UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique

Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux électriques
Présenté par :

SERIOUMohamed Khalil

Thème:

Analyse de la stabilité transitoire d'un réseau IEEE en présence des éoliennes et Compensateur SVC

Soutenu publiquement
Le :08/07/2019
Devant le jury :

Mr.KHERFANE Riad Lakhdar	MCB	Président	UKM Ouargla
Mr.BOUHADOUZA Boubekeur	MAA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Mr.ROUIBAH Tahar	MCA	Examinateur	UKM Ouargla

Année universitaire 2018/2019

Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :

Mon très cher père

Ma très chère mère

Mon très cher frère

Mes très chères sœurs

Mes chers oncles

Toute ma famille

A tous mes camarades de groupe :

RESEAU ELECTRIQUE

A tous mes amis que j'ai connus dans ma vie

Mohamed KhaliL

En préambule à ce mémoire je remercie ALLAH

Qui m'a aidé et m'a donnée la patience et le courage durant ces langues années d'étude. En second lieu, Je tiens à remercier mon encadreur Mr :

(B. BOUHADOUZA), son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner ce travail. Et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes remerciements s'étendent également à tous mes enseignants de Kasdi Merbah-Ouargla durant les années des études. Et tout ce qui est cher du moi de près ou de loin et qui m'aide à réaliser

Ce travail et me donne la volonté et l'envie de faire le possible pour réussir.

FACTS	**Flexible alternatif curant transmission systèmes.**
NEPLAN	**Logiciel de simulations**
IEEE	**Institute of Electrical and Electronics Engineers**
AVR	**Automatic Voltage Regulator**
SVC	**Static var Compensator.**
STATCOM	**Static Synchronous Compensator.**
TCSC	**Thyristor Controlled Series Capacitor**
UPFC	**Unified Power Flow Controller**
IPFC	**Interline Power Flow Controller**
TSSC	**Thyristor switcher séries capacitor**
SSSC	**Compensateur série synchrone**
TCPAR	**Régulateur d'angle déphase commandé par thyristor**
TCR	**Réactances commandés par thyristor**
TSC	**Thyristor Switched Reactor.**
VSC	**Voltage Source Converter**
VS	**Tension de source**
VR	**Tension de la ligne**
XC	**Condensateur**
XIND	**Inductance**
XTCSC	**Réactance totale**
IC	**Courant de source**
JB-AC	**Jeu de barre de tension alternatif**
JB-DC	**Jeu de barre de tension continu**
P	**masse volumique de l'air**
CP	**coefficient de performance**
D	**diamètre du rotor (en m)**
V	**v : vitesse du vent (m/s)**

SOMMAIRE

CHAPITRE I : *Généralités sur les systèmes étudie*

Introduction générale 1
I-1 Introduction 3
I-2 Réseaux Electrique 3
I-2-1 Définition du réseau d'énergie électrique 3
I-2 Stabilité des Réseaux Electrique 4
I-2-1 Définition 4
I-2.2 .classification de stabilité 4
I-2-2-1 Stabilité statique 4
I-2-2-2 Stabilité dynamique 4
I-2-2-3 Stabilité transitoire 4
I-3 Régulateurs 6
I-3-1 Description des régulations 6
I-3-2 Les Régulateurs de Tension 6
I-4 Dispositifs FACTS 8
I-4-1 Types de FACTS 8
I-4-1-1 FACTS séries 8
I-4-1-2 FACTS de type parallèle 10
I-4-1-3 FACTS de type hydride 14
I-5 Les Eoliennes 16
I-5-1 Histoire des éoliennes 16
I-5-2 Définition 17
I-5-3 Principe de l'aérogénérateur 17
I-5-4 Composants de l'aérogénérateur 18
I-5-5 Types des aérogénérateurs 19
I-5-5-1 Axe vertical 19
I-5-5-2 Axe horizontal 19
I-5-6 Intérêt des éoliennes intégré au réseau électrique 19
I-5-7 Puissance nominale de l'éolienne 20
I-6 Conclusion 21

CHAPITRE II : Résultats de Simulation et Ecoulement de Puissance

II-1 Introduction 22
II-2 Présentation de logiciel NEPLAN 22
II-3 Caractéristiques Générales du logiciel NEPLAN 23
II-4 Interface Utilisateur 23
II-4-1 Barre d'outils 24
II-4-2 Espace de travail 24
II-4-3 Gestionnaire des variantes 24
II-4-4 Fenêtre des symboles 24
II-4-5 Fenêtre des messages 25
II-5 Éléments constituant un réseau électrique par NEPLAN 25
II-6 Création et élimination de temps critique 26
II-7 Insertion de block de circuit réglage (CCT) 27
II-8 Réseau test étudies 28
II-9 SIMULATION ET DISCUSSIONS DES RESULTATS OBTENUS 31
II-9-1 1er cas : analyse de système sans éolienne 31
II-9-2 2eme cas : Insertion d'une ferme éolienne au système de puissance 35
II-9-3 3eme Cas : Système de Puissance en Présence d'un SVC et des Fermes Eolienne 39
II-10 Conclusion 46
Conclusion générale 47

CHAPITRE I

Fig.I-1, classifications de stabilité des réseaux électrique 5
Fig.I-2, différents classifications des régulateurs 6
Fig.I-3, block de fonction de régulateur de tension 7
Fig.I-4, a)Schéma de principe de TCSC / b) Schéma de principe de TSSC 10
Fig.I-5, a) Circuit équivalent d'un réseau électrique avec TSSC / b) Diagramme vectoriel associé.....10
Fig.I-6, Schéma de principe du STATCOM. 11
Fig.I-7, a)- Circuit équivalent d'un réseau électrique avec STATCOM / b)- Diagramme vectoriel associé. 12
Fig.I-8, Schéma de principe d'un SVC. 12
Fig.I-9, Caractéristique du SVC 13
Fig.I-10, Schéma de principe d'un TCPAR.....14
Fig.I-11, Schéma de principe d'un IPFC 15
Fig.I-12, Schéma de principe d'un variateur de charge universel 16
Fig.I-13, a) Circuit équivalent d'un réseau électrique avec UPFC / b) Diagramme vectoriel associé.....16
Fig.I-14, éolienne raccordé au réseau 17
Fig.I-15, les composants d'aérogénérateur 18
Fig.I-16, Intérêt des éoliennes intégré au réseau électrique 20

CHAPITRE II

Fig.II-1, Fenêtres opérationnelles de l'Interface utilisateur 23
Fig.II-2, création de défaut par NEPLAN.....27
Fig.II-3, diagramme CCT directement avec le menu contextuel 28
Fig.II-4, réseau IEEE 39 jeux de barres.....29
Fig.II-5, ferme éolienne constituant le système 30
Fig.II-6, block de fonction de l'AVR 30
Fig.II-7, block de commande de SVC 30
Fig.II-8, amplitude de tension des jeux de barres.....32
Fig.II-9, tension internes des générateurs 02,10 et 08 34
Fig.II-10, tension des jeux de barres 02,01 et 25 34
Fig.II-11, vitesse rotoriques des générateurs de2^{eme} cas 35
Fig.II-12, angle rotorique des générateurs dans le1^{er}cas.....35
Fig.II-13, Amplitude de tension de système de puissance de 2eme cas 36
Fig.II-14, tension interne des générateurs proche de défaut 2eme cas 38
Fig.II-15, amplitude de tension des jeux de barres de 2eme cas 38
Fig.II-16, vitesse rotorique des générateurs proches de défaut de 2eme cas 39
Fig.II-17, angle des générateurs proche de défaut dans le 2eme cas.....39
Fig.II-18, amplitude de tension de 3eme cas.....41
Fig.II-19, amplitude de tension des générateurs.....42

Fig.II-20, amplitude de tension de 3eme cas.....42
Fig.II-21, vitesse rotorique des générateurs proches de défaut de 3eme cas 43
Fig.II-22, angle des générateurs proche de défaut dans le 3eme cas.....43
Fig.II-23, la puissance réactive de SVC 44
Fig.II-24, amplitude de tension pour les trois cas 44
Fig.II-25, amplitude de tension interne de G08 45
Fig.II-26, amplitude de jeu de barre en défaut 45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1, Les cas étudient le système de puissance 31
Tableau II-2, Écoulement de puissance dans le 1er cas 33
Tableau II-3, Ecoulement de puissance de 2eme cas 37
Tableau II-4, Écoulement de puissance de 3eme cas 40
Tableau II-5, Pertes totale de système de puissance 46

Introduction générale :

Les réseaux électriques sont aujourd'hui soumis à de nombreuses contraintes énergétiques et le scénario des systèmes énergétiques est très complexe et intimement lié, et il est nécessaire d'améliorer l'utilisation de l'énergie électrique tout en maintenant la fiabilité et la sécurité.

L'étude du flux d'énergie et de la stabilité dans le langage du système électrique est la solution à l'état des réseaux en équilibre,habituellement, il n'y a pas de centrale électrique près du centre de chargement, mais il se peut que ce soit loin du centre de production.

En raison de circonstances différentes. Pour répondre à la demande croissante en énergie, nous devons introduire des ressources renouvelables pour produire de l'énergie.

Nous choisirons plus particulièrement l'énergie éolienne. Il existe un champ proche du réseau permettant de tirer parti de la production électrique actuelle au lieu de construire de nouvelles lignes de transport soumises à des contraintes variables, Contrôle mécanique des réseaux électriques ; Bien que l'utilisation de la microélectronique, des ordinateurs et de la communication rapide pour contrôler le réseau, cette dernière procédure, dans ces systèmes de contrôle, ils sont supportés par des dispositifs mécaniques qui ont un temps de réponse long ou très court, le processus ne peut pas être répété et une lecture à haute fréquence, les éléments proposés pour améliorer le contrôle du système sont des dispositifs alternatifs. Les machines réalistes utilisent l'électronique d'énergie en général, microprocesseur, automatique, télécommunications et logiciel pour contrôler les systèmes d'alimentation. Ce sont des éléments de réponse rapide. Ils fournissent un principe de contrôle plus souple sur le flux d'énergie. Il offre également la possibilité de charger des lignes de transmission avec des valeurs. Près de la limite thermique, augmentant la capacité de transférer de l'énergie d'une zone à une autre. Il minimise également les effets des pannes d'équipement et désactive et stabilise le comportement du réseau électrique.

Le sujet de ce mémoire est spécifiquement l'analyse des flux de puissance dans le réseau de transport en présence de compensation shunt, tel que le SVC,afin d'étudier la stabilité transitoire en utilisant un programme appelé NEPLAN pour analyser les outils du système de manière optimale.

Pour atteindre ces objectifs de recherche, ce mémoire a été organisé en deux chapitres:

Dans le premier chapitre, nous serons présentées une recherche bibliographie sur les différents types de stabilité, les moyennes de compensation dynamique tel que les systèmes FACTS, nous serons aussi donner un aperçu sur les éoliennes.

Dans le deuxième chapitre, nous allons tirer les résultats de tous les cas étudiés dans IEEE39JB, dans le premier cas, nous étudierons le réseau de base sans aucun élément et dans le second cas, nous ajouterons l'énergie éolienne au une puissance de 22.74 MW, et dans la dernière cas nous ajouterons l'élément SVC avec une puissance éolienne de 45.48 MW.

Enfin, une conclusion générale sera tirée pour cet étude des résultats pour tous les éléments du réseau.

I-1 Introduction

L'étude des flux d'énergie coordonne l'exploitation de tousressources en énergies renouvelables et répartition de la production entre différents utilisateurs qui vise à obtenir plus d'exploitation économique menant àmeilleure utilisation de toutes les prévisions de ressources, de tension, de vitesse et d'angle, telles que l'indice de stabilité.

Dans ce chapitre, nous présenterons tous les aspects théoriques liés au réseau étudié d'éléments de compensation et de régulateur de tension, ainsi qu'à l'énergie éolienne.Nous parlerons également de « système électrique » car le réseau est en fait une gigantesque interaction entre éléments actifs (production avec sa régulation, modification automatique ou volontaire de paramètres, charges) et passifs (éléments du réseau, lignes, postes) au sein d'un système non linéaire (les relations tension, courant, puissance font intervenir des produits de variables et des fonctions sinusoïdales) à plusieurs milliers de degrés de liberté.

La présence d'éolienne et des systèmes FACTS font intervenir l'amélioration de la stabilité de système de puissance.

I-2 Réseaux Electrique

I-2-1 Définition du réseau d'énergie électrique

Les réseaux d'électricité ont été conçus dans le but de veiller à :

- la fiabilité de la fourniture de l'énergie électrique, les réseaux relient entre elles toutes les unités de production et visent à assurer une fonction de secours en cas de pannes et/ou de défaillances.

- L'optimalisation de la disponibilité de l'énergie électrique aux consommateurs, ainsi les réseaux, permettent d'acheminer l'énergie produite par des sources délocalisées vers les points de consommation[1] ; visent à assurer l'acheminement de l'énergie produite en masse à un endroit défini par des machines raccordées en grande partie aux niveaux de tension supérieurs vers des consommateurs en général disséminés sur un territoire donné et raccordés à des niveaux de tension inférieurs .

- Suite à la libéralisation du secteur électrique, le réseau vise également à remplir un rôle dans la facilitation du marché de l'électricité et à faire en sorte qu'un maximum de transactions Commerciales puisse s'exécuter [2].

I-2 Stabilité des Réseaux Electrique

I-2-1 Définition

La stabilité d'un réseau d'énergie électrique est définie comme étant l'aptitude de celui-ci à fonctionner au voisinage du synchronisme lorsqu'il est sollicité par une ou plusieurs perturbations. La perturbation crée déséquilibre entre la production et la consommation dans le réseau électrique [3] .Ce déséquilibre induit la variation de l'énergie cinétique provoquant ainsi l'évolution des angles rotoriques accompagnées par des oscillations dynamiques.

Les perturbations sont causées par des défauts qui surviennent sur le réseau électrique. Parmices défaut, nous pouvons citer : les court-circuit mono ou polyphasés, suivis généralement d'ouverture de lignes [4] ; les modifications de charges ; la rupture d'une interconnexion et ledéclenchement accidentel d'une machine ou d'un transformateur les défauts peuvent être classés par leur rapidité et par leur amplitude.

I-2.2 classification de stabilité

I-2-2-1 Stabilité statique

Elle correspond à la stabilité d'un réseau électrique sujet à une perturbation lente et de faible amplitude. Le système reste stable sous l'action des dispositifs de régulation conventionnels.

I-2-2-2 Stabilité dynamique

Dans ce cas le réseau électrique est sujet à une perturbation rapide mais de faible amplitude. L'utilisation d'un modèle linéaire est acceptable et le système est stabilisé par des dispositifs de commande supplémentaires (stabilisateurs).

I-2-2-3 Stabilité transitoire

La stabilité transitoire correspond à la stabilité d'un réseau électrique siège d'une perturbation rapide et sévère. Cette perturbation allant, le plus souvent, jusqu'à dépasser la capacité des dispositifs de commande. L'utilisation d'un modèle non linéaire du réseau électrique est nécessaire pour l'évaluation de la stabilité transitoire.

Pour la stabilisation du réseau électrique, il est nécessaire d'utiliser des régulateurs non-linéaires ainsi que d'autre disposition particulaire.

Pour étudier la stabilité transitoire, il faut :

- Etablir le modèle non-linéaire du système
- Trouver l'écoulement de l'énergie (généralement donné)
- Trouver le régime établi (le point de fonctionnement)
- Connaitre les paramètres nécessaires
- La constante d'inertie H
- Les réactances transitoires
- Les impédances des lignes de transmission avant, pendant et après le défaut
- La matrice réduite [Y] pour chaque cas
- La durée du défaut
- L'instant d'ouverture de ligne pour un court-circuit
- L'instant de la fermeture de ligne pour un court-circuit [5].

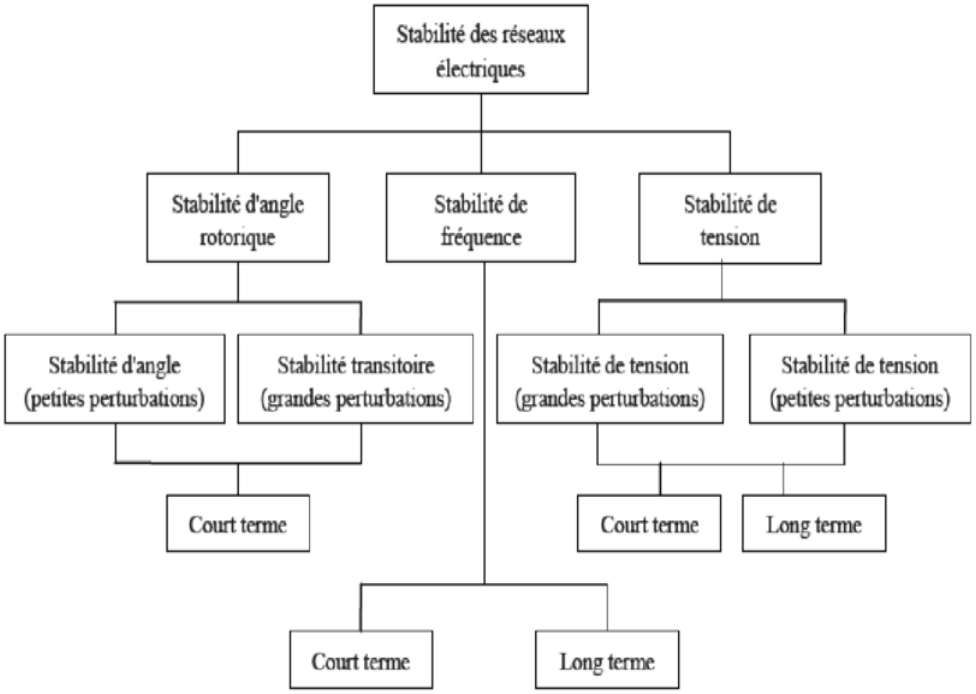

***Fig.I-1**, classifications de stabilité des réseaux électrique*

I-3 Régulateurs

I-3-1 Description des régulations

Les paramètres principaux pour la sureté du système de puissance sont : La tension, La vitesse de la turbine,(la fréquence) et le courant d'excitation. La régulation pendant des perturbations est faite selon ces paramètres.

