

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 :

Djebbas Imade Eddine

Bennacer Saber

Thème :

# **Performances du modèle détaillé du générateur synchrone sur la stabilité transitoire d'un réseau électrique**

Soutenu publiquement

Le :02/06/2024

Devant le jury :

Mr Boukaroura Abdelkader

MCB Président UKM Ouargla

Mr Bouhadouza Boubekour

MCB Encadreur UKM Ouargla

Mr Saadaoui Fares

MCA Examineur UKM Ouargla

Année universitaire 2023/2024

## Remerciements

Au nom d'Allah, le tout miséricordieux.

Ce n'est pas parce que la tradition exige que cette page se trouve dans ce travail, mais parce que les gens à qui s'adressent nos remerciements les méritent vraiment.

Tout d'abord, nous souhaitons remercier notre encadreur Mr. **BOHADOUZA BOUBEKEUR** de nous avoir donné le privilège d'encadrer notre travail, il fin d'étude. Des remarques et suggestions nous ont permis de bien mener ce mode de travail.

Aussi, nous tenons à présenter nos remerciements aux membres de jurys, **Mr.BOUKAROURA ABDELKADER** et **Mr.SADAOUI FARES**. Nous tenons également à première les enseignants et l'équipe administrative de la faculté des sciences et technologies.

Enfin, nous tenons à témoigner toute notre gratitude à tous ceux qui nous ont soutenus et aidés durant la réalisation de ce travail.

## Dédicace

Louange à Dieu Tout-Puissant, qui nous a permis de voir ce jour tant attendu

Nous témoignons le fruit de notre dur labeur à :

Notre famille, dont l'exhort<sup>2</sup>e n'a cessé d'être un levier à notre rendement

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer ...

A nos amis Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer notre affection et  
notre pensées, vous êtes pour nous des sœurs et des amies sur qui nous pouvons compter.

En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons  
passés ensemble, nous vous dédions ce travail et nous vous souhaitons une vie pleine de santé

et de bonheur.

# SOMMAIRE

Liste de figures.....	2
Liste de tableaux.....	2
Introduction générale.....	2
<b>1 Notion théorique de système de puissance étudié.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Stabilité des Réseaux Electriques.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1 Classification de Stabilité.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Model dynamique de générateur.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.1 Model d'une machine synchrone de 6<sup>ème</sup> ordre :.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.2 Model d'une machine synchrone de 4<sup>ème</sup> ordre.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.3 Model d'une machine synchrone de 3<sup>ème</sup> ordre.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3.4 Model d'une machine synchrone de 2<sup>ème</sup> ordre (model classique).....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 L'excitateur.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.1 Éléments d'un système d'excitation.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 Stabilisateur de puissance PSS.....</b>	<b>8</b>
<b>1.6 Conclusion.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Chapitre 02, Résultats De Simulation Et Leurs Interprétations.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Introduction :.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Représentation de système étudié.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Simulation et interprétation des résultats :.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1 1er scénario : model classique des générateurs.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2 2<sup>ème</sup> scenarios : modèle détaillé des générateurs.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.3 Effet de temps critique d'élimination de défaut.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Conclusion.....</b>	<b>19</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>21</b>
<b>Bibliographiques.....</b>	<b>22</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>23</b>

## Liste de figures

<b>Figure 1-1</b> , classifications de stabilité des réseaux électrique .....	4
<b>Figure 1-2</b> , Variation de l'angle de rotor, Cas 1 : instabilité de première oscillation, Cas 2 : instabilité de multi-oscillations. ....	4
<b>Figure 1-3</b> , Schéma fonctionnel du système d'excitation d'une génératrice .....	7
<b>Figure 1-4</b> , système d'excitation type DC .....	8
<b>Figure 1-5</b> , Modèle simplifié de liaison entre un PSS et le système. ....	8
<b>Figure 1-6</b> , Modèle d'un PSS avance/retard.....	9
<i>Figure 2-1</i> , structure de réseau étudié.....	11
<b>Figure 2-2</b> , Amplitude des tensions des jeux de barres .....	13
<i>Figure 2-3</i> , tension des générateurs .....	14
<i>Figure 2-4</i> , tension de jeu de barres en défaut et adjacent.....	15
<i>Figure 2-5</i> , erreurs de vitesse des générateurs .....	15
<i>Figure 2-6</i> , angle relative des générateurs.....	15
<i>Figure 2-7</i> , évolution de la puissance produite par les générateurs .....	16
<i>Figure 2-8</i> : Tensions des JBS des générateurs proches de défaut.....	17
<b>Figure 2-9</b> , tensions de JB en défaut et adjacents.....	17
<b>Figure 2-10</b> , Angle relative2ci-dessus des Generateurs.....	18
<b>Figure 2-11</b> , puissance generee des generateurs les plus proche de défaut .....	18
<i>Figure 2-12</i> , erreur de vitesse de générateur lie au JB61 .....	19
<i>Figure 2-13</i> , puissance de de générateur lie au JB61 .....	19
<i>Figure 2-14</i> , erreur de vitesse lie au JB60.....	19
<i>Figure 2-15</i> , puissance de de générateur lie au JB60 .....	19

## Liste de tableaux

<b>Tableau 2-1</b> , les donnés des générateurs synchrones .....	11
<b>Tableau 2-2</b> , jeux de barres raccordes aux générateurs .....	12

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

$E'_{d,q}$  : tension transitoire dans les axes d, et q ;

$E_{fd}$  : tension interne de générateur ;

$H$  : constante d'inertie ;

$I_{d,q}$  : courant dans les axes d, et q ;

$T'_{d0,q0}$  : constante de temps transitoire sur les axes d et q ;

$T''_{d0,q0}$  : constantes de temps sub-transitoire sur d et q ;

$T_{FW}$  : complément d'atténuation du couple mécanique ;

$T_M$  : couple mécanique ;

$X'_{d,q}$  : réactance transitoire sur les axes d et q ;

$X''_{d,q}$  : réactance sub-transitoire sur les axes d et q ;

$X_{ls}$  : réactance mutuelle ;

$\delta$  : angle rotorique ;

$\psi_d$  : flux mutuelle des enroulement sur l'axe d ;

$\psi_q$  : flux mutuels des enroulements sur l'axe q ;

$\omega$  : vitesse rotorique ;

$\omega_s$  : vitesse de référence.

## Introduction générale

Les réseaux électriques sont souvent sujets à des perturbations. Ces perturbations telles que le court-circuit, les variations brusques de charge, les pertes de lignes de transmission, etc. affectent les points de fonctionnement des machines synchrones et les conduisent généralement à la perte de la stabilité. Alors, le système est défini stable si toutes les machines peuvent suivre les changements sans perdre le synchronisme.

La stabilité transitoire correspond à la stabilité d'un réseau électrique siège d'une perturbation rapide et sévère. Ces grandes perturbations sont généralement engendrées par des courts-circuits ou l'arrêt d'une charge suite à l'isolement d'un élément en défaut. 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 sa stabilité transitoire.

La stabilité d'un réseau peut être divisée selon la nature physique grandeur électrique perturbée en trois types : la stabilité angulaire, la stabilité en fréquence et la stabilité de tension.

Ce mémoire vise principalement à analyser sous les effets du modèle détaillé de la machine synchrone en présence d'un système d'excitation et de stabilisateur de puissance pour l'amélioration sur la stabilité transitoire d'un réseau électrique

Le présent mémoire est composé de 2 chapitres suivants :

- Le premier chapitre apporte une mise en contexte , présente quelques définitions de base, les modèles de la machine synchrone classique ou détaillés.
- Le deuxième chapitre remarque les résultats de simulation et leur interprétation.



# **Chapitre 1**

## **Notions théoriques du système de puissance étudié**

## **1 Notion théorique de système de puissance étudié**

### **1.1 Introduction**

L'énergie électrique joue un rôle très important dans la conjoncture économique et industrielle mondiale actuelle ainsi que dans la vie quotidienne des ménages. Le maintien d'une production sans coupure et respectant le niveau de qualité exigé est vital pour le bien-être des économies ainsi que des sociétés. Afin d'attendre à ce niveau de performance de l'énergie électrique, des études de la stabilité des réseaux électriques sont régulièrement réalisées par les professionnels du domaine. Ces études de stabilité sont principalement utilisées comme des outils d'aide à la décision permettant d'adopter les meilleures actions afin de garantir une production d'électricité aux niveaux de fiabilité exigés. [1]

Dans ce chapitre, nous présenterons tous les aspects théoriques liés à la stabilité de système de puissance en présence de système d'excitation, et de stabilisateur de puissance (PSS). Ce dernier sera comparé avec le système sans ses éléments de régulation.

