

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 :

Khedire Amar Yasser

Bougrinat Abd Elhadi

Thème:

**effet dynamique d' une ferme éolienne
et l'amélioration de l'atténuation des
oscillations lors d' une contingence au
réseaux électrique**

M^r Sadaoui fares

MCA

UKM Ouargla

Président

M^r Bouhadouza boubekur

MAA

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M^r Guehrrar Youcef

MAA

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2022/2021

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

Tous les membres de la famille khedir et bougrinat

A tous mes amis et proches

A tous mes camarades de groupe

RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

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

REMERCIEMENTS

Avant tout, Je remercie ^{الله}le Tout-puissant de m'avoir donné la santé, le courage, la volonté et la patience qu'il m'a donnée durant ces longues années d'études afin que je puisse arriver à ce stade, et de me mener à terme ce présent travail dans des meilleures conditions..

On premier lieu, Je tiens à remercier mon encadreur Mr Boubekeur Bouhadouza.

Je lui exprime toute ma profonde gratitude pour son expérience, son soutien inconditionnel et ses qualités humaines, son encadrement et ses précieux conseils durant toute cette période qui m'a offert la possibilité de réaliser ce travail, et qui m'a permis d'élargir mon spectre de connaissances scientifiques.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour leurs participations et leurs évaluations de mon travail.

J'adresse aussi mes remerciements à l'ensemble d'enseignants du département d'électrotechniques, et particulièrement, ceux qui ont participé à ma formation.

Finalement, je remercie l'ensemble de mes amis et collègues d'études pour leurs soutiens et encouragements tout au long de mon cursus.

REMERCIEMENTS

Merci à tous et à toutes

RUSUME

RESUME

Partant du principe que la stabilité transitoire est l'indice idéal de l'état de réseau électrique, cette étude a pour objectif d'analyser 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 profils des vitesses des générateurs en présence des sources renouvelables ainsi que la stabilité transitoire du réseau. Un recours aux dispositifs FACTS a été fait pour enlever ces anomalies en présence d'énergie éolienne.

Cette étude a été appliquée sur le fameux réseau IEEE9JB, réseau à jeu de barres infini en utilisant un logiciel adéquat dit PSAT ou plusieurs comparaisons ont été établies montrant ainsi l'efficacité cette étude.

Mots clés : stabilité transitoire, réseau à jeu de barres infini, IEEE9JBS, STATCOM, DFIG, SCIG, SG.

ملخص

بافتراض أن الاستقرار العابر هو المؤشر المثالي لحالة الشبكة الكهربائية، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير العطل وانفصال نظام الطاقة، وهذا التحليل للكشف عن الانحرافات المتعلقة بملف تعريف الجهد في جميع القضبان، وسرعة المولد لمحات في إزالة هذه الحالات الشاذة في وجود FACTS وجود مصادر متجددة بالإضافة إلى الاستقرار المؤقت للشبكة. تم استخدام أجهزة طاقة الرياح.

حيث PSAT الشهيرة، وهي شبكة لانهاية باستخدام برنامج مناسب يسمى IEEE9JB تم تطبيق هذه الدراسة على شبكة. تم إجراء مقارنات عديدة، مما يدل على فعالية هذه الدراسة.

IEEE9JB، STATCOM، DFIG، SCIG، SG.. الكلمات الرئيسية: الاستقرار العابر، شبكة اختبار.

Abstract

Assuming that 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: Voltage profile at all bus, generator speed profiles in the presence of renewable sources as well as the transient stability of the network. FACTS devices were used to remove these anomalies in the presence of wind energy.

RUSUME

This study was applied to the famous IEEE9JB network, an infinite bus network using appropriate software called PSAT where several comparisons have been established, thus showing the effectiveness of this study.

Keywords: transient stability, IEEE9JB, infinite bus test, STATCOM, DFIG, SCIG, SG.

Abréviations

MATLAB: Matrice-Laboratoire.

PSAT : Power System Analysis Toolbox.

Pu : Système de valeur relative (Per unit)

TCE : temps critique d'élimination du défaut.

MW : Mega Watt.

kV : Kilo Volte .

sec : Seconde.

JB : Jeu De Barre .

LF : load flow (écoulement de puissance)

SG : synchrones generator

DFIG : doubly fed inductions generator

SCIG : speed constant inductions generator

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre 1:

Tableau (1-1) Caractéristiques des types de stabilité.....8

Chapitre 2:

Tableau (2-1) Paramètres de puissance maximale générée.....21

Tableau (2-2) écoulement de puissance de système étudié dans le cas3.....22

Tableau (2-3) : écoulement de puissance de système étudié.....27

Liste des figures

Liste des figures:

Chapitre 1

Figure 1-1 Structure d'un réseau maillée.....	4
Figure 1-2 Structure d'un réseau radial	5
Figure 1-3 Structure d'un réseau bouclé.....	5
Figure 1-4 Classification des différents types de la stabilité des systèmes de puissance.....	7
Figure 1-5 Composition d'une éolienne.....	11
Figure 1-6 Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	11
Figure 1-7 Eolienne à axe vertical.....	12
Figure 1-8 Eolienne à axe horizontal.....	13
Figure 1-9 éolienne à vitesse fixe.....	14

Chapitre 2

Figure 2-1 Interface graphique du PSAT	17
Figure 2-2 Modèle de charge statique.....	18
Figure 2-3 Modèle de charge dynamique.....	19
Figure 2-4 Modèle de charge composée.....	19
Figure 2-5 système d'étude pour différentes sources de generations.....	20
Figure 2-6 emplacement de perturbation dans le système.....	21
Figure 2-7 Réponses transitoires des tensions de jeu de barres en défaut pour différents cas: (a) SG ; (b) CSIG, (c) DFIG	23
Figure 2-8 Comparaison des performances transitoires des tensions de jeu de barres en défaut de chaque type de génération. (a) Cas 1 ; (b) Cas 2; (c) Cas 3.....	24

Liste des figures

Figure 2-9 Comparaison les vitesses rotorique des générateurs pour chaque cas, SG , SCIG , DFIG.....	2
5	
2-10 Transitoires de puissance active tels qu'affectés par le sechnologies de générateur Figure pour diverses charges SG.....	25
2-11 Transitions de puissance réactive affectées par les technologies de générateur pour Figure différentes charges SG.....	26
Figure 2-12 Système d'étude avec source asynchrone.....	27
Figure 2-13 application d'un défaut au jeu de barre 7.....	28
Figure 2-14 Réponses transitoires des vitesses des générateurs asynchrones DFIG, SCIG.....	28
Figure 2-15 Comparaison des performances transitoires des tensions aux bornes du générateur SCIG.....	29
Cas 1; Cas2 ; Cas3 des tensions aux bornes du générateur DFIG	
Figure 2-16 L'allure des tensions de Jeu de barre de génération.....	30
Figure 2-17 les angles rotorique des générateurs.....	31
Figure 2-18 les vitesses rotorique des générateurs.....	31
Figure 2-19 Comparaison des performances transitoires des tensions aux bornes du générateur ;Cas 1; Case 2 ; Case 3 des tensions aux bornes du générateur DFIG SCIG.....	31
Figure 2-20 Comparaison entre les angles rotorique des générateurs en présence du statcom.....	3
2	
Figure 2-21 Comparaison entre les vitesses rotorique des générateurs en présence du statcom.....	3
2	

Liste des figures

Figure 2-22 Comparaison entre les vitesses rotorique des générateurs SCIG , DFIG en présence du statcom.....3

2

Figure 2-23 Comparaison entre les alleurs des tensions de Jeu de barre de génération en présence du

statcom.....33

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I:Generlite sur le système éolien et stabilité électrique

Sommaire

1.1	Introduction.....	4
1.2	Caractéristique du réseau électrique.....	4
1.3	Structure des réseaux.....	4
1.3.1	Structure maillée.....	4
1.3.2	Structure radiale.....	5
1.3.3	Structure bouclés.....	5
1.4	Différents types de réseaux.....	5
1.4.1	Réseaux de transport et d'interconnexion	5
1.4.2	Réseaux de répartition.....	6
1.4.3	Réseaux de distribution.....	6
1.5	Source de production génératrice.....	6
1.6	Stabilité de système de puissance	6
1.6.1	Stabilité de la fréquence.....	7

1.6.2 Stabilité	en
tension.....	7
1.6.3 Stabilité	
angulaire.....	7
1.6.3.1 Stabilité en régime dynamique.....	8
1.6.3.2 Stabilité en régime transitoire.....	8
1.7 Energies	
renouvelables.....	8
1.7.1 Sources solaires.....	9
1.7.2 Sources éolienne.....	9
1.7.2.1 L'exploitation d'énergie éolienne.....	9
1.7.2.2 Définition Énergie éolienne.....	10
1.7.2.3 Le principe de fonctionnement d'énergie éolien.....	10
1.7.2.4 Différents	types
d'éoliennes.....	11
1.7.2.4.1 Eolienne à axe vertical.....	12
1.7.2.4.2 Eolienne	à
horizontal.....	axe
	12
1.7.2.4.3 Générateurs	
éoliens.....	13
1.7.2.4.3.1 Aérogénérateur à vitesse fixe.....	13
1.7.2.4.3.2 Aérogénérateurs à vitesse variable.....	14

1.8	Conclusion.....	1
5		

Chapitre II : Simulation et interprétation des résultats obtenus

2.1	Introduction.....	1
7		
2.2	Outil de Simulation et ses environnements.....	17
2.2.1	Qu'est-ce qu'un fichier PSAT et quel est son rôle ?	17
2.3	Les types de Charge.....	18
2.3.1	Charge statique.....	18
2.3.2	Charge dynamique.....	18
2.3.3	charge composé.....	19
2.4	Système étudié et leurs paramètres principaux.....	20
2.5	Ecoulement de puissance est ses résultats de simulation des systèmes étudiés.....	21
2.5.1	Sources synchrone et asynchrone liés au réseau de jeu de barres infini.....	21
2.5.2	Analyse du flux de charge (LF).....	21
2.5.3	Simulations obtenus.....	22
2.6	Sources synchrone et asynchrones lié à un réseau de 9 jeux de barres.....	26
2.6.1	Ecoulement de puissance.....	27

2.6.2	Résultats obtenus dans system 9 jeu de barre.....	28
2.6.3	Résultats obtenus dans un système de 9 jeux de barre en présence du STATCOM.....	31
2.7	Conclusion.....	3

3

Introduction générale

Introduction générale

La complexité des réseaux d'interconnexions et leur soumission à plusieurs contraintes économiques, écologiques et techniques ont amené les fournisseurs d'énergie électrique à faire fonctionner les réseaux à pleine capacité pour avoir un équilibre entre l'augmentation de la consommation et la production, et ce dans des conditions de plus en plus proche des limites de stabilité. Dans ces conditions sévères et limites d'opération, l'occurrence de n'importe quelle contingences ou perturbations telles que le court-circuit, les variations brusques des charges, les pertes dans lignes et les pertes d'ouvrage (lignes, générateurs, transformateurs, etc.) peuvent mener à une situation critique commençant par des oscillations électromécaniques souvent mal amorties suivies de la perte de synchronisme et d'instabilité de système. Ces oscillations électromécaniques de faibles fréquences sont associées à l'angle de rotor des machines synchrones fonctionnant dans un système les reliant ensemble par des lignes de transmission longues avec d'autres groupes des machines. Celles-ci limitent la capacité de transfert des systèmes de puissance et continuent à se développer entraînant la perte de synchronisme et la séparation du système si aucune réponse adéquate n'est rapidement prise. Pour surmonter le problème des oscillations électromécaniques et améliorer l'amortissement du système, des signaux supplémentaires stabilisateurs sont ajoutés dans le système d'excitation via le régulateur de tension.

Le problème dans le monde entier est de répondre à la demande énergétique qui augmente sans cesse. L'augmentation rapide de l'activité industrielle dans les pays développés et l'investissement des entreprises dans les pays qui assurent un coût de production moins élevé a accru très rapidement la demande mondiale d'énergie. Cette augmentation se traduit, en réalité, avec la croissance du prix du carburant qui représente la source la plus importante de l'énergie. La réserve mondiale du pétrole diminue de plus en plus et il n'y aura pas assez du pétrole pour couvrir la demande. L'énergie nucléaire n'est pas disponible pour tout le monde pour des raisons politiques ou financières, son installation coûte cher comme elle peut être dangereuse au niveau écologique. L'utilisation des ressources conventionnelles est alors limitée et n'est pas encouragée pour des raisons liées à l'environnement. Le recours à d'autres types de ressources d'énergie dites renouvelables est donc inévitable et devient plus qu'une nécessité pour le progrès de l'humanité.

En particulier, parmi toutes les ressources renouvelables possibles (biomasse, soleil, vent, houle).

Introduction générale

L'homme utilise l'énergie éolienne depuis des milliers d'années. Les Perses de l'Antiquité utilisaient déjà l'énergie éolienne pour pomper l'eau. On a exploré le monde à l'aide de navires entraînés par le vent bien avant l'invention du moteur. Pas plus tard qu'en 1920, plus d'un million d'éoliennes servaient à pomper l'eau et à fournir l'électricité aux entreprises agricoles de l'Amérique du Nord. Dans les années 50, des centaines d'éoliennes étaient encore utilisées en Algérie pour le pompage de l'eau. [1] Aujourd'hui, l'énergie électrique d'origine éolienne est parfois considérée comme la plus prometteuse des énergies renouvelables à développer pour remplacer le charbon, le pétrole, le gaz et même le nucléaire. En 2005, 6183 MW ont été installés dans les pays de la communauté européenne (1808 MW pour l'Allemagne et 1764 MW pour l'Espagne), soit une production électrique de 83 TWh, égale à 2.8% de la consommation électrique de 2004. De nos jours, le vent et l'énergie qu'il véhicule sont l'objet d'études et d'applications multiples dans divers domaines. La volonté de réduire les émissions de gaz responsables de l'effet de serre, a poussé beaucoup de pays à s'intéresser aux énergies renouvelables dont fait partie l'éolien.

