



République Algérienne Démocratique et Populaire *Nsérie:.....*
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED
Faculté des technologie
Département de genie mecanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Master Académique

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie électrique

Spécialité : réseau électrique

THEME

**Stabilisateur intelligents des systèmes
électro-énergétiques**

Promoteur :
TOUIL Slimane

Présenté Par :
M^{me}. TOUIL Khaoula

PROMOTION 2018

Remerciement

*Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de
m'avoir*

*appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout
dont je nécessitais pour l'accomplissement de ce mémoire.*

*Puis Je remercie l'ensemble du jury d'avoir accepté de jurer ce
travail.*

*Je remercie mon encadreur Mr. Touil Slimane pour ses
conseils, ses orientations et sa disponibilité tout au long de
l'évolution de mon modeste travail.*

*Enfin je remercie aussi toutes les personnes qui m'ont aidé de
près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

A ma Mère et mon Père

A ma famille

A mes Sœurs mes Frères et mes Proches

Et à ceux qui partagent de bons souvenirs

Liste des Figures

Figure I.1. Système standard IEEE type SMIB avec commande d'excitation du générateur synchrone puissant.....	02
Figure I.2. Classification des différents types de la stabilité de système de puissance.....	04
Figure I.3. Variation d'angle de rotor.....	05
Figure I.4. Machine synchrone connectée à un jeu de barre infini.....	07
Figure I.5. Représentation de la puissance électrique par rapport à l'angle du rotor.	08
Figure I.6. Critère de l'égalité des aires.....	09
Figure I.7. Caractéristiques de la réponse indicielle d'un système.	13
Figure II.1. Circuit équivalent de la machine synchrone connectée a un jeu de barre infini.....	18
Figure II.2. Modèle classique de générateur.....	19
Figure II.3. La relation (puissance-angle) du générateur et le coefficient de couple synchronisant.....	20
Figure II.4. Couple mécanique et électrique agissant sur l'axe d'un générateur.	21
Figure II.5. Schéma bloc du système (mono machine-jeu de barre infini) avec le Modèle classique.	23
Figure II.6. Circuits équivalents relatifs de l'enchaînement du flux de la machine et courant.....	24
Figure II.7. Représentation de schéma fonctionnel avec la constante E_{fd}	27
Figure II.8. Structure générale d'un système de force motrice-générateur.	29
Figure II.9. Structure d'un système d'excitation statique avec son AVR.....	31
Figure II.10. Système d'équitation statique (thyristor) avec AVR.....	32
Figure II.11. Représentation du schéma bloc avec l'excitateur et AVR.....	34
Figure II.12. Représentation du schéma bloc avec AVR et PSS.	34
Figure II.13. Système d'excitation statique avec AVR et PSS.....	35
Figure II.14. Modèle d'un PSS avance/retard.	37
Figure III.1. Exemple d'ensembles considérés en logique booléenne.	42
Figure III.2: Exemple d'ensembles considérés en logique floue.....	42
Figure III.3. Représentation d'un ensemble floue par sa fonction d'appartenance.....	43
Figure III.4. Cas de l'ensemble floue "moyenne" de la variable Température.	43
Figure III.5. Différentes formes de la fonction d'appartenance.	45

