque de contrainte de tension basse).

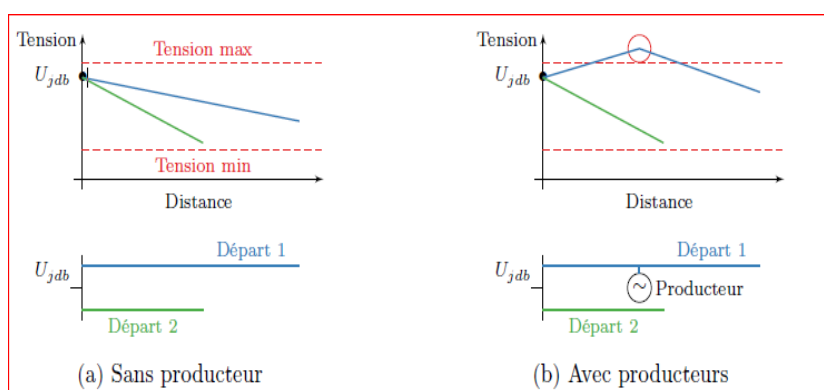


Figure 2-1 Illustration de l'impact de l'insertion de production décentralisée sur le plan de tension d'un départ moyenne tension

Si le réglage du $\tan(\varphi)$ du producteur qui se raccorde ne suffit pas à résoudre les contraintes de tension, le GRD a alors recours aux moyens statiques cités précédemment. Il peut diminuer la consigne

de tension des régleurs en charge ($U(\text{ref})_{\text{jdb}}$) à condition que ceci n'entraîne pas de risque de contrainte de tension basse sur un départ adjacent. Si ceci ne suffit pas, le GRD peut choisir d'intervenir sur le réseau afin de modifier une prise fixe d'un poste de distribution, de renforcer un ouvrage ou d'en créer un nouveau.

Ainsi, aujourd'hui, les GRD utilisent des réglages statiques de la tension pour limiter les contraintes de tension causées par les producteurs décentralisés. Cependant, ces réglages atteignent vite leurs limites et le renforcement des réseaux devient alors nécessaire [26]. De plus, il s'agit de réglages statiques qui ne tenaient déjà pas compte des variations de la consommation et qui ne tiennent pas non plus compte du caractère intermittent de nombreux producteurs décentralisés et donc des contraintes [27].

2.5. Conclusion

Un système d'alimentation est considéré comme bien conçu s'il fournit une alimentation fiable et de bonne qualité. Une bonne qualité signifie un niveau de tension dans des limites raisonnables.

Pratiquement tous les équipements du réseau électrique sont conçus pour fonctionner de manière satisfaisante uniquement lorsque le niveau de tension dans le système correspond ou s'approche de sa tension nominale. Si la variation de tension est supérieure à une valeur prédéfinie, les performances de l'équipement sont altérées et la durée de vie de la plupart des équipements est également sacrifiée. D'où la nécessité de maîtriser les tensions, élément crucial comptant parmi les principales priorités du répartiteur.

La tension exacte à chaque nœud dépend principalement de deux facteurs: la qualité de la puissance réactive produite ou consommée dans les charges et la chute de tension associée aux pertes actives. Dans les réseaux de distribution radiale, l'effet de la chute de tension sur le terrain. Ici, la tension chute simplement lorsque vous traversez la station (la source d'alimentation).

Les variations de la tension du réseau sont étroitement liées aux fluctuations de l'énergie réactive dans le système de production et de transport. Ceci est dû au fait que la puissance réactive joue un rôle important dans l'expression de la chute de tension.

L'analyse des variations de la demande de puissance réactive montre que le problème de l'adéquation entre l'offre et la demande a deux aspects qui nécessitent l'utilisation d'appareils aux caractéristiques très différentes: - le premier consiste à surveiller les fluctuations périodiques. Ceux-ci sont connus, au moins pour les taux largement prévisibles. Ainsi, une grande partie de l'ajustement peut être réalisée, puisque l'action est discontinue et le temps de réponse relativement long. Cette catégorie comprend les batteries de condensateurs et d'inductances installées dans les réseaux.

- le second est de faire face aux variations soudaines et aléatoires. Cela nécessite la mise en œuvre de moyens dont le temps de réponse est très court. Cette catégorie comprend les groupes de production, ainsi que les compensateurs synchrones et les compensateurs statiques.

Chapitre 03

AMELIORATION DE LA STABILITE DE TENSION PAR LES SOURCES DECENTRALISEE

3.1. Introduction

Nous parlerons de l'amélioration de la stabilité de la tension par des sources décentralisées. Au début, nous parlons de la qualité de la tension, puis de la stabilité des réseaux électriques, suivie de l'instabilité de la tension et des raisons qui ont conduit à l'instabilité. Nous mentionnons également la stabilité de la tension contre les petites et grandes perturbations. Puis des méthodes pour améliorer la stabilité de la tension, qui est notre sujet principal, puis l'intégration de sources décentralisées dans les réseaux de distribution et le calcul des flux d'énergie.

Nous avons également placé une application dans un réseau de test de 5 nœuds dans le dernier, nous l'avons scellée avec un score sur l'application

3.2. La qualité de la tension:

La qualité d'énergie ou de la tension est le concept d'efficacité de classer les équipements sensibles d'une manière qui convient à l'opération de l'équipement. Pour rappel, la tension possède quatre caractéristiques principales : fréquence, amplitude, forme d'onde et symétrie. [28]

Le maintien de ce niveau de qualité est la responsabilité commune de tous les gestionnaires de réseaux concernés (zones de réglage), qui doivent participer aux réglages primaire et secondaire de la fréquence.

Le gestionnaire de réseau doit maintenir l'amplitude de la tension dans un intervalle dell'ordre de 10 % autour de sa valeur nominale.

Cependant, même avec une régulation parfaite, plusieurs types de perturbations peuvent dégrader la qualité de la tension :

- les creux de tension et coupures brèves.
- les variations rapides de tension (flicker).
- les surtensions temporaires ou transitoires.

Les deux premières catégories posent les problèmes les plus fréquents.[29][30]

3.1.1. Dégradation de la qualité de la tension : [29]

Les perturbations dégradant la qualité de la tension peuvent résulter de:

- Défauts dans le réseau électrique ou dans les installations des clients : court-circuit dans un poste, dans une ligne aérienne, dans un câble souterrain, etc., ces défauts pouvant résulter de causes atmosphériques (foudre, givre, tempête...), matérielles (vieillesse d'isolants...) ou humaines (fausses manœuvres, travaux de tiers...). [31]

- Installations perturbatrices : fours à arc, soudeuses, variateurs de vitesse et toutes applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, démarrage ou commutation d'appareils, etc....

Les principaux phénomènes pouvant affecter la qualité de la tension, lorsque celle-ci est présente, sont brièvement décrits ci-après.

3.2.1.1. Variation ou fluctuation de la fréquence :

Les fluctuations de fréquence sont observées le plus souvent sur des réseaux non interconnectés ou des réseaux sur groupe électrogène. Dans des conditions normales d'exploitation, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale doit être comprise dans l'intervalle $50 \text{ Hz} \pm 1\%$.

3.2.1.2. Fluctuation de tension (flicker) :

Des variations rapides de tension, répétitives ou aléatoires (figure .1), sont provoquées par des variations rapides de puissance absorbée ou produite par des installations telles que les soudeuses, fours à arc, éoliennes, etc [29] [32].

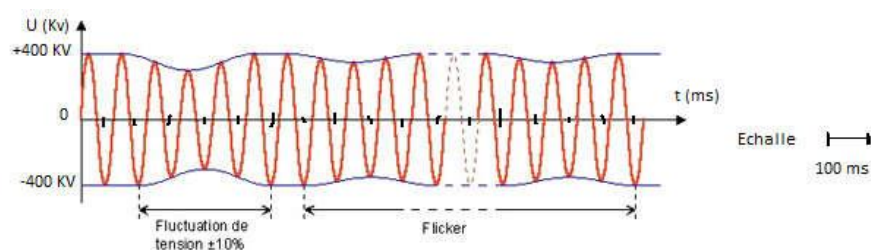


Figure 3-1 Variation rapide de la tension.

Ces fluctuations de tension peuvent provoquer un papillotement de l'éclairage (flicker), gênant pour la clientèle, même si les variations individuelles ne dépassent pas quelques dixièmes de pour-cent.

Les autres applications de l'électricité ne sont normalement pas affectées par ces phénomènes, tant que l'amplitude des variations reste inférieure à quelque 10 %.

3.2.1.3. Creux de tension :

Les creux de tension sont produits par des court-circuit survenant dans le réseau général ou dans les installations de la clientèle (figure 2). Seules les chutes de tension supérieures à 10 % sont considérées ici (les amplitudes inférieures rentrent dans la catégorie des «fluctuations de tension»). Leur durée peut aller de 10 ms à plusieurs secondes, en fonction de la localisation du court-circuit et du fonctionnement des organes de protection (les défauts sont normalement éliminés en 0.1-0.2 s en HTB, 0.2 s à quelques secondes en MT).[32]

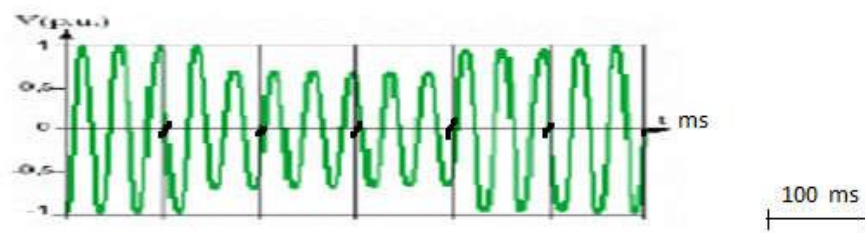


Figure 3-2 Creux de tension

Ils sont caractérisés par leurs: amplitude et durée et peuvent être monophasés ou triphasés selon le nombre de phases concerné.

Les creux de tension peuvent provoquer le déclenchement d'équipements, lorsque leur profondeur et leur durée excèdent certaines limites (dépendant de la sensibilité particulière des charges). Les conséquences peuvent être extrêmement coûteuses (temps de redémarrage se chiffrant en heures, voire en jours ; pertes de données informatiques ; dégâts aux produits, voire aux équipements de production...).

3.2.1.4. Interruption courte ou coupure brève :

L'interruption courte est la perte complète ou la disparition de la tension d'alimentation pendant une période de temps de 1/2 cycle jusqu'à 3 s. Elle se produit quand la tension d'alimentation ou le de charge diminue à moins de 0.1 p.u. [30]

Le dégagement du défaut de tension et les coupures brèves sont principalement produits par les court-circuit imputables aux incidents naturels du réseau et aux manœuvres d'organes de protection éliminant ces défauts. Ils sont également la conséquence d'appel de puissances importantes lors de la mise en service de certaines charges du réseau.

3.2.1.5. Bosses de tension :

La bosse de tension est une augmentation de la tension au-dessus de la tension nominale 1.1 p.u pour une durée de 0.5 cycle à 60 s. Elle est caractérisée par son amplitude et sa durée. Elle peut causer l'échauffement et la destruction des composants.

3.2.1.6. Chutes de tension :

Lorsque le transit dans une ligne électrique est assez important, la circulation du courant dans la ligne provoque une chute de la tension (figure 3). La tension est alors plus basse en bout de ligne qu'en son origine, et plus la ligne est chargée en transit de puissance, plus la chute de tension sera importante.

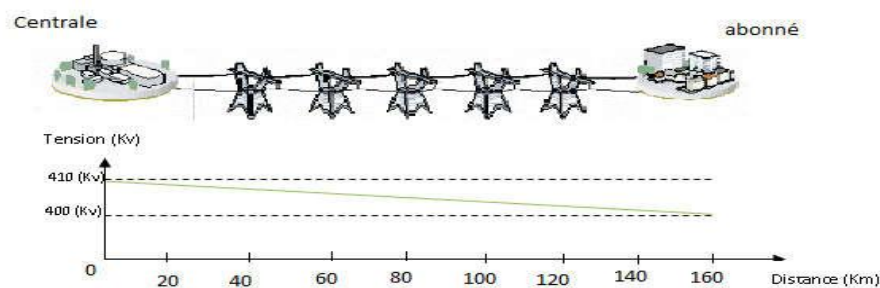


Figure 3-3 Cas d'une consommation alimentée par une ligne depuis une centrale

Si la consommation double, la chute de tension double.

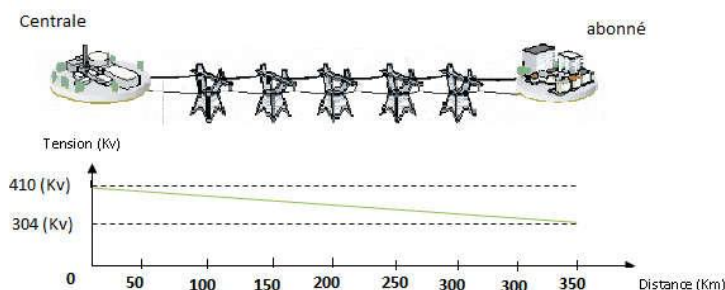


Figure 3-4 Cas d'une forte consommation alimentée par une ligne depuis une centrale

Un réseau dans lequel la consommation est éloignée de la production, présentera un profil de tension différent de celui d'un réseau dans lequel production et consommation sont uniformément réparties (figure 3-5). Chaque centrale impose la tension à sa sortie, et la tension évolue dans le réseau en fonction de la consommation alimentée.