Le but de ce travail est l'étude la stabilité d'une ferme éolienne connectée à un réseau électrique en présence d'un système FACTS. Cette simulation oblige l'utilisation d'un certain nombre d'étapes. Ces étapes sont divisées en deux chapitres organisés de la manière suivante :

Le premier chapitre fait l'objet de généralités sur le système éolien qui donne un aperçu sur les différents types d'éoliennes (à l'axe vertical, horizontal), leurs caractéristiques technologiques, leurs systèmes de régulation et de protection, ainsi que les différents types de génératrices utilisées dans l'éolien ont été présentés et présente généralité sur stabilité de réseau électrique auquel est connecté un parc éolien en présentant les différents types de la stabilité de système électrique.

Présentation du deuxième chapitre Raccordement d'un parc éolien à un réseau électrique en fournissant différents types de générateurs et leur impact sur la stabilité du réseau avec des moyens d'optimisation via des systèmes FACTS tels que SVC, STATCOM, SSSC, TCSC, UPFC... etc. Nous nous bornerons à étudier pour l'effet STATCOM dans les chapitres suivants.

Introduction générale

Chapitre: 1

Généralité sur les systèmes éoliens et la stabilité

1.9 Introduction

Les développements des systèmes de puissance est pour assurer une puissance (énergie) à la clientèle permanente, propre avec un cout raisonnable. Cependant, les systèmes électriques sont toujours soumis à des anomalies soit internes, (fausse de manœuvre, court-circuit d'un appareil, déconnexion des partie de système...etc.), ou bien un défaut externe tel que les coups de foudres sur une ligne triphasée, une station de transformation ...etc.). Ces défauts permettent de crier une instabilité d'ordre transitoire.

Pour encourager les gestionnaires de système de puissance à diminuer le transit de puissance dès les centrales de base de production qui sont généralement loin de sa consommation, l'installation des sources renouvelables fait l'objet, ainsi non polluantes et est implantés généralement près de la charges, voire stocker lors de la demande faible.

Ce chapitre est consacré définir le système de puissance, les différentes types de stabilité, ainsi quelques aspects sur les sources à base du vent et de rayonnement solaire.

1.10 Caractéristique du réseau électrique

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble [2].

1.11 Structure des réseaux

1.11.1 Structure maillée

Elle permet la réalimentation en cas d'indisponibilité d'un tronçon ou d'un poste HTA/BT après l'élimination de l'élément défectueux. Elle présente l'inconvénient de n'utiliser les câbles que partiellement par rapport à leur capacité. Elle exige, de plus un point commun par paire de

câble et demande une surveillance continue du réseau en fonction de l'accroissement de la charge [3].

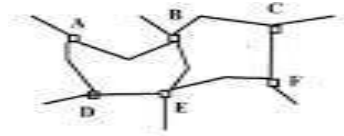


Figure 1-1 structure d'un réseau maillée

1.11.2 Structure radiale

Elle est constituée de plusieurs artères, dont chacune va en se ramifiant, mais sans jamais retrouver un point commun (structure d'un arbre). Les réseaux radiaux sont de structure simple et peuvent être contrôlés et protégés par un appareillage simple. Ce sont les réseaux les moins coûteux [4].



Figure 1-2 structure d'un réseau radial.

1.11.3 Structure bouclés

Sont alimentés à la fois par plusieurs sources. L'existence de plusieurs sources en parallèle augmente la sécurité d'alimentation, en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateur) ou sur une boucle[4].

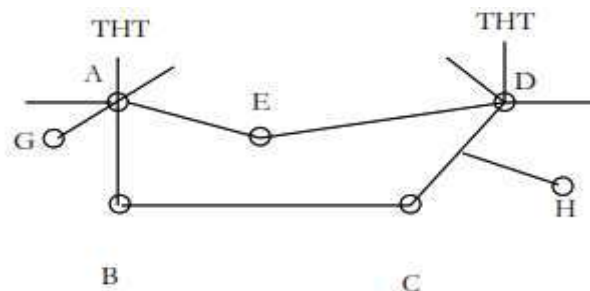


Figure 1-3 structure d'un réseau bouclé

1.12 Différents types de réseaux

Suivant le trajet de l'énergie depuis sa production jusqu'à son utilisation, Il y a successivement différents types de réseau montré comme suit :

1.12.1 Réseaux de transport et d'interconnexion

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement les caractéristiques [5]:

- ✚ De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et d'el 'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport).
- ✚ De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion) .
- ✚ La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 kV.
- ✚ Neutre directement mis à la terre.
- ✚ Réseau maillé.

1.12.2 Réseaux de répartition

Les réseaux de répartition ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions. Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation. En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres. Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels [5].

1.12.3 Réseaux de distribution

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique [5].

1.13 Source de production (génératrice)

En général, l'énergie électrique est produite par des processus de conversion d'énergie dans ces processus, les ressources énergétiques naturellement disponibles telles que, les combustibles, fossiles ou le vent. Ces ressources sont converties en énergie électrique. Les transferts sont gérés grâce à des technologies de production d'énergie artificielles, telles que des générateurs synchrones ou des éoliennes. La technologie de production consiste à capter la ressource énergétique primaire et à la transformer en puissance électrique, le contrôle de la puissance produite est nécessaire pour répondre à la charge connectée au réseau [5].

1.14 Stabilité de système de puissance

L'un des problèmes les plus importants lors de l'étude d'un réseau d'énergie électrique complexe, est celle de la stabilité.

Les éoliennes qui sont une partie importante de la production décentralisée influencent la stabilité du réseau auquel elles sont reliées. En effet, la puissance électrique produite par l'éolienne est fluctuante. Elle varie brutalement suite à une variation rapide de la vitesse du vent [6]. Ceci peut être considéré comme une perturbation sur la puissance injectée dans le réseau et peut mettre en danger la stabilité du réseau. En plus, les éoliennes modifient la structure du réseau, cette modification change les comportements dynamiques des machines suite à une perturbation comme un court-circuit.

L'intérêt d'étudier la stabilité dans les réseaux de distribution électrique est d'estimer l'impact de la production décentralisée sur les comportements dynamiques du réseau et d'essayer de trouver des solutions pour améliorer ces comportements [7].

1.14.1 Stabilité de la fréquence

La fréquence des réseaux électriques interconnectés est exactement contrôlée. La raison première du contrôle de la fréquence est de permettre la circulation d'un courant électrique alternatif apporté par plusieurs générateurs à travers le réseau. Une variation de la fréquence du dispositif correspond à un écart entre consommation et production. Une surcharge du réseau due à une perte d'un générateur va provoquer une baisse de la fréquence du réseau. La perte d'une

interconnexion avec un autre réseau dans une situation d'export va provoquer une augmentation de la fréquence [8].

1.14.2 Stabilité en tension

Les raisons d'une stabilité en tension sont assez identiques à celles de la stabilité en fréquence. Une tension trop haute provoque la destruction du matériel. Une tension trop basse provoque un courant plus fort à puissance égale, par conséquent des pertes joule plus importantes avec risques de surintensité et de destruction du matériel. Une sous-tension peut provoquer aussi des problèmes de fonctionnement de l'équipement raccordé au réseau [8].

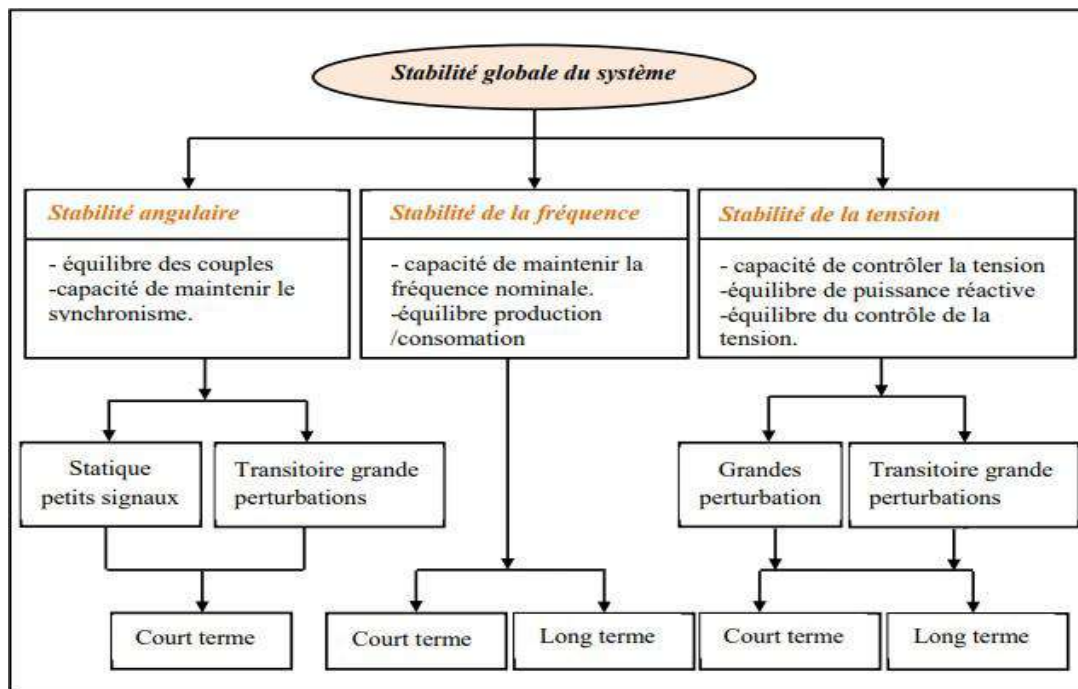


Figure 1-4 Classification des différents types de la stabilité des systèmes de puissance

1.14.3 Stabilité angulaire

La stabilité de l'angle de rotor concerne la capacité des machines synchrones d'un système de puissance interconnecté de rester en synchronisme suite à une perturbation. Elle dépend de la capacité de maintenir/restaurer l'équilibre entre les couples électromagnétique et mécanique agissant sur le rotor de chaque machine synchrone dans le système. L'instabilité qui peut résulter se produit sous forme d'augmentation des oscillations angulaires de certains générateurs

pouvant conduire à une perte de synchronisme avec d'autres générateurs. Suivant l'amplitude de la perturbation, nous pouvons caractériser la stabilité de l'angle de rotor en deux sous-catégories [9].

1.14.3.1 **Stabilité en régime dynamique**

La stabilité en régime dynamique concerne toujours les petites déviations des variables d'état autour de leur point de fonctionnement. Ces déviations sont dues à une petite perturbation quelconque appliquée au système en état normal.

L'étude du régime dynamique détermine l'intervention des éléments de régulations qui ont pour rôle de rendre le système en équilibre autour des consignes préalables [7].

Stabilité dynamique → perturbation faible → équations différentielles linéaires

1.14.3.2 **Stabilité en régime transitoire**

La cause de l'instabilité en régime transitoire est une perturbation brusque et soudaine de forte amplitude et de courte durée (court-circuit). La condition de stabilité naturelle n'est plus respectée à cause du grand déplacement du point de fonctionnement.

Le comportement dynamique du système dans les conditions de stabilité en régime transitoire est déterminé par l'intervention des régulateurs et des automatismes du réseau[7].

Stabilité transitoire → perturbation de grande amplitude → équations différentielles non linéaires.

Tableau (1-1) Caractéristiques des types de stabilité

Caractéristiques des types de stabilité				
Caractéristique	Modèle	Constant de temps	Types de perturbation	Phénomènes observe

stabilité				
dynamique	En petits mouvement	5 à 30 [s]	petites	insuffisance du couple d'amortissement action du control instable
transitoire	transitoire	≥ 10 [s]	grandes	Mouvement apériodique première oscillation

1.15 Energies renouvelables

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau de la terre de la biomasse, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité, ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires. L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle, elles ont été exploitées par l'homme depuis l'aube de l'humanité, bois de feu, traction animale, bateau à voile, moulin à vent ... Malheureusement, ces énergies furent délaissées au profit d'autres sources d'énergies que l'on pensait à l'époque plus intéressantes. Ce n'est que dernièrement, suite à la pollution atmosphérique, le réchauffement climatique dû à l'effet de serre, les risques du nucléaire et les limites des ressources (pétrole, gaz, charbon et uranium) qu'il y a eu prise de conscience qu'un développement économique respectueux de l'environnement est absolument nécessaire.

Les énergies dites renouvelables et propres constituent une alternative aux énergies fossiles sur plusieurs points :

- ✚ Elles respectent l'environnement (sont propres) ne dégagent pas de gaz à effet de serre, ni de déchets toxiques.
- ✚ Elles sont comme leurs noms l'indiquent « inépuisables ».
- ✚ Elles permettent une production décentralisée adaptée aux besoins locaux. Parmi les énergies renouvelables nous citons :

L'éolien, le solaire thermique et photovoltaïque, la biomasse, la géothermie, L'hydraulique [10].

1.15.1 Sources solaires

Le soleil est une source d'énergie quasiment inépuisable, qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique humaine totale. L'énergie solaire est abondante et gratuite. L'énergie photovoltaïque est obtenue

directement à partir du rayonnement du soleil. Les panneaux photovoltaïques sont des composants. Semi-conducteurs utilisant leur propriété de photoélectricité pour générer la puissance électrique selon un principe appelé « effet photoélectrique » [11].