Liste des figures

Figure III.6. Représentation des variables linguistiques.....	46
Figure III.7. Structure de base d'un contrôleur flou.....	48
Figure III.8. Exemple de fonction d'appartenance triangulaire.....	49
Figure III.9. Fonctions d'appartenance pour l'accélération.....	53
Figure III.10. Fonctions d'appartenance pour la variation de vitesse.....	54
Figure III.11. Fonctions d'appartenance pour la tension.....	54
Figure III.12. Exécution de contrôleur de logique floue.....	56
Figure IV.1. Représentation du réseau SMIB+AVR sur MATLAB/Simulink.....	58
Figure IV.2. Présente la variation du position angulaire.....	59
Figure IV.3. Présente la variation de la vitesse angulaire.....	59
Figure IV.4. Présente la variation du couple électrique.....	59
Figure IV.5. Représentation du réseau SMIB+ d'excitation (AVR- Gouverneur) sur MATLAB/Simulink.....	60
Figure IV.6. Présente la variation du position angulaire.....	61
Figure IV.7. Présente la variation de la vitesse angulaire.....	61
Figure IV.8. Présente la variation du couple électrique.....	61
Figure IV.9. Présente la variation de la tension terminale.....	62
Figure IV.10. Représentation du réseau SMIB+PSS sur MATLAB/Simulink.....	63
Figure IV.11. Présente la variation du position angulaire.....	63
Figure IV.12. Présente la variation de la vitesse angulaire.....	64
Figure IV.13. Présente la variation du couple électrique.....	64
Figure IV.14. Présente la variation de la tension terminale.....	64
Figure IV.15. Présente la variation du position angulaire.....	65
Figure VI.16. Présente la variation de la vitesse angulaire.....	65
Figure VI.17. Présente la variation du couple électrique.....	66
Figure VI.18. Présente la variation de la tension terminale.....	66
Figure IV.19. Représentation du réseau SMIB+ Fuzzy PSS sur MATLAB/Simulink	68
Figure IV.20. Présente la variation de la position angulaire.....	68
Figure IV.21. Présente la variation de la vitesse angulaire.....	69
Figure IV.22. Présente la variation du couple électrique.....	69
Figure IV.23. Présente la variation de la tension terminale.....	69

Liste des figures

Figure IV.24. Présente la variation de la position angulaire.....	70
Figure IV.25. Présente la variation de la vitesse angulaire.....	70
Figure IV.26. Présente la variation du couple électrique.....	71
Figure IV.27. Présente la variation de la tension terminale.....	71
Figure IV.28. Représentation schématique des deux régions du système étudié	73
Figure IV.29. Exemple mécanique analogue aux oscillations inter-régions	74
Figure IV.30. Configuration d'un générateur équipé supplémentaire stabilisateur.....	75
Figure IV.31. Variation Angles de rotors des générateurs (Sans PSS)	76
Figure IV.32. Variation de vitesse des générateurs (Sans PSS)	76
Figure IV.33. Puissances électriques des générateurs (Sans PSS)	76
Figure IV.34. Tension terminale des générateurs (Sans PSS)	76
Figure IV.35. Ecart des angles des générateurs	77
Figure IV.36. Ecart des vitesses des générateurs	77
Figure IV.37. Puissance électrique des générateurs (1 ^{er} scénario)	78
Figure IV.38. Variation de la tension terminale des générateurs (1 ^{er} scénario)	78
Figure IV.39. Ecart des angles des générateurs	79
Figure IV.40. Ecart des vitesses des générateurs	79
Figure IV.41. Puissance électrique des générateurs (2 ^{ème} scénario)	79
Figure IV.42. Variation de la tension terminale des générateurs (2 ^{ème} scénario)	79

Liste des tableaux

Tableau III.1. Exemple d'inférence des règles.....	50
Tableau III.2. Variables floues pour la fonction d'appartenance.	53
Tableau III.3. Base de règles de contrôleur a logique floue.	55
Tableau IV.1. Comparaison des critères temporels instantanés du système avec et sans PSS...	67
Tableau IV.2. Comparaison des critères temporels intégraux du système avec et sans PSS....	67
Tableau IV.3. Comparaison des critères temporels instantanés.....	71
Tableau IV.4. Comparaison des critères temporels intégraux	72

Liste des notations

Acronymes:

SMIB	Single Machine Infinite Bus (machine unique reliée à un noeud infini)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, en français l' Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens.
CFE	Chemins de fer fédéraux suisses
IAE	Critère, Intégrale de l'Erreur Absolue (Intégral of Absolute Error)
ISE	Critère, Intégrale du Carrée de l'Erreur (Intégral of Square Error)
ITAE	Critère, Intégrale de l'Erreur Absolue pondérée par le Temps (Intégral Time multiplied by Absolute Error)
SVCs	(Static Var Compensator systèmes)
HVDC	High-voltage direct current, en française Le courant continu haute tension (CCHT)
RNA	Réseau de neurones artificiel
FACTS	Flexible AC Transmission System
AVR	Automatic Voltage Regulator (régulateur automatique de tension)
PSS	Power System Stabilizer (stabilisateur du système de puissance)
Mamdani	Le mécanisme d'inférence le plus couramment utilisé dans fuzzy (Ebrahim Mamdani)
FLPSS	Fuzzy logic PSS
FUZZY	La logique floue (fuzzy logic, en anglais)
trimf	Mode triangulaire
trapmf	Mode trapézoïdale
gauss2mf	Mode gaussienne
psigmf	Mode sigmoïdes