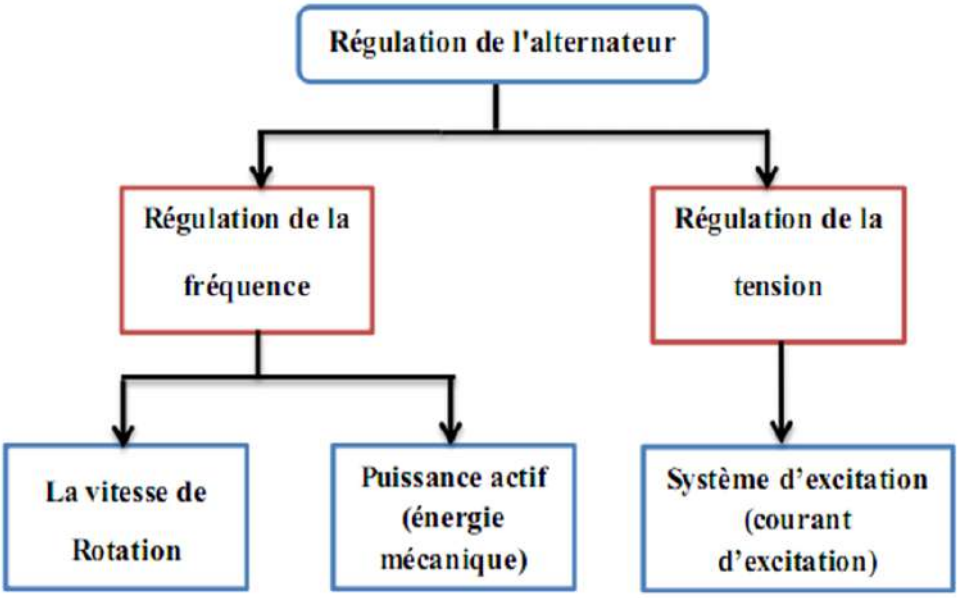

Fig.I-2,*différents classifications des régulateurs*

I-3-2Les Régulateurs de Tension

Le système d'excitation est un système auxiliaire qui alimente les enroulements d'excitation de la machine synchrone afin que cette dernière puisse fournir le niveau de puissance demandé. En régime permanent, ce système fournit une tension et un courant continu mais il doit être capable également de faire varier rapidement la tension d'excitation en cas de perturbation sur le réseau. Les systèmes d'excitation sont équipés de contrôleurs, appelés habituellement régulateurs de tension [6] (AVR : Automatic Voltage Regulator).

Ces derniers sont très importants pour l'équilibre de la puissance réactive qui sera fournie où absorbée selon les besoins des charges. En outre ces contrôleurs représentent un moyen très important pour assurer la stabilité transitoire du système de puissance.

Le régulateur de tension agit sur le courant d'excitation de l'alternateur pour régler le fluxmagnétique dans la machine et "ramener" la tension de sortie de la machine aux valeurs

souhaitées. Une caractéristique très importante d'un régulateur de tension est sa capacité à faire varier rapidement la tension d'excitation.

La figure suivante montre le modèle du système d'excitation et de son régulateur de tension utilisé dans notre cas.

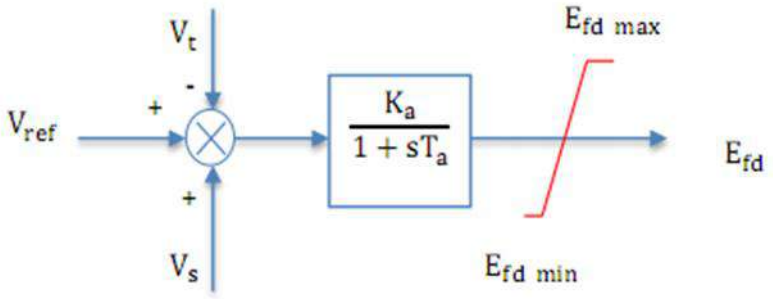

Fig.I-3, *block de fonction de régulateur de tension*

Tel que :

V_t: Tension mesurée à la sortie de la machine synchrone

V_s : Tension du nœud infini.

E_{fd} : Tension d'excitation de la machine synchrone

V_{FD-MAX} : Limite supérieure de la sortie de

V_{fd-MIN} : Limite inférieure de la sortie de

$V_{réf}$: Tension de référence.

T_a : Constante de temps de l'AVR

Ka : Gain de l'AVR

La grandeur ($\mathbf{V}_{réf}$), est la consigne de tension déterminée pour satisfaire les conditions de l'état équilibrée. Le régulateur de tension compare le signal $\mathbf{V_t}$ à la tension de consigne $\mathbf{V_{réf}}$.

Un signal complémentaire peut-être ajouté au nœud de sommation : il s'agit d'un signal issu de certains dispositifs spécifiques de commande comme les stabilisateurs de puissance.

Ensuite, le signal d'erreur est amplifié pour donner la tension d'excitation demandée.

La constantede temps et le gain de l'amplificateur sont respectivement $\mathbf{T_a}$ et $\mathbf{K_a}$.

Les valeurs extrémales de la tension d'excitation ($\mathbf{E_{fdmax}}$, $\mathbf{E_{fdmin}}$) sont fixées par un système de limitation [7].

La relation suivante décrit le fonctionnement dynamique du modèle :

$$\dot{E}_{fd}(t)=\frac{1}{Ta}\left(K_a\left(V_{réf}-V_t(t)+V_s(t)\right)-E_{fd}(t)\right) \qquad (I-1)$$

I-4 Dispositifs FACTS

Un FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) est un équipement d'électronique de puissance d'appoint utilisé pour contrôler la tension, augmenter les capacités de transit, ou assurer la stabilité dynamique des réseaux de transmission d'électricité. Il agit généralement en fournissant ou en consommant dynamiquement de la puissance réactive sur le réseau. Ceci a pour effet d'augmenter ou de diminuer l'amplitude de la tension à son point de connexion, et par conséquent la puissance active maximale transmissible [8].

Les condensateurs shunts fournissent la puissance réactive, et augmentent localement la tension du réseau (utilisé en période de forte consommation ou dans les zones éloignées des centres de production). Les réactances shunts consomment la puissance réactive, et diminuent la tension du réseau (utilisé en période de faible consommation). Les condensateurs séries permettent de diminuer l'impédance des liaisons électriques et d'augmenter la puissance transmissible par ces liaisons (une liaison électrique haute-tension est en effet essentiellement inductive)[9]. Les réactances série augmentent l'impédance d'une liaison électrique, afin de mieux répartir les courants sur les différentes liaisons.

I-4-1 Types de FACTS

Les contrôleurs FACTS peuvent être classés comme suit:

I-4-1-1 FACTS séries

Modifier l'impédance de la ligne, X_L est diminué afin d'augmenter la puissance active transmissible. Le FACTS est connecté en série avec le système de puissance, il fonctionne comme une source de tension contrôlable. L'inductance série existe dans toutes les lignes de

transmission AC, sur les lignes longues, quand un courant fort circule, ceci provoque une chute de tension importante. Pour compenser, des condensateurs séries sont connectés, diminuant l'effet de l'inductance [10].

Ces types de FACTS connectés en série avec le réseau peuvent être utilisés comme une impédance variable (inductive, capacitive) ou une source de tension variable. En général, ces compensateurs modifient l'impédance des lignes de transport en insérant des éléments en série avec Celles-ci. La commande de ce type de FACTS, la littérature a montré deux type de commande tel que :

- **Condensateur série commandé par thyristors**

Ceci peut être réalisé de deux manières:

- **Par un contrôle continue**

Un module de TCSC (Thyristor-Controller Séries Capacitaire) la figure 4,a est composé d'un banc de condensateurs X_C en parallèle avec une inductance X_{ind} contrôlée par deux thyristors.

L'impédance totale X_{TCSC} vue par la ligne est une combinaison parallèle de la capacité et de l'inductance équivalente variable selon l'angle d'amorçage des thyristors. On peut aligner plusieurs modules commandés en série dans la ligne à compenser. Ce système permet:

a. Accroitre la longueur électrique d'une ligne de transmission à courant alternatif.

b. L'amortissement des oscillations de puissance.

c. La stabilité de la tension.

d. L'équilibrage des flux de charge dans les réseaux de transmission.

e. Une grande plage de variation de l'impédance équivalente capacitive et inductive.

f. La réduction des problèmes dus aux phénomènes de résonance sub-synchrone [11].

- **Par une commande discrète**

La différence entre TSSC (Thyristor Switcher Séries Capacitaire) figure 4, et le TCSC est que l'angle d'amorçage est soit de 90 degrés soit de 180 degrés.

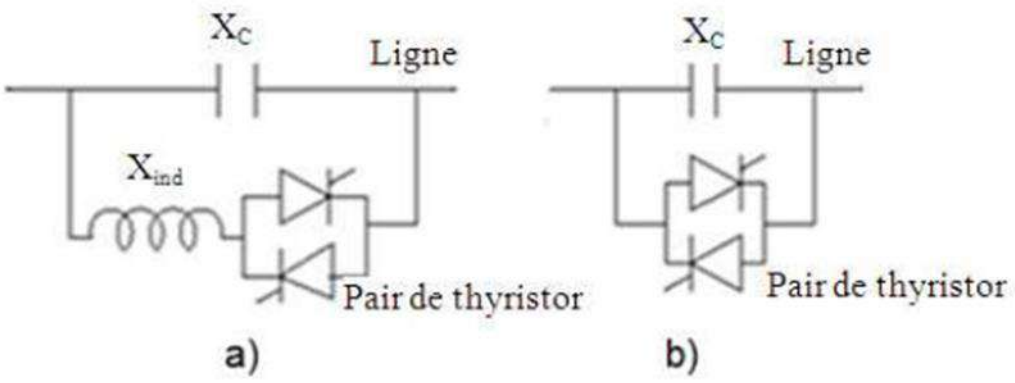

Fig.I-4, *a)Schéma de principe de TCSC / b) Schéma de principe de TSSC*

La figure 5, a) montré le circuit équivalent d'une ligne de transmission d'une réactance jX_L avec deux générateurs de tension V_S et V_R, et la figure 5, b) un TSSC de réactance X_{TSSC} placé en série avec la réactance jX_L

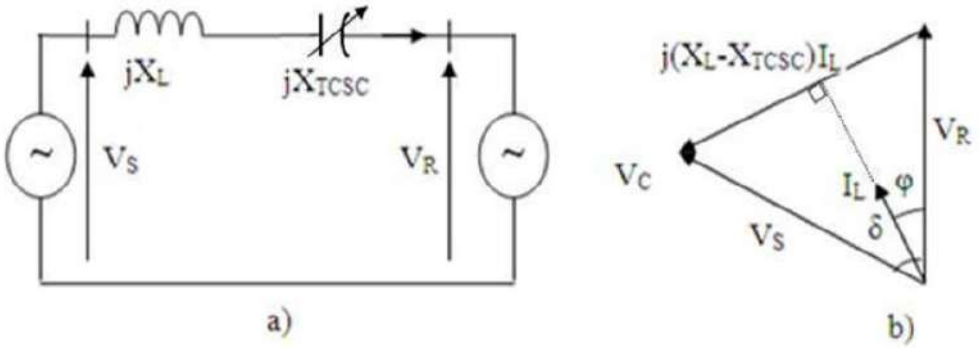

Fig.I-5, *a) Circuit équivalent d'un réseau électrique avec TSSC / b) Diagramme vectoriel associé*

I-4-1-2 FACTS de type parallèle

Dans la compensation shunt, le système de puissance est connecté en shunt avec le FACTS. Il fonctionne comme une source de courant contrôlable. Un courant réactif est injecté dans la ligne pour maintenir l'amplitude de la tension. La puissance active transmissible est augmentée.

Parmi les compensateurs parallèles nous avons cité

A- Statique synchrones compensateur (STATCOM)

Le compensateur statique synchrone STATCOM est constitué d'un convertisseur source detension, d'un transformateur d'accouplement et d'un circuit de commande. Dans cette application, la source d'énergie V_{dc} peut être remplacée par un condensateur C, de sorte que

l'échange d'énergie en régime permanent entre le compensateur statique et le réseau soit uniquement réactif, comme il est illustré dans la figure 06 où I_C est le courant de sortie du convertisseur, perpendiculaire à la tension du convertisseur V_C. L'amplitude de la tension du convertisseur et la puissance réactive à la sortie du convertisseur sont réglables. Si V_C est supérieure à la tension V_L du réseau, le compensateur statique fournit la puissance réactive au système[12], si V_C est inférieure à V_L le compensateur statique absorbe la puissance réactive. Le modèle simplifié du STATCOM considère le STACOM comme une source de tension variable qui est ajustée automatiquement pour atteindre la tension désiré, le jeu de barres où il est connecté est considérée comme un jeu de barres où l'amplitude de la tension et la puissance active et réactive sont spécifiés.

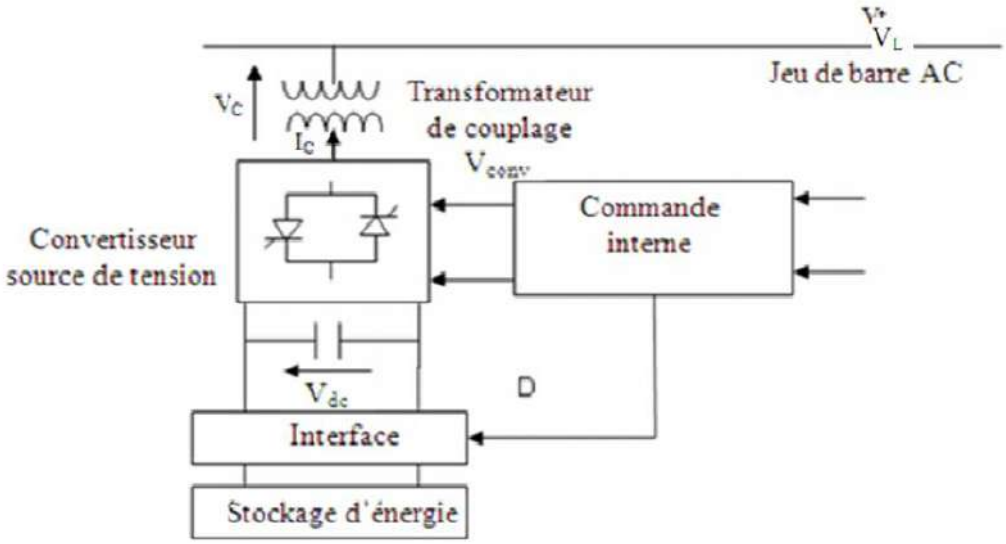

Fig.I-6, *Schéma de principe du STATCOM.*

La figure 7, montre le circuit équivalent d'une ligne de transmission avec deux générateurs de tension $V_C$montre le circuit équivalent d'une ligne de transmissionavec deux générateurs de tension V_S et V_R, et un STATCOM placé en parallèle au montre le circuit équivalent d'une ligne de transmission de réactance jX_L placé en parallèle au point quelconque.

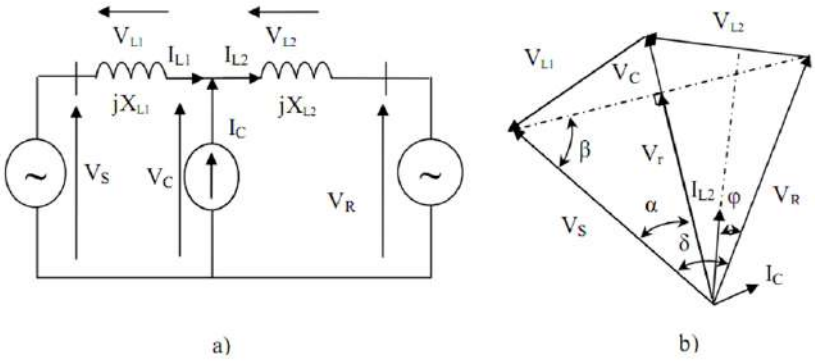

Fig.I-7, *a)- Circuit équivalent d'un réseau électrique avec STATCOM / b)- Diagramme vectoriel associé.*

B- Statique Var Compensateur(SVC)

Dans la pratique, il y a plusieurs modèles de SVC, le modèle défini est considère le SVC comme un générateur synchrone qui ne produit aucune puissance active, identique à un condensateur synchrone en parallèle avec une réactance inductive. Le jeu de barres au point de raccordement est comme un jeu de barres PV bus, devient PQ bus quand le SVC fonctionne à sa limite

Le compensateur statique de puissance réactive SVC rend possible le contrôle rapide de la tension [13].

La figure 8 montré ci- dessous illustre le schéma d'un SVC.

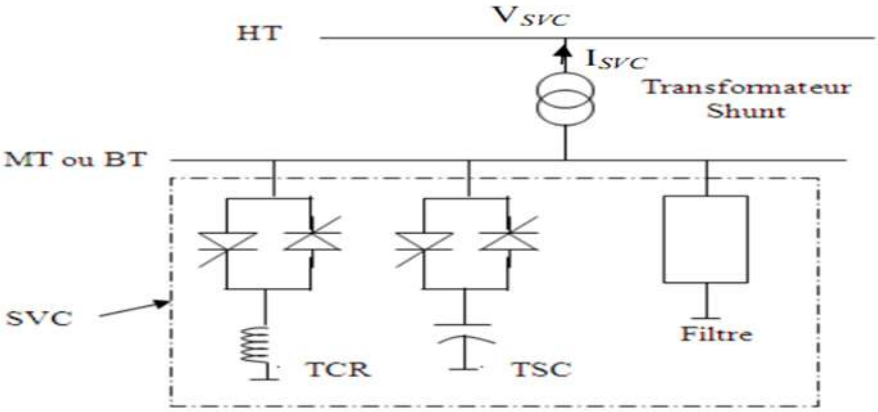

Fig.I-8, *Schéma de principe d'un SVC.*

Le SVC est l'association d'une inductance commandée par thyristor (Thyristor Controller-Réacteur: TCR), d'un condensateur commuté par thyristor (Thyristor Switcher Capacitor: TSC) et d'un filtre d'harmoniques. La caractéristique statique de ce type de FACTS est donnée par la figure suivant :

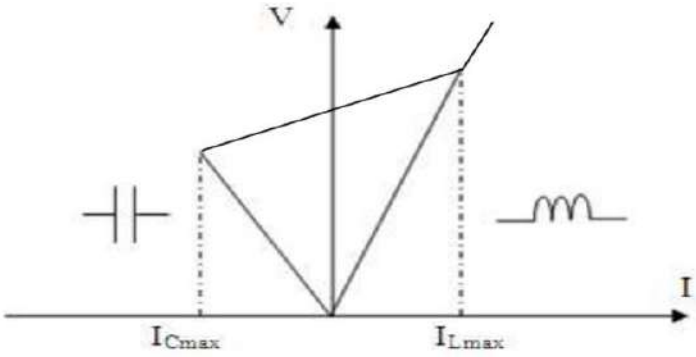

***Fig.I-9**, Caractéristique du SVC*

I_{Cmax} et **I_{Lmax}** sont les courants limites que peuvent supportés respectivement le TCR et le TSC.

Le SVC est un dispositif qui met en jeu des thyristors montés en tête-bêche; un "Statique Var Compensateur" est un dispositif shunt, branché en général à travers untransformateur HT/MT ou BT.

Un SVC est un générateur de puissance réactive qui produit / absorbe une puissance variantde façon continue depuis : + Q_C à – Q_L

Le SVC répond en dynamique, dans un temps court, de l'ordre de deux cycles, pour compenser une variation brusque de la tension consécutive à un à-coup de charge ou à un défaut.

- Le TSC fournit: rien ou sa pleine puissance: **0**/+Q_C
- Le TCR absorbe de façon continûment variable: **0**/-Q_L
- Le filtre fournit en permanence sa puissance : + Q_F
- Le bilan du SVC est donc : $Q = +Q_C + Q_F - Q_L$

Le SVC en régime permanent:

- Régule le profil de tension, particulièrement sur les systèmes faibles, en absorbant ou en fournissant de la puissance réactive
- Augmente la capacité de transport du système
- Réduit ou élimine les exigences pour des nouvelles lignes
- Réduit les pertes (en évitant de transporter du réactif) et donc optimise les investissements

Le SVC en régime dynamique:

- Participe à la restauration d'un système après un défaut
- Amortit les oscillations de puissance
- Améliore les marges de stabilité
- Réduit les oscillations de (flicker)
- Equilibre les effets dus aux charges déséquilibrées [14].