1.15.2 Sources éolienne

Parmi toutes les énergies renouvelables, l'éolienne est l'une des plus prometteuses, l'évolution technologique (augmentation de la puissance des installations, optimisation des matériaux) alliée à la baisse continue des coûts de production font actuellement de l'éolien l'une des énergies renouvelables les plus compétitives. Pour toutes, cessera sous l'énergie issue du vent fait déjà partie intégrante du Paysage et la tendance s'annonce irréversible [12].

1.15.2.1 L'exploitation d'énergie éolienne

Le vent, comme étant une source d'énergie traditionnelle non polluante, a été exploité depuis plusieurs siècles pour la propulsion des navires (avant 3000 ans environ), l'entraînement des moulins (environ 200000 moulins à vent en Europe vers le milieu du 19^{ème} siècle), le pompage d'eau et le forgeage des métaux dans l'industrie. Ces dernières utilisations sont toutes basées sur la conversion de l'énergie du vent captée par des hélices en énergie mécanique exploitable.

Ce n'est qu'après l'évolution de l'électricité comme forme moderne de l'énergie et les recherches successives sur les génératrices électriques, que le danois Poule La Cour a construit pour la première fois en 1891 une turbine à vent générant de l'électricité.

Après la fabrication du premier aérogénérateur, les ingénieurs danois ont amélioré cette technologie durant la 1^{ère} et la 2^{ème} guerre mondiale avec une grande échelle [12].

1.15.2.2 Définition Énergie éolienne

L'énergie éolienne est l'énergie du vent. C'est une énergie plus respectueuse de l'environnement que les énergies classiques que les combustibles fossiles ou l'énergie nucléaire, car elle cause moins de pollution. Quoique le vent soit une source d'énergie gratuite,

sa puissance varie considérablement en fonction du lieu et du moment ainsi que du climat et de saisons. le vent peut assurer un apport énergétique régulier et est difficile à contrôler. Toutefois, il est possible de prévoir la vitesse moyenne du vent, sa direction et son intensité dans certains lieux [12].

1.15.2.3 Le principe de fonctionnement d'énergie éolien

On utilise un aérogénérateur, plus communément appelé « éolienne ». Son principe s'inspire des moulins à vent. La machine est composée de trois pales (en général) portées par un moyeu constituant le rotor et installées au sommet d'un mât vertical.

Cet ensemble est fixé par une nacelle qui abrite un générateur. Un moteur électrique permet d'orienter le rotor afin qu'il soit toujours face au vent [13].

Les pales permettent de transformer l'énergie cinétique du vent (énergie que possède un corps du fait de son mouvement) en énergie mécanique (mouvement mécanique des pales). Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. La vitesse de rotation des pales dépend de leur taille : plus elles sont grandes, moins elles tournent rapidement.

Le générateur transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à grande vitesse (de 1000 à 2000 tours par minute) pour produire de l'électricité. Il faut donc d'abord que l'énergie mécanique des pales passe par un multiplicateur qui a pour rôle d'accélérer le mouvement de l'arbre lent de transmission, couplé aux pales, à l'arbre rapide couplé à la génératrice.

L'électricité produite par le générateur a une tension d'environ 690 volts. Ne pouvant pas être utilisée directement, elle est traitée grâce à un convertisseur, et sa tension est augmentée à 20 000 volts. Elle est alors injectée dans le réseau électrique et peut être distribuée aux consommateurs [14].

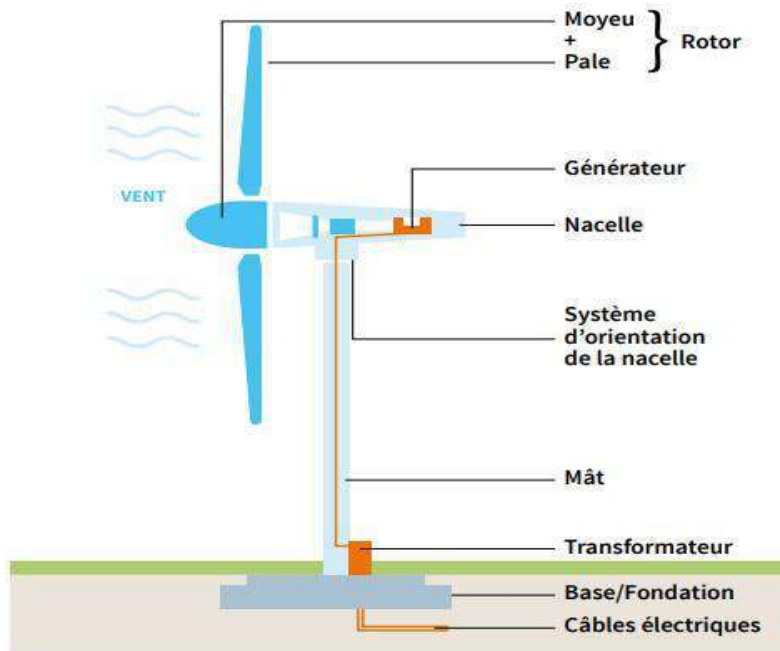


Figure 1-5 Composition d'une éolienne

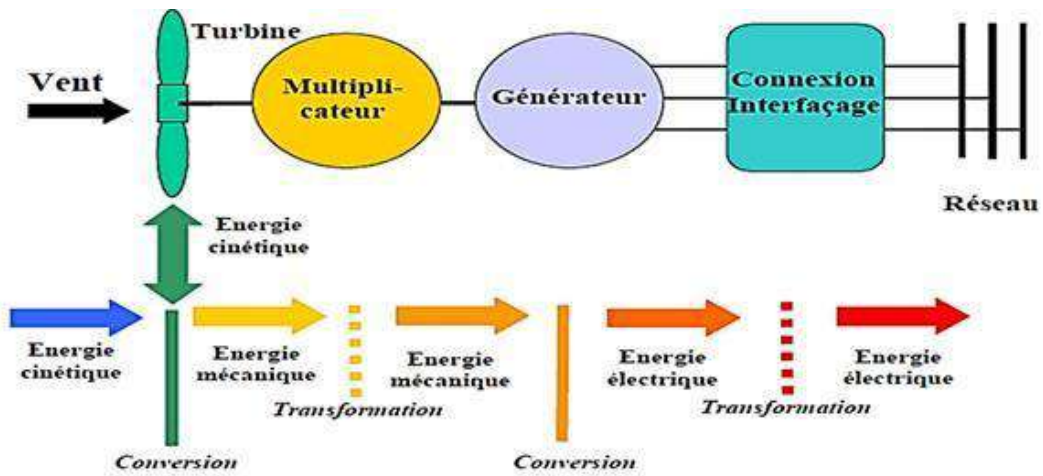


Figure 1-6 Conversion de l'énergie cinétique du vent

1.15.2.4 Différents types d'éoliennes:

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal [15].

1.15.2.4.1 Eolienne à axe vertical :

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal.

Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur à un niveau du sol donc facilement accessibles [16] [12] ainsi:

- ✚ La conception verticale offre l'avantage de mettre le multiplicateur, la génératrice et les appareils de commande directement au sol.
- ✚ Son axe vertical possède une symétrie de révolution ce qui permet de fonctionner quelque soit la direction du vent sans avoir à orienter le rotor.
- ✚ Sa conception est simple, robuste et nécessite peu d'entretien.

Parmi ses inconvénients on cite:

- ✚ Elles sont moins performantes que celles à axe horizontal.
- ✚ La conception verticale de ce type d'éolienne impose qu'elle fonctionne avec un vent proche du sol, donc moins fort car freiné par le relief.
- ✚ Leur implantation au sol exige l'utilisation des tirants qui doivent passer au-dessus des pales, donc occupe une surface plus importante que l'éolienne à tour.



Figure 1-7 Eolienne à axe vertical

1.15.2.4.2 Eolienne à axe horizontal :

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elles sont constituées de plusieurs pales profilées aérodynamiquement à la manière d'essai les d'avion. Dans ce cas, la portance n'est pas utilisée pour maintenir un avionne volais pour générer un couple moteur entraînant la rotation. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor triplet ante le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien [16][12][18][17]. ces type d'éoliennes posse dent quelque avantage:



Figure 1-8 Eolienne à axe horizontal

- ✚ Une très faible emprise au sol par rapport aux éoliennes à axe vertical.
- ✚ Cette structure capte le vent en hauteur, donc plus fort et plus régulier qu'au voisinage du sol.
- ✚ Le générateur et les appareils de commande sont dans la nacelle au sommet de la tour. Ainsi, il n'est pas nécessaire de rajouter un local pour l'appareillage.

Parmi son inconvénient on trouve:

- ✚ Coût de construction très élevé.
- ✚ L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.

1.15.2.4.3 Générateurs éoliens

Parmi les générateurs utilisés pour la production d'énergie électrique en cite:

1.15.2.4.3.1 Aérogénérateur à vitesse fixe :

Les premières éoliennes de grande puissance mises en œuvre reposent sur l'utilisation d'une machine asynchrone à cage directement couplée sur le réseau électrique (figure1-9). Cette machine

est entraînée par un multiplicateur, sa vitesse est maintenue approximativement constante par un système mécanique d'orientation des pales (pitch control).

La machine fonctionne alors en hyper synchronisme c'est-à-dire à une vitesse $\Omega_s (1-g)$ avec Ω_s vitesse de synchronisme (souvent $N_s = 1500 \text{ trs.min}^{-1}$) et g le glissement, avec $g < 0$ pour un fonctionnement en génératrice avec une convention moteur ($|g| \leq 1 \%$), et la rotation des pales par des actionneurs, hydrauliques ou électriques, permet l'augmentation de l'angle de calage β . La puissance peut alors être limitée à la puissance nominale de la génératrice. Lors de fort vent, cette technique permet la mise en drapeau des pales ($\beta=90^\circ$)[5].

Cette machine se caractérise par :

- ✚ Elle offre donc quasiment aucune possibilité de modification de la production d'énergie.
- ✚ La connexion directe à un réseau de générateur asynchrone nécessite l'ajout des condensateurs afin de limiter la puissance réactive prélevée sur ce réseau.
- ✚ Certaines éoliennes de ce type sont équipées d'un système d'arrêt.

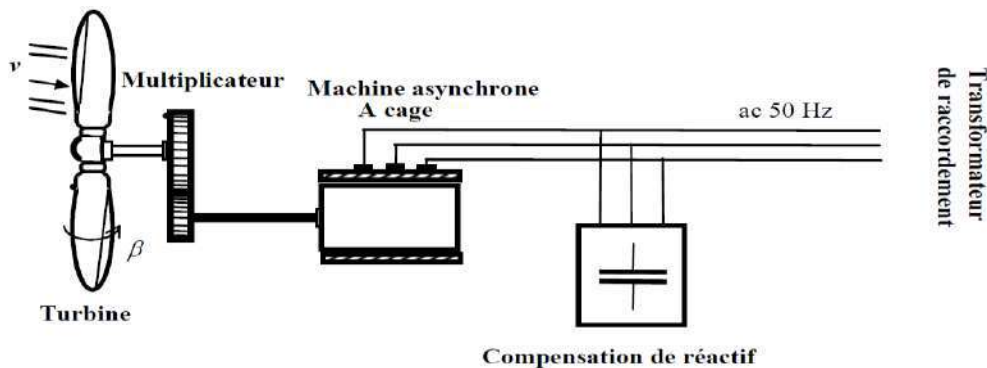


Figure 1-9 éolienne à vitesse fixe

Parmi ses avantages on cite [5]:

- ✚ Système électrique plus simple.
- ✚ Plus grande fiabilité.
- ✚ Peu de probabilité d'excitation des fréquences de résonance des éléments de l'éolienne.
- ✚ Pas besoin de système électronique de commande.
- ✚ Moins cher.

1.15.2.4.3.2 Aérogénérateurs à vitesse variable

Le contrôle du niveau du générateur améliore le capture de puissance pour le vent léger et moyen. Le générateur peut être connecté directement ou indirectement au réseau. L'interface à base des convertisseurs permet une adapté fréquence –puissance entre le réseau et le générateur asynchrone ainsi de fonctionner à vitesse variable .En d'autres termes, l'insertion de transducteurs entre le générateur et le réseau conduit à la séparation entre la fréquence du réseau électrique et la vitesse de rotation de la machine électrique. Avec la haute qualité et le faible coût de l'électronique de puissance, les éoliennes à vitesse variable sont de plus en plus utilisées [5], constituant l'avantage suivant:

- ✚ la production d'énergie peut être augmentée de 2-6% pour une éolienne à vitesse variable par rapport à une éolienne à vitesse fixe.
- ✚ l'augmentation de l'énergie peut être de 39%. La littérature montre que le gain de production d'énergie de l'éolienne à vitesse variable par rapport à l'éolienne à vitesse fixe le plus simple peut varier entre 3-28% selon les conditions du site et les paramètres de conception.
- ✚ le captage de l'énergie peut être considérablement augmenté en utilisant une MADA. Ils affirment que la capture de l'énergie a augmenté d'un MADA de plus de 20% par rapport à un système à vitesse variable en utilisant une machine à induction à cage-bar et de plus de 60% par rapport à un système à vitesse fixe.
- ✚ Augmentation de la plage de fonctionnement, notamment pour les faibles vitesses de vent où le maximum de puissance peut être aisément converti.
- ✚ Simplicité du système d'orientation des pales. Grâce au contrôle de la vitesse du générateur, les constantes de temps mécaniques des pales peuvent être plus longues, réduisant la complexité du système d'orientation des pales et son dimensionnement par rapport à la puissance nominale.
- ✚ Réduction des efforts mécaniques grâce à l'adaptation de la vitesse de la turbine lors des variations du vent. De ce fait, l'incidence des rafales de vent sur la puissance générée peut être affaiblie.
- ✚ Réduction du bruit lors des fonctionnements à faible puissance car la vitesse est lente [5].