### **1.2 Stabilité des Réseaux Electriques**

L'électricité ne pouvant pas être stockée sur le réseau de transport, il est nécessaire que l'injection de courant et le soutirage soient toujours égaux. En d'autres termes, la production et la consommation d'énergie doivent toujours être à l'équilibre. C'est cet équilibre qui garantit la sécurité et la stabilité de l'exploitation du réseau à une fréquence constante.

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 un déséquilibre entre la production et la consommation dans le réseau électrique. Ce déséquilibre induit la variation de l'énergie cinétique provoquant ainsi l'évolution des angles rotoriques accompagnées par des oscillations dynamiques. [2]

#### **1.2.1 Classification de Stabilité**

##### **1.2.1.1 Stabilité statique**

On dit qu'un réseau d'énergie électrique est stable en régime statique si suite à une perturbation quelconque infiniment petite, il retrouve un état de marche synchrone identique au régime initial ou infiniment voisin. [3]

**1.2.1.2 Stabilité dynamique**

Elle concerne la capacité du système de puissance à maintenir le synchronisme sous des petites perturbations. Les perturbations sont considérées comme oscillations faibles. Une autre définition peut être donnée à la stabilité à petite perturbation qui consiste à dire qu'un réseau d'énergie électrique est dit stable si suite à une perturbation quelconque infiniment petite, il retrouve un état de fonctionnement synchrone, identique ou infiniment proche de l'état d'origine [4].

**1.2.1.3 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 du réseau électrique est nécessaire pour l'évaluation de la stabilité transitoire. [5]

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

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. [6]

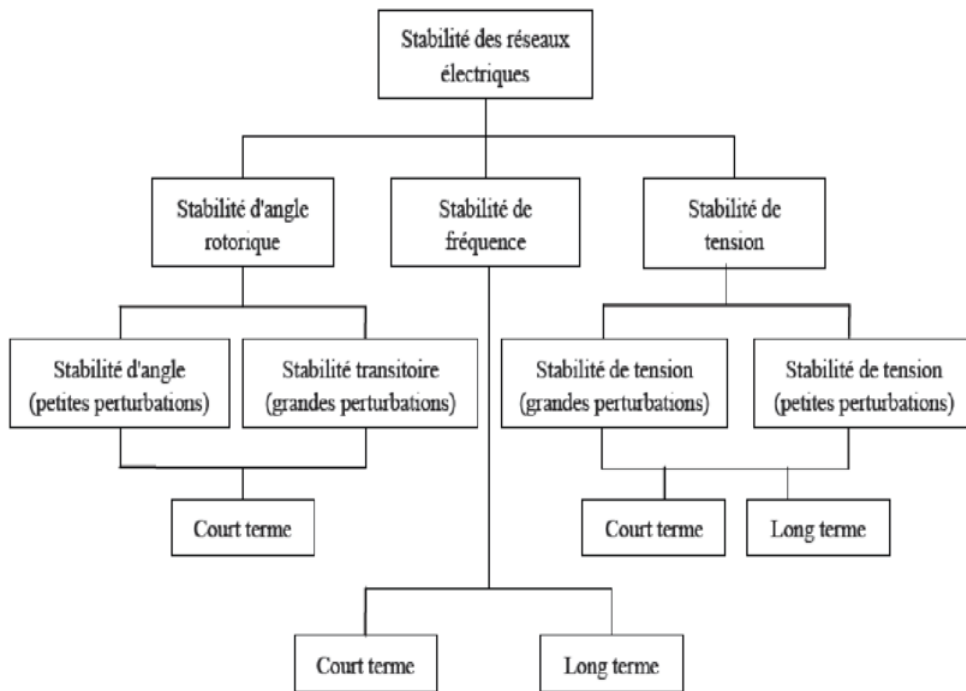


Figure 1-1, Classifications de stabilité des réseaux électriques

Dans la pratique, la manière d'analyse de la stabilité transitoire est le chemin temporelle de variables inertielles et non inertielles après l'apparition de défaut. L'évolution des angles relatifs des machines donne l'état de système (stable/instable). Donc il y a trois cas le distinguer : 1. Le cas stable, l'angle de rotor devient stable après la perturbation ; 2. Le cas instable, l'angle de rotor augmente dans le temps dès la première oscillation (first swing instability) comme représenté dans la figure 1-2, (cas1). 3. Dans le cas où le générateur est stable dans la première oscillation, mais cette oscillation augmente en amplitude puis donne une instabilité de générateur. Cette forme d'instabilité se produit lorsque l'état de système après le défaut ne remplit pas les conditions initiales (figure1-2, cas2). [7]

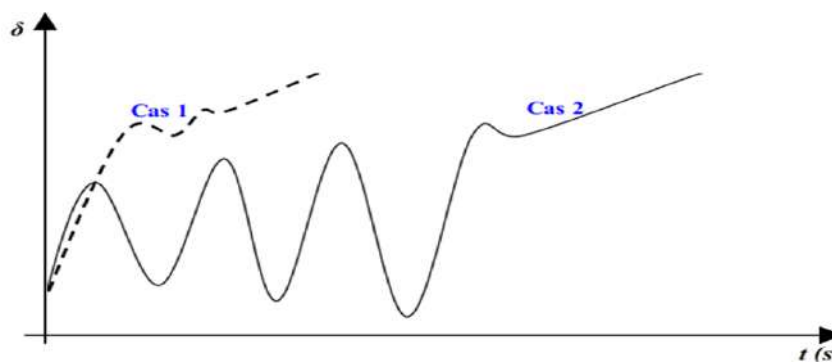


Figure 1-2, Variation de l'angle de rotor, Cas 1 : instabilité de première oscillation, Cas 2 : instabilité de multi-oscillations.

### 1.3 Model dynamique de générateur

La modélisation dynamique non-linéaire de machine synchrones demandées par les simulations avec ces machines nous contraint à utiliser des modèles pour les études de stabilité des alternateurs connectés au réseau. Les modèles non-linéaires sont utilisés pour les régimes établis et les régimes transitoires des machines à courant alternatif ont été développés par de nombreux auteurs dans la littérature [8] :

Les équations suivantes montrent les différents modèles des machines synchrones (générateurs) adoptés dans la référence cité auparavant :

#### 1.3.1 Model d'une machine synchrone de 6<sup>eme</sup> ordre :

Ce model comporte quatre enroulements, deux pour l'axe quadratique, et deux pour l'axe direct. l'analyse dynamique, ou en utilise le modele de la machine synchrone de 6eme ordre, ses équations sont décrites comme suit : [9]

$$T'_{do} \frac{dE'_{q0}}{dt} = -E'_{qi} - (X_{di} - X'_{di}) \left[ I_{di} - \frac{X'_d - X''_d}{(X'_d - X_{ls})^2} (\psi_{1d} + (X'_d - X_{ls})I_d + E'_q) \right] + E_{fd} \quad (1)$$

$$T''_{do} \frac{d\psi_{1d}}{dt} = -\psi_{1d} + E'_q - (X'_d - X_{is})I_d \quad (2)$$

$$T'_{q0} \frac{dE'_d}{dt} = -E'_d - (X_q - X'_q) \left[ I_q - \frac{X'_q - X''_q}{(X'_q - X_{is})^2} (\psi_{2q} + (X'_q - X_{is})I_q + E'_d) \right] \quad (3)$$

$$T''_{q0} \frac{d\psi_{2q}}{dt} = -\psi_{2q} + E'_d - (X'_q - X_{is})I_q \quad (4)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s \quad (5)$$

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} = T_M - \frac{X''_d - X''_{ls}}{(X'_d - X_{ls})} E'_q I_q - \frac{X'_d - X''_d}{(X'_d - X_{is})} \psi_{1d} I_q - \frac{X''_q - X''_q}{(X'_q - X_q)} E'_d I_d + \frac{X'_q - X''_q}{(X'_q - X_{is})} \psi_{2q} I_d - (X''_q - X''_d) I_d I_q - T_{FW} \quad (6)$$

Où :

#### 1.3.2 Model d'une machine synchrone de 4<sup>eme</sup> ordre

Ce modelé néglige les flux dynamiques d'atténuation  $\varphi_{1d}$  , et  $\varphi_{2q}$  , et en supposant que  $T''_{d0,q0}$  égale a zéros, le modèle est décrit par les équations suivantes :

$$T'_{do} \frac{dE'_q}{dt} = -E'_q - (X_d - X'_d)I_d + E_{fd} \quad (7)$$

$$T'_{qo} \frac{dE'_d}{dt} = -E'_d + E'_q - (X'_q - X_q)I_q \quad (8)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s \quad (9)$$

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} = T_M - E'_q I_q - E'_d I_d - E'_d I_d - (X'_q - X'_d)I_d I_q - T_{FW} \quad (10)$$

### 1.3.3 Model d'une machine synchrone de 3<sup>ème</sup> ordre

la machine doit être représentée par un model a un seul axe. Donc,  $E'_d$  est éliminé, et  $T'_{q0}$  est égal à zéros les équations de ce model sont représentée :

$$T'_{do} \frac{dE'_q}{dt} = -E'_q - (X_d - X'_d)I_d + E_{fd} \quad (11)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s \quad (12)$$

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} = T_M - E'_q I_q - (X'_q - X'_d)I_d I_q - T_{FW} \quad (13)$$

### 1.3.4 Model d'une machine synchrone de 2<sup>ème</sup> ordre (model classique)

Ce modèle est considéré comme une tension derrière la réactance transitoire et est supposé constant. Le modèle de la machine est comme suit :

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s \quad (14)$$

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} = T_M - \frac{E'V_T}{X'_d} \sin(\delta - \theta_T) - T_{FW} \quad (15)$$

## 1.4 L'excitateur

Le rôle du système d'excitation dans l'amélioration des performances du système de production n'a pas cessé de se développer. Auparavant, les systèmes d'excitation intervenaient manuellement dans la régulation et le maintien constant de la tension et la puissance réactive en sortie des génératrices. L'intégration des régulateurs continus dans les systèmes d'excitations a contribué dans le développement de ceux-ci, permis d'obtenir de meilleurs résultats, et suscité l'intérêt d'un grand nombre d'industriels.