Symboles:

$E = f_{em}$	Force électromotrice du générateur (pu)
$E_B = E_0$	La tension du jeu de barre infini (pu)
E_t	impédance externe de réseau (pu)
E_{fd}	La tension de sortie d'excitation (pu)
X	Réactance synchrone et réactance transitoire(pu)
$X_e = X_E$	Réactance de ligne.(pu)
X_g	Réactance de générateur (pu)
P_e	Puissance électrique (pu)
P_m	Puissance mécanique (pu)
S	Puissance apparent (pu)
T_e	Couple électrique (pu)
T_A	Le couple d'amortissement (pu)
T_s	Le couple synchronisant (pu)
T_m	Couple mécanique fourni par la turbine (pu)
T_{em}	Couple électromagnétique (pu)
K_A	Coefficient de couple synchronisant (pu)
K_S	Coefficient de couple d'amortissent (pu)
K_D	Coefficient d'amortissement du générateur (pu)
K_{PSS}	Le gain de stabilisateur avance retard de phase(pu)

Liste des Notations

$S\Psi_{fd}$	Flux de circuit de générateur synchrone(pu)
Ψ_d	Flux de stator(pu)
L_{ads}	Inductances propres d'un enroulement du stator(pu)
i_d	Courant du générateur axe direct (pu)
i_q	Courant du générateur axe quadratique (pu)
R_a	Résistance par phase statorique(pu)
ω_0	Vitesse de synchronisme.(pu)
$\Delta\omega$	Variation da vitesse de rotor
ω_n	Pulsation naturel
ω_i	Fréquence du mode λ_i en rad/sec
H	Constante d'inertie
ξ_{cr}	Valeur critique du facteur d'amortissement
δ	Angle de rotor Angle de rotor
σ_{cr}	Marge de stabilité absolue
Δf	Variation de la la fréquence du jeu de barre
$D_p \%$	Dépassement maximum en pour cent
t_p	Temps de pic
$t_r(5\%)$	Temps de réponse (temps d'établissement)
$\varepsilon(t)$	L'erreur dynamique associée a la réponse indicielle du système

Sommaire

Remerciement :	i
Dédicace :	ii
Liste des figures :	iii
Liste des tableaux :	vi
Liste des Notations :	vii
Sommaire :	x
Résumé :	xiii
Introduction générale :	xiv

Chapitre I : Stabilité du système de puissance

I.1.Introduction :	01
I.2. La Définition de Stabilité d'un système du puissance:	01
I.3.Description générale du système puissance étudié « SMIB » :	02
I.4. Les causes d'instabilité:	02
I.5. Les différents types de stabilité :	03
I.5.1. La stabilité de l'angle de rotor :	04
I.5.1.1. Stabilité angulaire aux petites perturbations (stabilité dynamique) :	05
I.5.1.2. Stabilité angulaire aux grandes perturbations (stabilité transitoire) :	05
I.5.2. La stabilité de tension :	06
I.5.3. La stabilité de fréquence :	06
I.6. Méthodes d'analyse de la stabilité transitoire:	06
I.6.1. Intégration Numérique:	06
I.6.2. Méthodes directes ou méthodes énergétiques.....	07
I.6.2.1 Méthodes graphiques (Critère d'égalité des aires) :	07
I.6.2.2 Méthodes directes de Lyapunov :	10
I.7. Amélioration de la stabilité par les PSS :	12
I.7.1 Nouveaux types de PSS:	12
I.8. Analyse de la performance et critères de bonne régulation:	12
I.8.1 Critères de simulation:	12
I.9 Conclusion :	15

Chapitre II: Modélisation du système de puissance

II.1. Introduction :	17
II.2. Modèle de la machine synchrone:	18
II.2.1. Équations électriques :	19
II.2.2. Équations mécaniques :	21
II.2.3. L'effet dynamique du circuit de champ :	23
II.3. Régulation du générateur :	28
II.3.1. Régulateur de fréquence et modèle de la turbine :	28
II.3.2. Régulateur de tension et modèle du système d'excitation :	30
II.4. Modèle de power system stabiliser PSS:	34
II.4.1. Modèle du système d'excitation avec PSS:	35
II.4.2 Les régulateurs de puissance PSS :	36
II.5. Conclusion :	39