I-4-1-3 FACTS de type hydride

Selon les topologies et les dispositifs électroniques de puissance utilisés, les contrôleurs FACTS peuvent être classés en deux types:

- Type d'impédance variable.
- Type convertisseur source de tension (VSC).

A- Transformateur déphaseur à base de Thyristors (TCPAR)

Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPAR):

C'est un transformateur déphaseur à base de thyristors. Ce dispositif a été créé pour remplacer les déphaseurs à transformateurs à régleur en charge (LTC; Load Tap Changer) qui sont commandés mécaniquement. Il est constitué de deux transformateurs, l'un est branché en série avec la ligne et l'autre en parallèle. Ce dernier possède différents rapports de transformation (n1, n2, n3). La figure suivant, montre le schéma d'un TCPAR.

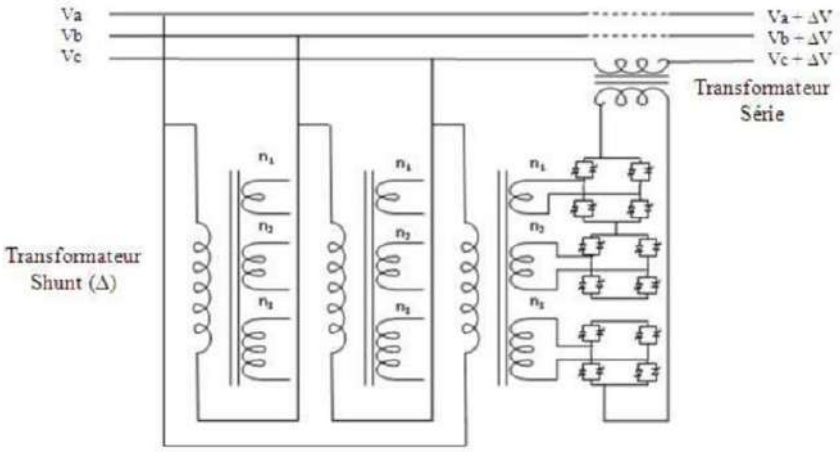

Fig.I-10, *Schéma de principe d'un TCPAR*

Ces deux transformateurs sont reliés par l'intermédiaire des thyristors. Son principe de fonctionnement est d'injecter, sur les trois phases de la ligne de transmission, une tension ΔV en quadrature avec la tension à déphaser. Il a l'avantage de ne pas générer d'harmoniques car les thyristors sont commandés en interrupteurs en pleine conduction. Par contre, comme le déphasage n'a pas une variation continue, il est nécessaire d'ajouter un compensateur shunt, ce qui entraîne des surcoûts d'installation. L'amplitude de la tension injectée est une combinaison des secondaires du transformateur parallèle dont les rapports de transformation sont n1, n2, n3[15].

B- Inter-line Power Flow Controller (IPFC)

L'IPFC a été proposé afin de compenser un certain nombre de lignes de transmission d'une sous-station. Sous sa forme générale, l'IPFC utilise des convertisseurs DC-DC placés en série avec la ligne à compenser. En d'autres termes, l'IPFC comporte un certain nombre de SSSC et peut ajouter le STATCOM.

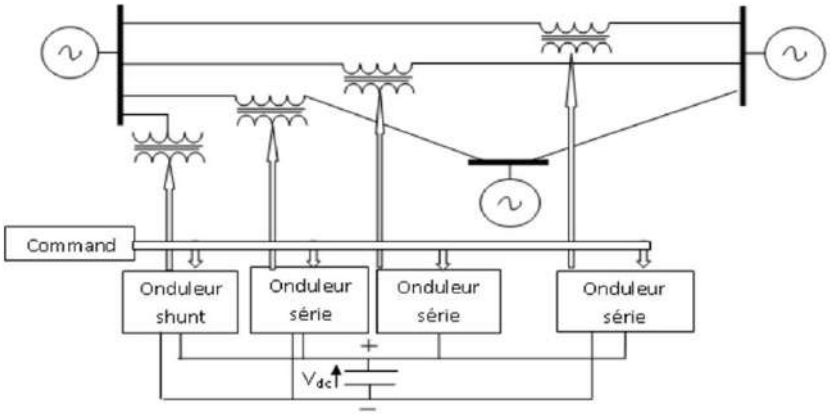

Fig.I-11, *Schéma de principe d'un IPFC*

C- Unified Power Flow Controller (UPFC)

En principe, le variateur de charge universel l'UPFC possède à la fois la fonctionnalité des autres compensateurs FACTS (parallèle, série et hybride), à savoir le réglage de la tension, le flux de puissances, l'atténuation des oscillations de puissance et l'amélioration de la stabilité[16].

L'originalité de ce dispositif est de pouvoir contrôler les trois paramètres associes au transit de puissance dans une ligne électrique a savoir : la tension, l'impédance de la ligne, le

déphasage des tensions aux extrémités de la ligne ou il est installé. La configuration de l'UPFC comprend un compensateur shunt STATCOM et un compensateur série SSSC. Les deux compensateurs sont interconnectes avec un jeu de barres de tension continue V_{dc} comme le montre la figure suivant.

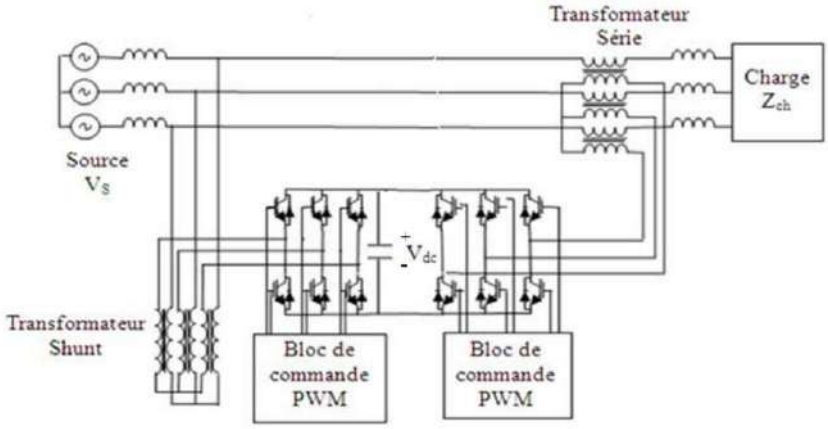

Fig.I-12, *Schéma de principe d'un variateur de charge universel*

La figure 13 a montré le circuit équivalent d'une ligne de transmission de réactance jX_L avec deux générateurs de tension V_S et V_R et un UPFC

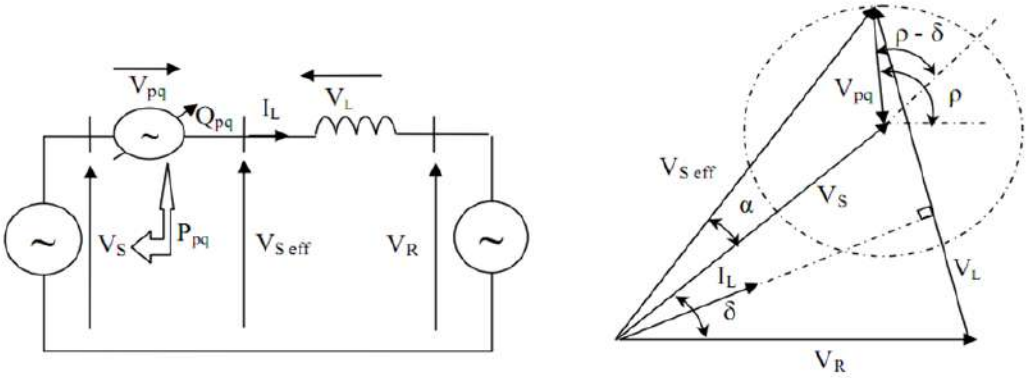

Fig.I-13*, a) Circuit équivalent d'un réseau électrique avec UPFC / b) Diagramme vectoriel associé*

I-5 Les Eoliennes

I-5-1 Histoire des éoliennes

Depuis des milliers d'années, la force du vent a permis à l'humanité de faire des choses extraordinaires. Il y a plus de 3'000 ans, elle a permis à des populations parties du sud de l'Asie dans des pirogues à voile d'aller peupler des îles éparpillées dans l'immensité de l'Océan Pacifique !

Au 5eme siècle avant Jésus-Christ, les civilisations grecques et égyptiennes se servaient des premières éoliennes pour moudre du grain et pomper l'eau des puits. Et c'est en 1866, avec l'invention de la dynamo (ou machine dynamoélectrique).

Un générateur qui permet de transformer l'énergie mécanique en électricité - que naît la possibilité de produire de l'électricité par la force du vent ! C'est ainsi qu'en 1888, un scientifique américain réalise la première turbine éolienne capable de produire de l'électricité.

I-5-2Définition

Les éoliennes fonctionnent sur le même principe que les moulins. Le vent fait tourner les pales (les bras) placées au sommet d'un mât. Ce mouvement entraîne la rotation d'un axe central (le rotor) relié à un générateur. L'énergie mécanique du vent est ainsi transformée en électricité.

Les éoliennes sont généralement placées dans des zones dégagées et venteuses. On appelle « parc éolien » un site regroupant plusieurs éoliennes. Certaines personnes trouvent que ces installations gâchent le paysage et font du bruit[18]. D'autres, au contraire, estiment que ces moulins modernes ont quelque chose d'élégant et sont surtout trèsutiles pour produire de l'électricité d'origine renouvelable.

I-5-3 Principe de l'aérogénérateur

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor ; cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou être utilisée par des charges isolées.

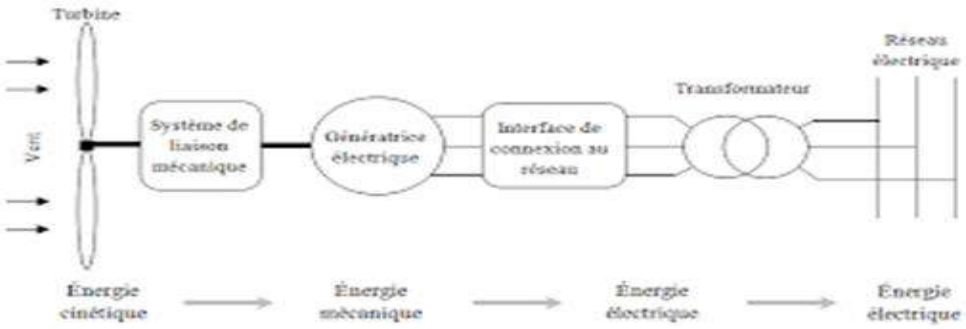

Fig.I-14, *éolienne raccordé au réseau*

I-5-4 Composants de l'aérogénérateur

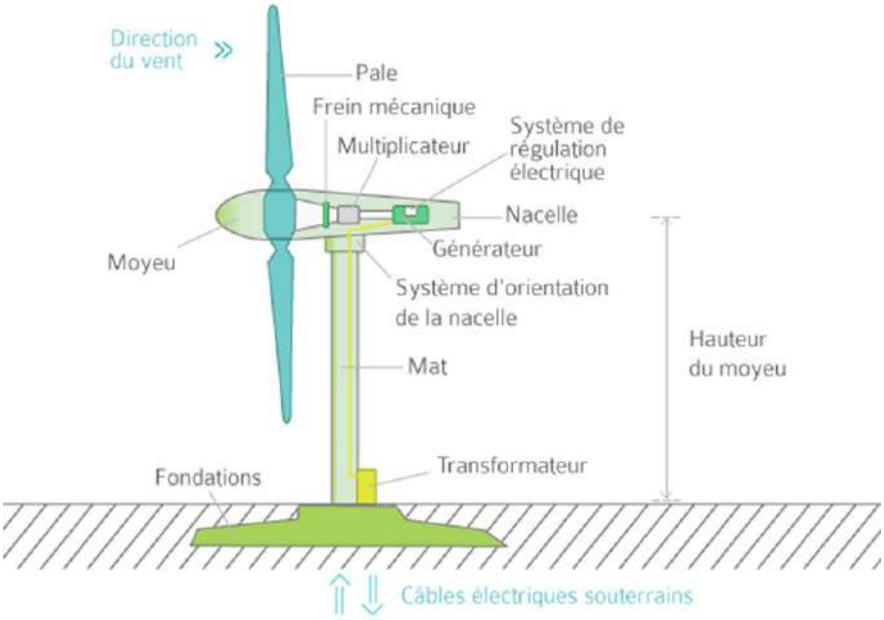

Fig.I-15, *les composants d'aérogénérateur*

- ✓ **Les pales** : ce sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor. Elles sont en fibres de verre et matériaux composites. Leur profil est le fruit d'études aérodynamiques complexes.
- ✓ **Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.
- ✓ **Le multiplicateur** : il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.
- ✓ **Système de régulation électrique** : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.
- ✓ **Frein mécanique** : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.
- ✓ **Nacelle** : Véritable salle des machines perchée en haut du mât, la nacelle renferme tous les instruments qui permettent à l'éolienne de fonctionner automatiquement
- ✓ **Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW [19]. Il peut-être une dynamo (produit du courant continu) ou

un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.

- ✓ **Le mât** : c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure. Sa hauteur est importante : plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.
- ✓ **Le système d'orientation de la nacelle** : c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.

I-5-5 Types des aérogénérateurs

I-5-5-1Axe vertical

Tout le dispositif de conversion de l'énergie est au pied de l'éolienne ce qui facilite les opérations de maintenance. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un dispositif d'orientation du rotor.

Ce pendant les vents sont faibles à proximité du sol donc les rendements sont moins bons. Aussi, le rotor de DARRIEUS doit être entraîné au démarrage et le mât subit de fortes contraintes mécaniques. Ainsi, de nos jours, les constructeurs privilégient les éoliennes à axe horizontal.

I-5-5-2Axe horizontal

Elles sont basées sur le principe des moulins à vent. Elles comportent généralement Pales pour des questions de performance et de contraintes sur la machine. Il existe deux catégories :

- ✓ éolienne amont ou hélice au vent : le vent souffle sur le devant des pales en direction de la nacelle.
- ✓ Les pales sont rigides et le rotor est orienté selon la direction du vent.

I-5-6 caractéristique d'intégration des éoliennes au réseau électrique

- ✓ Faire de l'électricité avec du vent un fonctionnement simple
- ✓ La machine se compose de pales (3 en général) portées par un rotor et installées au sommet d'un mât vertical. Cet ensemble est fixé sur une nacelle qui abrite un générateur.
- ✓ Un moteur électrique permet d'orienter la nacelle afin que le rotor soit toujours face au vent.

- ✓ Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. Le générateur transforme l'énergie mécanique ainsi créée en énergie électrique injectée dans le réseau en conformité aux normes électriques applicables.
- ✓ Les éoliennes fonctionnent pour des vitesses de vent généralement comprises entre 14 et 90 km/h. Au-delà, elles sont progressivement arrêtées pour sécuriser les équipements et minimiser leur usure.
- ✓ Il peut utiliser les données météo afin de prévoir la production éolienne pour accroître la proportion d'éolien intégrée au réseau et diminuer le recours aux centrales thermiques à flamme.

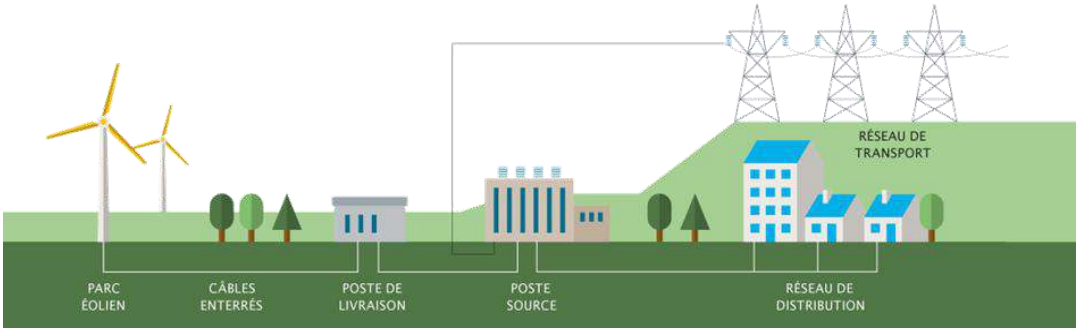

Fig.I-16, *Intérêt des éoliennes intégré au réseau électrique*

- ✓ Les nouvelles technologies de contrôle des centrales éoliennes permettent de réguler la puissance injectée pour assurer l'équilibre du réseau. Dans le cas où le réseau ne peut absorber toute l'électricité produite, les éoliennes peuvent être arrêtées, ce qui explique qu'on puisse voir, dans un parc éolien, un ou plusieurs aérogénérateurs à l'arrêt ; il ne s'agit pas toujours d'une panne ou d'un arrêt pour entretien, mais aussi éventuellement d'une nécessité pour la gestion du réseau.

I-5-7 Puissance nominale de l'éolienne

La puissance récupérable par un aérogénérateur est fonction du carré du diamètre des pales et du cube de la vitesse du vent. La puissance nominale d'une éolienne est calculée dans des conditions optimales de fonctionnement, c'est-à-dire pour un vent d'une vitesse de 12m/s. La puissance est exprimée en Watts.

On a donc la formule suivante :

$$P_{nominale} = \frac{1}{2} * \rho * \pi * Cp * d^2 * v^3 \qquad (I-2)$$

Avec :

ρ : masse volumique de l'air **(ρ = 1.225kg/m³ à 15°C et 1013 bar)**

Cp : coefficient de performance, sans unité **(0 inférieur à Cp inférieur à 1).** Un coefficient de performance correct se situe entre **0.3** et **0.5**

d : diamètre du surface balayée par les pales (en m)

v : vitesse du vent (en m/s)

I-6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé la partie théorique du réseau électrique et donné les différentes types de stabilité de système de puissance, tel que stabilité dynamique et transitoire en tenant en compte les éléments de base de système de compensation, on autre le système de FACTS série, parallèle et hybride pour objectif de régler dynamiquement les paramètres de réseau, tels que la tension , le fréquence , et la puissance active et réactive écoules dans les ligne de transport. L'intégration des éoliennes font l'objectif de réduire la puissance fournie par les centrales de base.

II-1 Introduction

Les réseaux de transport d'énergie sont souvent sujets à des perturbations pouvant entraîner de sérieux dégâts sur leurs constituants, notamment les générateurs et les lignes de transmission.

Ces perturbations peuvent être externes (tels que les coups de foudre) ou internes (tels que les défauts de court-circuit, les variations brusques de charge, etc.). Elles affectent les conditions de fonctionnement normal, et conduisent souvent à la perte de la stabilité de tout le système.

L'équilibre production consommation de l'énergie électrique, et par conséquent, la continuité de service ne sont alors plus assurés.

Dans le présent de chapitre, nous étudions le comportement de réseaux de transport d'énergie électriques IEEE 39 jeux de barres face au défaut symétrique (court–circuit triphasé), en présence des fermes éoliennes de puissance de 22.74 MW produise par chaque une , le compensateur shunt SVC appartiennent aux familles FACTS est insérer pour corriger ou améliorer les performance de ce système de puissance, injections des dispositifs FACTS tels que SVC, les différentes cas ont été étudies et valider dans ce chapitre a travers un logiciel de simulations appelé NEPLAN.