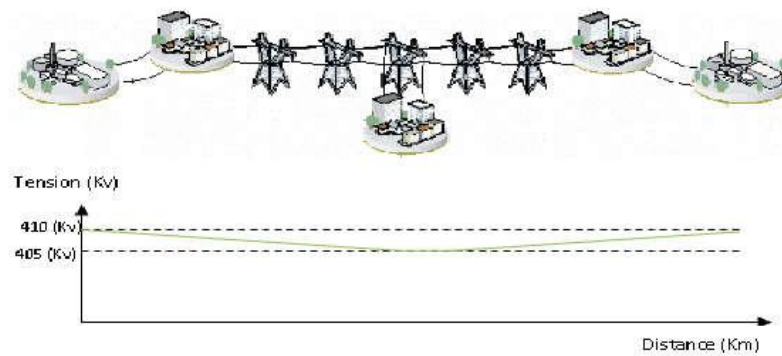


Figure 3-5 Cas d'une consommation répartie avec plusieurs centrales

C'est pourquoi dans les réseaux maillés HTB, la tension est différente suivant l'endroit où l'on se trouve. A la pointe de consommation, la tension est forte aux nœuds du réseau où les centrales débitent, et relativement basse aux points de consommation éloignés des centrales. Figures (3) (4) (5) sont valables pour un instant donné, à un niveau de consommation donné. Lorsque la consommation varie au cours du temps, la tension évolue, baissant lorsque la consommation augmente, remontant lorsque la consommation diminue. Le fait que la tension ne soit pas identique en tout point du réseau est normal. Cette différence est compensée par des réglages de tension réalisés dans les postes de transformation. Cela permet de garantir que la tension reste dans la plage admissible en tout point de livraison.

3.2.1.7. Tension et/ou courant transitoire :

Les surtensions transitoires illustrées sur la figure (3-6) sont des phénomènes brefs, dans leur durée et aléatoires dans leur apparition. Elles sont considérées comme étant des dépassements d'amplitude du niveau normal de la tension fondamentale à la fréquence 50Hz ou 60Hz pendant une durée inférieure à une seconde.[29] [20]

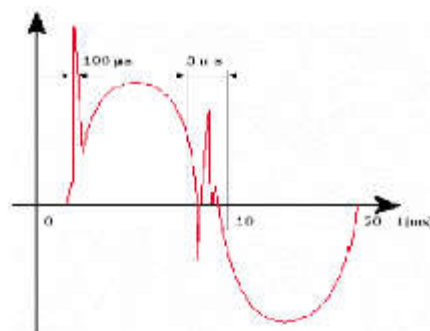


Figure 3-6 Exemple de cas de surtensions transitoires

Quelques équipements tels que les dispositifs électroniques sont sensibles aux courants/tensions transitoires.

3.2.1.8. Déséquilibre de tension :

Un récepteur électrique triphasé, qui n'est pas équilibré et que l'on alimente par un réseau triphasé équilibré conduit à des déséquilibres de tension dus à la circulation de courants non équilibrés dans les impédances du réseau (figure 3-7). Ceci est fréquent pour les récepteurs monophasés basses tensions. Mais cela peut également être engendré, à des tensions plus élevées, par des machines à souder, des fours à arc ou par la traction ferroviaire. [20]

Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes des autres de 120° .

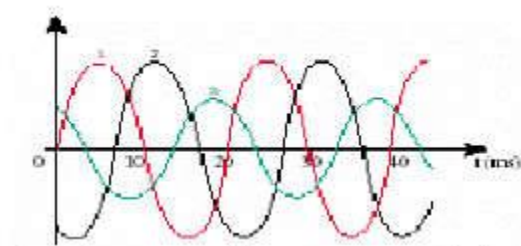


Figure 3-7 Déséquilibre de tension

3.2.1.9. Perturbations harmonique et inter harmoniques :

On entend par harmonique, toute perturbation non transitoire affectant la forme d'onde de tension du réseau électrique [29]. Les harmoniques sont des composantes dont la fréquence est un multiple de la fréquence fondamentale (figure 8), qui provoquent une distorsion de l'onde sinusoïdale [33]. Ils sont principalement dus à des installations non linéaires telles que les convertisseurs ou les gradateurs électroniques, les fours à arc, etc.

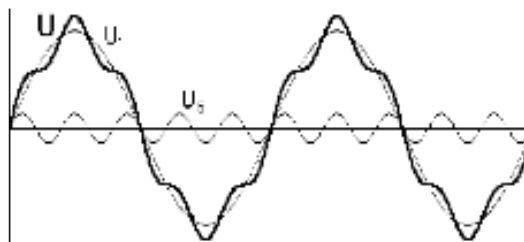


Figure 3-8 Distorsion provoquée par un seul harmonique ($h=5$)

Des niveaux élevés d'harmoniques peuvent causer un échauffement excessif de certains équipements, par exemple de condensateurs ou de machines tournantes, et peuvent perturber le fonctionnement des systèmes électroniques [33][34].

3.3. Stabilité des réseaux électrique :

Un système est stable s'il a tendance à continuer à fonctionner dans son mode normal (celui pour lequel il a été conçu) en régime permanent et s'il a tendance à revenir à son mode de fonctionnement à la suite d'une perturbation. [36]

Une perturbation sur un réseau peut être une Manœuvre prévue, comme l'enclenchement d'une inductance shunt, ou non prévue comme un court-circuit causé par la foudre entre une phase et la terre par exemple. Lors de la perturbation, l'amplitude de la tension aux différentes barres du réseau peut varier ainsi que la fréquence. La variation de la fréquence est due aux variations de la vitesse des rotors des alternateurs. Un réseau d'énergie électrique est stable s'il est capable, en régime permanent à la suite d'une perturbation, de fournir la puissance qu'exigent les consommateurs tout en maintenant constantes et près des valeurs nominales de la fréquence, donc la vitesse de rotation des alternateurs, et l'amplitude de la tension aux différents barres du réseau. On définit trois types de stabilité : [36][37]

1-la limite de stabilité en régime permanent.

2- la stabilité dynamique.

3- la stabilité transitoire.

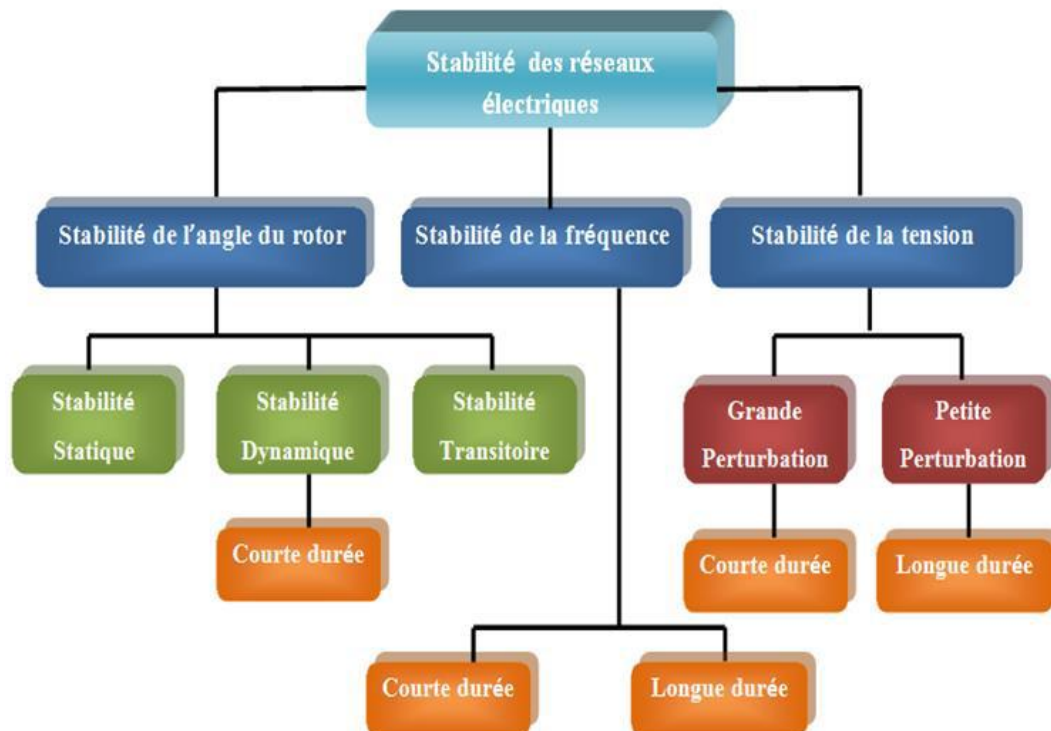


Figure 3-9 Classification de la stabilité de réseau électrique [41]

3.3.1. Limite de stabilité en régime permanent :[41]

Soit un alternateur connecté sur un réseau qui alimente une charge par l'intermédiaire des lignes de transport. Si la charge augmente graduellement, suffisamment lentement pour maintenir le système en régime permanent, l'alternateur fournit la puissance requise par charge tout en maintenant sa vitesse de rotation constante. Toutefois, il existe une limite de puissance active qui peut être fournie à la charge de façon stable, c'est-à-dire en maintenant constante la vitesse de rotation de l'alternateur. Si, à partir de cette limite, on veut fournir encore plus de puissance à la charge, en ouvrant les vannes d'amenée d'eau d'une turbine par exemple, l'impédance de la machine et celle des lignes limitent le transfert de puissance à la charge. L'excès de puissance est absorbée par l'alternateur ce qui provoque l'accélération de son rotor. Il y a donc rupture de la stabilité en régime permanent. Dans le cas où plusieurs alternateurs sont en service sur le réseau, il y a une perte de synchronisme entre eux. La puissance maximale que le groupe d'alternateurs peut fournir à la charge tout en maintenant le synchronisme est appelée la limite de stabilité en régime permanent. Dans le but d'avoir une bonne marge de manœuvre en cas de perturbations, les alternateurs et les lignes sont conçus de façon à opérer, en régime permanent nominal, à un niveau de puissance inférieur à cette limite de stabilité en régime permanent.

3.3.2. Stabilité dynamique :

Si une perturbation mineure est effectuée sur le réseau, à partir d'un régime permanent stable, et que le réseau retrouve son mode de fonctionnement normal en régime permanent, le réseau est dit dynamiquement stable.[36]

Pour un réseau d'énergie électrique, on entend par perturbation mineure des manœuvres ou des opérations normales sur le réseau, comme l'enclenchement d'une inductance shunt, ou des variations mineures de la charge.

3.3.3. Stabilité transitoire :

Lorsqu'il y a une perturbation majeure sur le réseau et que le réseau retrouve son mode de fonctionnement normal après la perturbation, alors le réseau est dit transitoirement stable. Les perturbations majeures sont les court-circuit, les pertes de lignes, les bris d'équipements majeurs comme les transformateurs de puissance et les alternateurs. [36][37]

Si on prend en compte ces diverses définitions et les différentes perturbations sur le réseau, on comprend que la stabilité dynamique et la stabilité transitoire sont intimement liées au niveau de stabilité en régime permanent. En effet, le niveau de stabilité en régime permanent doit être le plus élevée possible ; lors d'une perturbation sur le réseau, un court-circuit de quelques cycles par exemple,

l'appel de puissance durant la perturbation et lors des instants qui suivent l'élimination du défaut ne doit pas atteindre la limite de stabilité en régime permanent sinon le synchronisme risque d'être perdu. Dans ce cas, le réseau sera transitoirement instable. Plus la limite de stabilité en régime permanent est élevée, plus la stabilité dynamique et la stabilité transitoire est accrue. Une limite de stabilité en régime permanent la plus élevée possible permet également de continuer à alimenter la charge lorsqu'un équipement majeur, comme alternateur [38], devient hors service.

3.4. Instabilité de la tension :

On définit la stabilité de la tension comme la capacité de maintenir une tension de barre constamment acceptable à chaque nœud du réseau, dans des conditions normales de fonctionnement, après avoir subi une perturbation.[39][40]

L'état du réseau est dit instable en tension lorsqu'une perturbation, un accroissement de la charge ou une modification de la condition du réseau entraîne une chute de tension progressive et incontrôlable de la tension, aboutissent en un effondrement généralisé de la tension.

Le phénomène de l'instabilité de la tension est attribuable à l'exploitation du réseau à sa limite de puissance transmissible maximale, à l'insuffisance de dispositifs de compensation de la puissance réactive. Les principaux facteurs qui contribuent à un effondrement de la tension sont la limite de puissance réactive des génératrices, les limites de réglage de la tension, les caractéristiques de la charge ainsi que les caractéristiques et les actions des dispositifs de compensation de la puissance réactive .[35][39][40]

3.4.1. Importance et incidents :

Bien que les problèmes associés à la stabilité de la tension ne soient pas nouveaux pour le fournisseur d'électricité, ils suscitent actuellement beaucoup d'intérêt et une attention spéciale dans plusieurs grands réseaux. Au début, le problème de la stabilité de la tension était associé à un réseau faible et isolé, mais cette question est actuellement devenue source de problèmes dans les réseaux bien développés en raison de l'accroissement de la charge. Des instabilités et effondrements de la tension sont survenus à plusieurs reprises dans des réseaux importants à travers le monde au cours des dernières années.

.Certains des incidents mentionnés sont complexes et mettent en cause d'autres phénomènes qui créent l'instabilité de la tension, par exemple la perte d'une génératrice, la limitation du courant inducteur, le déclenchement d'un transformateur, la perte d'un transformateur, la perte de circuits ou un accroissement excessif de la demande.

Compte tenu de l'ampleur croissante du problème, SONEGAS a mis au point des méthodes spéciales et a mis en place un dispositif en ligne pour assurer le réglage de la tension et de la puissance réactive.

3.4.2. Facteurs d'influences reliées à la stabilité de la tension :

L'instabilité de la tension d'un grand réseau est un problème de nature complexe. Plusieurs éléments d'un réseau contribuent à la création d'un scénario propice à une instabilité de tension. Les éléments suivants ont un impact important sur la stabilité de la tension du réseau :[40]

- les génératrices et le comportement de leurs dispositifs de réglages et de protection.
- les dispositifs à compensation shunt réglable et fixe.
- Les caractéristiques de la charge.