Chapitre III : Stabilisation par logique floue

III.1. Introduction :	40
III.2. Intérêts de la logique floue:	40
III.3. La théorie de la logique floue:	41
III.3.1. Principe et définition:	41
III.3.2. Fonction d'appartenance:	43
III.3.3. Variable linguistique:	45
III.3.4 Opérateurs de la logique floue :	46
III.3.5 Logique floue et raisonnement approximatif :	47
III.3.6 Implication floue :	47
III.4.1. Le contrôleur floue:	48
III.4.1.1 Normalisation :	48
III.4.1.2 Fuzzification:	48
III.4.1.3 Inférence:	59
III.4.1.4 Défuzzification:	50
III.4.1.5 Démoralisation:	51
III.4.2. Les différentes étapes de la commande floue :	51
III.5. PSS basés sur la logique floue:	52
III.5.1. Sélection de variables d'entrée et de sortie:	52
III.5.2. Fonction d'appartenance:	52
III.5.3 La base de règles floues :	54
III.5.4 Défuzzification:	55

III.5.5 la mise en œuvre de la logique floue :56
III.10. Conclusion :57

Chapitre IV : PSS a basé sur la logique floue

IV.1. Introduction : 58
IV.2 Exécution système étudié avec régulateur automatique de tension AVR : 58
IV.3 Exécution système étudié avec le système d'excitation (AVR- Gouverneur) sans PSS : 60
IV.4. Exécution du système étudié avec du système d'excitation AVR avec PSS: 62
IV.5 Etude de comparaison du régulation sans PSS et régulation avec PSS: 65
IV.6 Exécution de PSS basée de la logique floue: 68
IV.7 Etude de comparaison du régulation PSS conventionnel et régulation PSS basée sur
logique floue: 70
IV.8. Application à un système multi-machines : 72
 IV.8.1. Description du réseau étudié : 73
 IV.8.2. Amortissement des oscillatoires inter-régions : 73
 IV.8.3. Intérêt de l'amortissement des oscillations inter-régions : 75
 IV.8.4. Résultats de simulation : 75
 IV.8.4.1. Système sans stabilisateur: 75
 IV.8.4.2. Evaluation de performance et comparaison: 76
 IV.8.4.3. Test de robustesse: 78
IV.9. Conclusion: 81
Conclusion générale: 82
Bibliographe: 84

Résumé

Dans ce travail, on a proposé une nouvelle méthode de conception d'un stabilisateur intelligent, non linéaire robuste combinant le régulateur conventionnel et le régulateur par logique floue pour les systèmes de puissance mono et multi-machines. Les caractères non linéaire et robuste de l'approche préconisée préserve la stabilité en amortissant les oscillations indépendamment du point de fonctionnement et ce même en présence des variations paramétriques. La simulation de deux systèmes de puissance de Kundur a permis d'évaluer les performances du stabilisateur proposé face aux différents contingents couramment rencontrés dans le réseau.

Les résultats de simulation obtenus pour différents points de fonctionnement après élimination de défaut ont montré que le stabilisateur flou FPSS proposé, assure une bonne stabilité et améliore l'amortissement des oscillations. Ainsi les oscillations locales et interzones sont amorties de façon rapide et efficace. Les résultats obtenus sont comparés à ceux des stabilisateurs : sans stabilisateur de puissance (sans PSS), avec stabilisateur PSS (avec PSS) et stabilisateur floue PSS (FPSS). Les résultats obtenus ont montré que le stabilisateur flou PSS assure globalement de meilleures performances comparativement aux stabilisateurs précités.

Mots clés : stabilisateur du système de puissance (PSS), régulateur par logique floue (FPSS), système de puissance mono et multi-machine

ملخص

في هذا العمل، اقترحنا طريقة جديدة لتصميم استقرار ذكي، وليس قويا يجمع بين منظم الخطي التقليدي وتحكم المنطق الضبابي لأنظمة الطاقة أحادية ومتعددة آلة. والطابع غير الخطية وقوية من "النهج المفضل يحافظ على الاستقرار في الاهتزاز التخمين بغض النظر عن العملية حتى في وجود اختلافات حدودي وتقييمها. ومحاكاة أنظمة الطاقة Kundur اثنين من أداء استقرار المقترحة التي تواجه مختلف الوحدات عادة موجودة في الشبكة. وقد أظهرت نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها للحصول على نقاط مختلفة من العملية بعد القضاء خطأ أن استقرار طمس المقترحة FPSS يضمن استقرار جيد ويحسن التخمين من التذبذبات. وبالتالي يتم تذبذب التذبذبات المحلية و interzone بسرعة وكفاءة. تتم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع تلك المثبتات: دون