D'un point de vue d'installation électrique, le système d'excitation devrait contribuer au contrôle efficace de la tension et à l'amélioration de la stabilité du système. Cela implique aussi le maintien de la stabilité transitoire en cas de perturbations et de faibles signaux [10]

**1.4.1 Éléments d'un système d'excitation**

Le schéma ci-dessous (Figure 1-3) représente les différentes parties et les éléments d'un système d'excitation appliqué pour les génératrices synchrones.

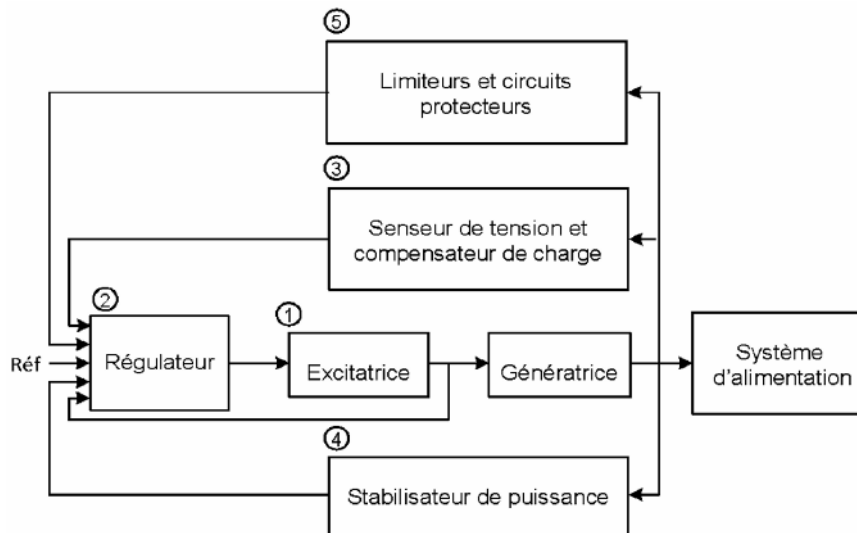


Figure 1-3, Schéma fonctionnel du système d'excitation d'une génératrice

- (1) L'excitatrice : fournit la puissance aux bobines qui créent le champ au rotor.
- (2) Le régulateur : permet de contrôler et stabiliser le signal d'entrée de l'excitatrice.
- (3) Le senseur de tension : mesure la tension aux bornes de la machine,
- Le compensateur de charge : est un élément additionnel et facultatif qui permet de conserver une tension constante en un point particulier distant des bornes de la machine.
- (4) Le stabilisateur de puissance (PSS) : il fournit un signal d'entrée additionnel au régulateur du système d'excitation afin d'amortir les oscillations de puissance à basse fréquence du réseau électrique.
- (5) Les limiteurs et les circuits protecteurs : sont toute une gamme de moyens qui s'assurent que les limites du circuit d'excitation et du générateur ne sont pas outrepassées. Par exemple, limitation du courant d'excitation, limiteur de surexcitation, limiteur de tension et limiteur de sous-excitation.

Le schéma suivant représente le système d'excitation type DC utilisé dans la partie de simulation de notre étude.

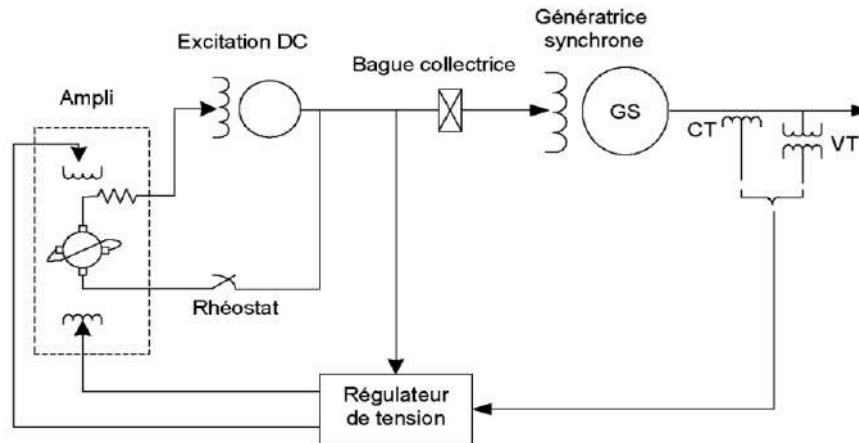


Figure 1-4, système d'excitation type DC

### 1.5 Stabilisateur de puissance PSS

Le stabilisateur de puissance (PSS) utilise des signaux de stabilisation additionnels qui agissent sur le système d'excitation dans le but d'améliorer les performances dynamiques du système électrique global. Généralement les grandeurs utilisées à l'entrée d'un stabilisateur de puissance sont générées par : la vitesse de rotation de l'arbre, la fréquence et la puissance. [10]

Le PSS va s'opposer à toutes les faibles oscillations en forçant le système d'excitation à varier au plus juste et au bon moment.[11]

Par conséquent, l'ensemble du système de contrôle d'excitation PSS doit assurer les points suivants :

- supporter les premières oscillations faisant suite à une grande perturbation ;
- maximiser l'amortissement des oscillations électromécaniques.
- être suffisamment robuste pour permettre au système de contrôle d'assurer ses objectifs pour divers points de fonctionnement probables du système de puissance.

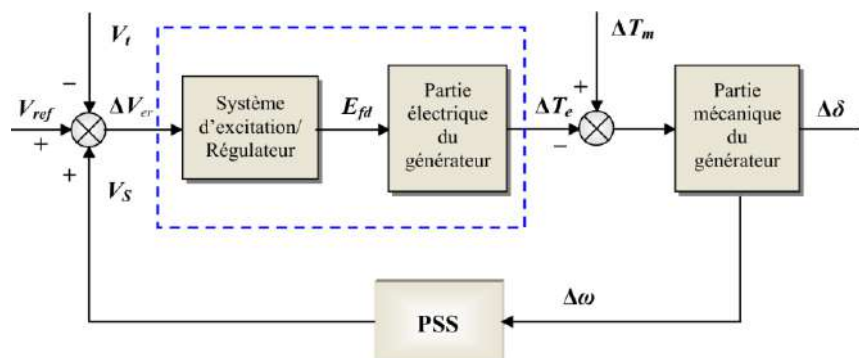


Figure 1-5, Modèle simplifié de liaison entre un PSS et le système.



Le type de PSS utilisé dans la partie de simulation de notre étude est le PSS conventionnel (ou PSS avance/retard), comme représenter dans la figure 1-6.

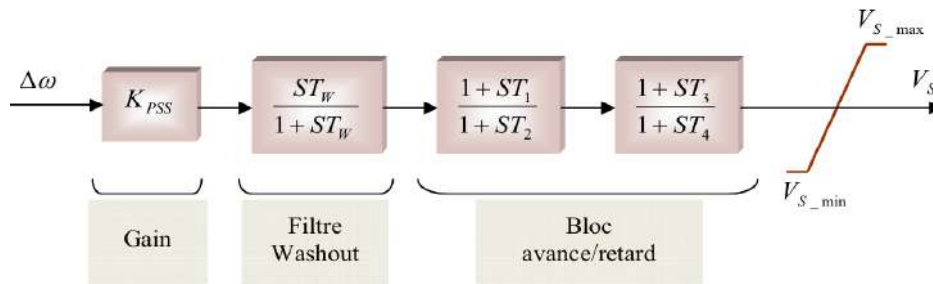


Figure 1-6, Modèle d'un PSS avance/retard.