Parmi ces éléments qui influent sur la stabilité de la tension, on retrouve les lignes de transport d'énergie.[38]

Les lignes de transport affectent considérablement les niveaux de tension en fonction de la charge. Si la charge est importante, la tension sur le réseau a tendance à être faible, par contre si la charge est faible, le niveau de tension peut en différents endroits sur le réseau, s'élever au-dessus de la tension nominale. Sur les lignes de transport non compensées, le taux de régulation de tension a donc tendance à être mauvais

La stabilité en régime permanent est aussi influencée par la longueur des lignes de transport: plus la ligne est longue plus la limite de stabilité en régime permanent est faible. Ces deux effets néfastes des longues lignes de transport, sur le taux de régulation de la tension et sur la stabilité du réseau, peuvent être diminués ou même théoriquement éliminés en utilisant des techniques de réglage de la tension incluant des mesures comme la commutation par compensation shunt et le réglage de la tension des génératrices.

3.5. Causes d'Instabilité de tension

Les problèmes d'apparition du phénomène d'écroulement de tension sont toujours liés à la difficulté de régler la tension au-dessus d'une certaine valeur appelée tension critique. Généralement, l'effondrement de tension se produit dans les réseaux électriques qui sont fortement chargés, court-circuités et/ou ont un manque de puissance réactive.

3.6. Stabilité de tension vis-à-vis des petites perturbations

La stabilité de tension de petites perturbations concerne la capacité du réseau électrique à maintenir la tension dans les limites permises en présence de perturbations telles que: une variation faible de la charge, de la production, etc [41].

3.7. Stabilité de tension vis-à-vis des grandes perturbations

Elle est définie comme la capacité du réseau électrique à maintenir les tensions des nœuds dans les limites de fonctionnement permises en présence des grandes perturbations à savoir la perte d'un équipement de transport ou de production, le court-circuit,...etc. [41].

Dans ce mémoire nous nous intéressons seulement à la stabilité de tension. Une étude détaillée sera présentée dans la section suivante.

3.8. Méthodes d'amélioration de la stabilité de la tension

La plupart de ces changements ont des effets significatifs sur la production, la consommation et la transmission de puissance réactive, ainsi sur la stabilité de tension. Par conséquent, des mesures peuvent être utilisées pour améliorer la stabilité de tension, tels que:

- Un contrôle automatique des condensateurs shunts ;
- Un blocage des régulateurs en charge automatique ;
- Une nouvelle répartition de la génération ;
- Une re planification du fonctionnement des générateurs et des nœuds de commande
- Une régulation de tension secondaire ;
- Un plan de délestage.

3.8.1. Production trop éloignées de la consommation

Dans la plupart du temps les sources d'énergie électrique se trouvent loin des zones de consommation. Cette situation rend le transport de l'énergie réactive très difficile à cause des pertes réactives très élevées. Cette difficulté de transport d'énergie réactive augmente la probabilité d'apparition d'une instabilité ou d'un effondrement de tension.

3.8.2. Charge appelée trop importante

L'une des causes de l'instabilité de tension correspond à une charge élevée. Elle est due à l'augmentation croissante de la demande et à un large transfert d'énergie entre compagnies. Une instabilité de tension peut se produire en particulier lorsque la charge élevée est plus importante que celle prévue et le risque est d'autant plus grand que la consommation réactive est également plus grande que prévue [41].

3.9. Intégration de la DG sur les réseaux de distribution

3.9.1. Généralités

Le raccordement aux réseaux de distribution (MT) d'unités de production décentralisées doit respecter certaines contraintes techniques et impose généralement des aménagements dans le réseau pour assurer un fonctionnement correct de ce dernier, en particulier dans les réseaux de distribution qui n'ont pas été à l'origine conçus et développés pour accueillir des unités de production. Des précautions quant à l'insertion de DG sur les départs de réseaux de distribution sont ainsi à prévoir par des règles de raccordement afin de conserver le bon déroulement du fonctionnement du réseau. Ces règles sont des prescriptions techniques de conception et de fonctionnement : la protection, la puissance d'installation, la perturbation et la fréquence, tension.... [42] Ces règles, actuellement en vigueur, sont prévues pour garantir le bon fonctionnement du réseau de distribution tel qu'il est actuellement. Si les réseaux de distribution évoluent vers d'autres architectures et d'autres modes d'exploitation, ces règles sont susceptibles d'être modifiées. [42]

Le concept actuel des réseaux de distribution n'étant pas adapté à la production décentralisée, l'augmentation, dans l'avenir, de ce type de production laisse penser que des modifications de l'architecture de la distribution pourraient être avantageuses dans la mesure où une structure plus adaptée pourrait permettre une meilleure exploitation de ces unités de production pour le fonctionnement du réseau [43] :

- Une topologie comportant des boucles fermées.
- L'utilisation des DG en tant que secours ou soutien du poste source.

Ces mesures pourraient améliorer la fiabilité du réseau de distribution. Mais il faut considérer les coûts de ces innovations et la rentabilité d'un tel système. [42]

Le raccordement d'un utilisateur doit être étudié de façon à identifier une solution répondant strictement au besoin de raccordement du demandeur tout en garantissant que ce raccordement n'aura pas de conséquence sur le fonctionnement du réseau et sur la qualité de

L'énergie fournie aux autres utilisateurs déjà raccordés. [43]

L'instruction des demandes de raccordement suppose la collecte de différentes caractéristiques de l'installation permettant de conduire les études techniques de raccordement. Ces fiches de collecte, et la procédure d'instruction des demandes de raccordement sont publiées. La solution de raccordement s'inscrit dans la structure de réseau existante ou décidée pour la zone concernée et utilise les ouvrages de distribution existants ou à créer présentant la capacité d'accueil suffisante. [43]

3.9.2. Étude de raccordement d'une installation

Les différentes étapes de l'étude de raccordement ont pour objet de concourir à la détermination des ouvrages à établir ou à modifier pour assurer une desserte dans des conditions techniques et économiques optimales. Chacun des domaines d'interaction du site avec le réseau ou les autres utilisateurs est exploré et le dimensionnement du raccordement projeté doit assurer le maintien du réseau existant et futur dans un domaine de fonctionnement acceptable.[43]. Les vérifications à mener pour vérifier l'impact du raccordement et déterminer les solutions de raccordement de tous les utilisateurs producteur ou consommateur sont les suivantes :

- Tenue thermique des éléments du réseau : vérification des capacités de transit,
 - Vérification des conséquences sur les plans de tension des réseaux HTA et BT.
 - Pour les utilisateurs producteurs, les vérifications complémentaires suivantes sont à effectuer :
 - Vérification de la tenue de la tension au poste source : risque de butée régleur,
 - Modification des comptages au poste source,
 - Vérification de la tenue des matériels aux courants de court-circuit supplémentaires apportés par l'installation de production,
 - Vérification du fonctionnement du plan de protection contre les défauts entre phases du réseau HTA et du poste de livraison,
 - Choix de la protection de découplage,
 - Évaluation de la nécessité d'installation d'un dispositif d'échange d'informations d'exploitation.
- Certaines installations de consommation ou de production particulières peuvent nécessiter des études complémentaires compte tenu de leur impact possible sur la qualité.
- Ces études ne sont pas systématiques et sont engagées selon la nature et les caractéristiques de l'installation (en soutirage ou en injection) envisagée et les caractéristiques du réseau d'accueil:
 - Évaluation du niveau de variations rapides de tension,

- Évaluation des niveaux de courants harmoniques injectés,
- Évaluation du déséquilibre des charges,
- Évaluation de l'affaiblissement du signal de transmission tarifaire.

3.9.3. Domaine d'application

Ces prescriptions techniques s'appliquent aux installations de production d'énergie électrique à raccorder sur les réseaux de distribution à basse tension ou à moyenne tension, couvrant

la gamme des puissances allant jusqu'à plus ou moins 25 MVA.[43]

3.9.4. Raccordement

En fonction de la puissance à raccorder, des caractéristiques du réseau sur lequel elle est appelée à être raccordée et du maintien d'une qualité de tension dans les limites fixées par la norme EN 50160, le gestionnaire du réseau établit les dispositions du raccordement. Le réseau qui doit assurer le transit de la production décentralisée est soumis à plusieurs contraintes. [43]

► Il doit pouvoir maintenir le plan de tension dans les limites d'exploitation avec et sans la présence de la production décentralisée.

► La puissance totale des productions décentralisées ne doit pas dépasser la puissance des transformateurs HT/MT en situation n-1 du réseau.

► Note 1 : La situation n'est la situation du réseau sans élément défectueux, la situation n-1 est la situation avec 1 élément de réseau défectueux.

► Note 2 : On peut décider de commun accord qu'il est prévu que certaines productions décentralisées ne fonctionnent pas en situation n-1 du réseau.

► De même dans un réseau BT la puissance totale des productions décentralisées ne doit pas dépasser la puissance du transformateur MT/BT.

► De plus le transit de la puissance doit se faire sans excéder la capacité des éléments du réseau.

► Enfin le supplément de puissance de court-circuit cumulé à la valeur de la puissance de court-circuit du réseau doit être compatible avec le niveau réel du matériel. En conséquence le raccordement peut nécessiter des renforcements du réseau et de ce fait, une participation

Financière du producteur décentralisé dans ces renforcements peut être demandée. Sur base de ces critères, le gestionnaire du réseau fixe le mode de raccordement de l'installation de production au réseau de distribution. Chaque cas fait l'objet d'un examen particulier qui tient

compte des conditions réelles rencontrées.[43]

3.9.5. Couplage:

L'opération de couplage du système de production sur le réseau dépend du type d'interface utilisé. Une mise en parallèle de l'installation de production décentralisée avec le réseau public de distribution est toujours réalisée moyennant un relais synchro-check équipé d'un synchroscope. Ce dispositif est de type agréé par le gestionnaire du réseau. Pour des installations avec une puissance de 10 kW, ce relais peut être omis. [44]

Lors de la prise de parallèle, la tension, la fréquence et l'écart de phase sont tels qu'ils ne provoquent pas de variations brusques relatives de la tension supérieures à 6 %. Si la prise de parallèle se répète plusieurs fois par jour, les variations brusques de tension dues aux prises de parallèle seront limitées aux mêmes valeurs que celles requises pour le fonctionnement et définies dans le paragraphe suivant. Pendant le fonctionnement, les variations brusques de la tension seront limitées en valeur relative à 3 % au maximum et en fonction de leur fréquence d'apparition à des valeurs inférieures de façon à ne pas perturber les autres utilisateurs raccordés au réseau. Elles ne pourront engendrer dans le réseau de distribution la gêne due au phénomène de flicker. [44]

Ces considérations impliquent que la production décentralisée qui fonctionne en îlotage ne peut être ré-couplée au réseau qu'après vérification de la tension, de la fréquence et de l'écart de phase et qu'il ne peut pas être possible d'effectuer une prise de parallèle à un endroit non prévu, des verrouillages sont installés pour empêcher ces éventualités. Après un déclenchement commandé par la protection de découplage, lorsque les conditions sont redevenues normales, le ré-couplage au réseau peut se faire automatiquement à condition de disposer d'un système de synchronisation automatique. [44]

3.10. Calcul d'écoulement de puissance

Le calcul d'écoulement de puissance est une étude en régime permanent du réseau complexe qui consiste à déterminer, en premier lieu, à chaque jeu de barres, l'amplitude et la phase de la tension ainsi que les puissances active et réactive injectées. Connaissant les tensions (amplitude et phase) aux jeux de barres ainsi que les puissances injectées (active et réactive), nous pouvons calculer, en deuxième lieu, les courants et les puissances dans les lignes et ceux fournis par les sources.[46][45]. En considérant un réseau comprenant «n» jeux de barres, nous obtenons «n» équations d'écoulement de puissance données par l'équation suivante :

$$S_n = \left\{ Y_1 V_1 - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (Y_{ji} V_j) \right\} V_1$$

Où S : la puissance apparente injectée; Y : l'admittance du réseau; V : la tension au jeu de barres. Si nous égalisons les parties réelles de part et d'autre ainsi que les parties imaginaires, nous obtenons « $2n$ » équations et « $4n$ » variables car à chaque jeu de barres, il existe 4 variables:

- la tension: V
- la phase de la tension: Θ
- la puissance active injectée: P
- la puissance réactive injectée: Q

Pour résoudre ces équations, il faut spécifier « $2n$ » variables et estimer, au départ, les « $2n$ » autres variables. Aussi, nous distinguons des variables dépendantes et des variables indépendantes. Avant de spécifier les « $2n$ » variables indépendantes généralement considérées, il faut distinguer 3 types de jeu de barres :

- le « swing bus » ou « slack bus » ou Jeu de barres de référence où V et Θ sont spécifiés;
- les « generator buses » ou jeux de barres à tension contrôlée où V et P sont spécifiés;
- les « load buses » ou jeux de barres de charge où P , Q sont spécifiées.

Ce sont des équations non-linéaires. Donc, il faut utiliser des méthodes itératives pour les résoudre. Il se trouve dans la littérature deux grands groupes de méthode : La méthode basée sur la formation matricielle et la méthode basée sur la configuration du réseau.

3.10.1. Méthode Newton-Raphson

Cette méthode permet de résoudre « n » équations algébriques non-linéaires à « n » inconnues, où y représente la puissance active et réactive en fonction des variables x , qui représentant les valeurs électriques comme la tension et le courant. [45,46].

3.10.2. Simulation de l'écoulement des puissances

L'importance de l'étude de la répartition des charges est capitale pour l'obtention de tous les paramètres du réseau électrique. Parmi les méthodes de résolution, on a choisi la méthode de Newton-Raphson

3.10.3. Application dans un réseau test 5 nœuds

Un simple réseau électrique test 5 nœuds est utilisé. Ce réseau test est constitué de 2 générateurs, 7 lignes électriques, et 4 charges comme illustre la figure 3.1, sachant que le nœud 1 est pris comme nœuds bilan et la valeur initiale pour tous les niveaux de tension des nœuds 1.0 pu entré limite

minimum 0.9 pu et limite maximum 1.1 pu, et les angles de phase ont une valeur 0.0° . Les tableaux visualisent les données des lignes. La puissance et la tension de base utilisées valent respectivement 100MVA et 330kV. [45].

Les données de production et de consommation et les caractéristiques des lignes sont indiquées dans les tableaux A.1 et A.2 de l'annexe A.