استقرار الطاقة (بدون مع استقرار) PSS مع PSS و Pzid مثبت. (FPSS) PSS

PSS تبين أن جهاز PSS المثبت بشكل عام يوفر أداء أفضل بالمقارنة مع المثبتات المذكورة أعلاه.

الكلمات المفتاحية: مثبت نظام الطاقة (PSS)، وحدة التحكم المنطقية الضبابية (FPSS)، نظام الطاقة أحادي ومتعدد الماكينات

Introduction générale :

Depuis une vingtaine d'années, les systèmes des puissances doivent faire face à des défis très importants. La libération du marché de l'électricité crée des scénarios de fonctionnement beaucoup plus complexes que par le passé. L'augmentation permanente de la dépendance électrique de la société moderne implique un fonctionnement des systèmes des puissances à 100% de leur capacité et une sûreté maximale. En outre, la qualité de la puissance électrique est devenue actuellement un grand souci pour les consommateurs et les fournisseurs. Par conséquent, des critères rigoureux de développement et de fonctionnement sont de plus en plus exigés.

Dans ces conditions, la stabilité des systèmes des puissances devient une des préoccupations majeures pour les fournisseurs d'électricité. Ces systèmes doivent rester stables pour toutes les petites variations au voisinage des points de fonctionnement ainsi que pour des conditions sévères. Les nouvelles méthodes et les nouvelles technologies permettant d'améliorer la stabilité des systèmes font par conséquent l'objet de travaux de recherche extrêmement important.

Plusieurs des méthodes modernes ont déjà fait l'objet d'applications industrielles dans des domaines de pointe tels que l'aéronautique et la robotique. On est alors en droit de s'interroger sur leur efficacité quant au problème de la conception des régulateurs de tension et de vitesse qui assurent la stabilité des réseaux électriques.

Le Régulateur Automatique de Tension (AVR) et le Régulateur de Vitesse ou Gouverneur sont caractérisées par un échange faiblement amorti de puissance électrique entre deux ou plusieurs zones du réseau.

Le AVR et le Gouverneur ne peuvent donc pas garantir à eux seuls le bon fonctionnement des réseaux électriques sans l'aide d'un stabilisateur. Ce dernier communément appelé Stabilisateur de Réseaux Électriques (*PSS*) ajoute un amortissement supplémentaire à travers l'excitation du générateur à partir de l'erreur de vitesse ou de la variation de la puissance électrique. Il ajoute donc une boucle indépendante supplémentaire.

Cette nouvelle structure a une meilleure performance et amortit relativement bien les oscillations locales et inter zones. Cependant. Le *PSS* et le *AVR* agissent simultanément, de façon indépendante et non coordonnée sur l'excitation du générateur. Un compromis est donc effectué afin d'assurer le bon fonctionnement de l'ensemble. Ainsi. Avec l'ajout du *PSS*, on note généralement une certaine détérioration de la qualité de la régulation de tension.

Une autre méthode de *PSS* basé sur la logique floue. Ceci est due à la possibilité d'introduire des connaissances exprimées sous forme de règle d'inférence pour déterminer les fonctions d'appartenances, on se basent sur l'expérience humaine dans le domaine. En particulier, l'application de théorie des ensembles flous dans la commande des processus. Par simulation, nous allons visualiser et comparer le temps d'atténuation des oscillations liées aux systèmes électrique (machine synchrone reliées à un réseau infini) quand ils sont soumis à une perturbation, donc voir l'effet de l'intelligence artificielle sur le système par rapport au conventionnel, c'est-à-dire l'amélioration davantage de la stabilité du système de puissance.