### 1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présente les différents types de stabilité d'un système de puissance, tel que stabilité statique, dynamique et transitoire. Nous avons aussi donné une modélisation de 6<sup>eme</sup> à 2<sup>eme</sup> ordre des machines synchrones. Nous avons décrit présente sur le rôle des systèmes d'excitation et du stabilisateur de puissance (PSS) dans l'amélioration de stabilité transitoire de système de puissance.

# **Chapitre 2**

## **Résultats de simulation et interprétations**

## 2 Chapitre 02, Résultats De Simulation Et Leurs Interprétations

### **2.1 Introduction :**

Le système électrique actuel doit assurer à la demande une énergie propre et permanente. Face à ce défi, les gestionnaires des réseaux électriques doivent faire face à n'importe quel type de contingence pouvant affecter leurs réseaux. Cependant, le phénomène transitoire influe sur la des réseaux électriques de manière significative sur sa stabilité. La modélisation détaillée de la machine synchrone nous permet d'obtenir des résultats de simulation proche de ceux obtenues par les essais pratiques.

Dans ce chapitre, nous avons étudié la stabilité transitoire d'un réseau électrique à 68 jeux de barres en présence d'un défaut triphasé. Les modèles de la machine synchrone (alternateur) utilisés sont le modèle classique et le modèle détaillé (présence de système d'excitation et le PSS).

### **2.2 Représentation de système étudié**

Le système électrique comprend plusieurs machines de caractère non-linéaire dans les interconnectés entre elles. Donc, toutes les machines fonctionnent en parallèle et à vitesse synchrone dans des conditions de fonctionnement normale. Un réseau électrique composé de 16 machines à savoir le réseau 68 jeux de barres est étudié et analysé (Figure 2-1). L'objectif est de voir le comportement dynamique des machines synchrones avec le modèle classique et détaillé en présence d'un défaut triphasé.

Deux scénarios sont étudiés : modèle classique de la machine synchrone (alternateur) (cas1), et modèle détaillé de l'alternateur (cas2).

Cette étude consiste à analyser le comportement du système avant, pendant et après un défaut triphasé équilibré de 50ms injecté au jeu de barres 28 qui engendre une déconnexion d'une ligne 28-29. Une simulation numérique de l'ensemble de système composé de générateurs, de lignes de transmission, de transformateurs et de charges en utilisant l'outil MATLAB (PST power system

toolbox). La simulation est effectuée en présence d'un défaut symétrique de durée 150 ms dans les deux cas décrits ci-dessus.

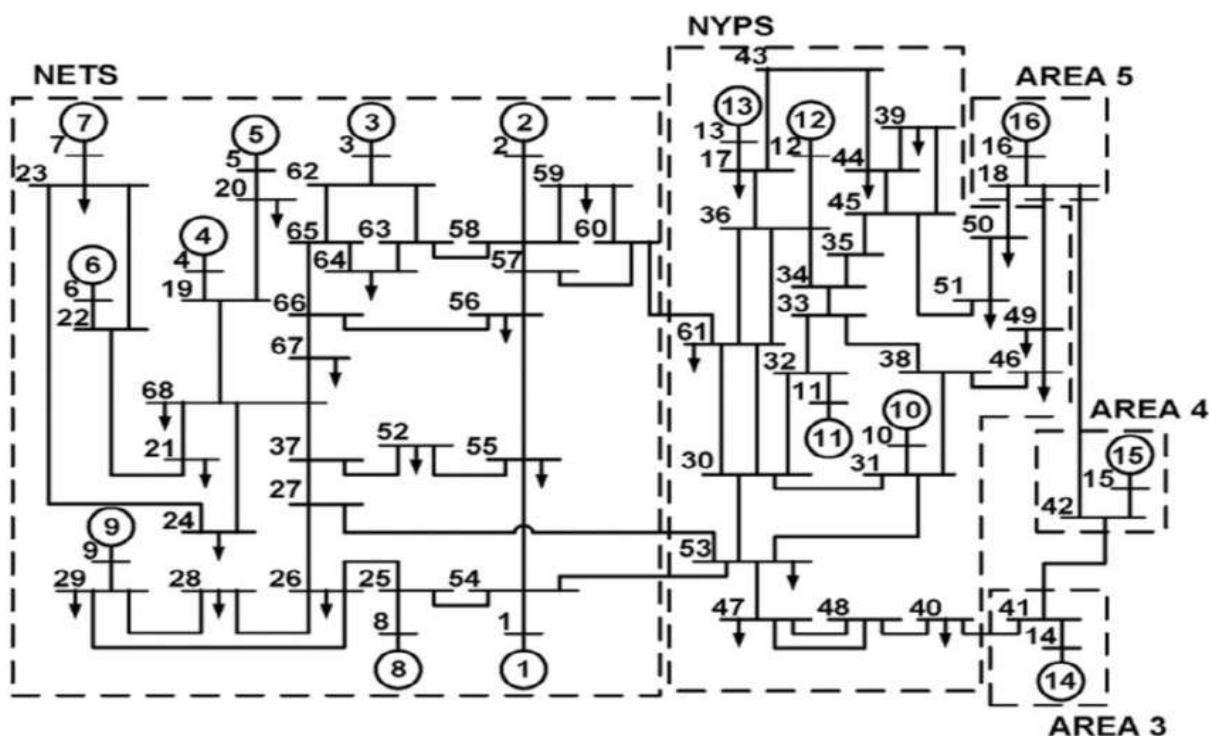


Figure 2-1, Structure du réseau étudié

Les différents paramètres des générateurs pour le modèle détaillé (système d'excitation, et PSS), et classique (système d'excitation) utilisé sont regroupés dans le tableau 2-1. Le numéro (1) représente les paramètres des générateurs de modèle classique, et le numéro (2) sont les données des générateurs de modèle détaillé.

Tableau 2-1, les données des générateurs synchrones

Numéros (G)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
S(MVA)*10 <sup>3</sup>	0.3	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	1	1.2	1.6	1.9	12	10	10	11	
x (pu)	0.003	0.035	0.03	0.03	0.027	0.022	0.032	0.028	0.03	0.02	0.01	0.022	0.003	0.0017	0.0017	0.0041	
xd (pu)	1	0															
	2	0.97	1.8														
xd' (pu)	1	0.248	0.425	0.383	0.3	0.36	0.354	0.3	0.35	0.487	0.486	0.253	0.55	0.33	0.28	0.28	0.36
	2	0.248	0.425	0.383	0.3	0.36	0.354	0.3	0.35	0.48	0.486	0.253	0.55	0.33	0.28	0.28	0.36
xd2p (pu)	1	0															
	2	0.145	0.305	0.324	0.24	0.272	0.283	0.244	0.28	0.384	0.426	0.168	0.445	0.243	0.23	0.23	0.28

Tdp (sec)	1	0															
	2	12.6	6.56	5.7	5.69	5.4	7.3	5.66	6.7	4.79	9.37	4.1	7.4	5.9	4.1	4.1	7.8
Td'' (sec)	1	0															
	2	0.045	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
xq (pu)	1	0															
	2	0.6	1.72	1.71	1.77	1.7	1.71	1.782	1.738	1.7521	1.225	1.73	1.7	1.74	1.73	1.73	1.688
xq' (pu)	1	0															
	2	0.25	0.36	0.36	0.274	0.337	0.32	0.274	0.31	0.43	0.48	0.211	0.5	0.304	0.25	0.25	0.303
xa'' (pu)	1	0															
	2	0	0.305	0.324	0.24	0.27	0.28	0.24	0.28	0.38	0.42	0.17	0.445	0.243	0.23	0.23	0.28
Tqp(sec)	1	0															
	2	0.035	1.5	1.5	1.5	0.44	1.5	0.41	1.96	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
T2qp(sec)	1	0															
	2	0.035															
H (sec)		3.4	4.94	4.96	4.16	4.766	4.91	4.326	3.91	4.03	3.91	2	5.18	4	3	3	4.45
d0(pu)	1	3.4	4.94	4.16	4.91	4.76	4.91	4.32	3.91	4	2.91	2	5.18	8	3	6	8.9
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	3	5

Les excitateurs utilisés dans ce travail est celui de DC type01 et pour le PSS nous avons utilisé le type conventionnel.