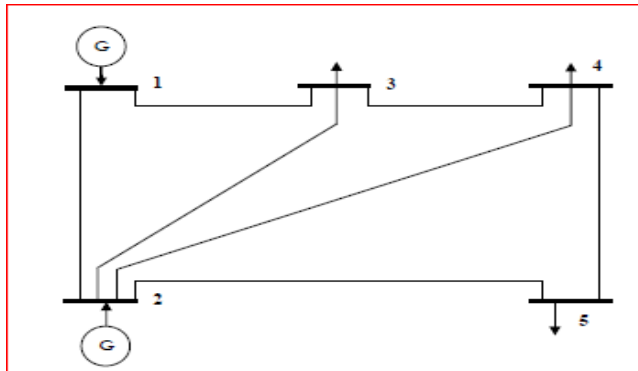


Figure 3-10 Réseau test 5 nœuds.(3.3)

Les résultats de l'écoulement de puissance par la méthode de Newton-Raphson (tableau 3.1), pour une précision $\epsilon = 10^{-5}$ sont :

Tableau 3-1 Les tensions, les puissances générées et les pertes actives dans le réseau test.

Noeuds	Tension (pu)	Angle ($^\circ$)	P_G (MW)	Q_G (MVar)	D_G (MW)	Q_D (MVar)
1	1.060	0.000	132.83	107.04	0	0
2	1.000	-2.119	40.00	-1.65	20.00	10.00
3	0.949	-4.077	0	0	45.00	25.00
4	0.938	-4.260	0	0	40.00	65.00
5	0.956	-5.639	0	0	60.00	10.00
PL(MW)	7.8342					

Dans un deuxième exemple, on propose un réseau électrique, constitué de 57 nœuds, qui comportent 7 nœuds générateurs. La figure 3.11 montre un schéma unifilaire de ce réseau test.

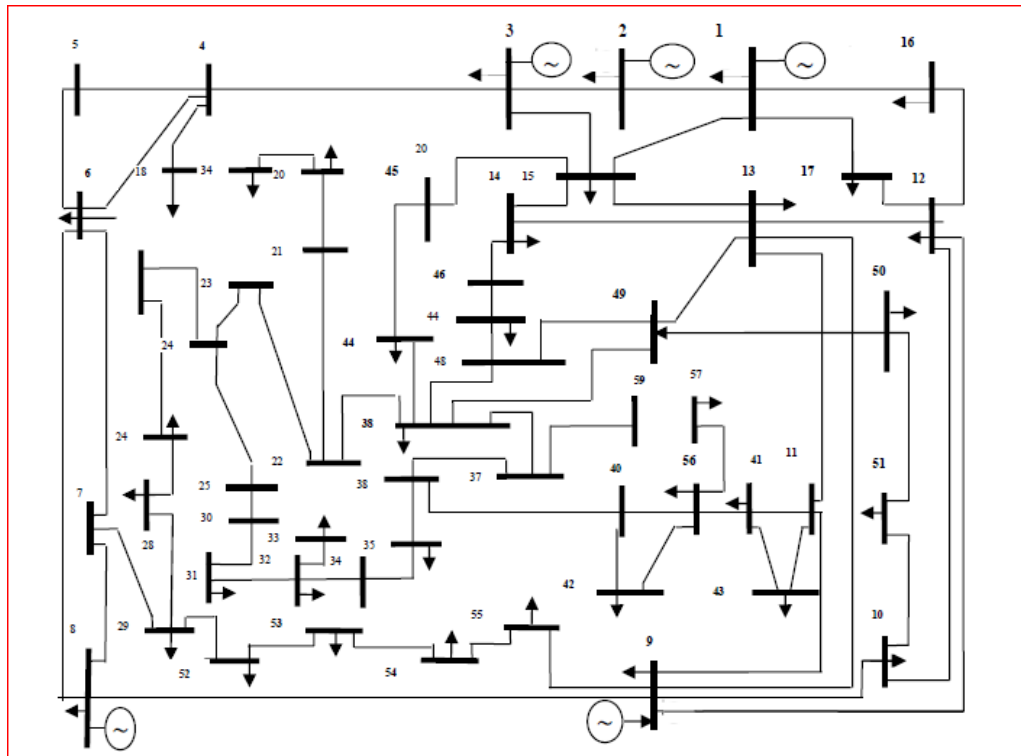


Figure 3-11 Réseau test IEEE-57 noeuds

Les valeurs relatives des paramètres de notre réseau sont exprimées en (pu) par rapport à une base de 100MVA. La tension de base pour chaque nœud est de 135kV. Les limites des tensions nodales est de 0.94 à 1.06 pu et le nœud 1 de référence.[45]

Les résultats de l'écoulement de puissance sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau 3.2), pour une précision $\epsilon = 10^{-5}$

Tableau 3-2 Les tensions, les puissances générées et les pertes actives dans le réseau test.

Bus	v	Angle(δ)	Injection		Génération		Load	
	pu	Degree	MW	MVer	MW	MVer	MW	MVer
01	1.0400	0.0000	375.516	112.599	385.216	112.599	0.000	0.000
02	1.0100	-0.9661	-3.000	-89.437	0.000	-1.437	3.000	88.000
03	0.9850	-5.0529	-1.000	-25.641	40.000	-4.641	41.00	21.000
04	0.9784	-6.3265	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
05	0.9757	-7.5392	-13.000	-4.000	0.000	0.000	13.000	4.000
06	0.9800	-7.6669	-75.000	3.692	-0.000	5.692	75.000	2.000
07	0.9820	-6.5323	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
08	1.0050	-3.4323	300.000	43.187	450.000	65.187	150.000	22.000
09	0.9800	-8.5319	-119.000	-22.607	2.000	3.393	121.000	26.000

10	0.9861	-10.5025	-5.000	-2.000	-0.000	-0.000	5.000	2.000
11	0.9745	-9.1286	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
12	1.0150	-9.6360	-67.000	101.589	310.000	125.589	377.000	24.00
13	0.9802	-8.7365	-18.000	-2.300	0.000	0.000	18.000	2.300
14	0.9723	-8.2043	-10.500	-5.300	-0.000	0.000	10.500	5.300
15	0.9925	-5.9542	22.000	5.000	22.000	5.000	22.000	5.000
16	1.0139	-8.2617	-43.000	-3.000	0.000	0.000	43.000	3.000
17	1.0181	-5.0854	-42.000	-8.000	0.000	0.000	42.000	8.000
18	0.9754	-10.7595	-27.200	-9.800	0.000	-0.000	27.200	9.800
19	0.9531	-12.3220	-3.300	-0.600	0.000	-0.000	3.300	0.600
20	0.9521	-12.5412	-2.300	-1.000	-0.000	0.000	2.300	1.000
21	1.0035	-11.7434	0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000
22	1.0062	-11.6867	0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000
23	1.0043	-11.7369	-6.300	-2.100	0.000	-0.000	6.300	2.100
24	0.9866	-11.8300	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
25	0.9405	-16.8460	-6.300	-3.200	0.000	0.000	6.300	3.200
26	0.9475	-11.5304	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
27	0.9783	-10.3026	-9.300	-0.500	0.000	-0.000	9.300	0.500
28	0.9902	-9.3521	-4.600	-2.300	0.000	-0.000	4.600	2.300
29	1.0046	-8.6948	-17.000	-2.600	0.000	-0.000	17.000	2.600
30	0.9230	-17.4978	-3.600	-1.800	0.000	0.000	3.600	1.800
31	0.9030	-18.3554	-5.800	-2.900	0.000	-0.000	5.800	2.900
32	0.9293	-17.6523	-1.600	-0.800	0.000	0.000	1.600	0.800
33	0.9270	-17.693	-3.800	-1.900	0.000	0.000	3.800	1.900
34	0.9524	-12.9263	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
35	0.9608	-12.7074	-6.000	-3.00	-6.000	0.000	6.000	3.000
36	0.9715	-12.4579	-0.000	-0.00	-0.000	-0.000	0.000	0.000
37	0.9812	-12.2784	-0.00	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000
38	1.0106	-11.5761	-14.00	-7.000	-14.000	0.000	14.000	7.000
39	0.9791	-12.3260	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000
40	0.9686	-12.4872	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
41	0.9956	-13.0041	-6.300	-3.000	-6.300	-0.000	6.300	3.000
42	0.9654	-14.4327	-7.100	-4.400	-7.100	0.000	7.100	4.400
43	1.0098	-10.2867	-2.000	-1.000	-2.000	0.000	2.000	1.000
45	1.0161	-10.6876	-12.000	-1.800	-12.000	0.000	12.000	1.800

46	1.0385	-8.0906	0.000	-0.00	0.000	-0.000	0.000	0.000
47	1.0608	-9.9933	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
48	1.0328	-11.3922	-29.700	-11.60	-29.700	0.000	29.700	11.600
59	1.0264	-11.4824	0.00	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000
50	1.0328	-11.8561	-18.00	-8.000	-18.000	-0.000	18.000	8.000
51	1.0227	-12.3772	-21.00	-10.50	-4.900	0.000	21.000	10.500
52	1.0518	-11.5713	-18.00	-5.300	-20.000	0.000	18.000	5.300
53	0.9679	-10.1455	-4.900	-2.200	-4.100	0.000	4.900	2.200
54	0.9548	-10.7525	-20.000	-10.00	0.000	-0.000	20.000	10.000
56	0.9868	-10.4614	-4.100	-1.400	-0.000	0.000	4.100	1.400
57	1.0276	-9.7682	-6.800	-3.400	-0.000	0.000	6.800	3.400
58	0.9667	-14.9348	-7.600	-2.200	0.000	0.000	7.600	2.200
59	0.9628	-15.4407	-6.700	-2.000	0.000	0.000	6.700	2.000
Total			25.716	-3.019	1199.516	311.381	1173.800	314.400

Remarque : après la simulation de l'écoulement de puissance on voit bien dans la figure 3-12 que la tension est très basse au niveau du jeu de barre 31 et faible au jeu de barre 32 et 33.

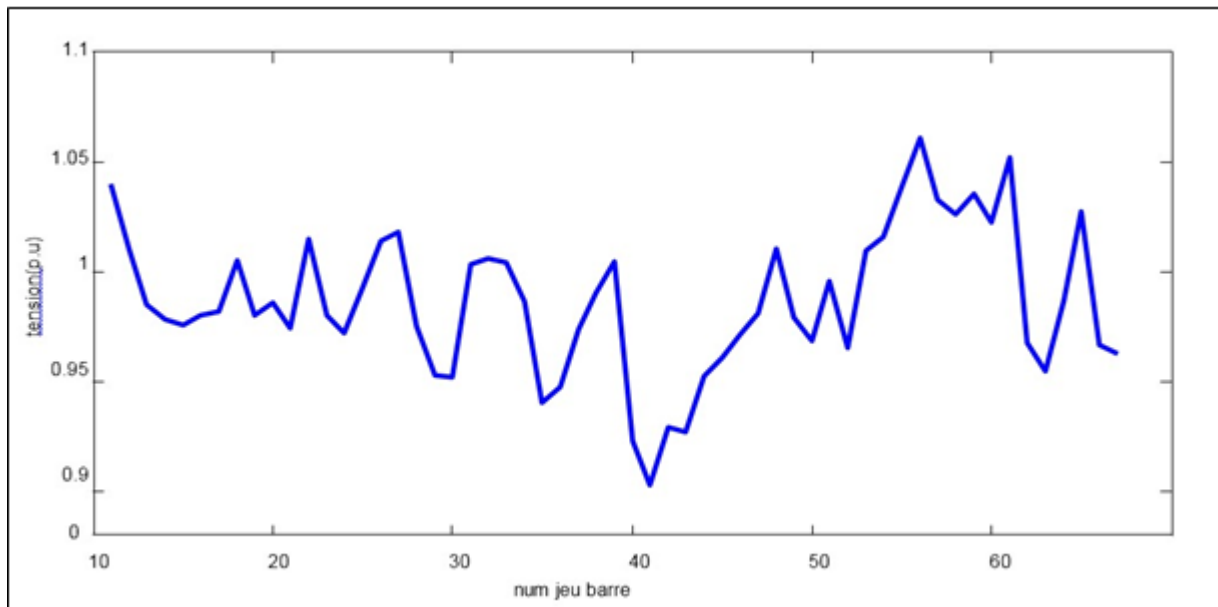


Figure 3-12 profile de tension aux niveaux du jeu de barres
(après la simulation de l'écoulement puissance)

Donc pour tenter de corriger la chute de tension dans le bus 31, une source décentralisée pour deux types:

► La première, qui peut injecter ou absorber de la puissance réactive (qui transforme le bus 'PQ' en bus 'PV').

► La seconde, qui ne peut injecter que de la puissance active, la barre est toujours "PQ".

Pour les chiffres suivants, nous augmentons la puissance active «p» (2MW; 5MW; 10MW); 10MW la puissance maximale de sortie décentralisée (DG), nous voyons plusieurs scénarios.

a-Premier scénario: La puissance active «p» injectée pour la figure 3-13 est de 2 MW.

V0: réseaux sans puissance active injectée (état initial $p = 0\text{MW}$).

V1: les réseaux à puissance active injectent et transforment le jeu de barres en "PV" (injectent ou absorbent de la puissance réactive).

V2: réseaux avec puissance active injectée (le jeu de barres reste "PQ").