II-2 Présentation de logiciel NEPLAN

NEPLAN**(V 5-5-3) [20]** est un outil très convivial pour les utilisateurs de systèmes de planification et d'information pour les systèmes d'électricité, de gaz, d'alimentation en eau et de chauffage.

Le programme contient des exemples. Il est facile pour nous de démarrer un nouveau projet et de savoir comment construire un petit réseau électrique. Cela signifie que l'utilisateur va apprendre à insérer des éléments graphiquement, à entrer des données, à utiliser des bibliothèques, à effectuer des calculs et à présenter les résultats de manière cohérente avec les objectifs de l'analyse.

Les programmes éducatifs sont une première étape pour identifier le programme NEPLAN. Pour plus de détails sur les modèles de composants, les données d'entrée et le compte, reportez-vous à l'assistant automatisé qui fonctionne en ligne.

II-3 Caractéristiques Générales du logiciel NEPLAN

Parmi ses caractéristiques on tire :

- Algorithmes de calcul puissants récents (incluant la méthode de Newton-Raphson et de Hardy-Cross)

- Simulation de toute sorte et de toute taille de réseau.

- Pas de restriction sur le nombre de nœuds et d'éléments.

- Calculs simultanés de tout nombre de réseaux partiaux.

- Calcul de la répartition de puissance avec ou sans profils de charge.

- Calcul d'optimisation des points de sectionnement et des Réseaux de Distribution,

- Calcul des Harmoniques

- Calcul des protections et des court-circuités

- Importation de données de consommation mesurées.

- Changement des demandes à travers des facteurs de charges globaux, régionaux ou Simultanés.

II-4 Interface Utilisateur

La figure suivante montre une interface utilisateur de NEPLAN

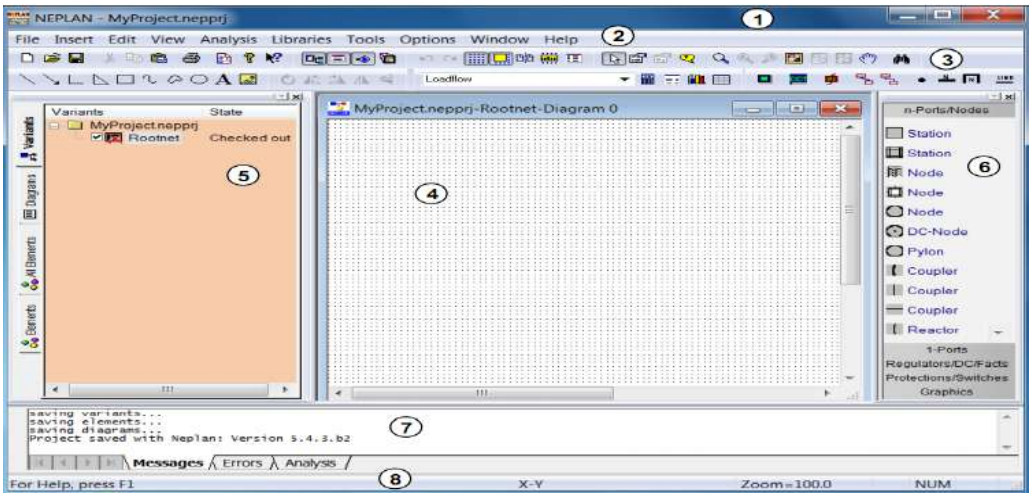

Fig.II-1, *Fenêtres opérationnelles de l'Interface utilisateur*

Pour la légende, les numéros désignent les fenêtres opérationnelles suivantes :

1. Barre de titre
2. Barre des options du menu
3. Barre d'outils
4. Espace de travail
5. Gestionnaire des variantes
6. Fenêtre des symboles
7. Fenêtre des messages
8. Barre d'états des Schémas

II-4-1 Barre d'outils

Tous les boutons de commande sont munis d'une info bulle. Ce message Apparaît lorsque le curseur est maintenu sur un bouton pendant un moment sans pression sur aucune touche.

Beaucoup de commandes disponibles dans la barre d'outils peuvent aussi se trouver dans leur menu respectif. D'autres, principalement graphiques, sont seulement accessibles depuis la barre d'outils.

II-4-2 Espace de travail

Dans l'espace de travail, différents schémas peuvent être ouverts. Les mêmes schémas peuvent être utilisés pour saisir un réseau, réaliser des circuits de contrôle ou pour esquisser des dessins.

II-4-3 Gestionnaire des variantes

Le gestionnaire des variantes donne un bon aperçu du projet ouvert et de ses variantes. Ainsi, de nouveaux projets et variantes peuvent être gérés, ce qui signifie qu'ils peuvent être effacés, ajoutés, activés ou désactivés.

A partir du Gestionnaire des variantes, l'utilisateur peut passer au gestionnaire des schémas qui gère les schémas ouverts et leurs couches graphiques.

II-4-4 Fenêtre des symboles

La fenêtre des symboles contient tous les symboles des éléments disponibles. À côté des symboles standards de certains éléments, il existe d'autres symboles avec une apparence graphique différente, mais ayant exactement les mêmes caractéristiques.

De nouveaux symboles peuvent aussi être créés ou les symboles existants peuvent être modifiés avec la Bibliothèque des symboles.

II-4-5 Fenêtre des messages

La fenêtre des messages[20] est un moyen de communication avec l'utilisateur. Elle fournit à celui-ci les renseignements sur l'exécution du logiciel, les messages d'erreur et les informations complémentaires.

II-5 Éléments constituant un réseau électrique par NEPLAN

Un élément correspond à une composante du réseau, telles qu'une ligne, un transformateur ou une machine électrique. Il y a des éléments actifs et passifs. Un élément est décrit de façon conceptuelle par un nœud de départ et un nœud d'arrivée. Pour les transformateurs à trois enroulements, un troisième nœud doit être donné. Les éléments sont électriquement décrits par :

• Leur courant nominal, leur puissance nominale, leur tension nominale

• Leurs paramètres tels que les pertes, les réactances, …

Dans NEPLAN, ces paramètres sont saisis à l'aide d'un masque de données d'entrée.

Les éléments actifs sont les réseaux d'alimentation, les machines Asynchrones et synchrones, ainsi que les stations ou groupes d'alimentation. Un réseau d'alimentation représente un réseau voisin.

Les éléments passifs sont les lignes, les éléments de couplage, les éléments de coupure, les transformateurs à 2 et 3 enroulements, les shunts et les charges. Les charges peuvent être entrées tout au long d'une ligne sans avoir besoin de saisir un nœud (charges de ligne).

Un système d'énergie électrique se compose de nœuds et d'éléments.

- Un nœud est le point de connexion de deux éléments, ou un lieu de consommation ou d'injection de puissance électrique (charge, générateur). Il est décrit par les données suivantes :
    - ✓ Nom
    - ✓ Tension nominale du système en kV
    - ✓ Zone ou région d'appartenance
    - ✓ Type (jeu de barres principales, jeu de barres, manchon, nœuds spécial),

Pour la tension nominale du système **Un**, doit être entrée pendant la saisie des données des nœuds.

Chaque tension est saisie comme une tension composée (tension delta). Ce n'est pas nécessaire de placer un nœud entre tous les éléments. Ceux-ci peuvent aussi être reliés directement par une liaison. Dans ce cas, aucun résultat de nœud ne sera affiché et pas plus de deux éléments peuvent être connectés au même point.

Pour un calcul de court-circuit, les éléments actifs sont modélisés à l'aide de leur réactance sub-transitoire.

Pour un calcul de répartition des puissances, ces éléments sont modélisés par des puissances active et réactive (nœud-PQ) ou par l'amplitude et l'angle d'une tension au nœud désigné (nœud-Bilan). Le réseau d'alimentation est généralement modélisé comme un nœud bilan.

Pour les équipements de protection (relais de surintensité, relais de protection de distance, disjoncteurs) et les transformateurs de courant et de tension sont associés au nœud à intégrer et à l'élément à commuter. Ils n'ont aucune influence sur les calculs de court-circuit et d'écoulement des puissances. Ces éléments sont utilisés dans les modules de coordination des relais [20].

II-6 Création et élimination de temps critique

Avant de lancer une simulation, il est possible de définir un ou plusieurs groupes de (des) perturbations. Pour chaque groupe, l'utilisateur peut normalement définir un ou plusieurs perturbations (par exemple, établissement et suppression d'un court-circuit sur un jeu de barres) et les moments correspondants où les perturbations se produisent. En général, une perturbation est définit comme une modification du paramètre d'un modèle de composant, NEPLAN permet changer n'importe quel paramètre de tous les modèles d'élément et de régulateur. Cela donne l'utilisateur la plus grande liberté possible pour définir une éventuelle perturbation.

Dans NEPLAN, certaines perturbations standard prédéfinies (par exemple un défaut triphasé) sont inclus et disponible pour une sélection rapide par l'utilisateur. L'option "Changement de paramètres du modèle "est toujours présent dans le menu déroulant de la figure 2, même lorsque, pour un élément spécifique, aucune perturbation standard n'est

implémentée. Avec le bouton “Editer les paramètres à modifier…”, tous les paramètres du modèle sont affiché pour la sélection : la modification définie du paramètre est ensuite ajoutée à la liste des perturbations. Pour chaque groupe de perturbations, l’utilisateur peut entrer un nom (par exemple, Défaut sur le jeu de barre N04)

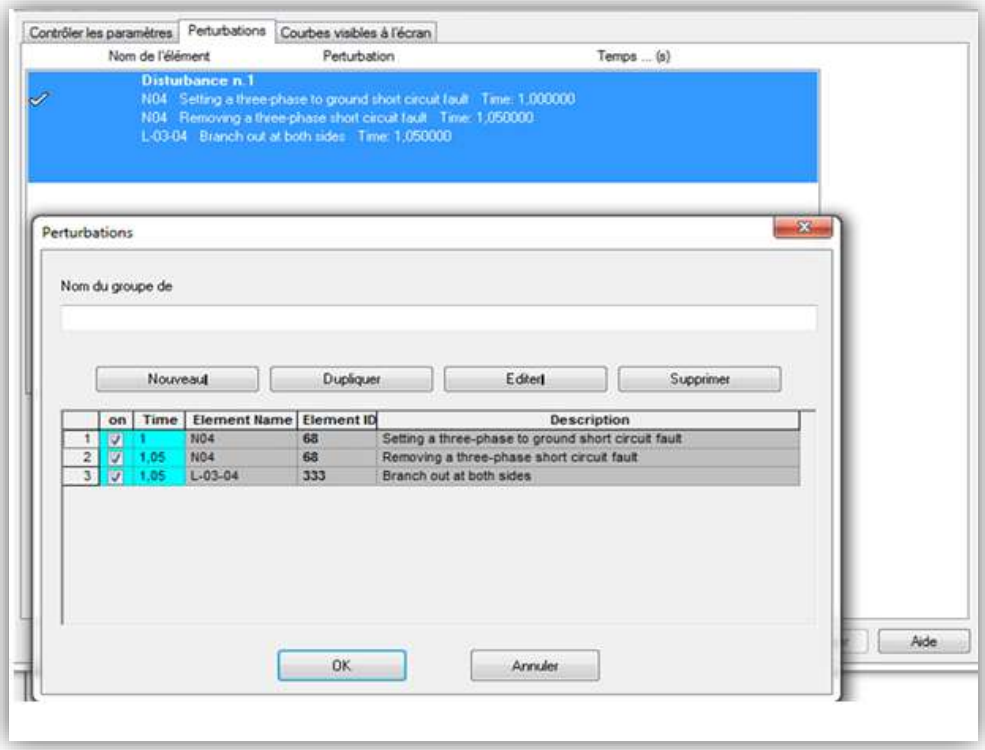

Fig.II-2, *création de défaut par NEPLAN*

II-7 Insertion de block de circuit réglage (CCT)

NEPLAN permet de saisir un CCT défini par l'utilisateur de manière très confortable avec l’aide d'un éditeur de blocs de fonctions. Normalement, vous allez concevoir ce CCT dans un Diagramme NEPLAN. Un élément CCT imbriqué peut être entré en premier.

Alors vous pouvez avec le bouton droit de la souris, ouvrez directement le diagramme via le menu contextuel (élément de menu contextuel «Sous-système»).

1. Cliquez sur le bouton CCT sur la barre d’outils.

2. Cliquez dans le diagramme près d'une SVC pour entrer le CCT.

3. Une boîte de dialogue “CCT” apparaît. Entrez un nom pour ce CCT.

4. Appuyez sur le bouton OK.

5. Un nouveau diagramme sera créé.

6. Vous pouvez maintenant insérer votre CCT avec des blocs fonctionnels.

Et le bloc de fonctions peut être consulté avec le point de menu "Insérer"

7. Vous pouvez accéder au diagramme de blocs de fonctions directement via le menu contextuel en cliquant sur le bouton droit de la souris sur l'élément CCT.

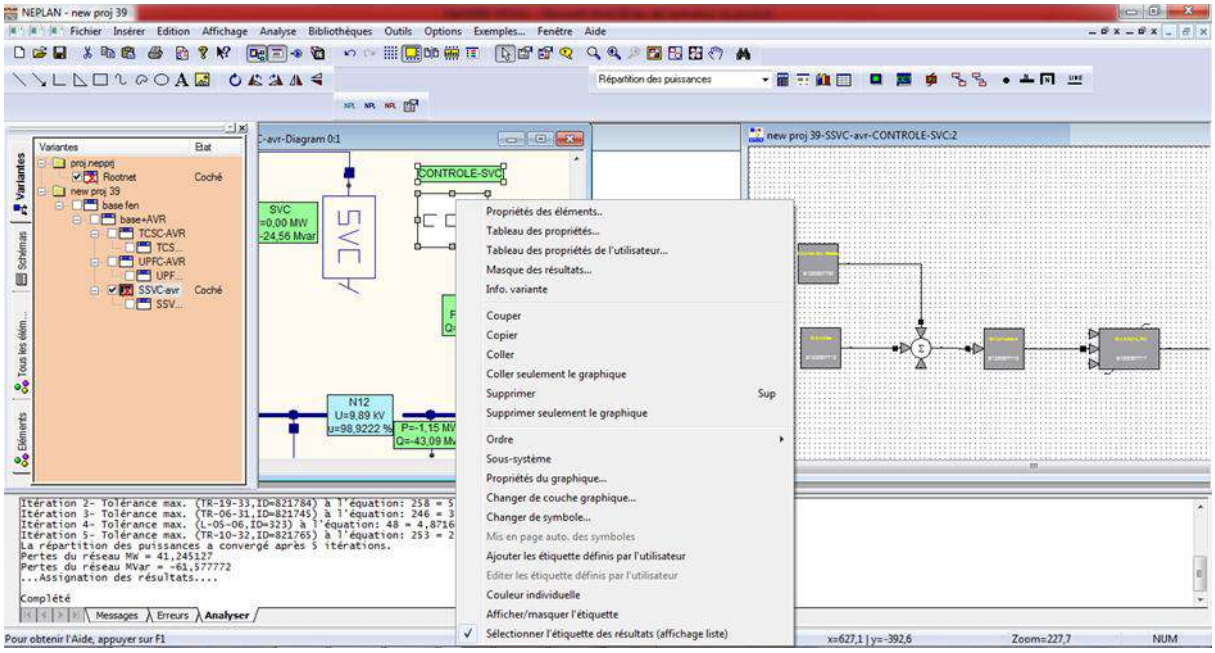

Fig.II-3, *diagramme CCT directement avec le menu contextuel*

II-8 Réseau test étudies

Le réseau test, montres dans la figure ci-dessous, comporte dix alternateurs connectes aux jeux de barres 30, 31, ...39 via des transformateurs de puissance contribuant a l'alimentation de charges reliées, Ce réseau contient

- 10 machines synchrones

- 15 Transformateurs de puissance

- 39 jeux de barres

- 20 charges à impédance constante

- 8 machines asynchrone

- 8 turbines éoliennes

- un SVC

Le réseau test est représenté par le logiciel NEPLAN comme suit:

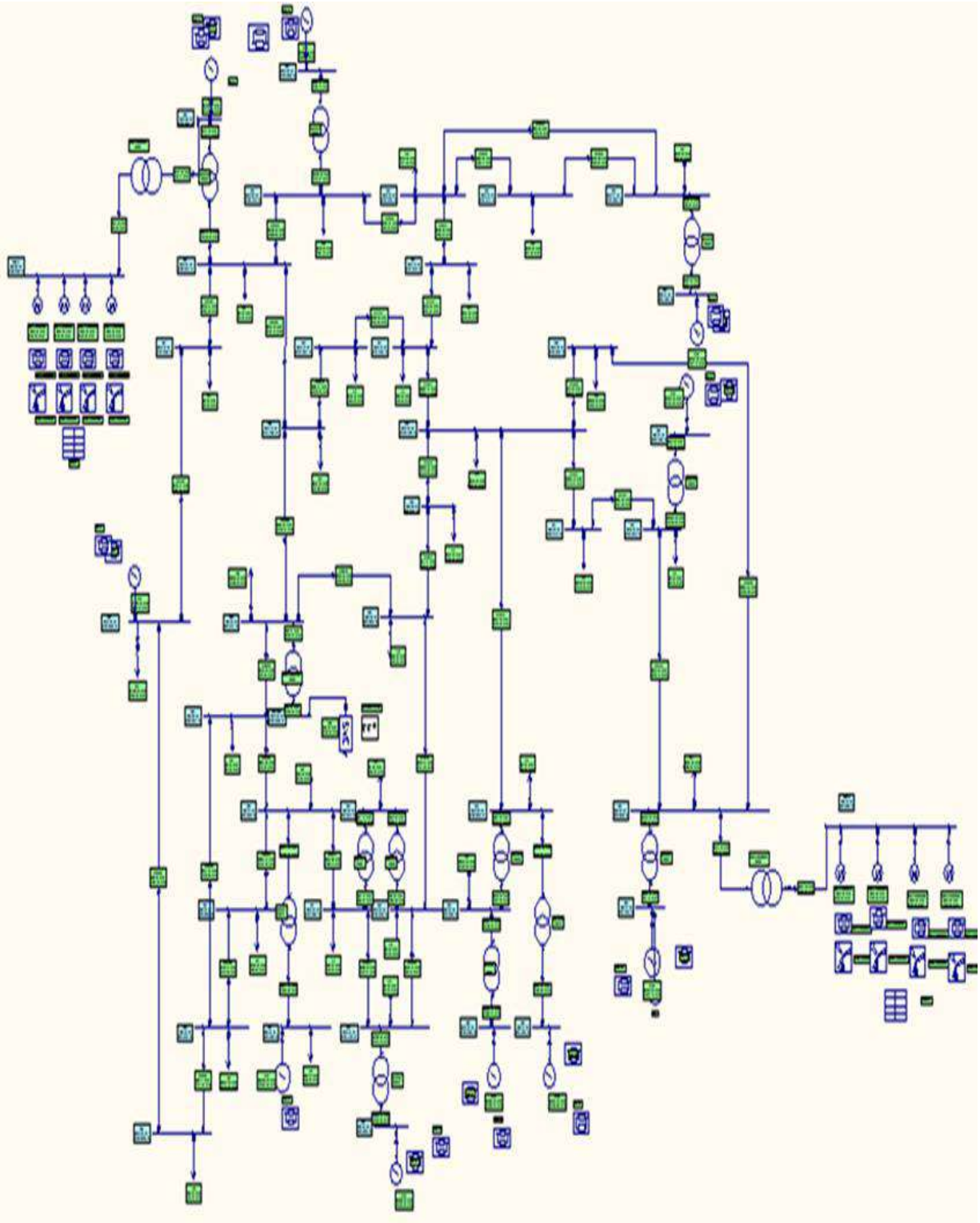

Fig.II-4,*réseau IEEE 39 jeux de barres*

Les éléments composées de ferme éolienne insérer dans système de puissance sont comme suit:

- Quatre machines asynchrones à double alimentation
- Quatre turbines éoliennes
- Quatre régulateurs de rotor des machines asynchrones
- Un Tableau représente la vitesse du vent
- Deux transformateurs élévateurs de tension 3,3kv/10kv

La figure 5 montre une ferme éolienne de 22.74 MW.