1.16 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni des définitions et des caractéristiques des différents types de stabilité du système électrique. Le concept général de stabilité peut être résumé en trois groupes (stabilité angulaire du rotor, tension et fréquence).

Les éoliennes sont considérées comme l'un des composants énergétiques les plus utilisés pour compenser l'énergie électrique. Mais portes quelque inconvénient sur effet sa production en puissance car elle dépendant de la vitesse du vent du mécanisme de contrôle et de continuité de son fonctionnement. Voire, lors de la contingence apparus au système. Cependant, la turbulence de ces éoliennes provoque généralement une perturbation de la stabilité du système électrique de distribution.

Les fluctuations qui en résultent jouent un rôle important dans l'instabilité du système électrique pendant la production, l'exploitation et la distribution, dans ce chapitre on a montré les différents types de stabilité.

Chapitre 2 :

Simulation interprétation des résultats obtenus

2.8 introduction

Le comportement des systèmes électriques est en grande partie déterminé par le comportement et l'interaction des générateurs qui sont connectés. Historiquement, le réseau lui-même est considéré comme un sous-système passif. Par conséquent, son impact sur le comportement dynamique des systèmes électriques est considéré comme insignifiant et seul l'impact des gros moteurs couplés au réseau est censé avoir un impact significatif sur le comportement du système. Par conséquent, une grande attention a été accordée à la représentation détaillée des générateurs tandis que la représentation des charges a reçu une attention secondaire ; cependant, le sous-système de charge montre un impact significatif sur les performances de système d'alimentation, même s'il s'agit de charges statiques. Cela est dû aux dépendances de la puissance active et réactive de la charge sur la tension et la fréquence du système. Par conséquent, l'amélioration des études de stabilité du système électrique nécessite une considération attentive des types de charge et de leur générateur. Ceci donne une importance particulière en raison de l'utilisation généralisée des nouvelles technologies de production d'énergie dans les systèmes électriques, car elles présentent de nouvelles caractéristiques par rapport aux technologies conventionnelles. Dans ce chapitre, nous étudierons la stabilité du système étudié Grâce aux systèmes FACTS. Parmi les composants de FACTS, STATCOM sera étudié en raison de ses avantages Plus de détails dans cette note.

2.9 Outil de Simulation et ses environnements

Dans ce mémoire nous avons utilisé l'outil de simulation et programmation Matlab, qui nous aide à étudier la stabilité et l'instabilité du système électrique en utilisant PSAT comme outil de simulation [19].

2.9.1 Qu'est-ce qu'un fichier PSAT et quel est son rôle ?

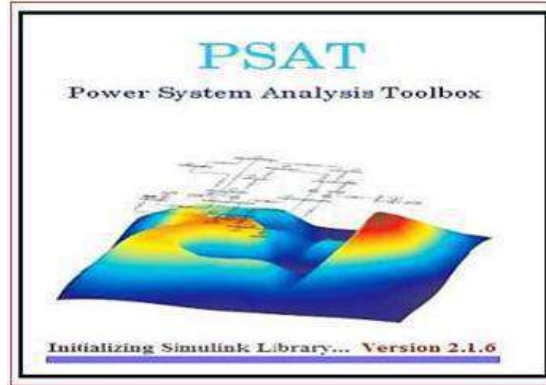


Figure 2-1 Interface graphique du PSAT.

PSAT (boîte à outils d'analyse du système électrique) . Il a été développé sous MATLAB par M. Federico Milano. Son rôle est d'étudier la continuité du flux optimal d'énergie électrique, d'analyser la stabilité du petit signal et de simuler le domaine temporel. Conversion de modèles d'éoliennes.

2.10 Les types de Charge

Les modèles des charges sont traditionnellement classés en trois grandes catégories des modèles; statiques,dynamiques et composé.

2.10.1 Charge statique

Le modèle de charge statique est représenté par des équations algébriques. Ces modèles représentent principalement la sensibilité du charge et les puissances active et réactive aux changements de tension et de fréquence. En effet, les modèles de charge statique ne sont pas suffisamment précis pour représenter le comportement des charges dynamiques [20].

$$P = P_0 \quad 2-1$$

$$Q = Q_0 \quad 2-2$$

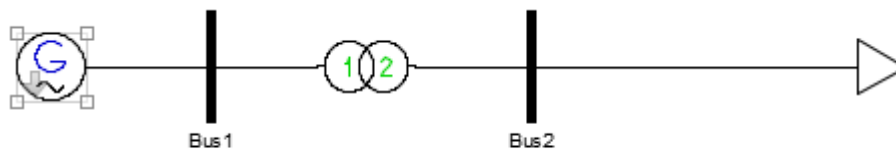


Figure 2-2 Modèle de charge statique

2.10.2 Charge dynamique

Les charges dynamiques via des modèles de charges statiques sont représentées dans deux cas principaux ; soit l'étude d'évolutions très lentes des conditions de fonctionnement, soit une modélisation simplifiée pour une analyse rapide lors de petites perturbations. La modélisation correcte des charges dynamiques comprend des équations algébriques et différentielles pour afficher leurs propriétés [20].

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^\alpha \quad 2-3$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^\beta \quad 2-4$$

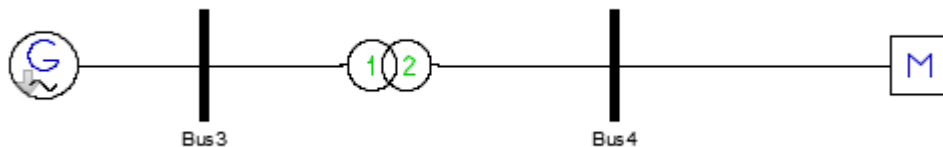


Figure 2-3 Modèle de charge dynamique

- + P est la puissance active de la charge
- + Q est la puissance réactive de la charge
- + P_0 est la consommation de puissance active à la tension V_0
- + Q_0 est la consommation de puissance réactive à la tension V_0
- + α est l'exposant de la puissance active
- + β est l'exposant de la puissance réactive
- + V est l'amplitude de la tension du jeu de barre de charge
- + V_0 est généralement l'amplitude de la tension nominale du jeu de barre de charge

2.10.3 charge composé

Les assemblages de jeu de barre de charge typiques incluent un mélange de types de charge. par conséquent, la modélisation globale des charges composé est généralement adoptée. Le modèle de

charge composée permet de représenter une large gamme de caractéristiques affichées par les différentes composantes de la charge, comme le montre la figure 2-4. Il se compose d'une charge statique et d'une charge de moteur à induction [20].

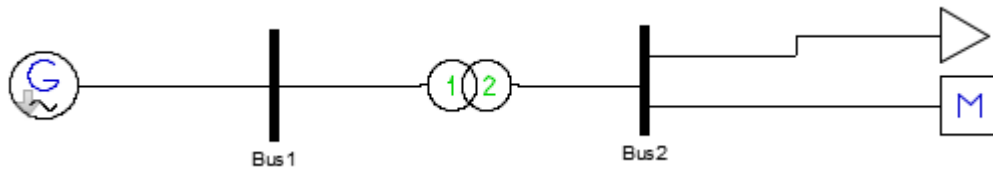


Figure 2-4 Modèle de charge composite agrégée.

Dans ce mémoire, les modèles de charge les plus populaires et largement acceptés sont répertoriés. Le modèle de charge statique est généralement utilisé pour modéliser la consommations de puissance active (P) et réactive (Q) de la charge.

2.11 Système étudié et leurs paramètres principaux

Le système d'étude est illustré à la figure 2-5 dans laquelle une centrale électrique est connectée au réseau rigide via un réseau de transport et une charge locale. Le système de transmission se compose de deux transformateurs et de deux lignes en parallèles c'est à dire - L2-3(1) et L2-3(2). La charge locale est connectée au système via une ligne de transmission (L3-5) [21].

Les générateurs de la centrale électrique sont constitués de générateurs synchrones conventionnels (SG), SCIG, et DFIG. le système illustré à la figure 2-5 peut être considéré comme trois systèmes distincts où la seule différence entre eux est le type de générateur [22].

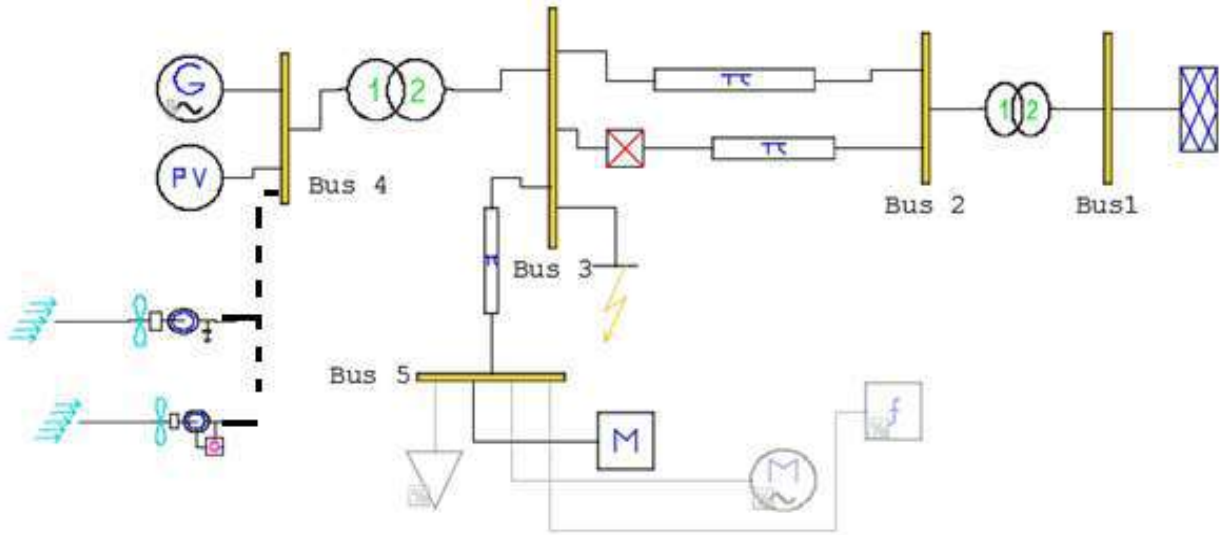


Figure 2-5 système d'étude pour différentes sources de générations.

Le système d'étude illustré à la figure 2-5 est modélisé et simulé à l'aide de la boîte à outils d'analyse du système électrique environnement de simulation (PSAT) où la méthode de Newton-Raphson est sélectionnée pour résoudre le flux de charge. Sur des bases de 100 MVA, les données de système sont incluses dans les tableaux uniquement en annexe. Le tableau A1.1 montre les paramètres p.u du générateur synchrone tandis que, le tableau A1.2 montre les paramètres du SCIG et du DFIG, et A1.3 les données de ligne et transformateur. La charge imposée sur le système (connecté au jeu de barre 5) est de $(4,0 + j1,0)$ pu sur une base de 100 MVA. Les modèles de charge statiques sont pris en compte pour évaluer les performances du système, étudier l'impact des types de variations du mode de génération (synchrone et asynchrone à vitesse fixe et variable). Le jeu de barre 4 est modélisé comme un jeu de barre commandé en tension (c'est-à-dire de type jeu de barre PV) avec un réglage de tension unitaire tandis que le réglage de puissance active maximum est sélectionné pour ce jeu de barre. Pour le réglage du système en tenant compte de divers générateurs, la puissance active est choisie de manière à ce que le système reste stable après avoir été soumis à une contingence spécifiée.

2.12 Ecoulement de puissance et ses résultats de simulation des systèmes étudiés

2.12.1 Sources synchrone et asynchrone liées au jeu de barres infini

La perturbation considérée dans ce cas est un défaut temporellement triphasé à 3 cycles applique de la ligne 2-3(2) à l'instant $t = 0,5$ sec et est éliminé à l'instant $t=0.55$ sec par l'ouverture de la ligne 2-3(2). Les valeurs de puissance maximales pour chacun des modèles de charge illustrés au tableau 2- 1 et la Figure 2-6.

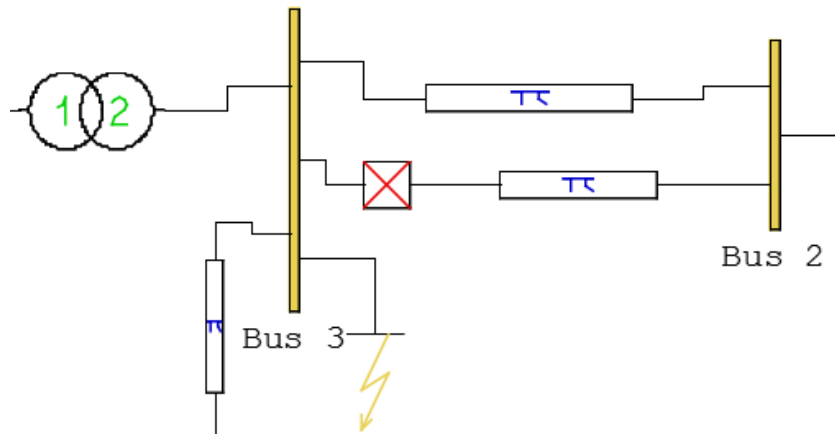


Figure 2-6 emplacements de perturbation dans le système.