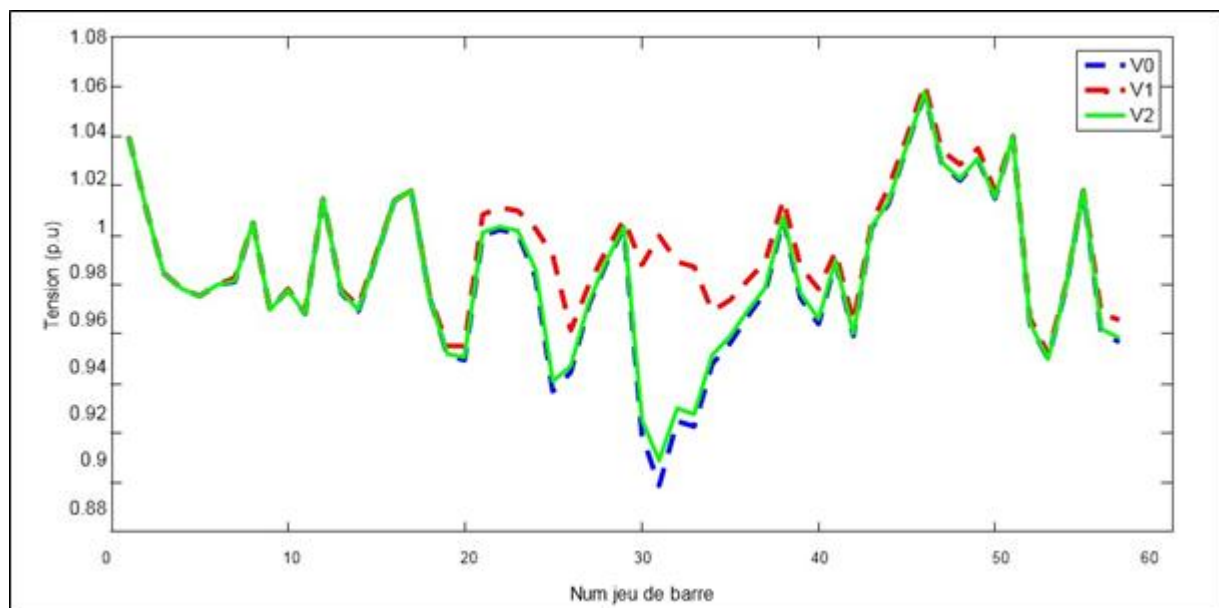


Figure 3-13 profil de tension pour première scénarios.

A noter que l'insertion de DG a peut générer le profil de contraintes dans le cas de DG qui ne peut injecter que "p".

B seconds scénarios: la puissance active injectée pour la figure 3-14 "P = 5MW".

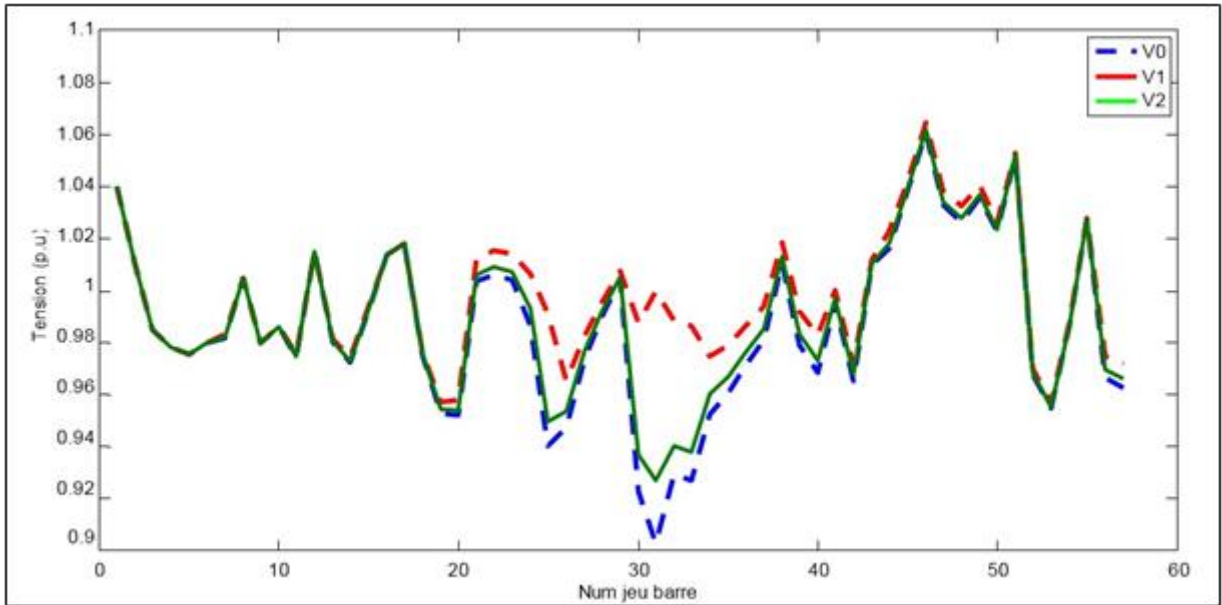


Figure 3-14:profile de tension pour le deuxième scénario.

Notez que l'augmentation de la puissance active "P" générée par la source des sontralisé améliore toujours le profil de tension.

c- troisième scénario: la puissance active injectée pour la figure 3-15«Pmax =10MW».

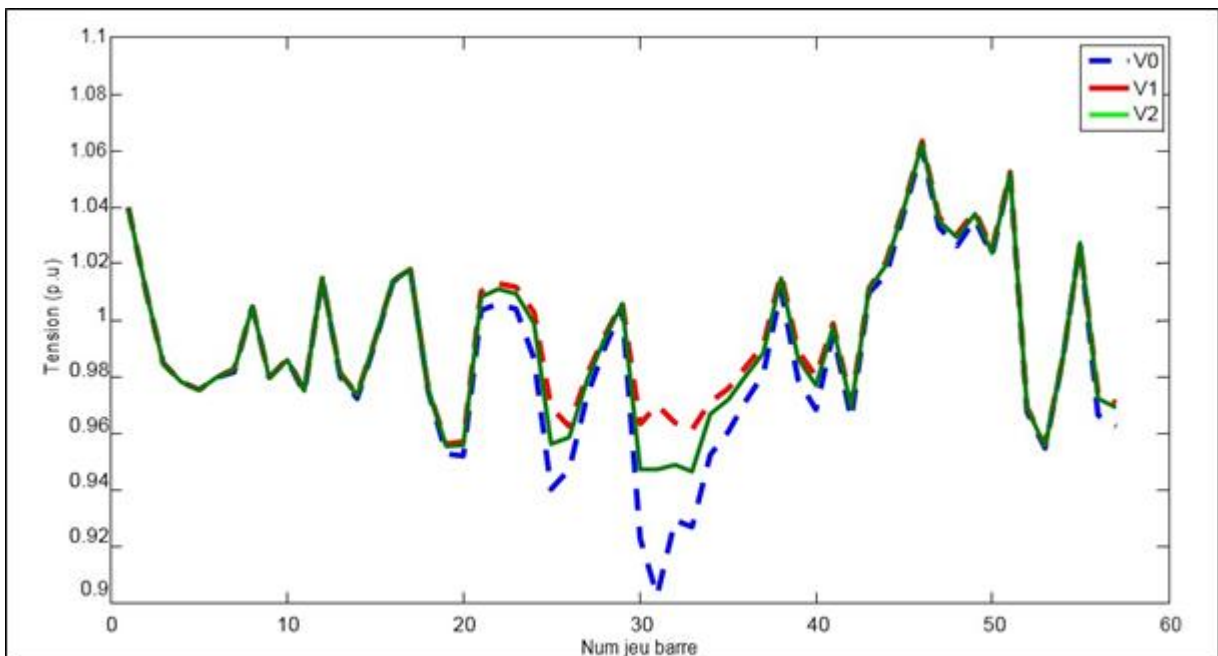


Figure 3-15profile de tension pour le troisième scénario.

Nous constatons que l'augmentation de la puissance active «P» a toujours amélioré le profil de tension.

On voit sur les trois figures précédentes que l'injection d'énergie active dans le réseau a amélioré le profil de tension à chaque fois que la valeur de (P) augmente et est due à la minimisation des pertes dans la ligne et à la décharge. Réseau en amont.

d- quatrième scénario: l'entrée de puissance active pour la figure 3-16 « $P = 2 \text{ MWV}$ » et la puissance réactive « $Q = 2 \text{ MWV}$ ».

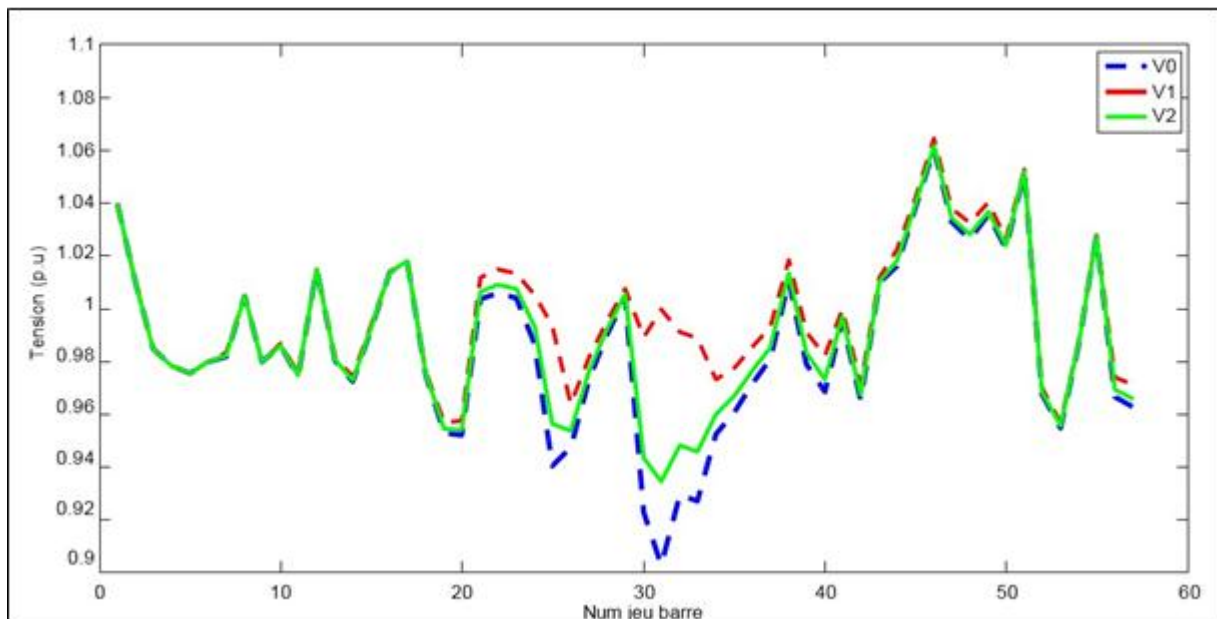


Figure 3-16 profil de tension pour le quatrième scénario.

On constate que l'injection de la puissance active "P" et de la puissance réactive "Q" améliore légèrement le profil de tension et dans le cas de V2 (le bus continue PQ) on constate une amélioration du profil de tension.

Par conséquent, le flux de puissance réactive joue un rôle important dans la régulation de la chute de tension au niveau du bus.

e- cinquième scénario: la puissance active injectée pour la figure 3-17 « $P = 5 \text{ MW}$ » et la puissance réactive « $Q = 5 \text{ MVAR}$ ».

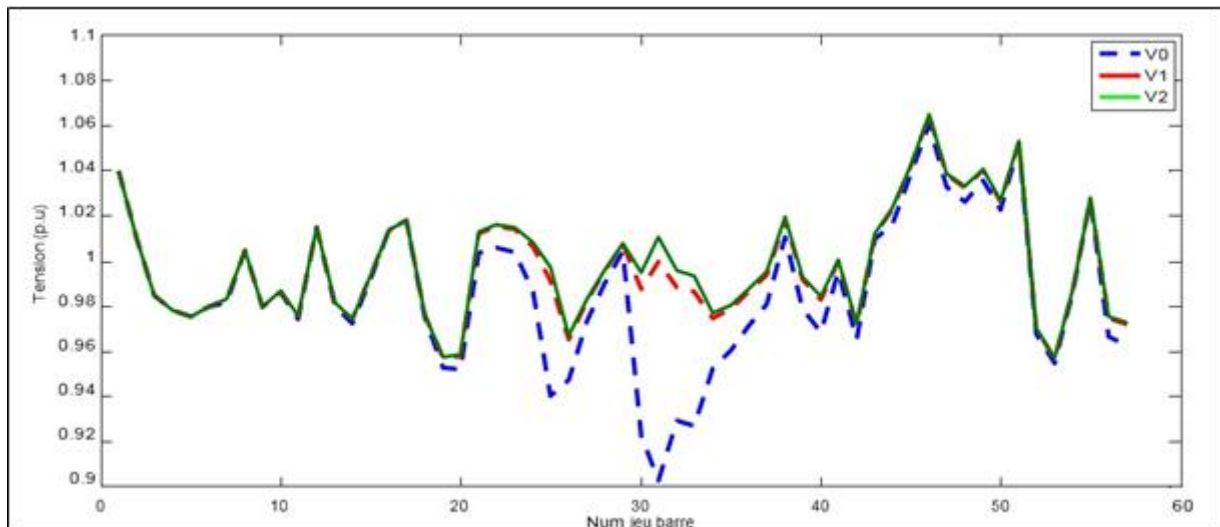


Figure 3-17:profile de tension pour le cinquième scénario.

En augmentant la puissance fournie au jeu de barres (active et réactive), le profil de tension est amélioré quotidiennement (la chute de tension diminue).

F-Sixième scénario: la puissance active alimentée pour la figure 3-18 = 5 MW' et la puissance réactive 'Qmax = 8.7 MVAR'.