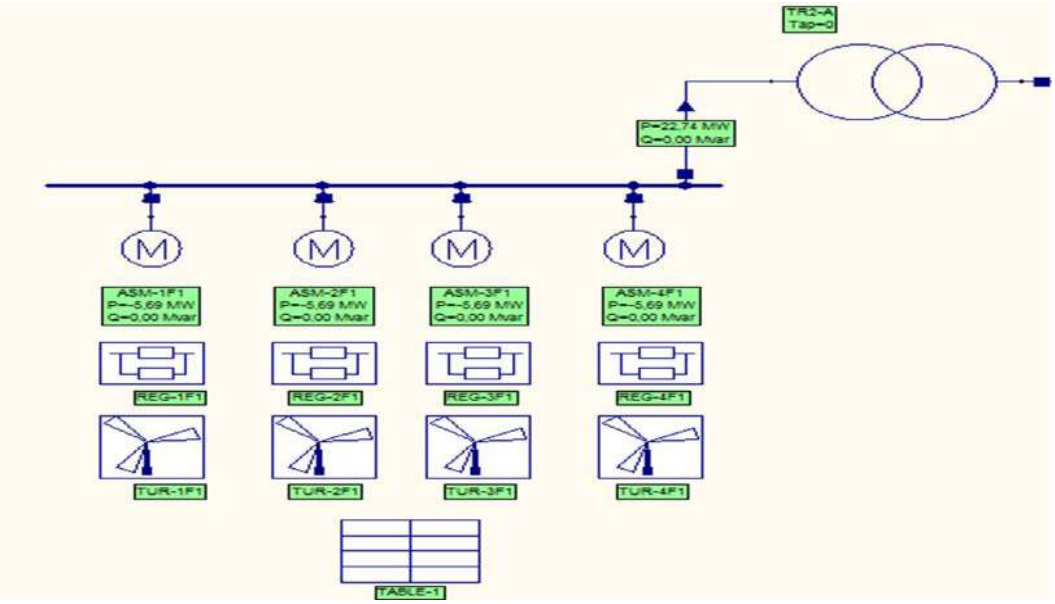

Fig.II-5,*ferme éolienne constituant le système*

Les figures 6 et 7 montres les blocks de contrôle d'AVR et SVC respectivement utilisé par NEPLAN

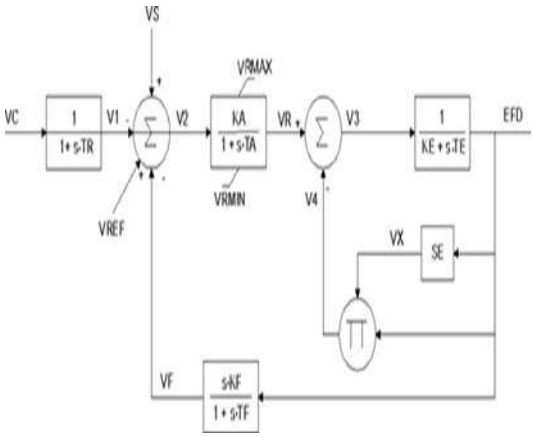

Fig.II-6,*block de fonction de l'AVR*

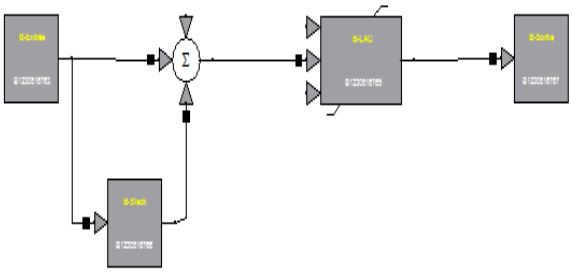

Fig.II-7,*block de commande de SVC*

Le système est affecté par un défaut triphasée mis à la terre citée à un des jeux de barre de système de puissance en présence des fermes éolienne , ainsi pour éviter les risque de blackout, nous avons proposée d'installer de systèmes de compensation, tels que les FACTS .

Les surtensions et faibles tensions sont dues au plus ou au manque de puissance réactive demandée ou fournir. Dans notre cas le défaut est injecte au jeu de barre 2, ce défaut permet de déconnecte la ligne 2-25 pour une durée de défaut de 50 ms apparu à l'instant 1.0 sec et éliminer à l'instant 1.05 sec. Apres la perturbation de système, nous avons remarqué que les tensions et les vitesses des générateurs proche de défaut sont osciller rapidement avec des pique de premier oscillation soit important, la solution qu'on a proposée est d'avoir un moyenne de compensation peuvent régler les amplitudes des tensions des jeux de barre en défaut et adjacents, même les tensions internes des générateurs. Le SVC est un des moyens de réglage de puissance réactive nécessaire pour réajuster l'amplitude de la tension de jeu de barre à raccorder.

Les résultats de simulation et l'écoulement de puissance effectué sont représentés dans différents scénarios suivants :

Le tableau suivant montre les étapes de représentations des résultats obtenus

Tableau II-1,Les cas étudient le système de puissance

Cas	BASE	SVC
1er cas : réseau de base	**	*
2^{éme} cas : système avec éolienne	**	*
3ème cas : système avec deux éoliennes	**	**

Remarque (*), (**) désignes absence et présence de l'élément de compensation respectivement

II-9 SIMULATION ET DISCUSSIONS DES RESULTATS OBTENUS

II-9-1 1er cas : analyse de système sans éolienne

L'exécution de programme NEPLAN nous a permis d'obtenir les résultats de l'écoulement de puissance ainsi les simulations de système de puissance.

Le tableau 2, montre les résultats de l'écoulement de puissance d'un réseau 39 jeux de barre en absence des éoliennes et sans compensation. Nous avons remarqué que la majorité des amplitudes de tension des jeux de barres sont dépassé un per unit. Ainsi la génération de puissance réactive est importante en comparent avec celle consommé, cela donne une perte de 90 MVar, La puissance générée par le générateur de référence dans ce cas est 451.873 MW comme puissance active et une valeur de 197.051 MVar comme une puissance réactive.

Les simulations obtenus représentent, la variation de tension de jeu de barre en défaut et adjacents, les tensions interne des générateurs proche de défaut, la fréquence, les angles rotoriques, ainsi des vitesses de machines synchrones de système de puissance respectivement.

La figure 8 montre l'amplitude des tensions de système de puissance de tous les jeux de barres.

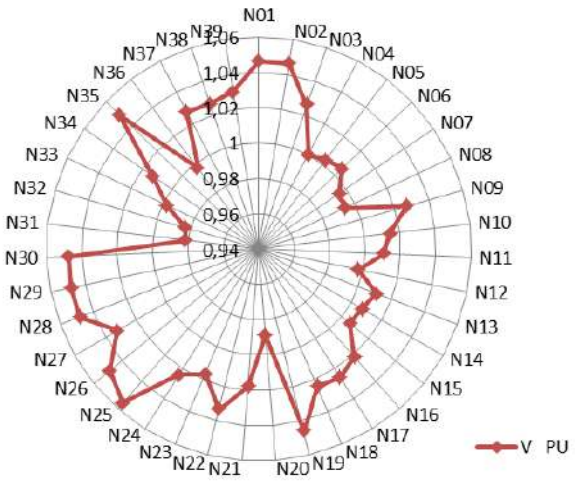

Fig.II-8,*amplitude de tension des jeux de barres*

La courbe de la figure 09 représente la tension de jeu de barre en défaut ainsi ses jeux de barre adjacents en absence des éoliennes et sans compensation et en présence d'un défaut symétrique de dure de 50 ms.On remarque que l'amplitude de tous les tensions sont dépassée la valeur de un per unit avant l'apparition de défaut et une chute de tension atteint zéros pour le jeu de barre en défaut puis se revient à son état initial avec quelques oscillation.

Tableau II-2,*Écoulement de puissance dans le 1^{er}cas*

NJB	V	ANGLE	P CHARGE	Q CHARGE	P GENEREE	Q GENEREE	Q INJECTE
	PU	DEG	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR
N01	1,0464	-7	0	0	0	0	0
N02	1,0465	-4,1	0	0	0	0	0
N03	1,0258	-6,9	322	2,4	0	0	0
N04	1,0002	-8,2	500	184	0	0	0
N05	1,003	-7,5	0	0	0	0	0
N06	1,0056	-6,9	0	0	0	0	0
N07	0,995	-9	233,8	84	0	0	0
N08	0,994	-9,5	522	176	0	0	0
N09	1,0274	-9,1	0	0	0	0	0
N10	1,0147	-4,2	0	0	0	0	0
N11	1,0103	-5,1	0	0	0	0	0
N12	0,9973	-5	7,5	88	0	0	0
N13	1,0113	-4,8	0	0	0	0	0
N14	1,0073	-6,2	0	0	0	0	0
N15	1,0066	-5,8	320	153	0	0	0
N16	1,0215	-4	329	32,3	0	0	0
N17	1,0257	-5,3	0	0	0	0	0
N18	1,0243	-6,4	158	30	0	0	0
N19	1,0461	1,2	0	0	0	0	0
N20	0,9891	0,2	628	103	0	0	0
N21	1,018	-1,2	274	115	0	0	0
N22	1,0335	3,6	0	0	0	0	0
N23	1,0169	3,7	247,5	84,6	0	0	0
N24	1,0242	-3,8	308,6	0	0	92,2	0
N25	1,0559	-2,7	224	47,2	0	0	0
N26	1,0484	-3,7	139	17	0	0	0
N27	1,0321	-5,6	281	75,5	0	0	0
N28	1,0482	-0,2	206	27,6	0	0	0
N29	1,0486	2,6	283,5	26,9	0	0	0
N30	1,0475	-1,7	0	0	250	158,709	0
N31	0,982	0	9,2	4,6	451,873	197,051	0
N32	0,9831	3,8	0	0	650	216,745	0
N33	0,9972	6,4	0	0	632	134,693	0
N34	1,0123	5,4	0	0	508	177,242	0
N35	1,0493	8,7	0	0	650	329,189	0
N36	0,9972	13,5	0	0	632	-29,959	0
N37	1,0278	4,1	0	0	540	7,757	0
N38	1,0265	9,7	0	0	830	31,167	0
N39	1,03	-8,7	1104	250	1000	96,077	0
TOTALE			6097,1	1501,0	6143,873	1410,83	0

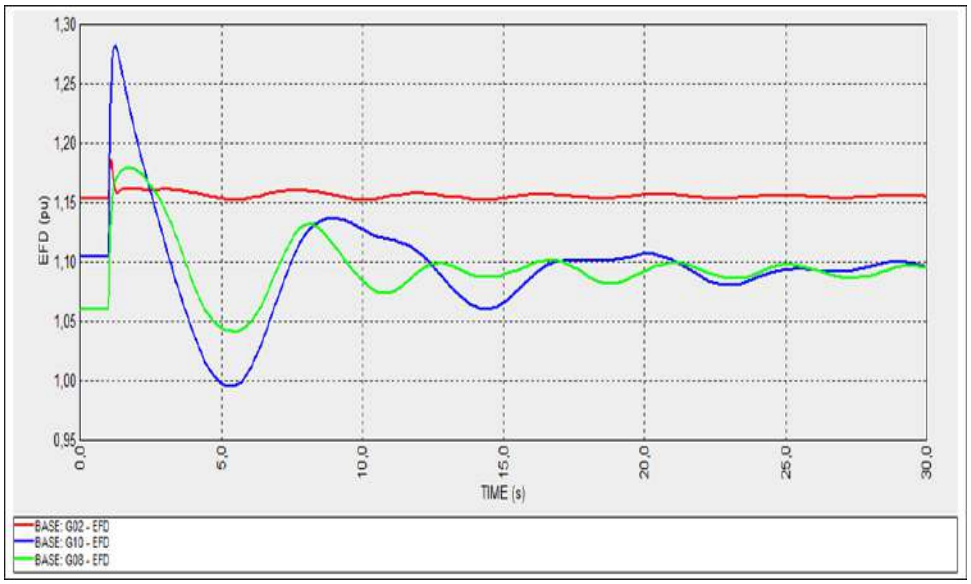

Fig.II-9,*tension internes des générateurs 02,10 et 08*

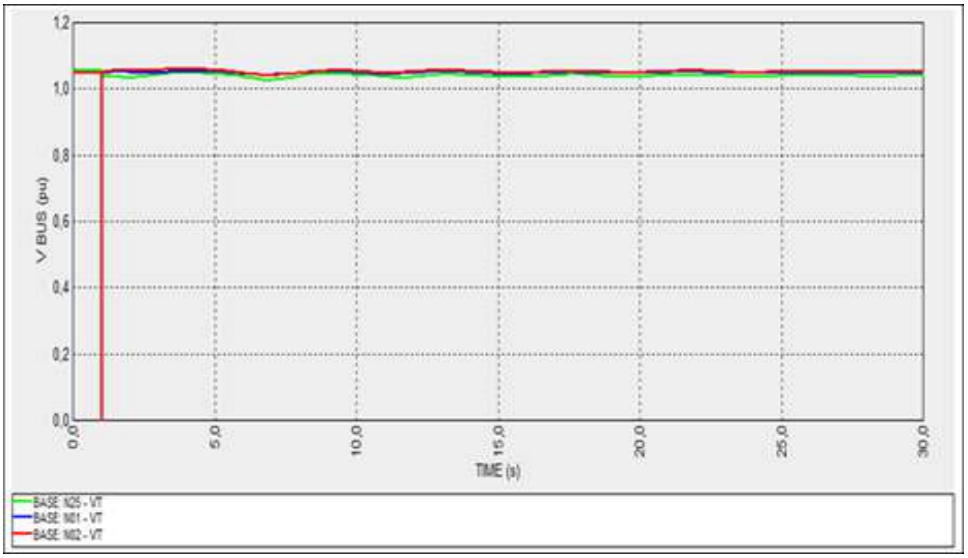

Fig.II-10,*tension des jeux de barres 02,01 et 25*

Pour les tensions internes des générateurs proches de défaut, ainsi le générateur de référence est présenté par la figure 10. On remarque que la perturbation est importante pour ceux qui est proche de défaut comme les générateurs 10 et 08 au moment où le défaut est apparu puis revient à son états de stabilisation d'amplitude diffèrent de ceux avant le défaut, par contre le générateur de référence est peu perturbé car il est plus loin de l'emplacement de défaut.

La figure 11, montre l'angle rotorique des générateurs 10 et 08 référencies au générateur 02, on voit que ses angles sont stables avant le défaut puis se perturbe dès l'apparition de

défaut puis revient un état de stabilité. On autre, la générateur G08 est plus perturbe que G10 car la ligne déconnecté après le défaut est liée à G08.

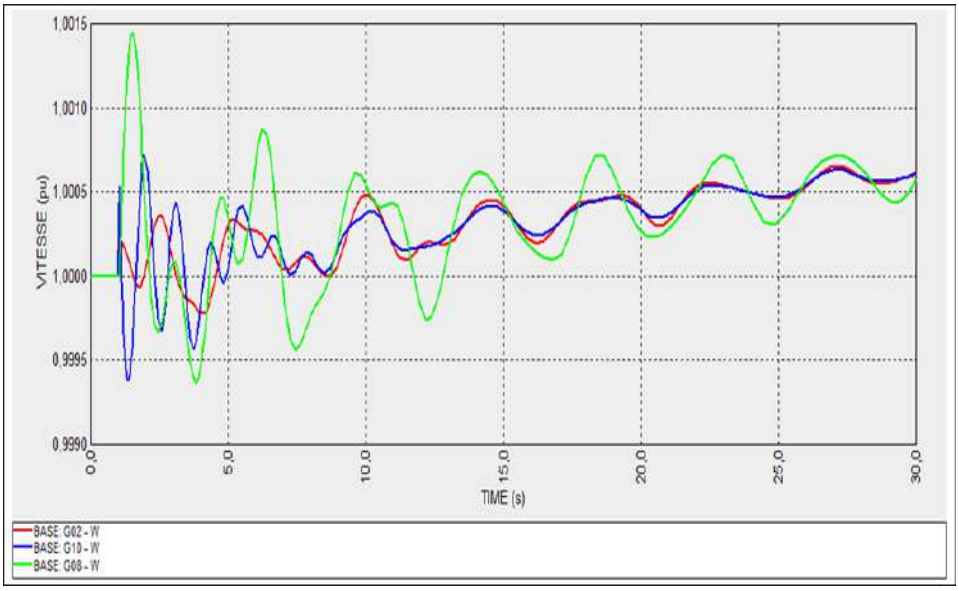

Fig. 11,*vitesse rotoriques des générateurs de2^{eme} cas*

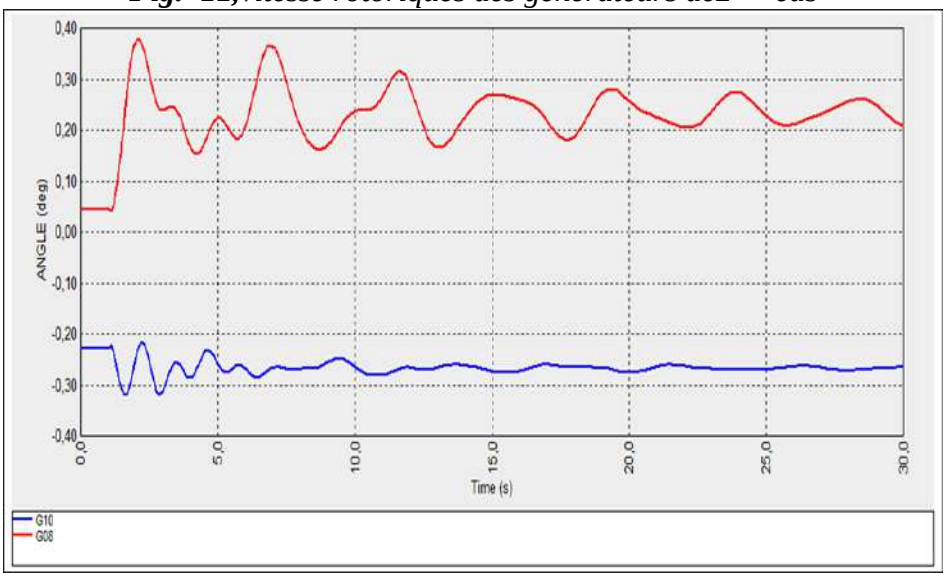

Fig. 12,angle rotorique des générateurs dans le1^{er}cas

La vitesse rotoriques des générateurs présentes dans la figure 12, montrent une oscillation important de générateur 08 par rapport aux générateurs 02 et 10 dès l'apparition de défaut puis se stabilise autour d'une fréquence de 60.1 HZ. Dans le cas où la ligne est déconnectée après l'annulation de défaut.