Tableau 2-1 Paramètres de puissance maximale generee.

	Case1 (pu)	Case2 (pu)	Case3 (pu)
SG	3	2.7	2.6
DFIG	1	1.3	1.3
SCIG	0.6	0.6	0.6

2.12.2 Analyse du flux de charge (LF)

La principale information de l'analyse du flux de puissance est de trouver l'amplitude et l'angle de phase de la tension à chaque jeu de barres et la puissance réelle et réactive circulant dans chaque ligne de transmission afin de vérifier que tout les tensions des jeu de barre ont une plage de variations acceptable ; généralement entre 0,9 pu et 1,1 pu. les résultats de l'écoulement de puissance montrent que les chute de tension dépendent généralement de la charge et des parametres des lignes. Le tableau2-2 montre les résultats LF pour le système [25].

Tableau 2-2 écoulement de puissance de système étudié dans le cas3.

N jeu de barre	Tension (pu)	Génération		Charge	
		P(PU)	Q(PU)	P(PU)	Q(PU)

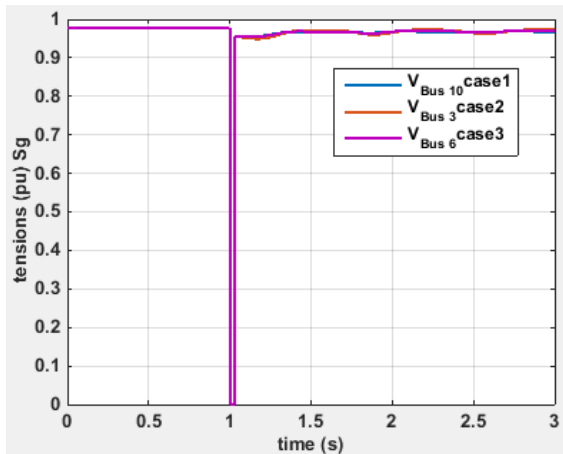
la tension à chaque jeu de barres et la puissance (SG)					
JB1 SG	1.01	0.43568	0.51557	0	0
JB2 SG	0.98	0	0	0	0
JB3SG	0.9764	0	0	0	0
JB4SG	1	2.6	0.64262	0	0
JB5SG	0.96733	0	0	3	0.75
JB6 SG	1.0	0.6	0.05736	0	0
la tension à chaque jeu de barres et la puissance (SCIG)					
JB1 SCIG	1.01	2.516	1.0828	0	0
JB2 SCIG	0.9632	0	0	0	0
JB3 SCIG	0.94	0	0	0	0
JB4 SCIG	0.95	0	0	0	0
JB5 SCIG	0.93101	0	0	3	0.75
JB6 SCIG	0.95304	0	0	0	0
la tension à chaque jeu de barres et la puissance (DFIG)					
JB1 DFIG	1.01	2.1111	1.0739	0	0
JB2 DFIG	0.9557	0	0	0	0
JB3 DFIG	0.94	0	0	0	0
JB4 DFIG	0.9465	0	0	0	0
JB5 DFIG	0.93046	0	0	3	0.75
JB6 SCIG	0.95304	0	0	0	0

- ✚ Qg: La puissance réactive générée [p.u]
- ✚ Pc : La puissance active de la Charge [p.u]
- ✚ Qc: La puissance réactive de la Charge [p.u]
- ✚ Pg : La puissance active générée [p.u]

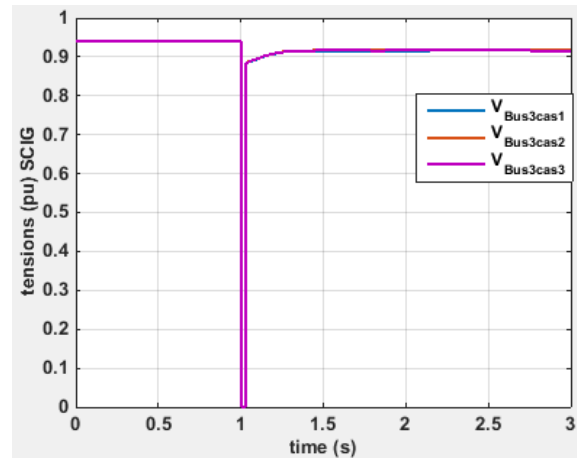
2.12.3 Simulations obtenus

Dans cette section nous aurons étudié l'impact de contingence de type transitoire ainsi la durée critique de défaut. Les équations algébriques et différentielles non linéaires représentant le système sont simulé et résolu par la méthode d'intégration numérique trapézoïdale dans l'environnement PSAT. Le TCE est déterminé par procès et erreur à travers les variations du temps d'élimination du défaut jusqu'à l'instabilité. La comparaison des performance transitoires est réalisée à travers les simulations d'un défaut triphasé inserie au jeu de barres 3 apparu à l'instant $t = 0,5$ sec et est éliminé

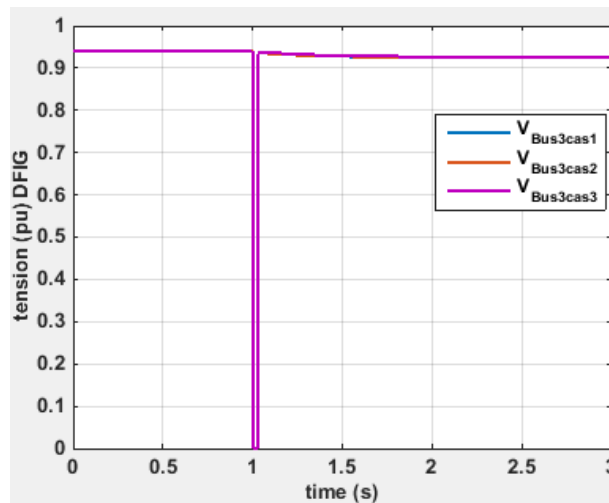
par l'ouverture de la ligne L2-3(2) (voir figure 2-5). Les figures 2-7(a),(b) et(c) illustrent les résultats de simulation des tensions de jeu de barres en défaut pour différentes valeur de puissance générée par les machines, synchrone (generateur synchrone SG), asynchrone à vitesse fixe (SCIG), et asynchrone à vitesse variable (DFIG) respectivement on remarque une ossiations de valeur faible de tension lors le défaute est eliminé pour différents puissance générée dans chaque type de générations on voit une chute de tensions après le défaut des jeux de barres en défaut pour générateur asynchrones.



(a)



(b)



(c)

Figure 2-7 Réponses transitoires des tensions de jeu de barres 3 en défaut pour différentes cas:

(a) SG ; (b) CSIG, (c) DFIG

Les figures 2-8 (a), (b), et (c) montrent les performances transitoire de la tension de jeu de barres en défaut pour chaque cas respectivement en fonction de différents types de sources. d'après les résultats obtenus, nous avons remarqué qu'il y a une chute de tensions avec quelques oscillations au niveau de tous les jeux de barres pour différents types de générations une fois le défaut est éliminé. Les résultats présentés sur la figure 2-8 confirment les temps de stabilité et les taux d'amortissement de DFIG a évidemment des effets d'amortissement significatifs en comparaison avec d'autres techniques, notamment avec des charges statiques composées (cas 1 et 2).

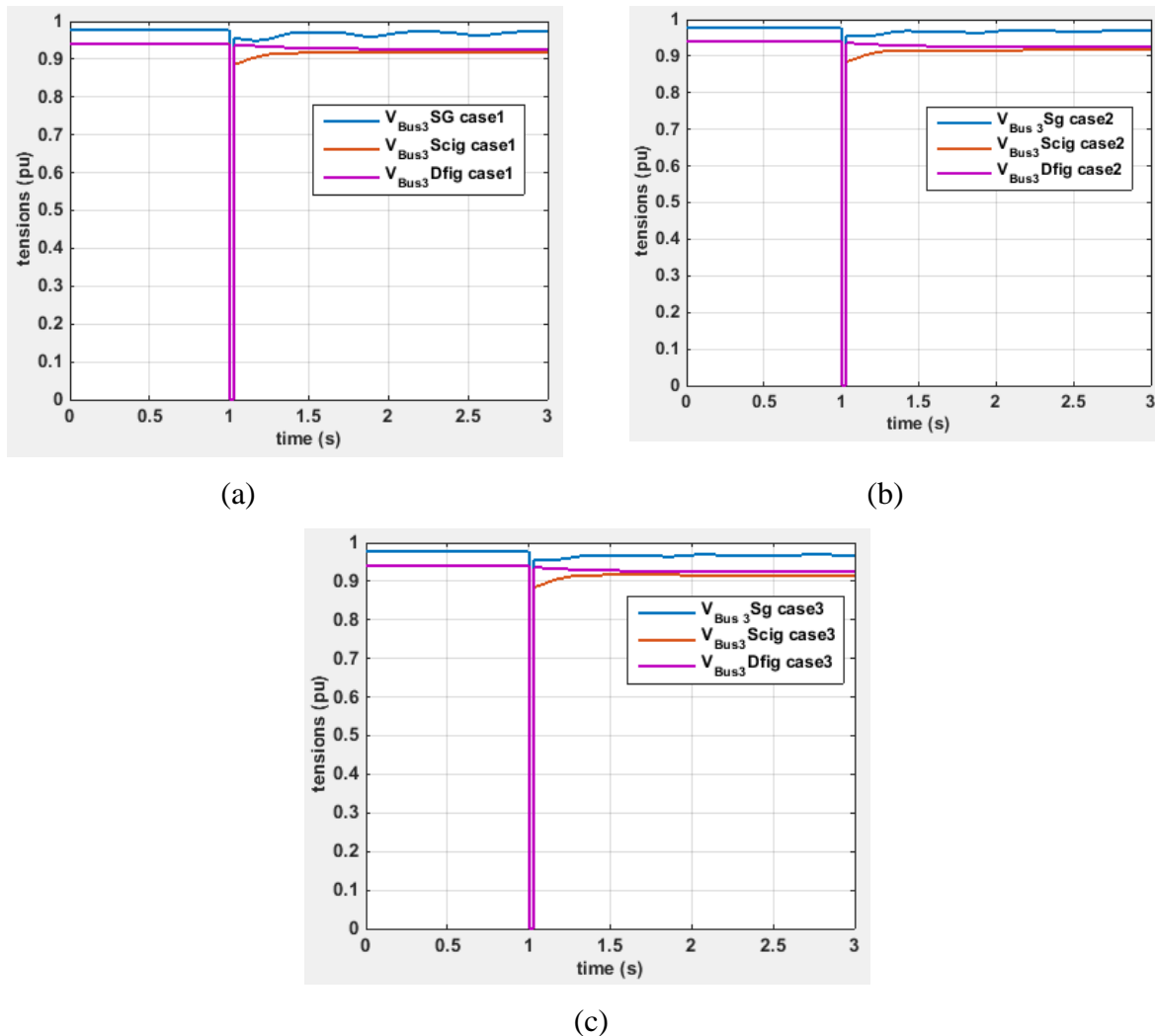


Figure 2-8 Comparaison des performances transitoires des tensions de jeu de barres en défaut de chaque type de génération. (a) Cas 1 ; (b) Cas 2; (c) Cas 3.

À partir de la figure 2-9 (a),(b), et(c). On voit que l'oscillation transitoire de la vitesse des machines utilisé dans le système étudié en présence d'un défaut déclaré auparavant un oscillation

de vitesse est fluctué dès l'apparition de ce contingence pour diverses technologies de générateur sur les performances transitoire affectées par le même modèle de charge puis s'amorce après le défaut vers une état de stabilité pour les machines SG et SCIG, par contre la machine asynchrone DFIG porte des oscillation aléatoire a cause de sa carateristique pour différétes cas et types de génération.

SG montre moins d'oscillations dans la vitesse de rotation et revient à l'état stable après le défaute dans tous les cas étudiés par rapport à DFIG et SCIG illustré à la figure.2-9.