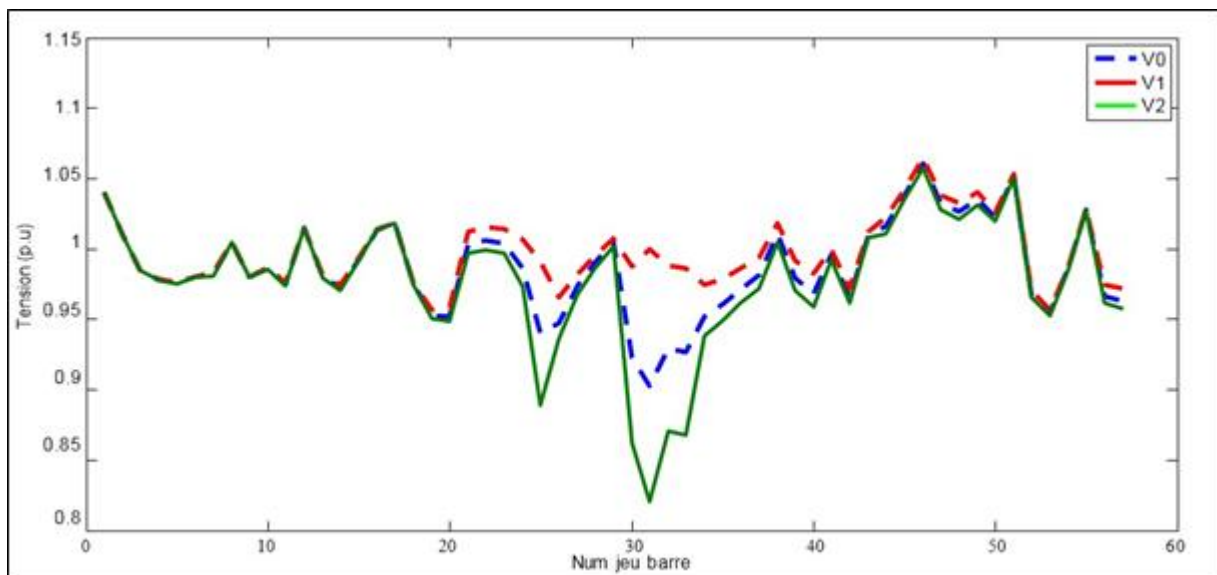


Figure 3-18:profile de tension pour le sixième scénario.

g- septième scénarios : la puissance active injecter pour la figure 3-19 « P=5MW » et la puissance réactive « Qmax=-8.7MVAR ».

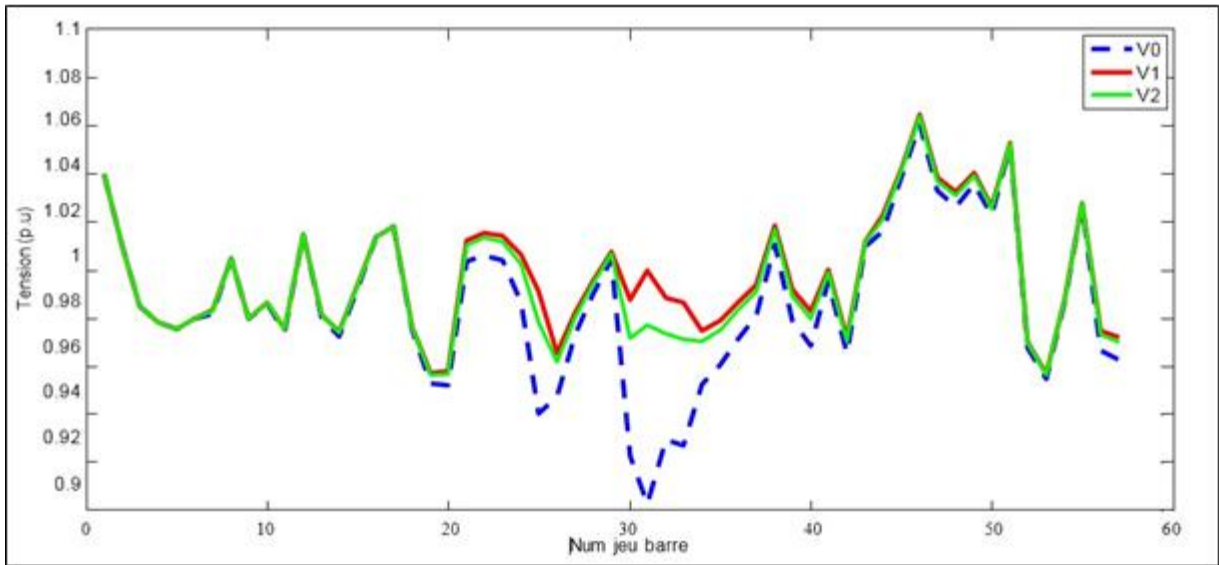


Figure 3-19 profile de tension pour le septième scénario.

On peut voir sur cette figure que la forte consommation d'énergie réactive sans compensation augmente la chute de tension dans le bus 31 et le bus adjacent de manière inacceptable, ce qui nécessite l'injection d'énergie réactive pour corriger la tension du jeu de barres, ce qui diminue la puissance de transit.

3.10.3.1. simulation du problème

Les simulations présentées ici ont pour but d'illustrer l'impact de l'insertion de DG sur le réseau de distribution d'électricité.

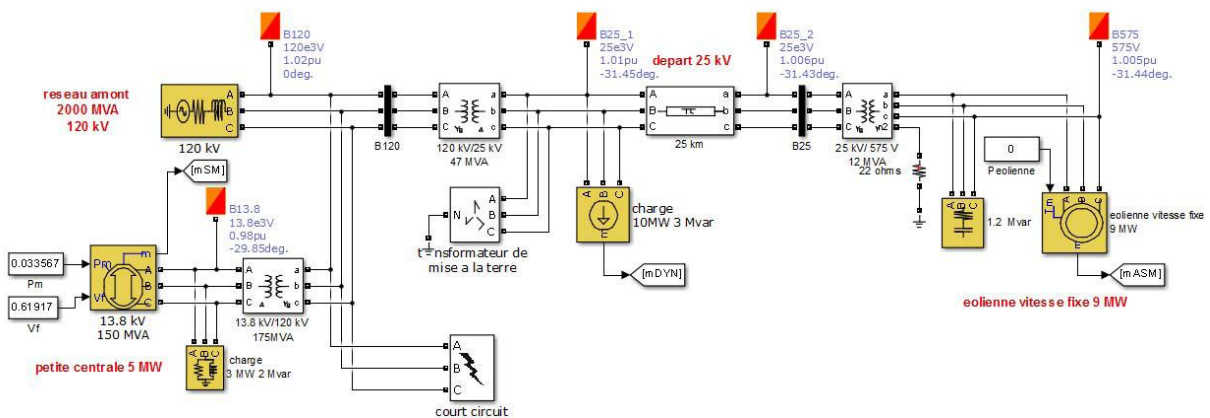


Figure 3-20 Présentation du réseau d'étude MT sous Simulink

a. Structure du réseau

La figure (3-20) montre un réseau MT de type rural de 5 nœuds connectés à un réseau électrique à court-circuit infini (2000 MW) et une puissance de type machine synchrone de 5 MW et une sortie décentralisée de type éolienne à vitesse fixe basée sur un moteur asynchrone de 9 MW avec 1,2 MVA-compensation de shunt.

Les courbes de la figure (3-21) illustreront les conséquences de la production d'énergie sur la tension du jeu de barres B25 (jb5). Deux scénarios sont mis en œuvre, le premier considère le réseau sans DG, le second avec DG, en présence d'une panne de Court-circuit très progressive

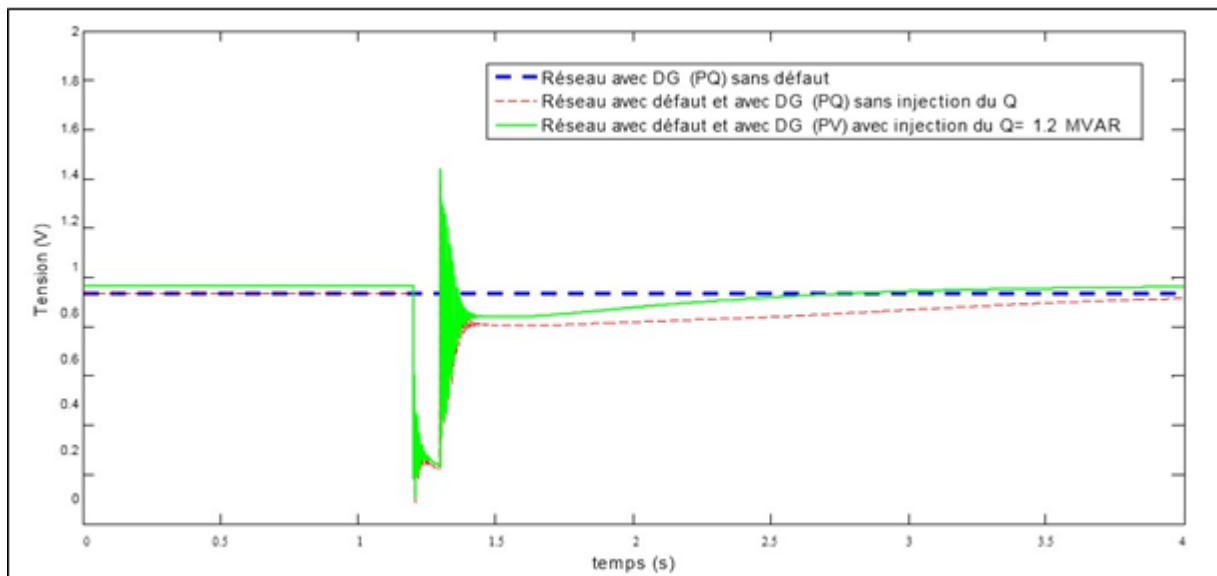


Figure 3-21:profil de tension en jB25 avec DG.

Le motif en bleu (pointillé) montre le profil de tension sur la barre omnibus 5 avec le DG correctement connecté. On voit que la tension chute avec une petite baisse due à l'utilisation d'un moteur asynchrone. Et le motif en rouge (point pointillé) montre le profil de tension sur le jeu de barres 5 avec DG, qui est associé à un défaut sans injection Q. Vous pouvez voir qu'en pondérant l'erreur, la tension chute (0.2) après Une fois l'erreur effacée, la tension oscille et reprend. Valeur mais lente en raison de la consommation de puissance réactive du moteur avant sa stabilité. L'apparition en vert (trait plein) montre le profil de tension sur le bus 5 avec DG, qui est associé à une erreur d'alimentation Q (1,2 MVAR). On voit qu'en précisant l'erreur, la tension chute après suppression (0,2) par défaut, la tension oscille et se remet rapidement à sa valeur car la puissance réactive demandée par le moteur est compensée par le condensateur.

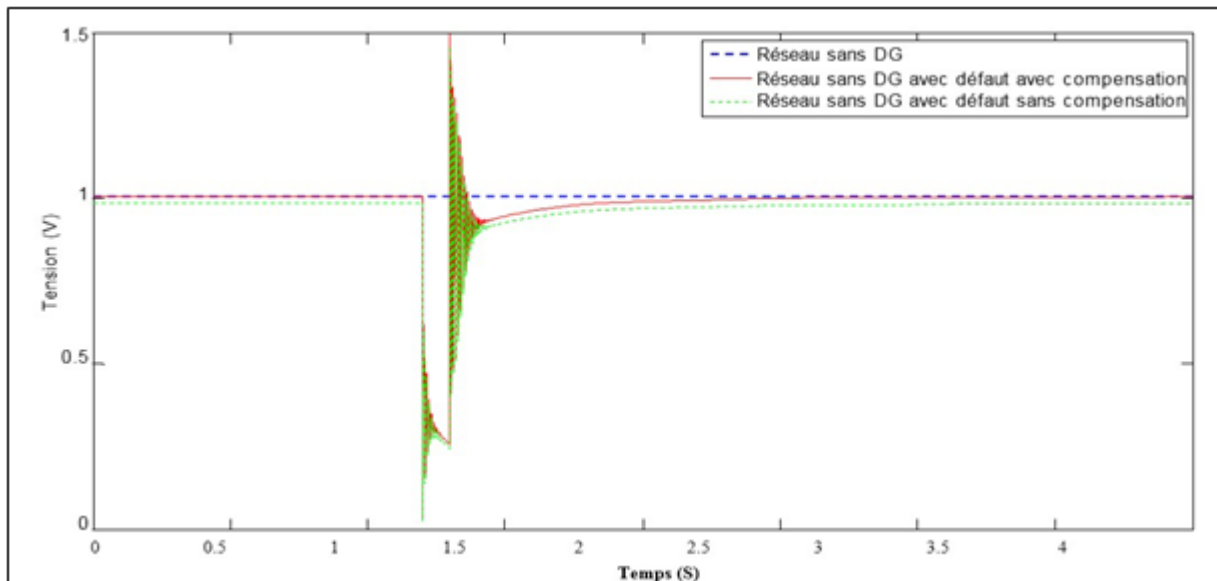


Figure 3-22: profil de tension en jB25 sans DG.

L'apparition en bleu (en pointillé) montre le profil de tension sur le jeu de barres 5 sans DG sans défaut, on voit que la tension reste stable.

L'apparition en rouge (point pointillé) montre le profil de tension dans le jeu de barres 5 sans DG avec défaut avec injection de Q, on voit que lors de la pondération du défaut la tension chute (0.2) après élimination du défaut la tension oscille et revient rapidement à sa valeur en raison de la présence d'un condensateur qui injecte de l'énergie réactive dans le jeu de barres 5.

L'apparition en vert (continu) montre le profil de tension en barre 5 sans DG avec panne sans injection Q (1.2 MVAR), on voit que lors de la pondération de la panne la tension a chuté (0.2) après l'élimination de la panne la tension oscille et récupère rapidement, mais prend plus de temps à se stabiliser.

► Pour comparer l'influence de la génération distribuée sur le profil de tension à l'origine du défaut, la figure (3-23) montre deux profils de tension avec compensation, le premier avec DG et le second sans DG.