II-9-2 2eme cas : Insertion d'une ferme éolienne au système de puissance

Dans ce cas, on va insérer une puissance de 22.7 MW fournie par une ferme éolienne

composée de quatre générateurs de type asynchrone double alimentation au réseau IEEE 39 jeux de barres au jeu de barre 23, Appliquant un défaut au jeux de barre 02 de durée de 50ms.Les résultats de simulation sont expliqués comme suit ;

Le tableau 3, montre les résultats de l'écoulement de puissance en présence de ferme éolienne de puissance de 22.7 MW, il montre que la puissance qu'il doit être fournier par le générateur de référence est chuter d'une valeur proche 22.7 MW, et par conséquent cette valeur est générée par la ferme éolienne.

Les pertes de puissance active sont augmentées à une valeur de 1 MW et une chute de perte de réactive de 5 MVar en présence d'une ferme éolienne, donc la réduction de pertes réactive dépond de performance de système de commande utilisée au système éolienne.

Les amplitudes de tension des jeux de barres de système sont presque réduise à une valeur très faible par rapport au 1er cas.

Les résultats de simulations présentes dans les figures suivants sont présentes comme suit ;

Pour la figure 14, montre l'amplitude de tension en présence de défaut de 2eme cas, on voit que la variation de tension est similaire au cas précédente il n'y a pas vraiment de changement de l'amplitude de tension comme aussi déclarer au tableau 03 et la figure 13.

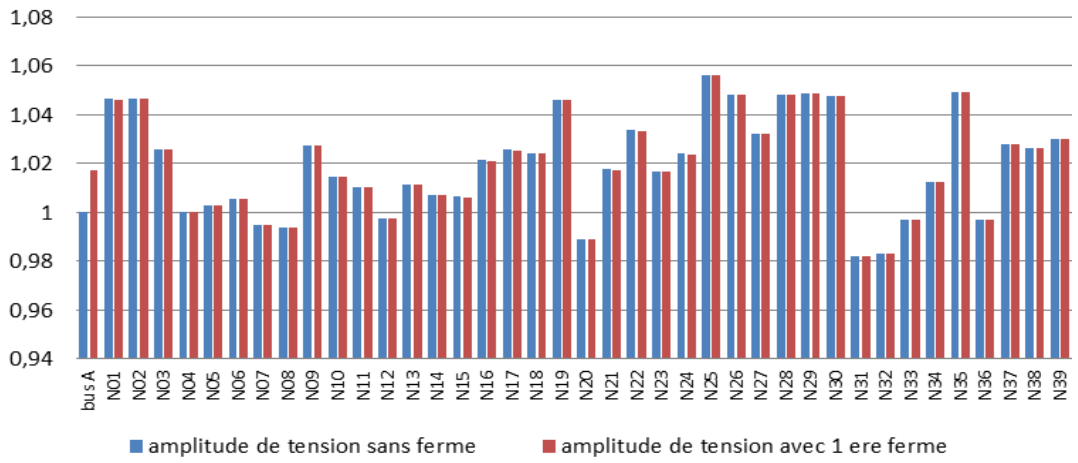

Fig.II-13,*Amplitude de tension de système de puissance de 2eme cas*

La tension interne des générateurs G08 et G10 montrés dans la figure 15 donne la valeur de premier pique pour le générateur G08 atteint 0.17 pu de sa valeur initiale dès l'apparition de défaut puis s'osciller après l'élimination de défaut par la déconnection de la ligne 2-25 vers un état de stabilité.

Tableau II-3,*Ecoulement de puissance de 2eme cas*

N JB	V	ANGLE	P CHARGE	Q CHARGE	P GENEREE	Q GENEREE	Q INJECTE
	PU	DEG	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR
BUS B	1,017	5,2	0	0	22,744	0	0
N01	1,0462	-6,5	0	0	0	0	0
N02	1,0464	-3,5	0	0	0	0	0
N03	1,0255	-6,4	322	2,4	0	0	0
N04	1,0001	-7,8	500	184	0	0	0
N05	1,003	-7,1	0	0	0	0	0
N06	1,0055	-6,5	0	0	0	0	0
N07	0,9949	-8,7	233,8	84	0	0	0
N08	0,994	-9,1	522	176	0	0	0
N09	1,0274	-8,6	0	0	0	0	0
N10	1,0146	-3,8	0	0	0	0	0
N11	1,0102	-4,7	0	0	0	0	0
N12	0,9973	-4,6	7,5	88	0	0	0
N13	1,0112	-4,4	0	0	0	0	0
N14	1,0071	-5,7	0	0	0	0	0
N15	1,0063	-5,2	320	153	0	0	0
N16	1,0211	-3,3	329	32,3	0	0	0
N17	1,0253	-4,7	0	0	0	0	0
N18	1,024	-5,8	158	30	0	0	0
N19	1,0459	1,9	0	0	0	0	0
N20	0,989	0,9	628	103	0	0	0
N21	1,0175	-0,5	274	115	0	0	0
N22	1,0332	4,5	0	0	0	0	0
N23	1,0167	4,6	247,5	84,6	0	0	0
N24	1,0238	-3,1	308,6	0	0	92,2	0
N25	1,0559	-2,1	224	47,2	0	0	0
N26	1,0483	-3,1	139	17	0	0	0
N27	1,0319	-5	281	75,5	0	0	0
N28	1,0482	0,4	206	27,6	0	0	0
N29	1,0486	3,2	283,5	26,9	0	0	0
N30	1,0475	-1,1	0	0	250	159,594	0
N31	0,982	0	9,2	4,6	429,789	194,553	0
N32	0,9831	4,3	0	0	650	217,127	0
N33	0,9972	7,1	0	0	632	135,655	0
N34	1,0123	6,1	0	0	508	177,687	0
N35	1,0493	9,6	0	0	650	331,389	0
N36	0,9972	14,4	0	0	632	-28,905	0
N37	1,0278	4,7	0	0	540	7,892	0
N38	1,0265	10,3	0	0	830	31,445	0
N39	1,03	-8,2	1104	250	1000	96,643	0
TOTALE			6097,1	1501,0	6144,613	1415,26	0

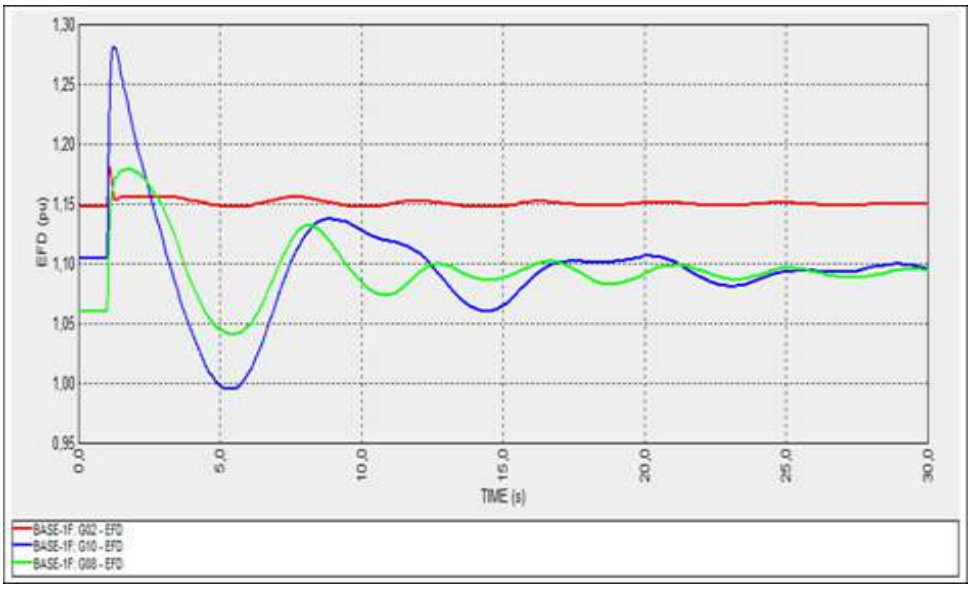

Fig.II-14,*tension interne des générateurs proche de défaut 2eme cas*

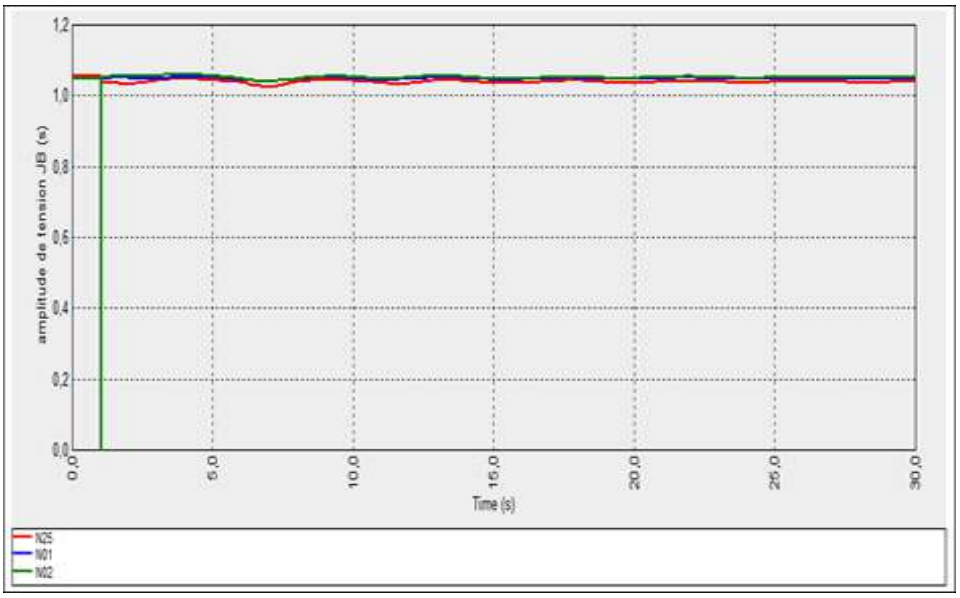

Fig.II-15,*amplitude de tension des jeux de barres de 2eme cas*

L'augmentation de la tension interne de générateur G08 dès le début de défaut de valeur est 0.11 pu que sa valeur initiale qui devient moins que le G10 puis tend vers un état de stabilité. Car le défaut est plus proche de G10 par rapport au G08.

Pour les angles rotoriques référencies des générateurs présentés dans la figure 16 montre une perturbation au moment où le défaut est apparu puis se revient à une autre valeur de stabilité. La vitesse rotoriques des générateurs proche de défaut présenté dans le figure 17 montre une variation d'amplitude de générateur 08 dès l'apparition de défaut car ce dernier

est proche de défaut ainsi plus proche de la ligne déconnecté par rapport aux autres générateurs puis se stabilise après l'élimination de défaut.

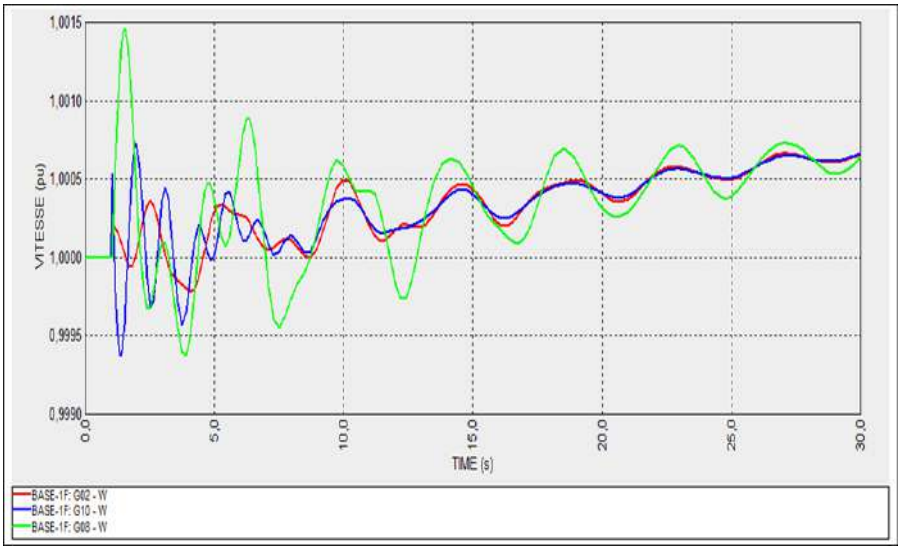

Fig.II-16, vitesse rotorique des générateurs proches de défaut de 2eme cas

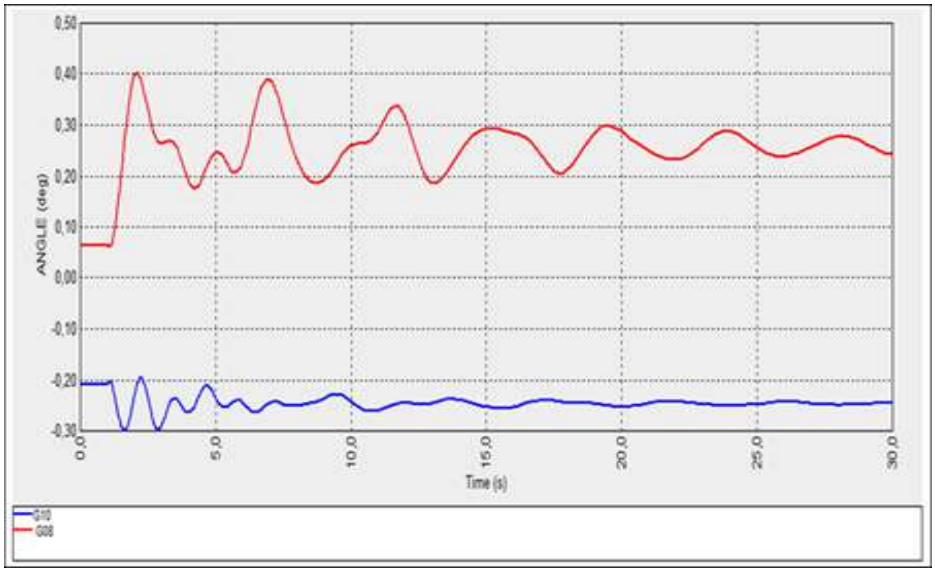

Fig.II-17, angle des générateurs proche de défaut dans le 2eme cas

II-9-3 3eme Cas : Système de Puissance en Présence d'un SVC et des Fermes Eolienne

Dans ce cas la majorité des jeux de barres ont une amplitude quireprésente comme une surtension, l'insertion de SVC est nécessaire pour absorber l'excès de la puissance réactive écouler dans système

Tableau II-4, *Écoulement de puissance de 3eme cas*

N JB	V	ANGLE	P CHARGE	Q CHARGE	P GENEREE	Q GENEREE	Q INJECTE
	PU	DEG	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR
Bus A	1,0289	-5	0	0	22.744	0	0
BUS B	1,0129	5,2	0	0	22,744	0	0
N01	1,028	-6,5	0	0	0	0	0
N02	1	-3,2	0	0	0	0	-592,792
N03	0,997	-6,4	322	2,4	0	0	0
N04	0,9855	-7,9	500	184	0	0	0
N05	0,9939	-7,2	0	0	0	0	0
N06	0,9974	-6,6	0	0	0	0	0
N07	0,9868	-8,8	233,8	84	0	0	0
N08	0,9859	-9,3	522	176	0	0	0
N09	1,0241	-8,7	0	0	0	0	0
N10	1,0071	-3,8	0	0	0	0	0
N11	1,0025	-4,8	0	0	0	0	0
N12	0,9889	-4,6	7,5	88	0	0	0
N13	1,0027	-4,4	0	0	0	0	0
N14	0,996	-5,8	0	0	0	0	0
N15	0,9955	-5,3	320	153	0	0	0
N16	1,0108	-3,4	329	32,3	0	0	0
N17	1,0092	-4,7	0	0	0	0	0
N18	1,0031	-5,8	158	30	0	0	0
N19	1,0421	1,9	0	0	0	0	0
N20	0,987	0,9	628	103	0	0	0
N21	1,0102	-0,5	274	115	0	0	0
N22	1,0293	4,6	0	0	0	0	0
N23	1,0126	4,7	247,5	84,6	0	0	0
N24	1,0144	-3,1	308,6	0	0	92,2	0
N25	1,0247	-2,3	224	47,2	0	0	0
N26	1,03	-3,2	139	17	0	0	0
N27	1,0144	-5,1	281	75,5	0	0	0
N28	1,0387	0,4	206	27,6	0	0	0
N29	1,0421	3,1	283,5	26,9	0	0	0
N30	1,0475	-0,6	0	0	250	421,587	0
N31	0,982	0	9,2	4,6	431,218	224,933	0
N32	0,9831	4,3	0	0	650	251,61	0
N33	0,9972	7,1	0	0	632	160,619	0
N34	1,0123	6,1	0	0	508	189,248	0
N35	1,0493	9,6	0	0	650	359,58	0
N36	0,9972	14,5	0	0	632	-13,826	0
N37	1,0278	4,7	0	0	540	142,997	0
N38	1,0265	10,2	0	0	830	73,162	0
N39	1,03	-8,3	1104	250	1000	184,211	0
TOTALE			6097,1	1501,0	6167,353	2175,147	-592,792

Le tableau 4, montre l'écoulement de puissance dans le cas où l'éolienne est insérée en présence du SVC. On voit qu'une puissance réactive est absorbée dans le système pour diminuer l'amplitude des tensions de ses jeux de barres.

La figure18, montreles amplitudes de tension de tous les jeux de barre en présence d'une ferme éolienne et le compensateur shunt SVC raccordées au jeux de barre en défaut, ce dernier fait réduises les amplitude de surtension a une valeur de 01 per unit pour le jeu de barre auquel le SVC est raccordée, et fait absorber l'excès de puissance réactive circuler dans les lignes de système ce la montre aussi dans le tableau 04 de 3eme cas.

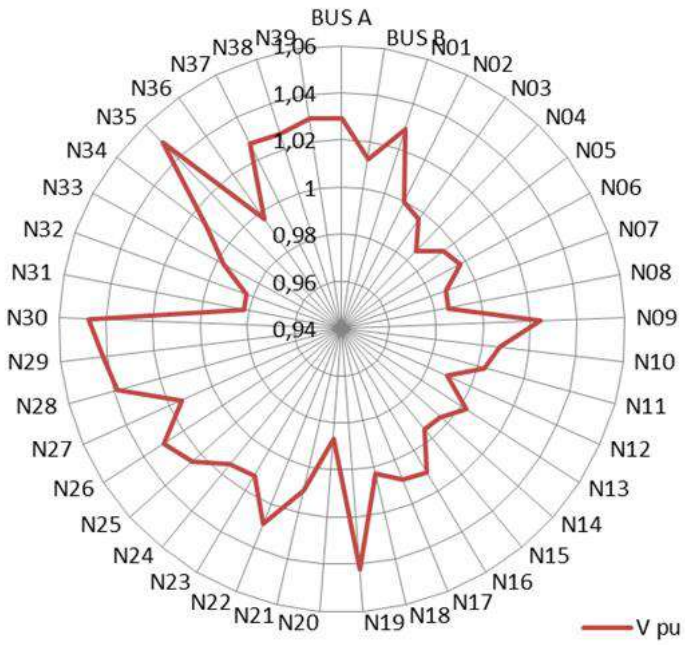

Fig.II-18, *amplitude de tension de 3eme cas*

D'après les résultats de simulation représentée dans la figure 19, nous avons remarqué

l'influence de SVC sur la stabilité de système après l'élimination de défaut, ainsi, le réduction de l'amplitude de tension de jeu de qui porte le SVC a une valeur de fonctionnement normale c'est a dire un per unit.