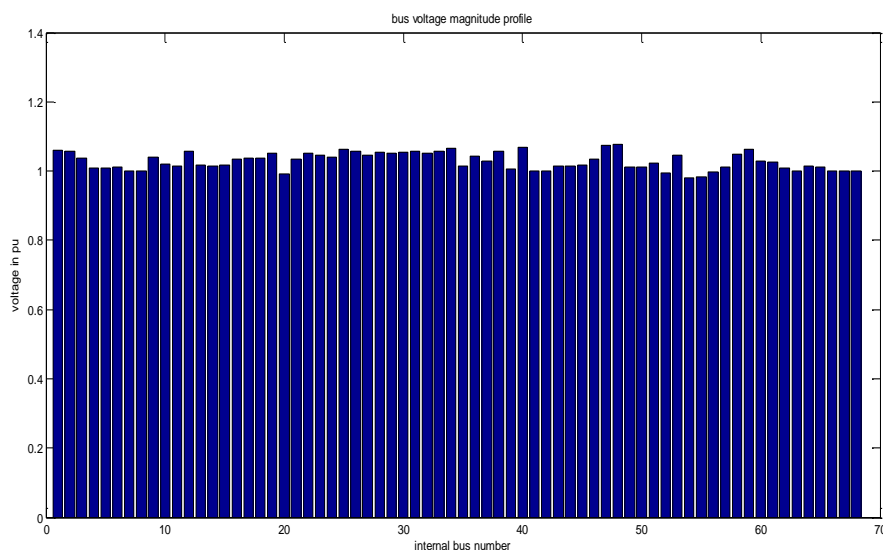
Les données du système d'excitation et du PSS sont insérées dans l'annexe.

Les générateurs du système de puissance sont raccordés respectivement à partir du jeu de barres 53 jusqu'au jeu de barres 68 comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-2, Emplacement des générateurs

<b>GN</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>JB</b>	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68

La figure 2-2 montre les amplitudes de tension de l'ensemble des nœuds du système étudié obtenu par l'analyse de l'écoulement de puissance. Nous remarquons que la majorité des jeux de barres ont une tension supérieure à 1.0 pu à cause des caractéristiques des lignes (longue distance), ainsi que leur caractère capacitif.



*Figure 2-2, Amplitude des tensions des jeux de barres*

### 2.3 Simulation et interprétation des résultats :

Au cours de ce simulation, nous allons appliquer un défaut triphasé au jeu de barres 29 durant 50 ms ,ce qui entraine la déconnexion de la ligne (29-28). Les résultats obtenues sont mentionnés pour les deux scenarios suivants :

#### 2.3.1 1er scénario : model classique des générateurs

Nous étudions en premier le modèle classique de la machine synchrone. Les simulations obtenues représentent la variation de tension du jeu de barres en défaut et adjacents, les tensions internes des générateurs proches du défaut, les angles rotoriques, ainsi que les vitesses des machines synchrones et leur puissance électrique.

La figure 2-3 montre l'évolution de la tension des jeux de barres de génération en présence d'un défaut triphasé. On voit que les générateurs 60 et 53 sa bissent une diminution importante de la tension d'environ de 0.075pu pendant le défaut par rapport aux autres générateurs du système de puissance, puis retrouvent leur état de stabilité une fois que le défaut est éliminé par l'ouverture de la ligne 29-28.

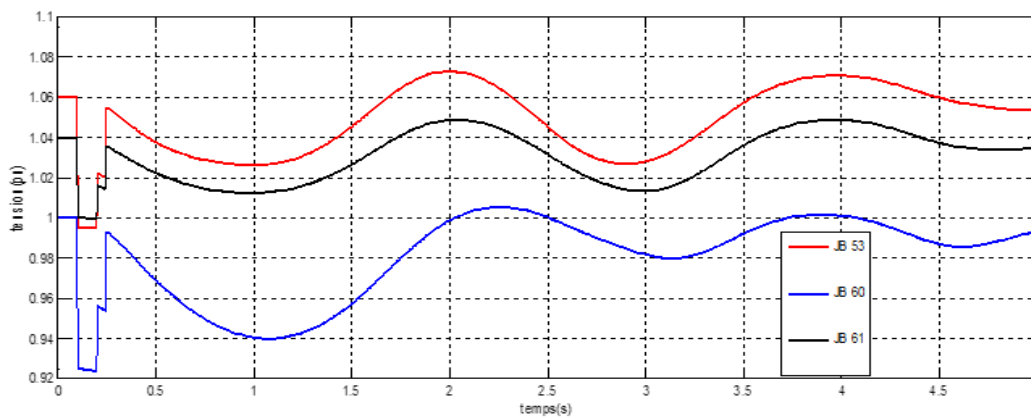


Figure 2-3, tension des générateurs

La figure 2-4 montre les tensions du jeu de barres en défaut et ceux adjacents durant et après le défaut. Il est clair que la tension est nulle du jeu de barres en défaut pendant le défaut, puis revient à l'état de stabilité une fois que la ligne 29-28 est ouvert éliminant ainsi cette contingence avec quelques oscillations importantes dès l'annulation du défaut par rapport aux autres jeux de barres éloignés du défaut.

La figure 2-5 montre l'évolution de l'erreur de vitesse des machines synchrones proches du défaut. On voit clairement que la vitesse augmente de manière significative au cours du défaut pour le générateur raccordé au jeu de barres 61, de l'ordre de 0.1 pu par rapport aux autres générateurs du système de puissance puis revient à son état de stabilité avec quelques oscillations moins significatives après le défaut.

Figure 2-3, tension de jeu de barres en défaut et adjacent

La figure 2-6 représente l'angle relatif des générateurs proche du défaut, qui montre une oscillation importante du générateur le plus proche du défaut, puis tend vers un état de stabilité avec des faibles oscillations une fois le défaut éliminé.

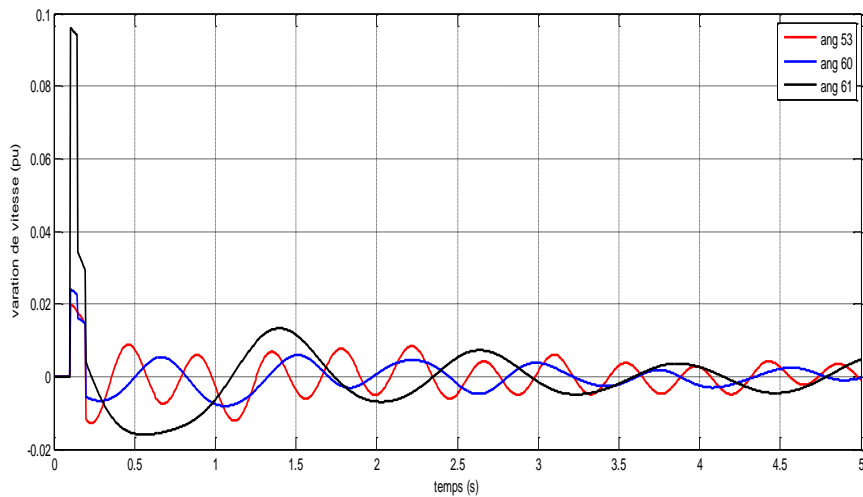


Figure 2-4, erreurs de vitesse des générateurs

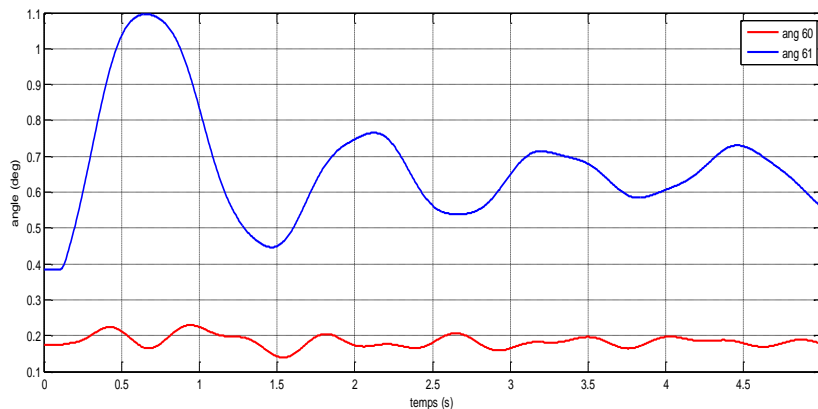


Figure 2-5, Angle relative des générateurs

Tant que les vitesses des générateurs les plus proches de défaut sont oscillées des valeurs importantes au cours et après le défaut, ces perturbations mis les puissances produites par ces générateurs à une évolution perturbent aussi comme signaler dans la figure2-7.