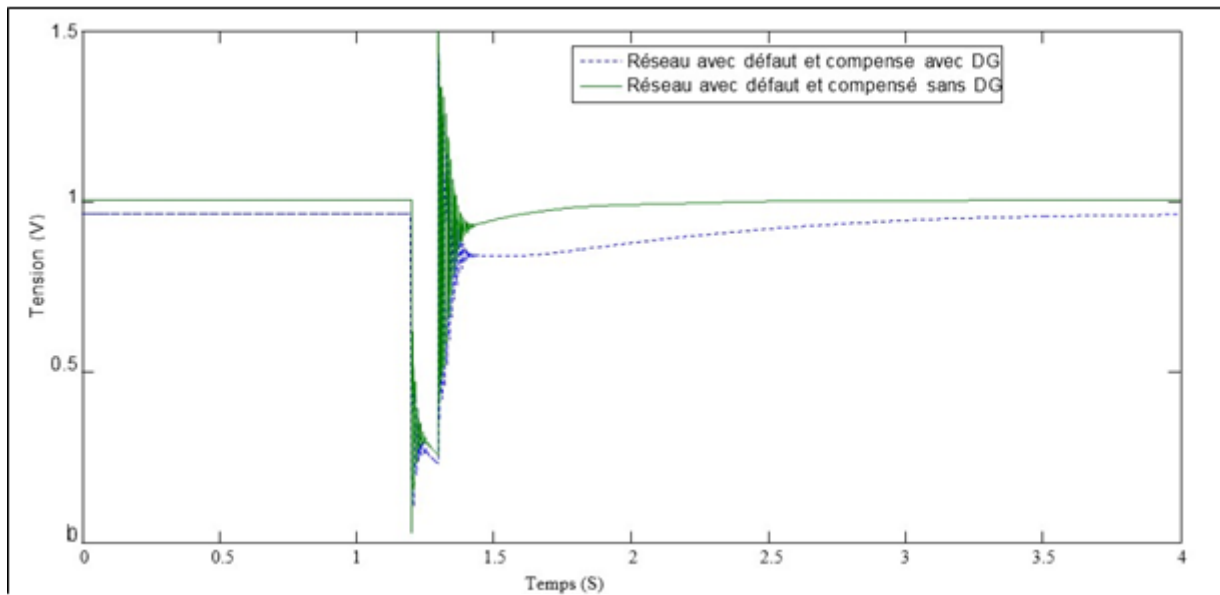


Figure 3-23: comparaison de profil de tension avec et sans DG avec compensation et avec défaut

La tension dans un secteur défectueux, qui est censé être sans DG, s'est rapidement stabilisée à nouveau par rapport à l'emplacement relatif du DG, car le moteur asynchrone consomme l'entrée de puissance réactive du condensateur avant la stabilisation du secteur.

L'influence de la production décentralisée sur les réseaux de distribution Le lien de la DG avec le réseau de distribution peut avoir des effets importants sur le système, par ex. B. Flux de courant, régulation de tension, fiabilité, etc.

L'installation de GD modifie les caractéristiques traditionnelles du réseau de distribution.

La plupart des systèmes de distribution sont conçus de telle sorte que l'électricité circule dans une seule direction. L'installation de DG introduit une autre source dans le système. Si la puissance fournie par le DG est supérieure à la charge en amont, le reste de la puissance est envoyé en amont en inversant le sens du flux de courant et à un moment donné entre le DG et la sous-station, le flux de courant réel devient nul. en raison du retour du flux de courant de la DG. La figure (3-24) montre la différence entre le flux de courant maximum et minimum dans le réseau avec et sans DG. (1) On constate que sans générateur installé, le débit maximum se produit lorsque la consommation atteint son maximum et le débit minimum intervient lorsque la consommation atteint son minimum. Cependant, après l'installation de DG, il y a un débit de pointe lorsque la consommation est à son minimum et un débit minimum lorsque la consommation est à son maximum. Cette observation est particulièrement importante lors de l'analyse de la chute de tension dans le réseau de distribution.

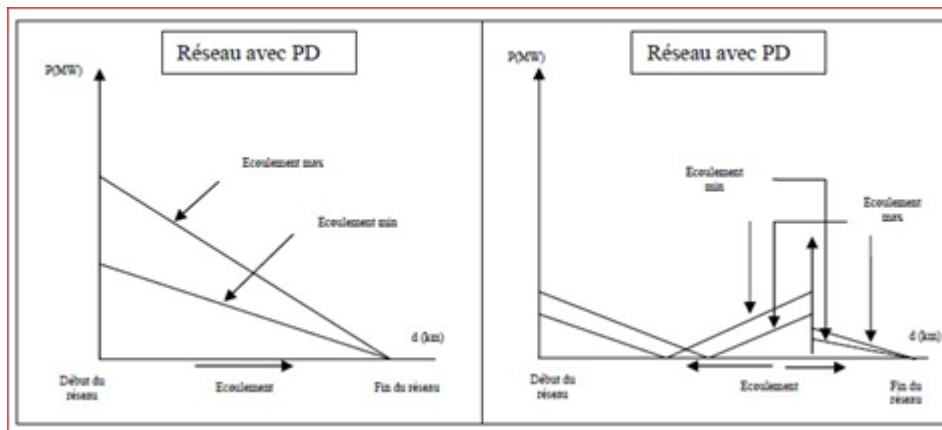


Figure 3-24 Écoulement de puissance

3.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré l'impact de l'intégration d'un générateur éolien dans un réseau électrique à 5 nœuds sur la stabilité de la tension et les puissances transportées par ce réseau vers les consommateurs. Pour cela, un calcul d'écoulement de puissance a été effectué pour 2 cas :

- Évaluation de l'état du réseau, c'est-à-dire déterminer les tensions aux nœuds et les transits de puissance dans les lignes. Nous avons remarqué une chute de tension importante au nœuds 3.
- Intégration du générateur éolien au jeu de barre qui présente la tension la plus faible, nous avons observé une amélioration du plan de tension.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

Le travail effectué dans ce Mémoire concerne l'impact d'insertion des productions décentralisées dans les réseaux de distribution sur le profil de tension,

L'insertion de la production décentralisée dans un réseau de distribution modifie l'étude de l'écoulement de puissance et le jeu de barre où elle est insérée est modifié d'un jeu de barre de charge vers un jeu de barre de régulation. Les tests ont été effectués sur plusieurs réseaux test.

La production décentralisée qui injecte de la puissance réactive est la plus efficace en termes de réduction de la chute de tension.

Par contre, la production décentralisée qui absorbe de la puissance réactive augmente la chute de tension des jeux de barre et mène à la détérioration du profil.

Annexe A- Paramètres du réseau à jeu de barres infini

A. Les données du réseau test 5 nœuds

Les tensions planifiées ainsi que les puissances générées et consommées sont classées dans le tableau suivant :

Tableau A.1 Puissances actives et réactive générées et consommées par le réseau test :

Nœuds	Type	Tension (pu)	<i>Puissances générées</i>		<i>Puissances consommées</i>	
			P _G (MW)	Q _G (MVer)	P _G (MW)	Q _G (MVer)
1	sw	1.060+j0.00	0	0	0	0
2	PV	1.00- j0.00	40	0	20	10
3	PQ	1.00- j0.00	0	0	45	25
4	PQ	1.00- j0.00	0	0	40	65
5	PQ	1.00- j0.00	0	0	60	10

Tableau A.2 Données des lignes du réseau test :

Lignes	Résistance R(pu)	Réactance X(pu)	Susceptance y' ² /2 (pu)
	0.02	0.06	0.060
1-3	0.08	0.24	0.050
2-3	0.06	0.18	0.040
2-4	0.06	0.18	0.040
	0.04	0.12	0.030
3-4	0.01	0.03	0.020
4-5	0.08	0.24	0.050

Puissance demandée totale est 165 MW.

Noeuds	Type	Tension (pu)	Angie (*)	P _G (MW)	Q _G (MVer)	P _G (MW)	Q _G (MVer)
<u>1</u>	<u>sw</u>	<u>1.0400</u>	<u>0</u>	-	=	<u>55.00</u>	<u>17.00</u>
<u>2</u>	<u>P_V</u>	<u>1.0100</u>	<u>-1.1800</u>	<u>0.00</u>	<u>-0.8</u>	<u>03.00</u>	<u>88.00</u>
<u>3</u>	<u>P_V</u>	<u>0.9850</u>	<u>-5.9728</u>	<u>40.00</u>	<u>-1.0</u>	<u>41.00</u>	<u>21.00</u>
<u>4</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9810</u>	<u>-7.3206</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>5</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9760</u>	<u>-8.5203</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>13.00</u>	<u>04.00</u>
<u>6</u>	<u>P_V</u>	<u>0.9799</u>	<u>-8.5203</u>	<u>0.00</u>	<u>0.8</u>	<u>75.00</u>	<u>02.00</u>
<u>7</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9840</u>	<u>-7.5800</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>8</u>	<u>P_V</u>	<u>0.0500</u>	<u>-4.4512</u>	<u>450</u>	<u>62.10</u>	<u>150.00</u>	<u>22.00</u>
<u>9</u>	<u>P_V</u>	<u>0.9800</u>	<u>-9.5623</u>	<u>0.00</u>	<u>2.20</u>	<u>121.00</u>	<u>26.00</u>
<u>10</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9860</u>	<u>-11.4307</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>05.00</u>	<u>02.00</u>
<u>11</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9740</u>	<u>-10.1712</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>12</u>	<u>P_V</u>	<u>1.0150</u>	<u>-10.4619</u>	<u>310.00</u>	<u>128.50</u>	<u>377.00</u>	<u>24.00</u>
<u>13</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9700</u>	<u>-9.7924</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>18.00</u>	<u>02.00</u>
<u>14</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9700</u>	<u>-9.3264</u>	<u>0.000</u>	<u>0.00</u>	<u>10.00</u>	<u>05.30</u>
<u>15</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9880</u>	<u>-7.1804</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>22.00</u>	<u>05.00</u>
<u>16</u>	<u>P_Q</u>	<u>1.0130</u>	<u>-8.8532</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>43.0</u>	<u>03.00</u>
<u>17</u>	<u>P_Q</u>	<u>1.0170</u>	<u>-5.3939</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>42.00</u>	<u>08.0</u>
<u>18</u>	<u>P_Q</u>	<u>1.0010</u>	<u>-11.7118</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>27.00</u>	<u>09.00</u>
<u>19</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9700</u>	<u>-13.1996</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>03.30</u>	<u>00.60</u>
<u>20</u>	<u>P_Q</u>	<u>1.9640</u>	<u>-13.4063</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>02.30</u>	<u>1.00</u>
<u>21</u>	<u>P_Q</u>	<u>1.0080</u>	<u>-12.8919</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>22</u>	<u>P_Q</u>	<u>1.0100</u>	<u>-12.8432</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>23</u>	<u>P_Q</u>	<u>1.0080</u>	<u>-12.9089</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>06.30</u>	<u>2.10</u>
<u>24</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9990</u>	<u>-13.2517</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>25</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9820</u>	<u>-18.1250</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>06.30</u>	<u>03.20</u>
<u>26</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9590</u>	<u>-12.9494</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>27</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9820</u>	<u>-11.4839</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>09.30</u>	<u>0.50</u>
<u>28</u>	<u>P_Q</u>	<u>0.9970</u>	<u>-10.4477</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>04.60</u>	<u>02.30</u>
<u>29</u>	<u>P_Q</u>	<u>1.0100</u>	<u>-9.7533</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>17.00</u>	<u>02.60</u>

<u>30</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9620</u>	<u>-18.6798</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>03.60</u>	<u>1.80</u>
<u>31</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9360</u>	<u>-19.3351</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>05.80</u>	<u>2.90</u>
<u>32</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9490</u>	<u>-18.4598</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>01.60</u>	<u>0.80</u>
<u>33</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9470</u>	<u>-18.5000</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>03.80</u>	<u>1.90</u>
<u>34</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9590</u>	<u>-14.0986</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>35</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9660</u>	<u>-13.8593</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>06.00</u>	<u>3.00</u>
<u>36</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9760</u>	<u>-13.5878</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>37</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9850</u>	<u>-13.4070</u>	<u>0.00</u>	<u>.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>38</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0130</u>	<u>-12.7055</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>14.00</u>	<u>7.00</u>
<u>39</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9830</u>	<u>-13.4595</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>40</u>	<u>PQ</u>	<u>0..9730</u>	<u>-13.6192</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>41</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9060</u>	<u>-14.0502</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>06.30</u>	<u>3.00</u>
<u>42</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9660</u>	<u>-15.4965</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>07.10</u>	<u>04.40</u>
<u>43</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0100</u>	<u>-11.3288</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>02.00</u>	<u>1.00</u>
<u>44</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0170</u>	<u>-11.8591</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>12.00</u>	<u>1.80</u>
<u>45</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0360</u>	<u>-9.2487</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>46</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0500</u>	<u>-11.8878</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>47</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0330</u>	<u>12.4891</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>29.70</u>	<u>11.60</u>
<u>48</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0270</u>	<u>12.4891</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
<u>49</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0360</u>	<u>12.5896</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>18.00</u>	<u>8.50</u>
<u>50</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0230</u>	<u>12.9175</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>21.00</u>	<u>10.50</u>
<u>51</u>	<u>PQ</u>	<u>1.0520</u>	<u>12.5170</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>18.00</u>	<u>5.30</u>
<u>52</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9800</u>	<u>11.4716</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>04.90</u>	<u>02.20</u>
<u>53</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9710</u>	<u>12.2299</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>20.00</u>	<u>10.00</u>
<u>54</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9960</u>	<u>11.6901</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>04.10</u>	<u>1.40</u>
<u>55</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9310</u>	<u>10.7781</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>06.80</u>	<u>3.40</u>
<u>56</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9680</u>	<u>16.0421</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>07.60</u>	<u>2.20</u>
<u>57</u>	<u>PQ</u>	<u>0.9650</u>	<u>16.5571</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>06.70</u>	<u>2.00</u>

Tableau A.3 : Données des lignes du réseau test :