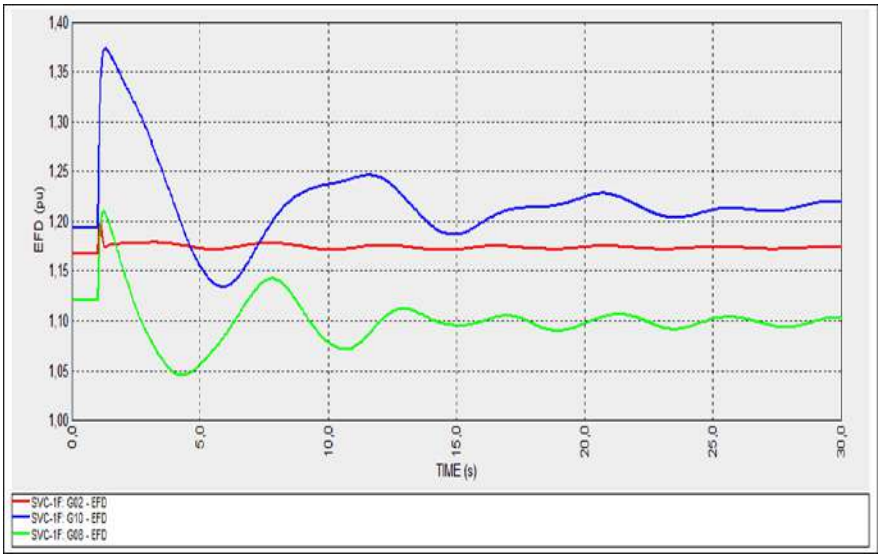

Fig.II-19,*amplitude de tension des générateurs*

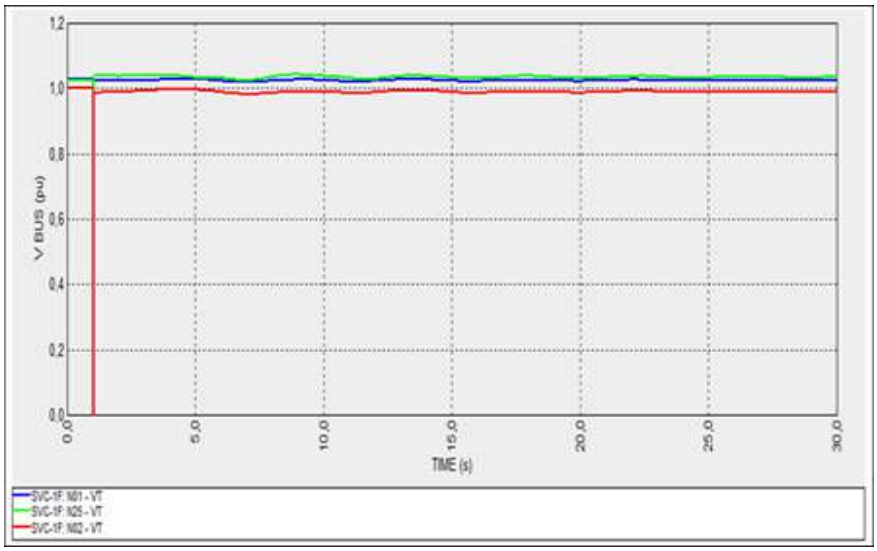

Fig.II-20,*amplitude de tension de 3eme cas*

L'évolution de l'angle rotorique des générateurs proche de défaut représentés dans la figure 21, montre une stabilité après le défaut pour la génératrice 10 que 08 car cette dernière un des lignes de déconnexion est lui raccordé

La figure 22, présente l'évolution de la tension interne des générateurs proche de défaut en présence de SVC qui montre une stabilité rapide après le premier pique de l'apparition de défaut.

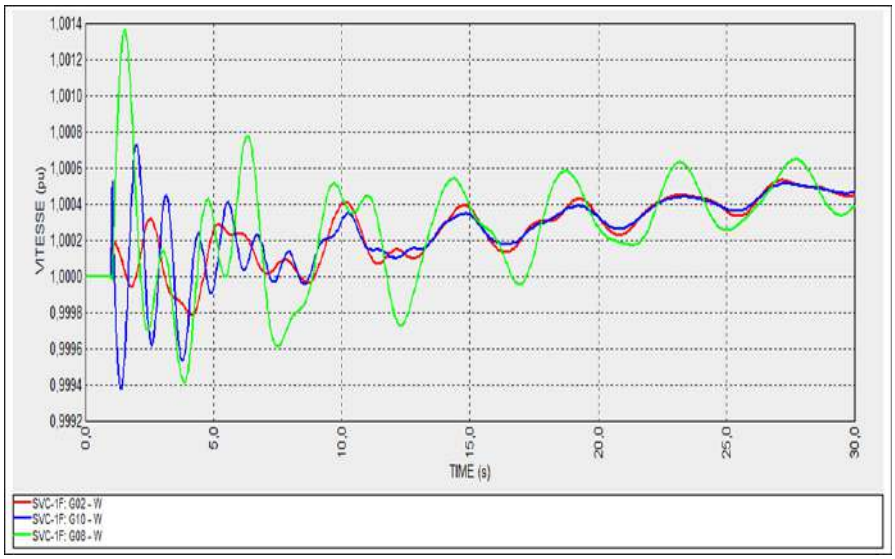

Fig.II-21, *vitesse rotorique des générateurs proches de défaut de 3eme cas*

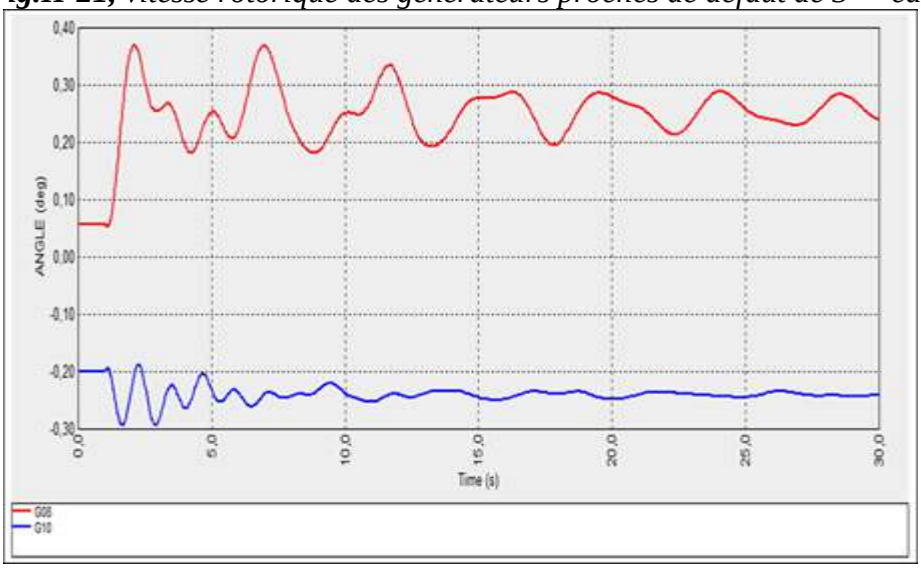

Fig.II-22,*angle des générateurs proche de défaut dans le 3eme cas*

Ainsi, la figure 22, présente l'évolution de la fréquence des générateurs proche de défaut, on remarque que le générateur G08 a une oscillation important par rapport à l'autre générateur car ce dernier est plus proche de défaut ainsi la ligne déconnectée est proche de ce générateur.

L'évolution de la puissance réactive présenté dans la figure.23,montre la puissance consommée par le SVC et on remarque une réduction de cette puissance au moment de défaut puis revient à une valeur proche de celle avant le défaut avec quelques perturbation dès le défaut est éliminer par la déconnection de la ligne 2-25

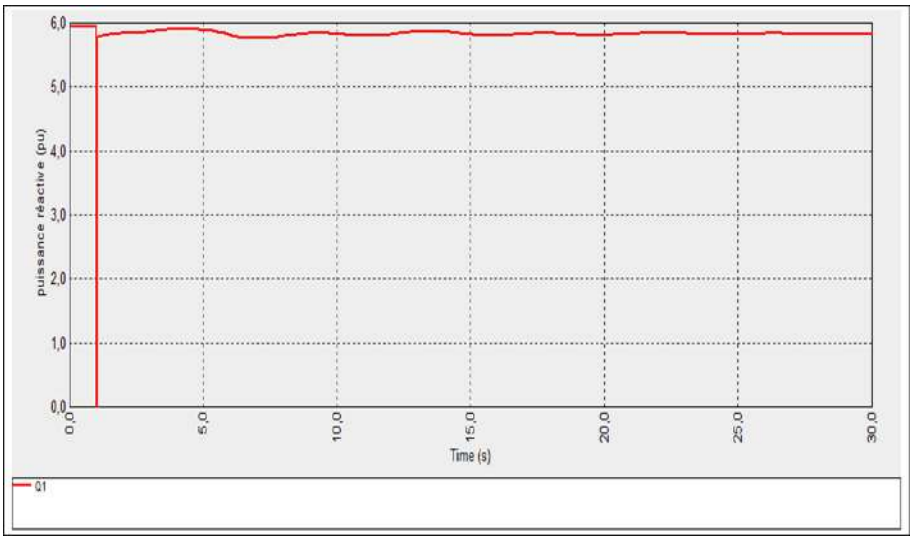

Fig.II-23, *la puissance réactive de SVC*

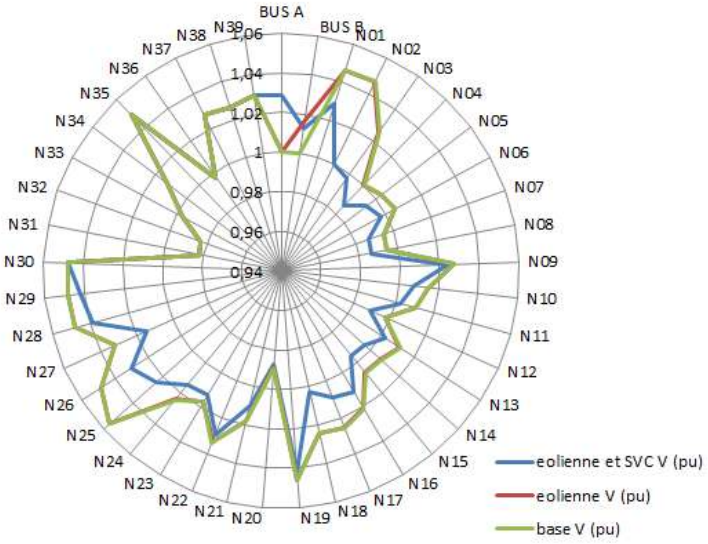

Fig.II-24,*amplitude de tension pour les trois cas*

Dans le cas où on veut représenter les différents cas dans une même figure pour voir l'influence de SVC sur la stabilité transitoire.

La figure 24, montre l'importance de la commande SVC pour le réglage de niveau de l'amplitude de tension au niveau des jeux de barre lie au jeu de barre compensé par rapport aux cas 1 et 2.

La figure 25, présent l'évolution de la tension de jeu de barre en défaut qui montre clairement le role de l'SVC sur la réduction de la surtension à la valeur de fonctionnement normale de système de puissance en comparent aux tension dans les cas où le SVC n'est pas

raccodé pas. Pour les tensions internes des générateurs proche de défaut nous avons observé que l'oscillation de ces tension est attenue plus rapide dans le cas 03 apés le premier pique de l'oscillation qui devient aussi moins important devant les cas 01 et 02.

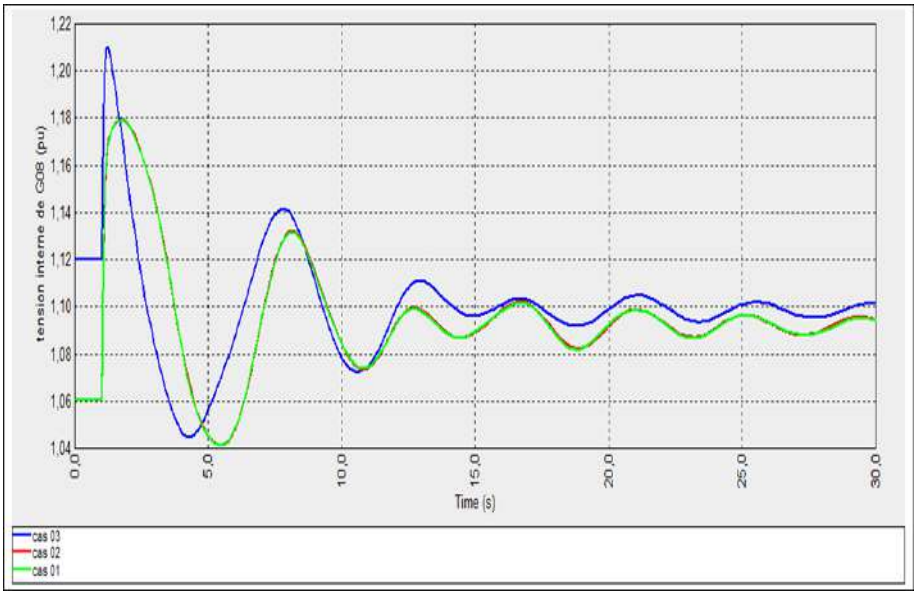

Fig.II-25,*amplitude de tension interne de G08*

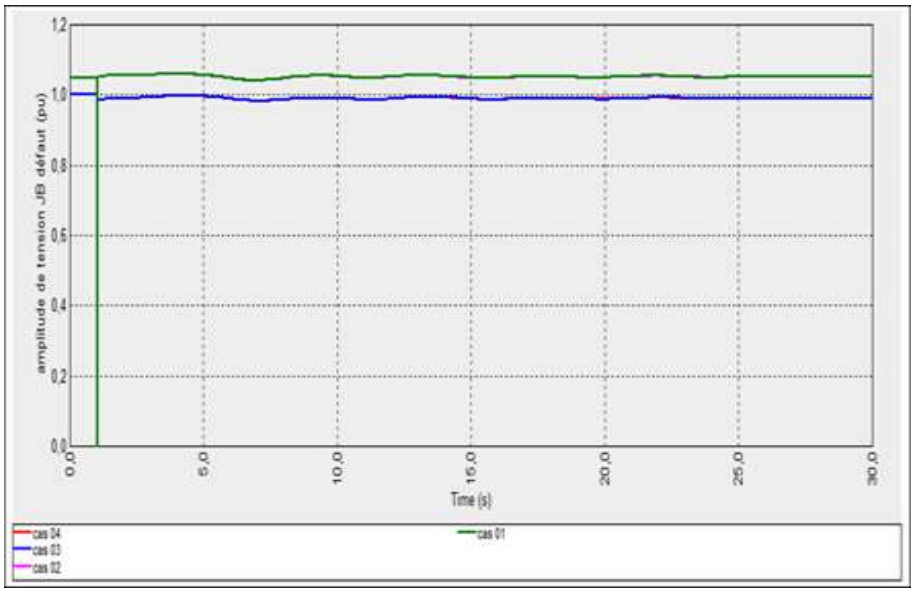

Fig.II-26, *amplitude de jeu de barre en défaut*

Le tableau 5, présentes les pertes de puissance de tous les cas, cependant, les pertes réactive sont diminuer dans le cas où le SVC est raccorder, et le changement des pertes active sont faible entre eux.

Tableau II-5,Pertes totale de système de puissance

Cas	Perte actives (MW)	Pertes réactive (MVAr)
1	46.77288	90.2295
2	47.43264	85.81707
3	48.80112	12.304

II-10 Conclusion

L'étude de la stabilité transitoire est importante pour tester la fiabilité et résistivité des éléments constituant le système électrique et pour provisionner quel sont les futures solutions lors d'un problème de sécurité électrique de ce système. Donc notre étude est basée sur le rendement de l'insertion de l'élément de compensation SVC sur un réseau IEEE 39 jeux de barre en présence de deux fermes éoliennes.

Les résultats de simulation ainsi l'écoulement de puissance obtenu par le logiciel NEPLAN, montre clairement le rendement de SVC et sa commande pour l'amélioration de stabilité transitoire de système de puissance.

Conclusion générale

Dans ce travail, tout ce qui concerne les résultats du réseau a été présenté en étudiant l'importance du flux d'énergie et de la stabilité de tension du jeu de barres, tension et angles internes du générateur ainsi que la vitesse rotorique pour simuler et calculer le flux d'énergie via un programme de simulation personnalisé pour étudier le flux d'énergie NEPLAN.

Nous avons parlé sur les différents types de stabilité et les types de stabilité, ainsi présence des éoliennes au réseau électriques. Les régulations dynamiques des systèmes de puissance sont aussi étudier comme les compensateur FACTS.

Nous avons également abordé trois cas. Cependant, réseau de base, présence des fermes éolienne en présence et absence de compensateur SVC.

L'éolienne joue un rôle dans l'ajout d'énergie active dans le réseau électrique, le plus important étant la présence de l'énergie éolienne eten présence de compensation SVC, nous avons clairement noté que les résultats varient d'un cas à l'autre, une étude sur des machines synchrones a été faites en plus d'une étude détaillée sur le dispositif SVC, comme dans la dernière étape, nous avons présenté le schéma équivalent de l'étude détaillée du réseau, à savoir (IEEE39JB), où nous avons intégré l'énergie éolienne de puissance élevée afin de voir le comportement du SVC connecté.

Le contrôle principal est la tension dynamique du dispositif SVC.les résultats ont clairement montré que le contrôle SVCPeut jouer un rôle important dans le domaine de la compensation d'énergie réactive, en particulier contrôler la stabilité transitoire et contrôler les tensions dans différents nœuds.

L'intégration du SVC s'avère très efficace pour l'amélioration du profile de la tension surtout si on choisit bien le nombre et le lieu de l'emplacement influant par lasuite nettement sur les pertes réactive en les réduisant par rapport à l'état du réseau avant compensation, le logiciel NEPLAN, donnes des meilleurs compromis pour l'analyse de la stabilité transitoire des systèmes électriques en présence des source renouvelables et système FACTS.

Dans la perspective de ce travail, nous proposons d'offrir une étude globales sur l'optimisation à partir des sites parallèles sont le meilleur dossier pour les efforts etPerte minimale d'énergie par rapport à toutes les limitations techniques en utilise de NEPLAN.

[1] J.B.Gupta,“ A cours in power systems“, Docteur de l’Université Henri Poincaré, Nancy-I en Génie Electrique- juillet 2005.

[2] D. perrier – H. chorel ‘’ Production – transport – distribution publique de L’électricité en France’’ , livre Edit 1994

[3]P.A. Lof et al. “Voltage Stability Indices for Stressed Power System.” IEEE Trans.PS,Vol.8No.1,pp.326-335, February1993.