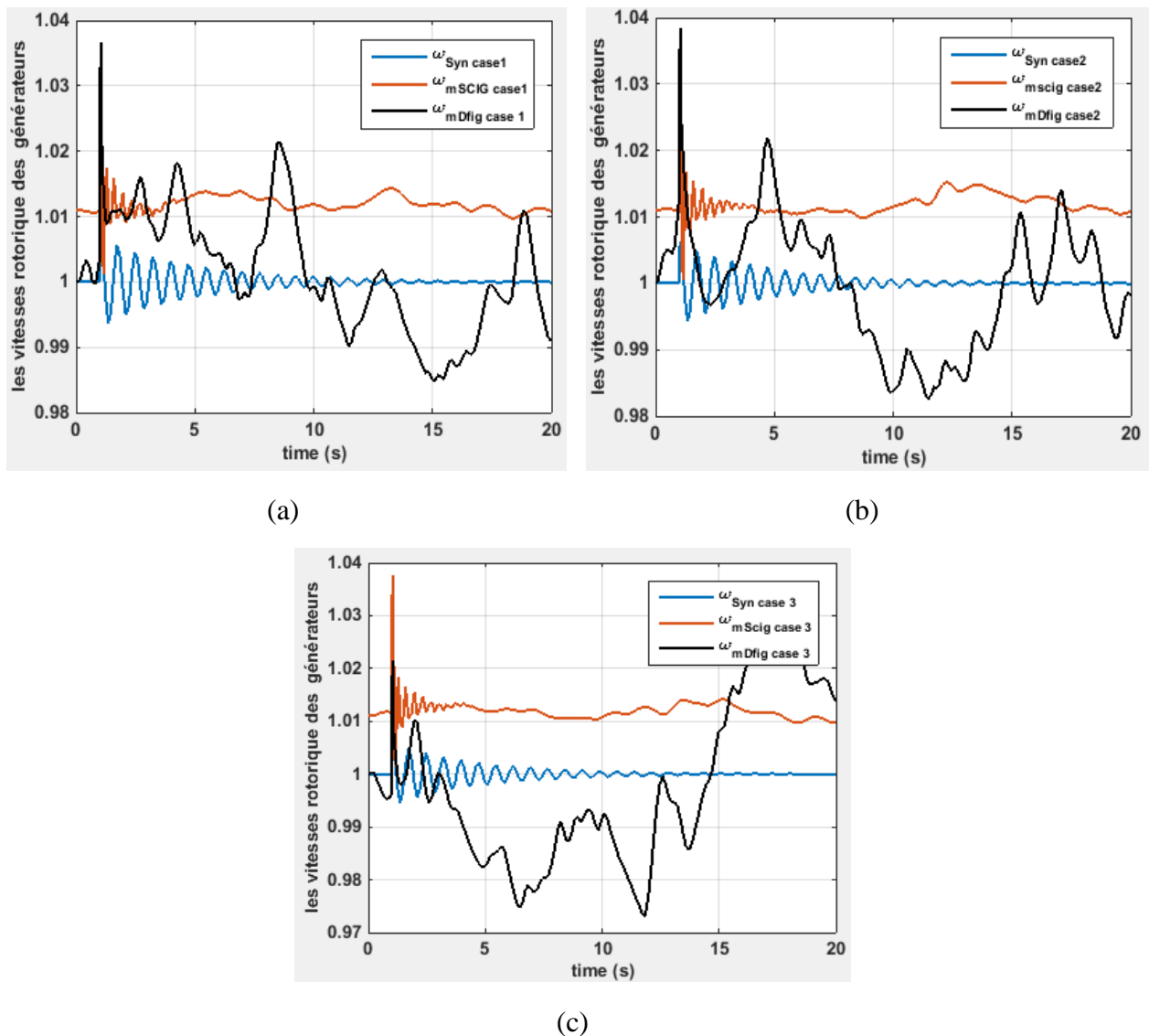


Figure 2-9 vitesses rotorique des générateurs pour chaque cas, SG , SCIG , DFIG.

Les transitoires de puissance active du générateur sont illustrés aux figure2-10 et 2-11. La puissance réactive du générateur SG :

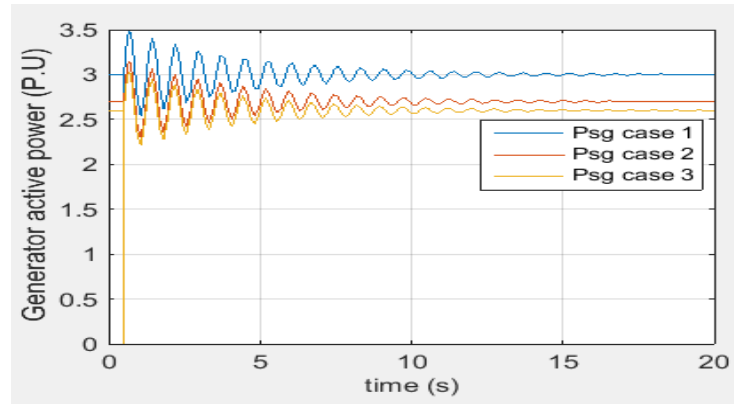


Figure 2-10 Transitoires de puissance active tels qu'affectés par le sechnologies de générateur pour diverses charges SG.

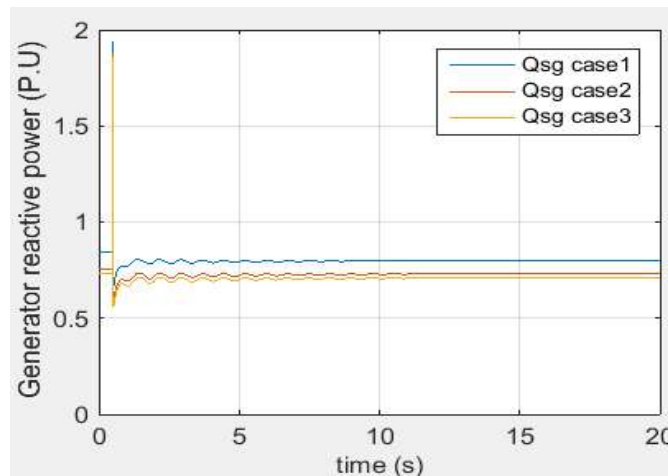


Figure 2-11 Transitions de puissance réactive affectées par les technologies de générateur pour différentes charges SG.33

Le TCE est considéré comme l'un des facteurs majeurs dans l'évaluation de la stabilité transitoire des systèmes électriques. Par conséquent, le TCE prenant en compte diverses technologies de générateurs et modèles de charge est déterminé.

2.13 Sources synchrone et asynchrones lié à un système de 9 jeux de barres

Le système d'étude est illustré à la figure 2-12. Dans laquelle une centrale électrique est

Connectée au réseau rigide via un réseau de transport et les charges locale. Le système de transmission se compose de trois transformateurs et de six lignes. Les charges locales sont connectées au système via les lignes de transmission (L7-5), (L7-8) et (L9-6).

Les générateurs de production sont les générateurs synchrones conventionnels (SG), et on va remplacer (SG), par SCIG, et inséré une machine asynchrone double alimentation DFIG au jeu de barres 6.

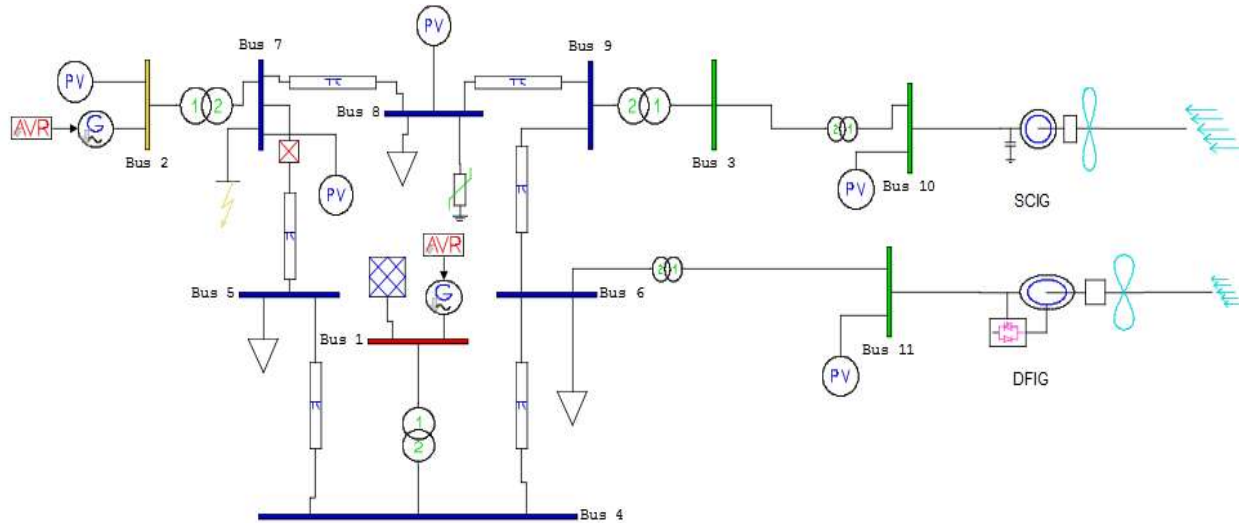


Figure 2-12 Système d'étude avec sources asynchrones.

2.14 Ecoulement de puissance

Tableau (2-3) : écoulement de puissance de système étudié

N jeu de barre	Tension (pu)	Génération		Charge	
		P(PU)	Q(PU)	P(PU)	Q(PU)
1	1.04	0.32131	0.51728	0	0
2	1.025	1.63	0.4912	0	0
3	1.025	0	0	0	0
4	1.0198	0	0	0	0
5	1.0042	0	0	1.25	0.5
6	1.0115	0	0	0.9	0.3
7	0.97513	0	0	0	0

Chapitre 2
obtenus

Simulation interprétation des résultats

8	1	0	0	1	0.35
9	1	0	0	0	0
10	1	0.6	-0.28374	0	0
11	1	1.3	-0.19306	0	0

Les résultats obtenus après l'écoulement de puissance appliqué à un réseau constitué deux source synchrones liés aux jeux de barres 1 et 2, via deux transformateurs, 11 jeux de barres, avec deux sources de type asynchrones liés aux jeux de barres 10 et 11 via ses systèmes de transformations comme cité dans la figure 2-12.

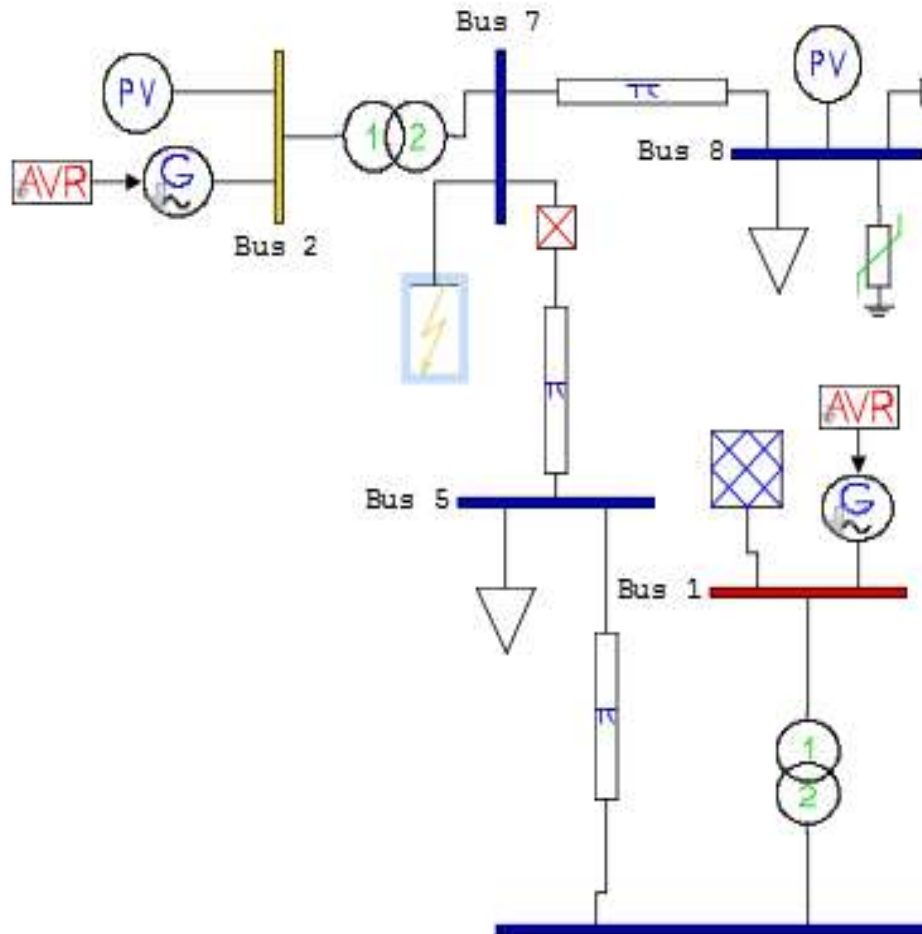


Figure 2-13 Emplacement du défaut (jeu de barres 7).

2.15 Résultats obtenus pour le système à 9 jeux de barres.

La perturbation considérée dans ce cas est un défaut triphasé au jeu de barres 7 apparu à l'instant $t = 0,5$ sec, et est éliminer par l'ouverture de la ligne (7-5) à l'instant 0.55 sec. Les résultats de simulation obtenus sont montrés comme suit:

Pour les vitesses rotoriques des machines asynchrones montré dans la figure 2-14 sont fluctués lors de l'apparition de défaut et se stabilise vers la fin de la simulation notamment le générateur type SCIG. Par contre la machine asynchrone type DFIG, une oscillation de profil de la vitesse apparu dès le début du défaut pour les trois cas étudié et se stabilise vers la fin à une autre valeur différente de l'état initial puisque la topologie du réseau a changé.

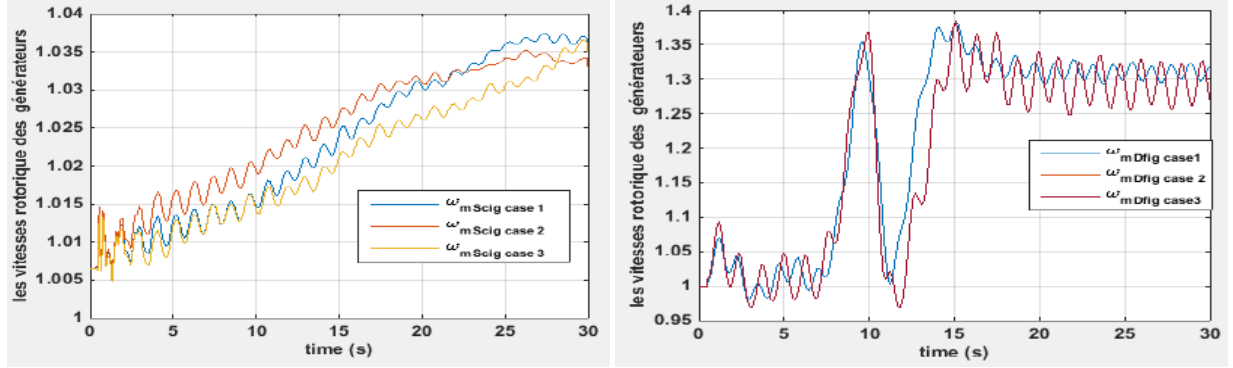


Figure 2-14 Réponses transitoires des vitesses des générateurs asynchrones DFIG, SCIG.