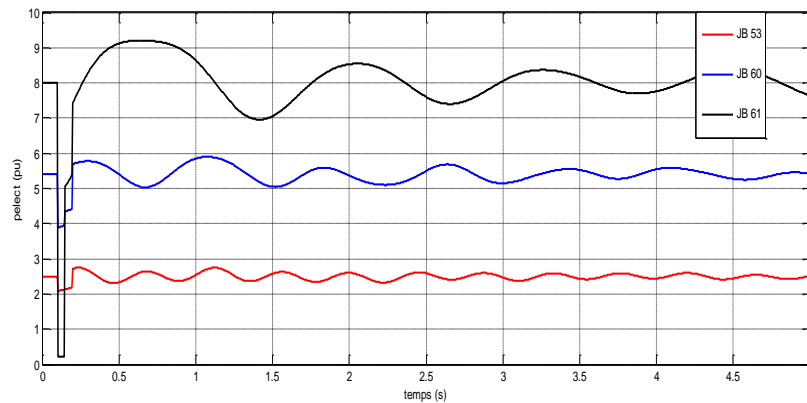


Figure 2-6, Puissance produite par les générateurs

### 2.3.2 2<sup>ème</sup> scenarios : modèle détaillé des générateurs

Maintenant nous utilisons le modèle détaillé des générateurs utilisés dans le réseau 68 jeux de barres, avec des systèmes d'excitation ainsi que le PSS (Power system Stabilizer).

les paramètres de ces machines sont mentionnés dans le tableau 2-1,

les mêmes conditions déclaré au 1<sup>er</sup> scenario. Sont appliquées pour le 2<sup>ème</sup> scénario.

La figure 2-8, montre l'évolution de tension des jeux de barres de génération en présence d'un défaut triphasé des deux modèles classique et détaillé. On voit que les générateurs liés au JBs 61 et 53 subissent une diminution importante de la tension d'ordre de 0.075pu au cours du défaut par rapport aux autres générateurs du système de puissance, puis retrouvent leur état de stabilité après quelques oscillations une fois que le défaut est éliminé par l'ouverture de la ligne 29-28. En plus, on voit que les générateurs 61d et 53d portent une chute de tension d'ordre 0.04pu au cours du défaut par rapport aux autres générateurs du système, puis retrouvent leur état de stabilité avec quelques oscillations d'ordre faible par rapport aux cas de model classique quand le défaut est éliminé par le l'ouverture de la ligne 29-28.

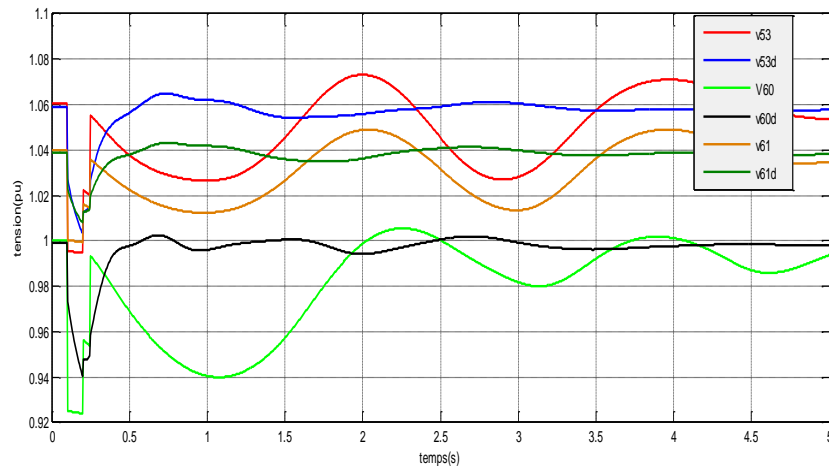


Figure 2-7: Tensions des JBS des générateurs proches de défaut

La figure 2-9, montre les tensions des jeux de barres en défaut et ceux adjacents pendant et après la perturbation pour les deux modèles utilisés, Il est clair que la tension du jeu de barres en défaut nulle au cours du défaut, puis revient à l'état de stabilité après l'auverture la ligne 29-28 est l'élimination du défaut ,avec quelques oscillations, puis se stabilise vers la fin de simulation.

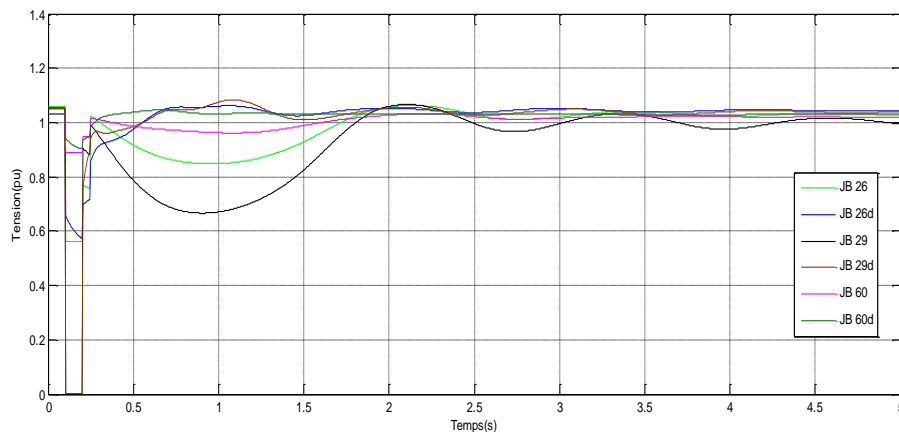


Figure 2-8, tensions de JB en défaut et adjacents

La figure 2-10 représente l'angle relatif des générateurs proche du défaut, qui montre une oscillation importante de générateur dans les deux modèles (classique/détaillé) le plus proche de défaut puis tend vers un état de stabilité avec des faible oscillations une fois le défaut est éliminé.

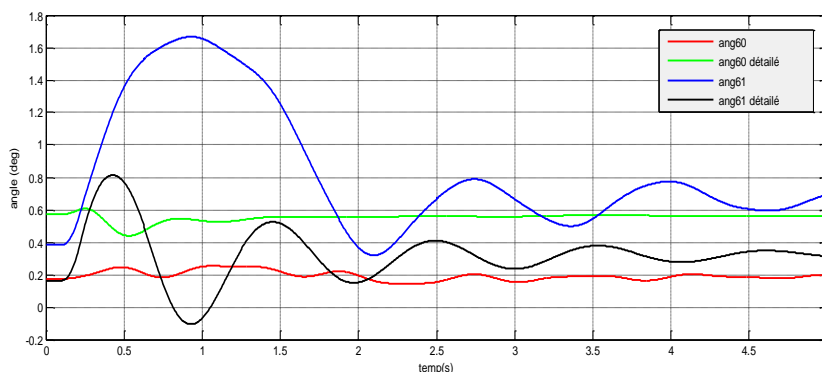


Figure 2-9, Angle relatif des Generateurs

La puissance générée des générateurs le plus proche du défaut qui sont ceux liés aux JBS 53, 60, et 61, on voit que la présence des systèmes d’excitation et de PSS peuvent amortir les oscillations de ces puissances une fois le défaut est éliminé en comparant avec le modèle classique comme signaler dans la figure 2-12.

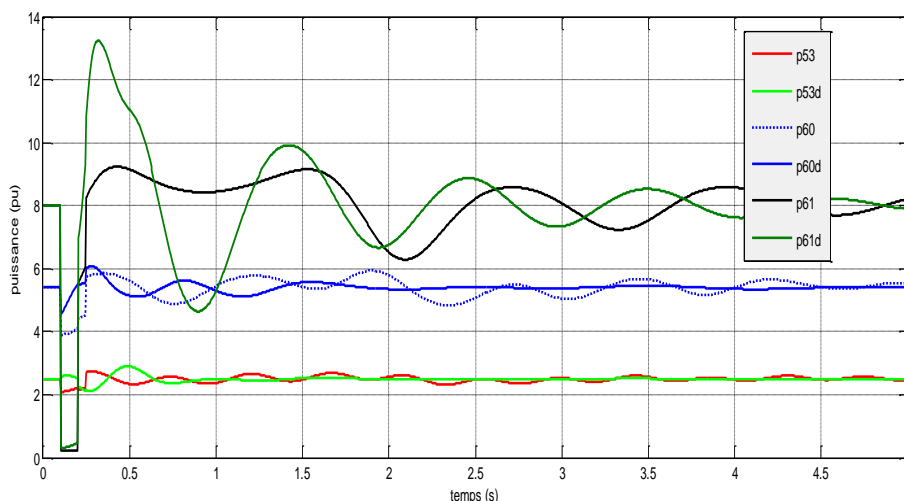


Figure 2-10, puissance générée des generateurs les plus proche de défaut

### 2.3.3 Effet de temps critique d’élimination de défaut

Les figures suivantes représentent l’évolution de la vitesse et de la puissance générées des générateurs proche au JBs de défaut, notamment les générateurs 60, et 61.

Les figures 2-13 à 2.16, montrent l’évolution de l’erreur de la vitesse et de la puissances fournies par les générateurs liés aux JBs 61 et 60 respectivement, pour un temps critique d’élimination de défaut de durée de  $T_{cr}=190ms$  pour les machines avec un système d’excitation et de PSS, et

$T_{cr}=100ms$  pour les machines classiques. Il est clair que le système tend vers un état de stabilité après l'élimination de défaut pour les générateurs proches de l'aléa pour les machines a model détaillé par contre le système tend vers un état d'instabilité si les machines à base de modèle classique (absence de système d'excitation et de PSS).