Du Nœuds	Au Nœuds	Résistance R(pu)	Réactance X(pu)	Susceptance $y'/2$ (pu)
1	2	0.0083	0.0280	0.12900
1	15	0.0178	0.0910	0.09880
1	16	0.0454	0.2060	0.05460
1	17	0.0238	0.1080	0.02860
2	3	0.0298	0.08500	0.08180
3	4	0.0112	0.0366	0.03800
3	15	0.0162	0.0530	0.05440
4	5	0.0625	0.1320	0.02580
4	6	0.0430	0.1480	0.03480
4	18	0.0000	0.05550	0.0000
5	6	0.0302	0.0641	0.01240
6	7	0.0200	0.1020	0.02760
6	8	0.0339	0.1730	0.01940
7	8	0.0139	0.0648	0.01940
7	29	0.0000	0.5050	0.0000
8	9	0.0099	0.1679	0.05480
9	10	0.0369	0.0848	0.04400
9	11	0.0258	0.2950	0.2180
9	12	0.0648	1580	0.07720
9	13	0.0481	0.1580	0.04060
9	55	0.0000	0.1205	0.0000
10	12	0.0277	0.1262	0.03280
10	51	0.0000	0.1262	0.0000
11	13	0.0223	0.0712	0.01880
11	41	0.0000	0.7490	0.0000
11	43	0.0000	0.1530	0.0000
12	13	0.0178	0.0580	0.06040
12	16	0.0180	0.0813	0.02160
12	17	0.0397	0.1790	0.4760
13	14	0.0132	0.0434	0.01100
13	15	0.0269	0.0869	0.02300
13	49	0.0000	0.1910	0.0000
14	15	0.0171	0.0547	0.0148
14	46	0.0000	0.0735	0.0000
15	45	0.0000	0.1042	0.0000
18	19	0.4610	0.6850	0.0000
19	20	0.2830	0.4340	0.0000
21	20	0.0000	0.7767	0.0000
21	22	0.0736	0.1170	0.0000
22	23	0.0099	0.0152	0.0084
23	24	0.1660	0.2560	0.0000
24	25	0.0000	1.1820	0.0000
24	26	0.0000	0.0473	0.0000
25	30	0.1350	0.2020	0.0000
26	27	0.1650	0.2540	0.0000
27	28	0.0618	0.0954	0.0000

28	29	0.0418	0.0587	0.0000
29	52	0.1442	0.1870	0.0000
30	31	0.3260	0.4970	0.0000
31	32	0.5070	0.7550	0.0000
32	33	0.0392	0.0360	0.0000
34	32	0.0000	0.9530	0.0000
34	35	0.0520	0.0780	0.00320
35	36	0.0430	0.0537	0.00160
36	37	0.0290	0.0366	0.0000
36	40	0.0300	0.0466	0.0000
37	38	0.0651	0.1009	0.00200
37	39	0.0239	0.379	0.0000
38	44	0.0299	0.0585	0.00200
38	49	0.1150	0.1770	0.0000
38	48	0.0312	0.0482	0.0000
39	57	0.0000	1.3550	0.0000
40	56	0.0000	1.1950	0.0000
41	42	0.2070	0.3520	0.0000
41	43	0.0000	0.4120	0.0000
44	45	0.0624	0.1242	0.0040
46	47	0.0230	0.0680	0.00320
47	48	0.0182	0.0233	0.0000
48	49	0.0834	0.1290	0.00480
49	50	0.0801	0.1280	0.0000
50	51	0.1386	0.2200	0.0000
52	53	0.0762	0.09840	0.0000
53	54	0.1878	0.2320	0.0000
54	55	0.1732	0.2265	0.0000
56	42	0.2125	0.3540	0.0000
56	41	0.5530	0.5490	0.0000
57	56	0.1740	0.2600	0.0000

Puissance demandée totale est 1250.80 MW

Références Bibliographique

- [1] Cortinas, D. & P. Juston. Assessing the impact of dispersed generation on medium voltage networks: analysis methods. in Electric Power Engineering, 1999. PowerTech Budapest 99. International Conference on. 1999.
- [2] K. Foued « Etude des variations rapides de tension pour le raccordement d'une production décentralisée dans un réseau MT » mémoire de magistère, Constantine.
- [3] "Report on Renewable Energies". Rapport ETSO, Bruxelles, Décembre 2003.
- [4] G. Koeppel, "Distributed generation", Literature and current state review, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, EEH - Power Systems Laboratory, 2003.
- [5] N.R. "Friedman. Distributed energy resources interconnection systems", Technology review and research needs. Technical Report NREL/SR-560-32459, National Renewable Energy Laboratory, 2002.
- [6] N. Jenkins et al, "Embedded generation". IEE, 2000. ISBN 0-85296-774-8.
- [7] Olivier Richardot « Réglage Coordonné de Tension dans les Réseaux de Distribution à l'aide de la Production Décentralisée » Thèse de doctorat INPG, 2000.8] <http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/technologies-de-l-energie/thematique89428/le-monde-comptera-3-2-tw-de-solaire-photovoltaigue-et-d-eolien-en-2030-article-2865111>
- [9] Gil, H.A. & Joos, G. Models for Quantifying the Economic Benefits of Distributed Generation. Power Systems, IEEE Transactions on, 2008. 23(2): p. 327-335.
- [10] International Energy Agency. (2006). World energy outlook 2006. Recupere <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo-website/2008-1994/weo2006.pdf>.
- [11] O. RICHARDOT, « Réglage Coordonné de Tension dans les Réseaux de Distribution à l'aide de la Production Décentralisée », Thèse de doctorat de l'INPG, 10 Octobre 2006.
- [12] N. LAVERDURE, « l'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux faibles ou insulaires ». Thèse de doctorat de l'INPG, 2005.
- [13] R. CAIRE « Gestion et Stratégies de conduite de la Production Décentralisée », Thèse de Doctorat INP Grenoble, Avril 2004.
- [14] T. Pham, « Influences De La Production Décentralisée Sur La Gestion Des Infrastructures Critiques Des Réseaux De Puissance », thèse de doctorat de l'INPG, 2006.

- [15] Commission de Régulation de l'Énergie. Description générale des réseaux électriques. Dernière consultation : 01/06/2016.
- [16] Enedis. Description physique du réseau public, Avril 2008. Dernière consultation : 13/06/2016
- [17] D. Souque, L. Chatonnet, and E. Monnot. Réglage de tension : Rôles, obligations et organisation du producteur pour les besoins du système électrique en France. Techniques de l'ingénieur : Réseaux électriques de transport et de répartition, Cahier D(4096), Novembre 2013.
- [18] A. Croguennoc. Plan de protection des réseaux de distribution publique à moyenne tension - principes. Techniques de l'ingénieur : Réseaux électriques et applications, Cahier D(4811), Mai 2011.
- [19] M. Oddi. Protection des réseaux à basse tension de distribution publique. Techniques de l'ingénieur : Réseaux électriques et applications, Cahier D(4815), Septembre 1991.
- [20] B. Bernseneff. Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur. Thèse, Ecole Nationale Supérieure d'Electrochimie et d'Electrometallurgie de Grenoble, Décembre 2010.
- [21] J.P. Signal. Réglage de tension HTA et BT. Prescription du Réseau de Distribution d'Electricité, 2011. Document Enedis B.5.101.
- [22] P. Sarrand and J. Versille. Compensation de l'énergie réactive et tenue de la tension dans les réseaux publics. Techniques de l'ingénieur : Réseaux électriques et applications, Cahier D(4305), Juin 1986.
- [23] H. Dutrieux. Méthodes pour la planification pluriannuelle des réseaux de distribution. Application à l'analyse technico-économique des solutions d'intégration des énergies renouvelables intermittentes. Thèse, Ecole Centrale de Lille, Novembre 2015.
- [24] N. Hadjsaid, J. F. Canard, and F. Dumas. Dispersed generation impact on distribution networks. IEEE Computer Applications in Power, 12(2) :22–28, Avril 1999.
- [25] J.A. Peças Lopes, N. Hatziargyriou, J. Mutale, P. Djapic, and N. Jenkins. Integrating distributed generation into electric power systems : A review of drivers, challenges and opportunities. Electric Power Systems Research, 77(9) :1189 – 1203, Juillet 2007. Distributed Generation.
- [26] A. Minaud, C. Gaudin, and L. Karsenti. Analysis of the options to reduce the integration costs of renewable generation in the distribution networks. Part 1 : Impact of PV development in France and global analysis of considered alternatives to reinforcement. In Electricity Distribution (CIRED 2013), 22nd International Conference and Exhibition on, pages 1–4, Juin 2013.

- [27] G. Strbac, M. Aunedi, P. Djapic, I. Konstantelos, and D. Papadaskalopoulos. Grid impact studies of electric vehicles - future distribution network planning tools : Functionalspecifications, Mars 2014. Dernière consultation : 13/06/2016.
- [28] J.M.Kauffman : « Commande et régulation des réseaux électriques », Chap.2 TraitéEGEM série génie électrique, LAVOISIER 2003.
- [29] .Michel Crappe : « Comman de et régulation des réseaux électriques » Chap.2 TraitéEGEM série génie électrique, LAVOISIER 2003.
- [30] Hanene Kouara : « Application d'un filtre actif série au contrôle de la tension d'unréseau basse tension » mémoire de magister, université de Batna 28/02/2006.
- [31] De Vre R, Jacquet B : « Perturbations dans les installations électriques et électroniquesProblèmes et solutions» Note d'information.
- [32] Jacques .C, Guillaume de Preville, Jean-Louis Sanhet : « Fluctuations de tension etflicker - Évaluation et atténuation (partie I et II) » Techniques de l'ingénieur D 4315.
- [33] Philipe Sarrand et Jean Verseille : « Compensation de l'énergie réactive et tenue detension dans les réseaux publics », Technique de l'ingénieur, D 4305, pp-1-10.
- [34]L.Benasla : « Compensation statique : Approche shunt et Approche série », mémoire demagister, Département d'électrotechnique, USTO, juillet 1999.
- [35] A.Sonnennoser and P.W Lehn: « Line current balencing with a unified. power flowcontroller », IEEE trans. On power delivery. Vol.14. N° 3.pp.1151-1157, july 1999.
- [36]N.G.Hingorani and L.Gyugyi: « Understanding FACTS », IEEE press, New York,2000.
- [37]J.C.Passelergue : « Interaction des dispositifs FACTS dans les grands réseauxélectriques », thèse de Doctorat de l'INPG, 26 novembre 1998.Bibliographie111
- [38]J.P.Barret, P.Bornard and B.Meyer : « Simulation des réseaux électriques »EYROLLES, 1997.
- [39]R.Grunbaum : « FACTS- les systèmes performants pour le transport flexible del'énergie électrique », Revue ABB 5 / 1999.pp.202-203.
- [40]G.W.Moon : « Prédicitive current control of distribution static compensator for reactive power compensation », IEEE proceding on generation transmission and distribution,Vol.146, N°5. pp.515-520.

- [41] Rabah Benahid , Mohamed Boudour, «Amélioration de la stabilité de tension dans les réseaux électriques», Ouvrage, édition universitaires européennes, 2014.
- [42] :BernhardGotzig. Recherche du Schéma Optimal d'Exploitation d'un Réseau de DistributionÉlectrique .Sciences de [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG,1997. Français. <tel00905268>.
- [43] KOUADRA Foued étude des variations rapides de tension pour le raccordement d'une productiondécentralisée dans un réseau mt. université mentouri de Constantine (kou5368),juin 2009.
- [44] Synergrid« prescription techniques spécifiques de raccordement d'installations de productiondécentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution » 06.2006(studylibfr.com/doc/2846228/synergrid-c10-11,page :12).
- [45] zeroualmokhtaria. Optimisation et contrôle de l'écoulement des puissances actives par système fact.université des sciences et de la technologie d'oran- Mohamed Boudiaf. 2014-2015
- [46] DEROUICHE Abdelghani , BENCHEIKH Abdelhak.Etude de l'écoulement de puissance sur un réseau électrique en présence des systèmes FACTS.2016
- [47] TRAN KHANH VIET DUNG, "Interconnexion des sources d'énergie renouvelable au réseau dedistribution électrique," Thèse de doctorat, Université du Québec à Trois-Rivières, AOÛT2009.
- [48] KETFI Nadir. Contribution à la gestion des réseaux de distribution en présence de générationd'énergie dispersée," Thèse de doctorat, Université de Batna".2014.

صبح تطوير مصادر الإنتاج اللامركزية ، القائمة على الطاقات المتجددة أو وحدات التوليد المشترك ، حقيقة واقعة في العديد من البلدان حول العالم بفضل تحرير سوق الطاقة وكذلك التطورات التكنولوجية في الموارد. إنتاج طاقة منخفضة. يتم تعريف هذا الإنتاج اللامركزي على عكس الإنتاج المركزي التقليدي الذي يحتوي على وحدات طاقة كبيرة متصلة بشبكة الجهد العالي مثل شبكة النقل أو التوزيع. تمثل شبكة التوزيع الرابط في نظام الطاقة حيث يتوقع وجود توليد لامركزي.

في هذا السياق ، تهدف هذه الرسالة إلى تقديم مساهمات علمية في مجال ربط الإنتاج اللامركزي بشبكة توزيع الكهرباء.

الكلمات المفتاحية: استقرار الجهد ، الإنتاج اللامركزي ، شبكة توزيع السلم ، شبكة التوزيع الالتفافية ، طاقة الرياح

Résumé

Le développement des sources de production décentralisée, sur la base des énergies renouvelables ou d'unités de cogénération, est désormais une réalité dans plusieurs pays à travers le monde grâce à la déréglementation du marché de l'énergie ainsi qu'aux évolutions technologiques des moyens de production de petite puissance. Cette production décentralisée se définit par opposition à la production classique centralisée qui a des unités grosses puissances raccordées au réseau haute tension comme le réseau de transport ou de répartition. Le réseau de distribution représente le maillon du système de puissance où la présence de la production décentralisée est la plus attendue.

Dans ce contexte, l'objectif de ce mémoire est d'apporter des contributions scientifiques au domaine de l'interconnexion de production décentralisée au réseau de distribution électrique.

Mot clés : stabilité de tension, production décentralisée, réseau de distribution en échèle, réseau de distribution en dérivation, éolien.

Abstract

The development of decentralized generation sources, based on renewable energies or cogeneration units, is now a reality in several countries around the world thanks to the deregulation of the energy market as well as the technological evolutions of means of production of small power.

This decentralized production is defined in contrast to conventional centralized production which has large power units connected to the high voltage network such as the transmission or distribution network. The distribution network represents the link in the power system where the presence of decentralized generation is the most awaited.

In this context, the aim of this thesis is to bring scientific contributions to the field of decentralized generation interconnection to the electricity distribution network.

Key words: voltage stability, distributed generation, scaled distribution network, bypass distribution network, wind