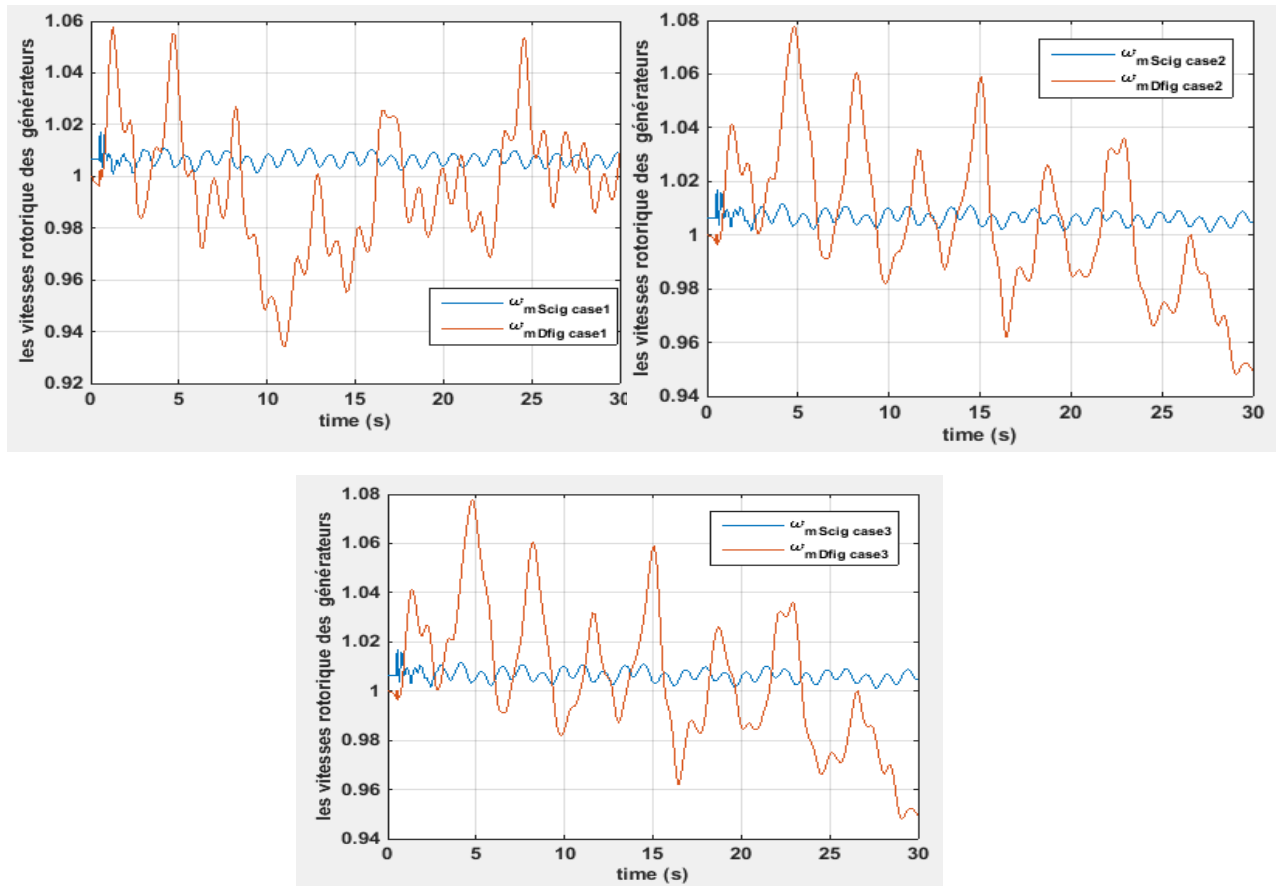


Figure 2-15 performances transitoires des vitesses rotoriques des générateurs de chaque cas pour les générateur DFIG; SCIG.

D'après les résultats obtenus par la figure 2-15, on voit que l'évolution de la vitesse rotorique des cas étudiés pour les machines asynchrones elle est différente pour le générateur DFIG qui dépend de sa caractéristique ainsi de sa puissance fournir, par contre la machine asynchrone SCIG, son évolution reste le même puisque sa puissance produite est la même pour les trois cas.

Les résultats de simulation déclarer dans la figure2-16 représentent l'évolution de la tension de tous les jeux de barres de système, une oscillation est apparu dès l'apparition de défaut puis s'amorce une fois le défaut est éliminé par le débranchement de la ligne 7-5. Illustration 2-5 : on remarque qu'il y a une fluctuation qui est apparue pendant l'erreur jusqu'à 1,0443 [pu].

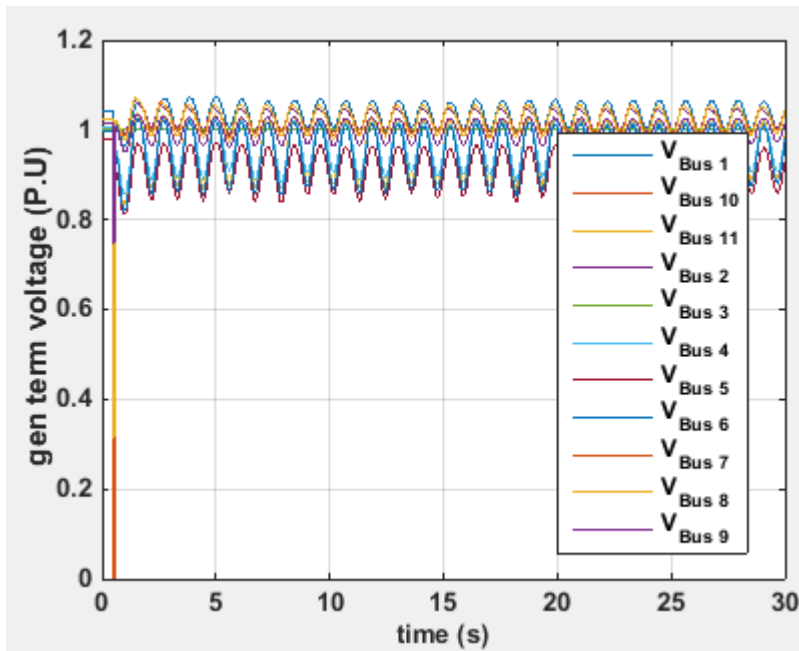


Figure 2-16 L'allure des tensions de Jeu de barre de génération.

L'angle rotorique représenté par la figure 2-17 montre une grande évolution lors de défaut des machines synchrones, et une variation de fréquence d'ordre de 0.013pu pour la première oscillation comme représente la figure 2-18 puis s'amortie vers un état de stabilité. La figure 2-19 montre l'évolution de la vitesse des machines asynchrones à vitesse fixe et variable pour tous les cas étudiés (tableau2-1), on voit que l'oscillation de ces machines asynchrones est importante pour la machine asynchrone d double alimentation (DFIG) par rapport à celle de la vitesse fixe (CSIG) puisque la première portes des puissance importantes.

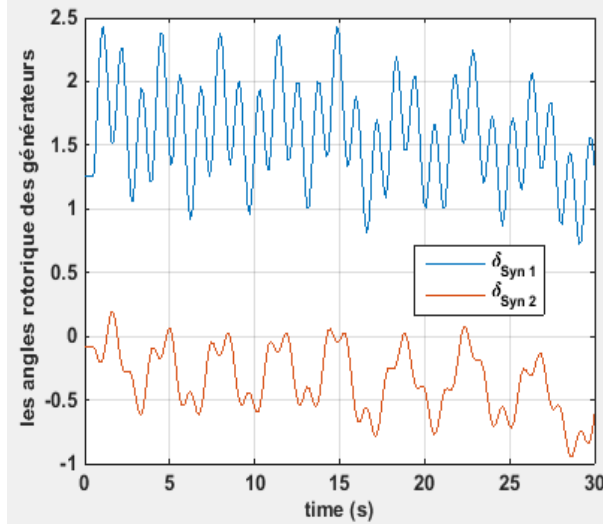


Figure 2-17 les angles rotorique des générateurs.

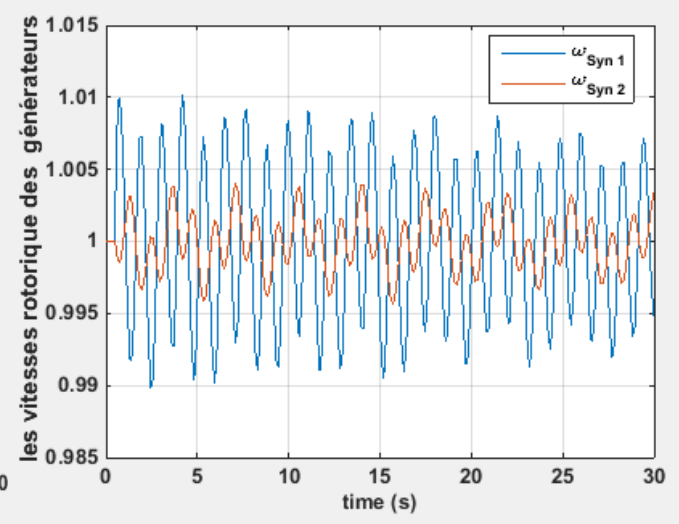


Figure 2-18 les vitesses rotorique des générateurs.

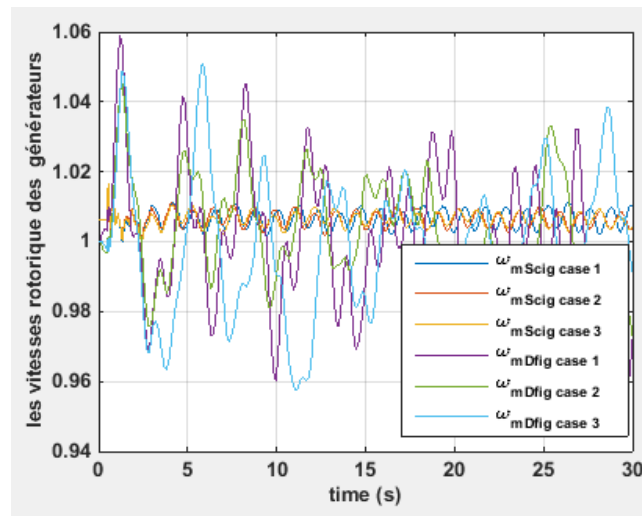


Figure 2-19 Comparaison des performances transitoires des tensions aux bornes du générateur Cas 1; Case 2 ; Case 3 des tensions aux bornes du générateur DFIG; SCIG.

2.16 Résultats obtenus dans un système de 9 jeux de barre en présence du STATCOM

Après avoir ajouté des dispositifs statcom FACTS pour réduire les fluctuations, réguler la tension et améliorer les performances du système en revenant à un état stable dans les plus brefs délais après un défaut.

Après simulation, nous observons la différence des oscillations de vitesse et d'angle, nous observons une amélioration des fluctuations de vitesse et d'angle du rotor des générateurs (SG) et revenons à l'état stable dans un temps plus court avant d'ajouter statcom illustré à la figure. 20-21.

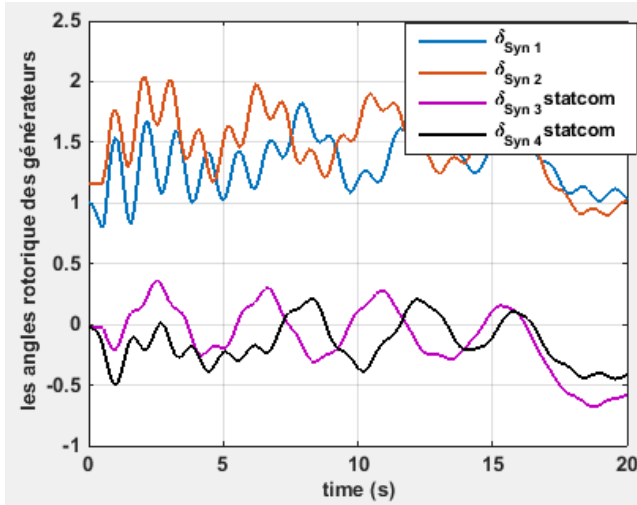


Figure 2-20 Comparaison les angles rotorique des générateurs après avoir ajouté modèle statcom

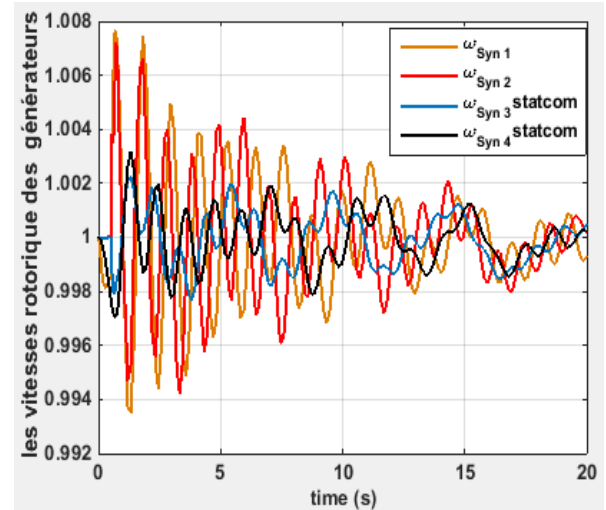


Figure 2-21 Comparaison les vitesses rotorique des générateurs après avoir ajouté modèle statcom

Nous constatons une amélioration significative des fluctuations de vitesse et un retour à l'état stable en moins de temps avant d'ajouter statcom.