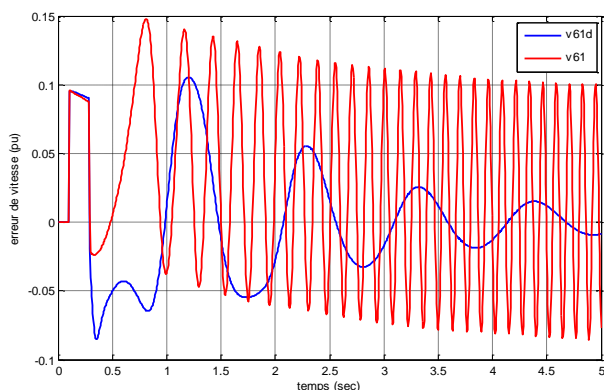


Figure 2-11, erreur de vitesse de générateur lie au JB61

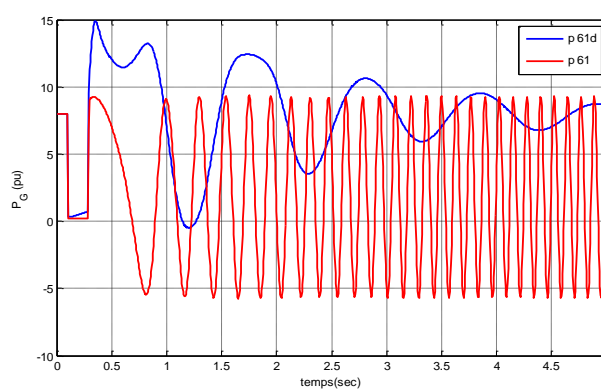


Figure 2-12, puissance de de générateur lie au JB61

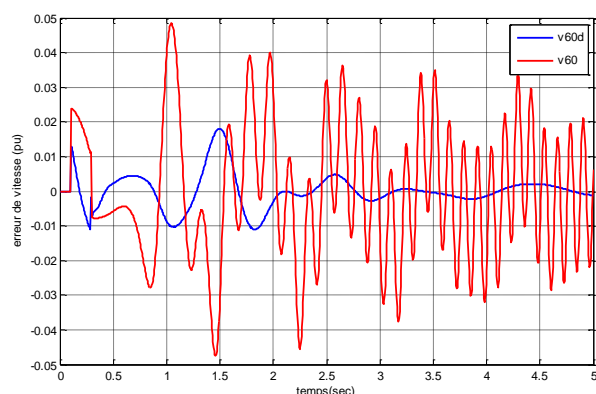


Figure 2-13, erreur de vitesse lie au JB60

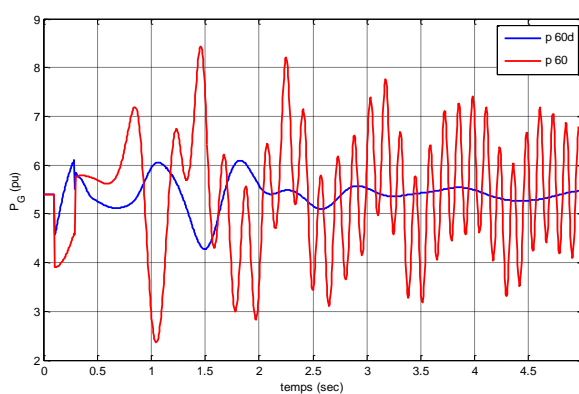


Figure 2-14, puissance de de générateur lie au JB60

## 2.4 Conclusion

La stabilité transitoire dans un réseau électrique est grandement influencée par les performances du modèle détaillé des machines synchrones. Les recherches et les simulations montrent que des modèles plus précis des machines synchrones favorisent une anticipation et une gestion plus efficaces des transitions, ce qui contribue à la stabilité globale du réseau. Les références académiques et les travaux de recherche dans le domaine de l'ingénierie électrique et de la modélisation des réseaux électriques soutiennent cette conclusion.

Les résultats indiquent que l'emploi de modèles approfondis des machines synchrones permet de mieux représenter le comportement dynamique du système électrique lors de transitions par rapport à des modèles simplifiés. Cela permet d'évaluer de manière plus précise les risques de perturbations et d'optimiser les stratégies de contrôle et de protection du réseau électrique.

## **Conclusion générale**

L'établissement d'un programme de stabilité transitoire est l'objectif principal de ce travail. Cela peut être utilisé comme instrument pour une enquête détaillée ou des études universitaires qui pourraient en avoir besoin. Des modèles classiques et détaillés sont introduits dans le programme dans le but de simuler la réponse dynamique des machines synchrones suite à une perturbation du système. Lors du développement de ce logiciel, différentes méthodes numériques utilisées pour résoudre des équations différentielles sont analysées afin de déterminer la plus efficace en fonction des résultats de chaque cas de test. Une comparaison est effectuée entre les performances des algorithmes en tenant compte de la vitesse d'exécution et de la précision.

## Bibliographiques

- [1] Wassil El-Aouni, "équivalents dynamiques pour l'étude de la stabilité transitoire" thèse PHD Montréal, 2014 .
- [2] Djennoune .S, " Commande linéarisante par mode glissant d'un réseau électrique multi-machine", mémoire ingénieur d'état, Univ Tizi-Ouzou 2008 .
- [3] Falil .Fatima, " Contrôle Robuste d'un UPFC", thèse de magister, Univ-Oran, 2004 .
- [4] Kamel SAOUDI, "Stabilisateurs intelligents des systèmes électro-énergétiques", thèse doctorat, univ setif 1 , 2014 .
- [5] J. Machowski, J.W. Bialek, J.R. Bunly " Power system dynamic and stability", livre John Wiley, 1997.
- [6] Camilo. Apraez, "étude comparative de méthodes de simulation de la stabilité transitoire" thèse PHD, montréal, le 20 avril 2012 .
- [7] B. bouhadouza, " Contribution à l'analyse de la stabilité transitoire des réseaux électriques en présence des sources renouvelables et des dispositifs de stockage en présence des éléments facts par les méthodes méthaheuristiques : application au réseau Algérien", thèse doctorat, Univ\_Setif 2022 .
- [8] T. Weckesser, H. Johannson, et all, " impact of model detail of synchronous machines on real time transient stability assessment", IREP symposium Bulk power system dynamics and control, 2013.
- [9] Peter W. Sauer and M. A. Pai, "power system dynamics and stability", thèse doctorat, University de Illinois, 2006.
- [10] Khaled Ouramdane, "modélisation et optimisation du système d'excitation du groupe turbine alternateur du simulateur analogique d'Hydro-Quebec", PHD , Univ Quebec, 2012, Thèse Doctorat, Université Du Quebec, Mai 2015 .
- [11] Hassan Alkhatib " étude de la stabilité aux petites perturbations dans les grands reseaux électriques : optimisation de la régulation par une méthode méta-heuristique", thèse de doctorat. Univ Aix-mersielle, 2008 .

## Annexes

### *Données du réseau test 68 jeux de barres*

N JBS	Tension	ANGLE	Générateur		Charge	
			P active(pu)	P réactive(pu)	P active(pu)	P réactive(pu)
1	1	0	0	0	2,527	1,1856
2	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	3,22	0,02
4	1	0	0	0	5	1,84
5	1	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	2,34	0,84
8	1	0	0	0	5,22	1,77
9	1	0	0	0	1,04	1,25
10	1	0	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0,09	0,88
13	1	0	0	0	0	0
14	1	0	0	0	0	0
15	1	0	0	0	3,2	1,53
16	1	0	0	0	3,29	0,32
17	1	0	0	0	0	0
18	1	0	0	0	1,58	0,3
19	1	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	6,8	1,03
21	1	0	0	0	2,74	1,15
22	1	0	0	0	0	0
23	1	0	0	0	2,48	0,85
24	1	0	0	0	3,09	-0,92
25	1	0	0	0	2,24	0,47
26	1	0	0	0	1,39	0,17
27	1	0	0	0	2,81	0,76
28	1	0	0	0	2,06	0,28
29	1	0	0	0	2,84	0,27
30	1	0	0	0	0	0
31	1	0	0	0	0	0
32	1	0	0	0	0	0
33	1	0	0	0	1,12	0
34	1	0	0	0	0	0
35	1	0	0	0	0	0
36	1	0	0	0	1,02	-0,1946
37	1	0	0	0	60	3
38	1	0	0	0	0	0