[4]N. Kandil, ‘’ Algorithmes pour accélérer la simulation en stabilité transitoire ‘’, Thèse d’état doctorat, université de MONTREAL, 1999.

[5]J. Machowski, J.W. BialeklJ.R .Bunly‘’ Power system dynamic and stability’’ New York: London: John Wiley, 1997.

[6]M. Crappe ‘’ Commande et régulation des réseaux électriques’’ Traité EGEM série génieÉlectrique, LAVOISIER 2003.

[7]Z. Bouchama « Stabilisateurs Synergétiques des Systèmes de Puissance » UFAS, Thèse de Doctorat, 2013.

[8]R. Ben Abid ;“Optimisation Multi-Objectif de la synthèse des FACTS par les particules en Essaim pour le contrôle de la stabilité de tension des réseaux électriques’’ thése de magister, Université de jijel , 04/09/2007.

[9]S. Daiboun, ‘’ Renforcement de la stabilité transitoire par l’utilisation des FACTS’’ Mémoire de Magistère, Département d’électrotechnique Université de Skikda 2005.

[10]A. Canizares ,et T. Faur’’ Analysis of SVC and TCSC contrôleurs in voltage callapse‘’ IEEE Trans power systèmes ,Vol .14, N -1 February 1999,pp.158.164

[11] J. sadeghzaden,.’’ Amélioration de la stabilité transitoire et de l’amortissement desOscillations d’un réseau électrique à l’aide d’un SSSC’’ Thèse de doctorat, INPG, MARS 1998.

[12] M. Hamadou Zakaria, ‘’ Optimisation des paramètres d’un FACTS shunt pour L’amélioration de la stabilité transitoire d’un système électrique ‘’, Mémoire de magister Université de Sétif 20 Juin 2012

[13]A. Kazemi, and B. Badrzadeh, ‘’Modeling and Simulation of SVC and TCSC to Study their Limités on Maximum Loadability Point’’Electrical Power and EnergySystems, Vol. 26,

pp. 619-626, Apr. 2004.

[14] C**.** cigre.’’staticvarcompensator’’,workinggroup38-01cigre,paris,1986.

[15] H. Alaoui ,"Réglage robuste de l'UPFC pour optimiser l'écoulement des puissance dans Un R-E'', thèse de magister, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, avril 2002.

[16]E.sahraki,"Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des R-E ,thèse de Doctorat,université de Henri poincaré,Nancy,13 octobre2003.

[17]A. Seifi, Ph.D. S.Gholami, M.S.; and Amin Shabanpour, M.S. Power Flow StudyAnd Comparaison of FACTS: Séries (SSSC), Shunt (STATCOM), and Shunt-Séries IPFC),book, cluweracademicpublishers 2001.

[18] M. mokhnache'' Etude de la stabilité d'une ferme éolienne connectée à un réseau Électrique avec des dispositifs FACTS '' Thème de Magister de université Ferhat Abbas , Sétif 2012.

[19] S. El aimani'' etude de la stabilite d'une ferme eolienneConnectee a un reseauelectrique avec des dispositifs facts''Thèse de doctorat de l'université de sciences et technologies de lille 2004.

[20] NEPLAN. Version 5-5-3 tutorial BCP Busarello + cott+ partner SA CH-8703 ERLENBACH (SUISSE)WWW.NEPLAN.COM

Ecoulement de puissance exécute par NEPLAN

N JBs	Nom	Type	P (Mw)	Q (Mvar)	Courant (KA)	Angle (deg)	perte P(MW)	Perte Q(Mvar)
BUS A	ASM-4f2	Machine asynchrone	-5,686	0	0,967	175		
BUS A	ASM-3f2	Machine asynchrone	-5,686	0	0,967	175		
BUS A	ASM-2f2	Machine asynchrone	-5,686	0	0,967	175		
BUS A	ASM-1f2	Machine asynchrone	-5,686	0	0,967	175		
BUS A	TR2-A	Transformateur à 2 enr.	22,744	0	3,867	-5	0,0078	0,2126
BUS B	ASM-4f1	Machine asynchrone	-5,686	0	0,982	-174,3		
BUS B	ASM-3f1	Machine asynchrone	-5,686	0	0,982	-174,3		
BUS B	ASM-2f1	Machine asynchrone	-5,686	0	0,982	-174,3		
BUS B	ASM-1F1	Machine asynchrone	-5,686	0	0,982	-174,3		
BUS B	TR2-B	Transformateur à 2 enr.	22,744	0	3,928	5,7	0,0081	0,2193
N01	L-01-39	Ligne	146,62	-48,791	8,674	12,8	0,204	-74,36
N01	TR2-A1	Transformateur à 2 enr.	-22,736	0,213	1,276	175	0,0078	0,2126
N01	L01	Charge	0	0	0	90		
N01	L-01-02	Ligne	-123,884	48,579	7,469	-164,2	0,7498	-63,09
N02	L-02-03	Ligne	379,119	-14,713	21,91	-0,3	1,8686	-3,939
N02	L02	Charge	0	0	0	90		
N02	TR-02-30	Transformateur à 2 enr.	-250	-381,959	26,36	120,6	0	39,629
N02	L-01-02	Ligne	124,633	-111,671	9,662	39,3	0,7498	-63,09
N02	SVC	Shunt	0	593,802	34,28	-92,6		
N02	L-02-25	Ligne	-253,753	-85,459	15,46	158,8	4,935	-8,901
N03	L-03-18	Ligne	-76,683	-49,284	5,279	141,4	0,0816	-20,39
N03	L-02-03	Ligne	-377,251	10,774	21,86	175,8	1,8686	-3,939
N03	L-03-04	Ligne	131,934	36,11	7,921	-21,2	0,2567	-17,55
N03	L03	Charge	322	2,4	18,65	-6,3		
N04	L-03-04	Ligne	-131,677	-53,661	8,329	150,4	0,2567	-17,55
N04	L-04-05	Ligne	-85,745	-66,066	6,341	134,9	0,0898	-11,71
N04	L-04-14	Ligne	-282,578	-64,273	16,98	159,7	0,6849	-2,525
N04	L04	Charge	500	184	31,21	-27,7		
N05	L-05-08	Ligne	310,796	46,738	18,25	-15,4	0,8056	-3,191
N05	L-04-05	Ligne	85,835	54,353	5,901	-39,2	0,0898	-11,71
N05	L-05-06	Ligne	-396,63	-101,09	23,77	158,9	0,3382	0,093
N05	L05	Charge	0	0	0	90		
N06	TR-06-31	Transformateur à 2 enr.	-399,213	-163,645	24,97	151,5	0	53,546

N06	L-06-07	Ligne	404,859	89,737	24	-18,8	1,0432	4,8697
N06	L-05-06	Ligne	396,969	101,183	23,71	-20,6	0,3382	0,093
N06	L06	Charge	0	0	0	90		
N06	L-06-11	Ligne	-402,614	-27,276	23,36	169,9	1,1432	-0,499
N07	L-07-08	Ligne	170,015	0,868	9,945	-8,7	0,1188	-6,225
N07	L-06-07	Ligne	-403,815	-84,868	24,14	159,7	1,0432	4,8697
N07	L07	Charge	233,8	84	14,53	-28,2		
N08	L-05-08	Ligne	-309,99	-49,929	18,38	162	0,8056	-3,191
N08	L-07-08	Ligne	-169,897	-7,093	9,956	168,8	0,1188	-6,225
N08	L-08-09	Ligne	-42,113	-118,978	7,39	100,6	0,2808	-34,01
N08	L08	Charge	522	176	32,25	-27,5		
N09	L-09-39	Ligne	-42,394	-84,965	5,353	108,4	0,0218	-126
N09	L-08-09	Ligne	42,394	84,965	5,353	-71,6	0,2808	-34,01
N09	L09	Charge	0	0	0	90		
N10	TR-10-32	Transformateur à 2 enr.	-650	-150,723	38,25	163,5	0	100,49
N10	L-10-11	Ligne	400,842	71,422	23,34	-13,5	0,6558	-0,312
N10	L-10-13	Ligne	249,158	79,302	14,99	-21,1	0,2719	-4,44
N10	L10	Charge	0	0	0	90		
N11	L-10-11	Ligne	-400,186	-71,734	23,41	165,5	0,6558	-0,312
N11	L-06-11	Ligne	403,757	26,777	23,3	-8,2	1,1432	-0,499
N11	L11	Charge	0	0	0	90		
N11	TR-12-11	Transformateur à 2 enr.	-3,571	44,957	2,597	-98,9	0,0324	0,8802
N12	TR-12-13	Transformateur à 2 enr.	-11,104	-43,924	2,645	99,9	0,034	0,9238
N12	L12	Charge	7,5	88	5,156	-89,4		
N12	TR-12-11	Transformateur à 2 enr.	3,604	-44,076	2,582	81,1	0,0324	0,8802
N13	TR-12-13	Transformateur à 2 enr.	11,138	44,847	2,661	-80,1	0,034	0,9238
N13	L-10-13	Ligne	-248,886	-83,741	15,12	157,4	0,2719	-4,44
N13	L13	Charge	0	0	0	90		
N13	L-13-14	Ligne	237,749	38,894	13,87	-13,3	0,5262	-11,31
N14	L-04-14	Ligne	283,263	61,749	16,8	-17,7	0,6849	-2,525
N14	L-14-15	Ligne	-46,04	-11,55	2,751	160,6	0,0392	-35,82
N14	L-13-14	Ligne	-237,223	-50,199	14,05	162,7	0,5262	-11,31
N14	L14	Charge	0	0	0	90		
N15	L15	Charge	320	153	20,57	-30,3		
N15	L-14-15	Ligne	46,08	-24,272	3,02	23	0,0392	-35,82
N15	L-15-16	Ligne	-366,08	-128,728	22,51	155,9	1,3483	-3,127

N16	L-16-24	Ligne	-84,3	-60,461	5,926	141,5	0,0304	-6,374
N16	L16	Charge	329	32,3	18,88	-8,5		
N16	L-15-16	Ligne	367,428	125,602	22,18	-21,7	1,3483	-3,127
N16	L-16-19	Ligne	-502,206	-114,285	29,42	164,3	4,1027	17,965
N16	L-16-21	Ligne	-380,193	23,333	21,76	-179,4	1,1422	-6,742
N16	L-16-17	Ligne	270,272	-6,489	15,44	-1,5	0,5005	-7,325
N17	L-17-27	Ligne	34,604	-49,417	3,452	50,8	0,0292	-32,53
N17	L-16-17	Ligne	-269,771	-0,835	15,43	175,6	0,5005	-7,325
N17	L17	Charge	0	0	0	90		
N17	L-17-18	Ligne	235,167	50,253	13,76	-16,3	0,4025	-8,637
N18	L-03-18	Ligne	76,764	28,889	4,721	-25,9	0,0816	-20,39
N18	L-17-18	Ligne	-234,764	-58,889	13,93	160,6	0,4025	-8,637
N18	L18	Charge	158	30	9,257	-16		
N19	TR-19-33	Transformateur à 2 enr.	-629,007	-99,914	35,29	173,3	2,9933	60,722
N19	L-16-19	Ligne	506,309	132,25	28,99	-12,3	4,1027	17,965
N19	L19	Charge	0	0	0	90		
N19	TR-19-20	Transformateur à 2 enr.	122,698	-32,336	7,03	17,1	0,1166	2,2987
N20	L20	Charge	628	103	37,23	-8		
N20	TR-20-34	Transformateur à 2 enr.	-505,419	-137,635	30,64	166,1	2,5811	51,621
N20	TR-19-20	Transformateur à 2 enr.	-122,581	34,635	7,451	-162,9	0,1166	2,2987
N21	L-16-21	Ligne	381,335	-30,075	21,86	4,5	1,1422	-6,742
N21	L21	Charge	274	115	16,98	-22,7		
N21	L-21-22	Ligne	-655,335	-84,925	37,77	172,6	3,4071	32,949
N22	TR-22-35	Transformateur à 2 enr.	-650	-287,931	39,88	161,2	0	71,668
N22	L-22-23	Ligne	-8,742	170,057	9,551	-87,9	0,1836	-16,31
N22	L-21-22	Ligne	658,742	117,874	37,54	-5,1	3,4071	32,949
N22	L22	Charge	0	0	0	90		
N23	L-22-23	Ligne	8,926	-186,363	10,64	92,4	0,1836	-16,31
N23	TR-23-36	Transformateur à 2 enr.	-629,991	123,122	36,6	-163,8	2,0093	109,31
N23	L-23-24	Ligne	396,301	-21,579	22,63	8,3	3,37	16,534
N23	L23	Charge	247,5	84,6	14,91	-13,7		
N23	TR2-1B	Transformateur à 2 enr.	-22,736	0,219	1,296	-174,3	0,0081	0,2193
N24	L-16-24	Ligne	84,331	54,087	5,702	-35,3	0,0304	-6,374
N24	L24	Charge	308,6	-92,2	18,33	14		
N24	L-23-24	Ligne	-392,931	38,113	22,47	-177,1	3,37	16,534

N25	L25	Charge	224	47,2	12,9	-13,5		
N25	TR-25-37	Transformateur à 2 enr.	-538,227	-74,89	30,62	170,4	1,7731	68,56
N25	L-02-25	Ligne	258,688	76,558	15,2	-18,1	4,935	-8,901
N25	L-25-26	Ligne	55,539	-48,869	4,169	39,7	0,1087	-53,04
N26	L26	Charge	139	17	7,85	-9,6		
N26	L-25-26	Ligne	-55,43	-4,172	3,116	173	0,1087	-53,04
N26	L-26-28	Ligne	-141,024	-43,128	8,267	160,3	0,8063	-74,58
N26	L-26-29	Ligne	-189,884	-46,641	10,96	163,5	1,9408	-89,17
N26	L-26-27	Ligne	247,338	76,941	14,52	-19,9	0,9134	-15,44
N27	L-17-27	Ligne	-34,575	16,885	2,19	-158,6	0,0292	-32,53
N27	L27	Charge	281	75,5	16,56	-19,6		
N27	L-26-27	Ligne	-246,425	-92,385	14,98	154,9	0,9134	-15,44
N28	L28	Charge	206	27,6	11,55	-6,7		
N28	L-26-28	Ligne	141,83	-31,452	8,075	13,4	0,8063	-74,58
N28	L-28-29	Ligne	-347,83	3,852	19,34	-178,4	1,5739	-9,976
N29	L29	Charge	283,5	26,9	15,78	-1,7		
N29	TR-29-38	Transformateur à 2 enr.	-824,729	29,458	45,72	-174,2	5,2711	102,79
N29	L-26-29	Ligne	191,825	-42,53	10,89	16,2	1,9408	-89,17
N29	L-28-29	Ligne	349,404	-13,828	19,37	6	1,5739	-9,976
N30	G10	Machine synchrone	-250	-421,587	27,02	120,6		
N30	TR-02-30	Transformateur à 2 enr.	250	421,587	27,02	-59,4	0	39,629
N31	TR-06-31	Transformateur à 2 enr.	399,213	217,191	26,72	-28,5	0	53,546
N31	L31	Charge	9,2	4,6	0,605	-26,6		
N31	G02	Machine synchrone	-408,413	-221,791	27,32	151,5		
N32	TR-10-32	Transformateur à 2 enr.	650	251,213	40,93	-16,5	0	100,49
N32	G03	Machine synchrone	-650	-251,213	40,93	163,5		
N33	TR-19-33	Transformateur à 2 enr.	632	160,636	37,75	-6,7	2,9933	60,722
N33	G04	Machine synchrone	-632	-160,636	37,75	173,3		
N34	TR-20-34	Transformateur à 2 enr.	508	189,256	30,92	-13,9	2,5811	51,621
N34	G05	Machine synchrone	-508	-189,256	30,92	166,1		
N35	TR-22-35	Transformateur à 2 enr.	650	359,599	40,87	-18,8	0	71,668
N35	G06	Machine synchrone	-650	-359,599	40,87	161,2		
N36	G007	Machine synchrone	-632	13,816	36,6	-163,8		
N36	TR-23-36	Transformateur à 2 enr.	632	-13,816	36,6	16,2	2,0093	109,31
N37	G08	Machine synchrone	-540	-143,45	31,39	170,4		

N37	TR-25-37	Transformateur à 2 enr.	540	143,45	31,39	-9,6	1,7731	68,56
N38	G09	Machine synchrone	-830	-73,329	46,87	-174,2		
N38	TR-29-38	Transformateur à 2 enr.	830	73,329	46,87	5,8	5,2711	102,79
N39	L-01-39	Ligne	-146,416	-25,568	8,331	162,5	0,204	-74,36
N39	L-09-39	Ligne	42,416	-41,079	3,31	36,5	0,0218	-126
N39	G01	Machine synchrone	-1000	-183,353	56,99	162,1		
N39	L39	Charge	1104	250	63,45	-20,3		

ملخص

على افتراض أن الاستقرار العابر هو المؤشر المثالي لحالة الشبكة الكهربائية، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير الخلل وانقطاع نظام الطاقة، وهذا التحليل للكشفعن الحالات الشاذة المتعلقة بما يلي: الملف الشخصي للجهد في جميع قضبانالتوصيل، وفقدان القدرة التفاعلية في جميع الخطوط، وكذلك الاستقرار العابر للشبكة. تم استخدام أجهزة التعويض لإزالة هذه الحالات الشاذة وفي حالة الغياب ووجود طاقة الرياح.

تم تطبيق هذه الدراسة على شبكة IEEE39JBالشهيرة، باستخدام برنامج مناسب يسمى NEPLAN أو تم إنشاء العديد من المقارنات، مما يدل على فعالية هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: الاستقرار العابر، شبكة الاختبارIEEE39JB ،SVC، منظم الجهد، طاقة الرياح

RESUME

Partant du principe que la stabilité transitoire est l'indice idéal de l'état de réseau électrique , cette étude a pour objectif d'analyse l'influence d'un défaut et la déconnexion d'une de système de puissance, cette analyse à révéler des anomalies relative aux : Profil de la tension au niveau de tous les jeux de barres, les pertes de puissance réactive à travers toutes les lignes ainsi que la stabilité transitoire du réseau. Un recours aux dispositifs FACTS a été fait pour enlever ces anomalies et en cas absence et cas présence d'énergie éolienne.

Cette étude a été appliquée sur le fameux réseau IEEE39JB, en utilisent un logiciel adéquat dit NEPLAN ouplusieurscomparaisonontétéétablismontrantainsil'efficacitécetteétude.

Mots clés :stabilité transitoire, réseau test IEEE39JB, SVC, régulateur de tension, l'énergie éolienne.

Abstract

Assuming that the transient stability is the ideal index of the state of the electrical network, this study aims to analyze the influence of a fault and the disconnection of a power system, this analysis to reveal anomalies relating to: Profile of the voltage at all the busbars, the losses of reactive power across all the lines as well as the transient stability of the network. FACTS devices have been used to remove these anomalies and in case of absence and presence of wind energy.

This study has been applied on the famous IEEE39JB network, using suitable software called NEPLAN or several comparisons have been established thus showing the effectiveness of this study.

Key words: transient stability, IEEE39JB test network, SVC, voltage regulator, wind energy.