SCIG montre une stabilité supérieure à l'oscillation par rapport à DFIG illustré sur la figure2-22.

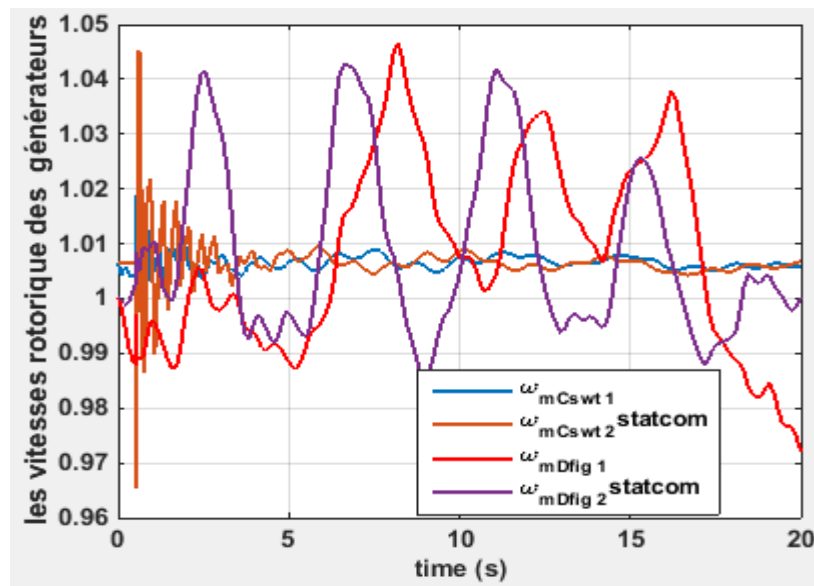


Figure 2-22 Comparaison les vitesses rotorique des générateurs SCIG , DFIG après avoir ajouté modèle statcom

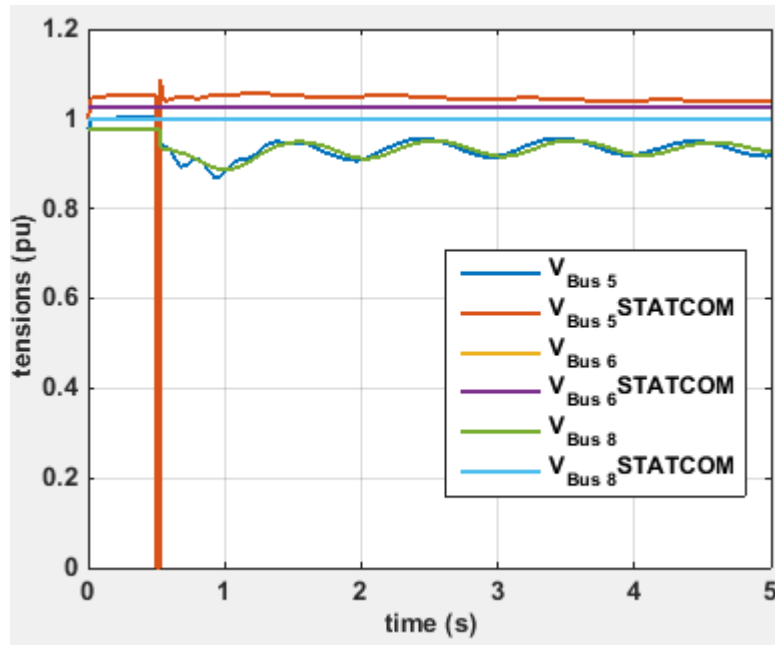


Figure 2-23 Comparaison L'allure des tensions de Jeu de barre de génération après avoir ajouté modèle statcom

Les résultats de la simulation ont montré une meilleure performance de stabilité et de régulation de la tension pour tous les jeu de barre dans un temps plus court par rapport à l'absence du statcom illustré à la figure2-23.

2.17 Conclusion

Toutes les technologies de génération sont capables de fournir une tension acceptable au niveau du jeu de barre de charge ; en présence des charges, la tension devient dans leurs limites de stabilité et une fois le défaut est éliminé les lignes commencent à fonctionner comme l'état initial.

SCIG montre une récupération supérieure en stabilité par rapport à SG et DFIG.

Après avoir ajouté des appareils FACTS tels que statcom pour l'amélioration de la stabilité du système de transmission énergétique par l'atténuation des oscillations et les perturbations créées au niveau des lignes par un défaut en temps réel de fonctionnement.

Afin d'arriver à une stabilité statique du système de transmission d'énergie grâce à le dispositif ajouté (statcom), on peut dire que les paramètres électriques les importants en fonctionnement (courant, tension, puissance) sont gradés dans les meilleurs états de bon fonctionnement ce qui nous conduisons à l'amélioration de la performance du système de transport d'énergie. Les résultats obtenus par la simulation montrent une meilleure performance de la stabilité du parc éolien par rapport à Compensation statcom en cas d'un défaut.

CONCLUSIONS GENERALES

Conclusions générales

Les éoliennes sont un moyen écologique de produire de l'énergie. En effet, dans le réseau électrique d'un pays, les grandes éoliennes sont appelées fermes (ou Jardins) qui constitue une centrale électrique pour éoliennes. J'ai traité le cas dans ce mémoire effet dynamique d'une ferme éolienne et l'amélioration de l'atténuation des oscillations lors d'une contingence au réseau électrique. Cette étude constitue un sujet important dans l'amélioration et le renforcement des réseaux électriques.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté et rappelé les concepts de base de la chaîne de conversion de l'énergie éolienne en énergie électrique, et dans ce chapitre il a été montré que la production d'énergie électrique par les éoliennes se divise en : deux catégories, l'une fonctionnant à un vitesse constante et l'autre à vitesse variable.

Une fois que nous parlons de turbines, nous parlons de stabilité, c'est pourquoi nous avons dans le deuxième chapitre traite de la stabilité du réseau électrique et des moyennes améliorations de la stabilité transitoire en utilisant les systèmes FACTS modernes (STATCOM).

La partie simulation de ce mémoire est consacrée à l'étude de la stabilité des parcs éoliens raccordement à un réseau électrique en présence et absence d'un appareil STATCOM et étude de stabilité transitoire lors d'un défaut électrique affectant ces réseaux démontre l'effet de l'intégration des parcs éoliens dans le réseau électrique et moyens de compensation pour améliorer la stabilité transitoire du système électrique enfin, on peut dire que les systèmes FACTS (STATCOM) découlent d'un concept de son tendance à l'échelle.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **Pacific Northwest Laboratory**, « Wind Energy Resource Atlases », Vol. 1 et 2PNL-3194. Pacific Northwest Laboratory Richland, Washington, D.C., USA, 1981

[2] **Boughezala Mohammed Salah**, «Etude et simulation d'un coupleur de signaux HF Pour réseaux d'énergie électrique », thèse de doctorat, Université de Biskra, 2013.

[3] **Merlin Gerin**, « Protection des réseaux électriques », PozzoGrosMonti, Italie 2003.

[4] **Schneider Electric**, « Les architectures de réseaux ».

[5] **b. Mohammed Salah**, «Etude et simulation d'un coupleur de signaux HF pour réseaux d'énergie électrique », thèse de doctorat, Université de Biskra, 2013.

[6] **E. G. SHAHRAKI** «Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des Réseaux électriques. Thèse Doctorat Soutenue publiquement le 13 Octobre 2003»

[7] **T. Be1kacem**, Modélisation et Commande Floue Optimisée d'une Génératrice à Double Alimentation, Application à un Système Éolien à Vitesse Variable, mémoire de magister, (2010), Université de Batna, Algérie.

[8] **Radia**, Étude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne, mémoire de Magister, (2009), Université Mentouri de Constantine, Algérie.

[9] **K.SAOUDI** «Stabilisateurs intelligents des systèmes électro-énergétiques. Thèse Doctorat Soutenue publiquement le 02 novembre 2014 devant»

[10] **ABDELHAMID LILIA**: Contribution à l'Amélioration des Performances des Générateurs Eoliens - Evaluation de l'Impact des Energies Renouvelables sur L'Environnement Thèse 26/04/2012 Université Hadj Lakhdar de Batna

[11] **CUONG HUNG TRAN**: Améliorations d'une chaîne de conversion de l'énergie solaire en électricité autonome en vue d'application dans les pays en voie de développement Thèse 22 janvier 2019 UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES TECHNOLOGIE SANTE (547)

[12] **V.Courtesuisse**, «supervision d'une centrale multi sources à base d'éoliennes et de Stockage d'énergie connectée au réseau électrique» Thèse de doctorat en génie électrique, Ecole nationale d'Arts en métiers, 2008.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [13] **N. La verdure**, D. Roye, S. Bacha, R. Belhomme, "Technologie des systèmes Éoliens – intégration dans les réseaux électriques", la Revue 3EL, no. 39, 2004
- [14] **M.HACIL**« Amélioration des Performances des Energies Eoliennes Thèse Doctorat Soutenue publiquement le 03 / á05 / 2012»
- [15] **Energie éolienne**, Théorie, conception et calcul pratique des installations, Désiré Le Gourières, Edition EYROLLES, 1980
- [16] **S. NOUHOU**, Étude du Générateur Asynchrone pour l'utilisation dans la production Del 'énergie éolienne, Thèse (2007), École Nationale Polytechnique, Algérie.
- [17] **F.Kreith and D. Yogi Go swami**, Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy, Pages 22-1-22-30, Ltd, 2007.
- [18] **B. MULTON, G. ROBIN, O. GERGAUD, H. BEN AHMED**, "Le Génie Electrique dans le vent: état de l'art et recherches dans le domaine de la génération éolienne", congrès Jeunes Chercheurs en Génie Électrique 2003, SAINT NAZAIRE: France(2003).
- [19] **F. ZITOUNI**" Amélioration De La stabilité Transitoire Des réseaux électrique par L'utilisation Des Systèmes FACTS " Thème de Magister de Université de Ferhat Abbas Sétif 2010.
- [20] **M. EL-Shimy**, Dynamic Security of Interconnected Electric Power Systems - Volume 2: Dynamics and Stability of Conventional and Renewable Energy Systems: LAP Lambert Academic Publishing/Omniscryptum Gmbh & Company Kg; Germany; ISBN: 978-3-659-80714-5, 2015.
- [21] **P. Kundur**, Power system stability and control: McGraw-hill New York, 1994
- [22] **T. Ackermann**, Wind power in power systems: John Wiley & Sons, 2005.
- [23] **M. Mandour, M. EL-Shimy**, F. Bendary et al., "The Design of POD Considering Conventional and Renewable Power Generation, International Electrical Engineering Journal (IEEJ) vol. 6, no. 7, pp. 1962-1972, 2015.
- [24] **M. El-Shimy**, "Modeling and analysis of reactive power in grid-connected onshore and offshoreDFIG-based wind farms, Wind Energy, vol. 17, no. 2, pp. 279-295, 2014.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[25] M. EL-Shimy, N. Mostafa, A.N. Afandi, A.M. Sharaf, M.A. Attia, Impact of load models on the static and dynamic performances of grid-connected wind power plants: A comparative analysis, Math. Comput. Simulation (2018),

Données du système d'étude

Tableau A1.1: Données du générateur synchrone.

Parameter	valeur
Ordre dynamique de la machin [44,46]	4
P.U Résistance statique (r_a)	0.0000
Réactance de fuite (x_l) P.U	0.0000
Réactance en régime permanent en axe direct [$x_d, x'd, x''d$] P.U	[0.8958, 0.1198, 0.0000]
Constantes de temps de circuit ouvert d'axe direct en sec [$T'do, T''do$] sec	[6.00, 0.00]
Réactance en quadrature [$x_q, x'q, x''q$] P.U	[0.8645, 0.1969, 0.0000]
Constantes de temps de circuit ouvert en quadrature en sec [$T'qo, T''qo$] sec	[0.5350, 0.000]
Inertie en sec. ($M=2H$) et amortissement en P.U	[12.80, 0.0000]

Tableau A1.2 : Données sur les éoliennes

parameter	Valeur	
	SCIG	DFIG
Résistance statorique (r_s) PU	0.01	
Résistance de rotor (r_r) P.U	0.01	
Réactance de fuite de stator (x_s) PU	0.1	
Réactance de fuite de rotor (x_r) PU	0.08	
Réactance mutuelle (x_m) P.U	3	
Constante d'inertie du générateur (H_m) sec	0.5	
Constante d'inertie de la turbine () sec	2.5	
Rigidité de l'arbre *	0.2	-
Gain de contrôle de hauteur	10	
Constantes de temps du contrôleur de hauteur en sec	2	
Gain de contrôle de tension (K_1)	-	10
Constantes de temps du contrôle de puissance (T_2) sec	-	0.01

Annexe

Tableau A1.3 : Données des lignes et des transformateurs

parameter	valeur			
	L2-3(1) et L2-3(2)	L3-5	T1	T2
Longueur en Km	10	3	-	-
Réactance en pu (H/Km)	0.002	0.001	0.0625	0.0576
Résistance en pu (ohm/ Km)	0.0002	0.0001	0	0
Susceptance en pu (F/Km)	0.0035	0.00175	-	-