39	1	0	0	0	2,67	0,126
40	1	0	0	0	0,6563	0,2353
41	1	0	0	0	10	2,5
42	1	0	0	0	11,5	2,5
43	1	0	0	0	0	0
44	1	0	0	0	2,6755	0,0484
45	1	0	0	0	2,08	0,21
46	1	0	0	0	1,507	0,285
47	1	0	0	0	2,0312	0,3259
48	1	0	0	0	2,412	0,022
49	1	0	0	0	1,64	0,29
50	1	0	0	0	1	-1,47
51	1	0	0	0	3,37	-1,22
52	1	0	0	0	24,7	1,23
53	1,045	0	2,5	0	0	0
54	0,98	0	5,45	0	0	0
55	0,983	0	6,5	0	0	0
56	0,997	0	6,32	0	0	0
57	1,011	0	5,052	0	0	0
58	1,05	0	7	0	0	0
59	1,063	0	5,6	0	0	0
60	1,03	0	5,4	0	0	0
61	1,025	0	8	0	0	0
62	1,01	0	5	0	0	0
63	1	0	10	0	0	0
64	1,0156	0	13,5	0	0	0
65	1,011	0	35,91	0	0	0
66	1	0	17,85	0	0	0
67	1	0	10	0	0	0
68	1	0	40	0	0	0

**Tableau 1**, données des jeux de barres

**Tableau 2, Données des lignes**

<i>Depuis</i>	<i>A</i>	<i>Résistance(Pu)</i>	<i>Réactance(Pu)</i>	<i>Recharge en Ligne</i>	<i>Recharger en Ligne</i>	<i>Déphasage(Deg)</i>
1	2	0,0035	0,0411	0,6987	0	0
1	30	0,0008	0,0074	0,48	0	0
2	3	0,0013	0,0151	0,2572	0	0
2	25	0,007	0,0086	0,146	0	0
2	53	0	0,0181	0	1,025	0
3	4	0,0013	0,0213	0,2214	0	0
3	18	0,0011	0,0133	0,2138	0	0
4	5	0,0008	0,0128	0,1342	0	0
4	14	0,0008	0,0129	0,1382	0	0
5	6	0,0002	0,0026	0,0434	0	0
5	8	0,0008	0,0112	0,1476	0	0
6	7	0,0006	0,0092	0,113	0	0
6	11	0,0007	0,0082	0,1389	0	0
6	54	0	0,025	0	1,07	0
7	8	0,0004	0,0046	0,078	0	0
8	9	0,0023	0,0363	0,3804	0	0
9	30	0,0019	0,0183	0,29	0	0
10	11	0,0004	0,0043	0,0729	0	0
10	13	0,0004	0,0043	0,0729	0	0
10	55	0	0,02	0	1,07	0
12	11	0,0016	0,0435	0	1,06	0
12	13	0,0016	0,0435	0	1,06	0
13	14	0,0009	0,0101	0,1723	0	0
14	15	0,0018	0,0217	0,366	0	0
15	16	0,0009	0,0094	0,171	0	0
16	17	0,0007	0,0089	0,1342	0	0
16	19	0,0016	0,0195	0,304	0	0
16	21	0,0008	0,0135	0,2548	0	0
16	24	0,0003	0,0059	0,068	0	0
17	18	0,0007	0,0082	0,1319	0	0
17	27	0,0013	0,0173	0,3216	0	0
19	20	0,0007	0,0138	0	1,06	0
19	56	0,0007	0,0142	0	1,07	0
20	57	0,0009	0,018	0	1,009	0
21	22	0,0008	0,014	0,2565	0	0
22	23	0,0006	0,0096	0,1846	0	0
22	58	0	0,0143	0	1,025	0
23	24	0,0022	0,035	0,361	0	0
23	59	0,0005	0,0272	0	0	0
25	26	0,0032	0,0323	0,531	0	0
25	60	0,0006	0,0232	0	1,025	0
26	27	0,0014	0,0147	0,2396	0	0
26	28	0,0043	0,0474	0,7802	0	0

26	29	0,0057	0,0625	1,029	0	0
28	29	0,0014	0,0151	0,249	0	0
29	61	0,0008	0,0156	0	1,025	0
9	30	0,0019	0,0183	0,29	0	0
9	36	0,0022	0,0196	0,34	0	0
9	36	0,0022	0,0196	0,34	0	0
36	37	0,0005	0,0045	0,32	0	0
34	36	0,0033	0,0111	1,45	0	0
35	34	0,0001	0,0074	0	0,946	0
33	34	0,0011	0,0157	0,202	0	0
32	33	0,0008	0,0099	0,168	0	0
30	31	0,0013	0,0187	0,333	0	0
30	32	0,0024	0,0288	0,488	0	0
1	31	0,0016	0,0163	0,25	0	0
31	38	0,0011	0,0147	0,247	0	0
33	38	0,0036	0,0444	0,693	0	0
38	46	0,0022	0,0284	0,43	0	0
46	49	0,0018	0,0274	0,27	0	0
1	47	0,0013	0,0188	1,31	0	0
47	48	0,0025	0,0268	0,4	0	0
47	48	0,0025	0,0268	0,4	0	0
48	40	0,002	0,022	1,28	0	0
35	45	0,0007	0,0175	1,39	0	0
37	43	0,0005	0,0276	0	0	0
43	44	0,0001	0,0011	0	0	0
44	45	0,0025	0,073	0	0	0
39	44	0	0,0411	0	0	0
39	45	0	0,0839	0	0	0
45	51	0,0004	0,0105	0,72	0	0
50	52	0,0012	0,0288	2,06	0	0
50	51	0,0009	0,0221	1,62	0	0
49	52	0,0076	0,1141	1,16	0	0
52	42	0,004	0,06	2,25	0	0
42	41	0,004	0,06	2,25	0	0
41	40	0,006	0,084	3,15	0	0
31	62	0	0,026	0	1,04	0
32	63	0	0,013	0	1,04	0
36	64	0	0,0075	0	1,04	0
37	65	0	0,0033	0	1,04	0
41	66	0	0,0015	0	1	0
42	67	0	0,0015	0	1	0
52	68	0	0,003	0	1	0
1	27	0,032	0,32	0,41	1	0

**Tableau 3, Données du système d'excitation**

<i>NG</i>	<i>T<sub>R</sub></i>	<i>Gain(K<sub>A</sub>)</i>	<i>TA</i>	<i>TB</i>	<i>TC</i>	<i>VRmax</i>	<i>VRmin</i>	<i>KE</i>	<i>TE</i>	<i>SE(E1)</i>	<i>SE(E2)</i>	<i>Gain (KF)</i>	<i>T<sub>F</sub></i>
1	0	30	0,02	0	0	10	-10	1	0,8	3,927	0,07	5,2356	0,9

Les données de système d'excitation des autres générateurs portent les mêmes valeurs que le premier.

**Tableau 4, Données du PSS**

<b>NG</b>	<b>Kpss</b>	<b>Tw</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>Vs_max</b>	<b>Vs_min</b>
1	100	10	0,05	0,01	0,05	0,01	0,2	-0,05

Les données du PSS sont identiques pour les 16 générateurs

## ملخص

بافتراض أن الاستقرار العابر هو المؤشر المثالي لحالة شبكة الكهرباء، فإن الغرض من هذه الدراسة هو تحليل أداء النموذج التفصيلي للألات المتزامنة على الاستقرار العابر في شبكة كهربائية وانقطاع الاتصال بالنظام، وهذا التحليل يكشف عن حالات شاذة تتعلق بما يلي : ملف تعريف الجهد في جميع قضبان والطاقة والأحمال عبر جميع الخطوط بالإضافة إلى استقرار الشبكة العابر.

تم تطبيق هذه الدراسة على شبكة 68JB الشهيرة، باستخدام برنامج مناسب يسمى MATLAB أو تم إنشاء العديد من المقارنات مما يوضح فعالية هذه الدراسة.

**الكلمات الرئيسية:** استقرار عابر، شبكة اختبار 68JBs

## Résumé

Partant du principe que la stabilité transitoire est l'indice idéal de l'état de réseau électrique , cette étude a pour objectif d'analyse Performance du model détaillé des machines synchrones sur la stabilité transitoire dans un réseau électrique et la déconnexion d'une de système, cette analyse à révéler des anomalies relative aux : Profil de la tension au niveau de tous les jeux de barres, la puissance, les charges , à travers toutes les lignes ainsi que la stabilité transitoire du réseau.

Cette étude a été appliquée sur le fameux réseau test de 68JBs, en utilisant un logiciel adéquat dit MATLAB ou plusieurs comparaisons ont été établis montrant ainsi l'efficacité cette étude.

Mots clés : stabilité transitoire, réseau test IEEE68JB

## Abstract

Assuming that transient stability is the ideal index of the state of the electricity grid , The purpose of this study is to analyse the performance of the detailed model of synchronous machines on the transient stability in an electrical network transmission. This analysis is to reveal anomalies relating to the profile of the voltage at all bus, power, loads, across all lines as well as transient network stability.

This study was applied on the famous 68JB network, use an adequate software called MATLAB or several comparisons were established thus showing the effectiveness of this study.

**Keywords:** transient stability, 68bus test network.