Le *PSS* et logique floue sont toujours considérés comme un moyen efficace pour l'amortissement des modes électromécaniques locaux, mais en même temps son rôle dans l'amortissement des modes interrégionaux reste toujours considéré comme faible. L'objectif de notre travail est ainsi d'assurer un amortissement maximum des modes interrégionaux aussi bien que des modes locaux. Pour atteindre cet objectif, nous proposons un réglage optimal des *PSS* et logique floue « *FUZZY* ». Ceci permet d'assurer un amortissement satisfaisant des oscillations rotoriques et de garantir la stabilité globale du système pour différents points de fonctionnement [1].

Notre thème est composé de cinq chapitres :

- Le premier chapitre donne, au début, la définition d'un système de puissance puis l'étude d'un système de puissance constitué d'une machine synchrone liée par ligne de transmission à un jeu de barres infini, les différents types de stabilité et différentes méthodes d'analyse de la stabilité transitoire, et l'Amélioration de la stabilité par les *PSS*, et leurs nouveaux types, dans la fin du chapitre on a analysé de la performance et critères de bonne régulation.
- Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté la modélisation du système de puissance et modèle de *PSS* (Power System Stabilizer) pour les études de la stabilité angulaire et la constitué *PSS* conventionnel (classique ou avance/retard) .
- Le troisième chapitre concerne une présentation théorique de la logique floue qui est une méthode basé sous forme de règles d'inférence pour assurer une bonne amélioration de la stabilité de système de puissance.
- Enfin, Le quatrième chapitre va tester les schémas blocs de régulateurs avec les paramètres de référence. et la présente un résultat de simulation sous Matlab pour simuler et analyser les performances de résultat afin une conclusion générale

Stabilité du système de puissance

I.1 Introduction :

Lors de l'étude du comportement des réseaux d'énergie électriques, l'un des problèmes les plus importants que l'on rencontre souvent est l'étude de la stabilité. En effet, depuis la révolution industrielle au milieu du XVIII^e siècle, la demande en électricité ne fait qu'augmenter pour pouvoir faire fonctionner les usines et desservir les ménages. Les réseaux électriques ont bien évidemment connu un développement important. Il s'est donc avéré urgent d'examiner en tout temps le comportement des réseaux face à de faibles et/ou de grandes perturbations. Ces perturbations, qui peuvent être d'origine diverses, sont la source d'une différence entre la puissance mécanique (la production) et la puissance électrique (la consommation).

Dans ce chapitre, on commence par définir les différents types de stabilité pour évoquer ensuite brièvement différentes méthodes d'analyse de la stabilité transitoire d'analyse de la performance et critères de bonne régulation.

I.2 La Définition de Stabilité d'un système de puissance :

Pendant des années, des recherches diverses et complexes étaient effectuées pour comprendre les problèmes de stabilité des systèmes de puissance. Ainsi de nombreuses définitions de la stabilité de systèmes de puissance étaient proposées en insistant sur les divers aspects qui reflètent la manifestation de l'état stable de système. La définition la plus récente, que nous adopterons, est le résultat d'un groupe de travail conjoint *IEEE/CIGRE*[2].

« La stabilité d'un système de puissance est la capacité d'un système d'énergie électrique, pour une condition de fonctionnement initiale donnée, de retrouver le même état ou un autre état d'équilibre après avoir subi une perturbation physique, en gardant la plupart des variables de système dans leurs limites, de sorte que le système entier reste pratiquement intact ».

Ainsi un système de puissance possédant un état d'équilibre est considéré comme stable, si suite à une perturbation, le système peut encore retrouver une position d'équilibre. Le système est également considéré comme stable s'il tend vers une autre position d'équilibre située dans la proximité du point d'équilibre initial[3]

Stabilisation par logique floue

III.1 Introduction :

Les premières applications de la logique floue étaient confinées dans des domaines non techniques, comme le commerce et la gestion, et ce n'est qu'en 1974 qu'elle s'est appliquée en automatique par *Mamdani* qui a commencé par la réalisation du premier contrôleur flou. Dans cette première section, nous traitons deux notions fondamentales : la logique floue et flous et les sous-ensembles.

La logique floue a vu le jour après la logique booléenne. Cette dernière est basée sur le principe que toute proposition ne peut être que vraie ou fausse (tout ou rien), et pourtant la pensée humaine est beaucoup plus complexe et plus nuancée qu'un ensemble rigide de lois car, pour un être humain, le mot "rien" n'est pas tout à fait blanc ou noir, on trouve dans notre langage habituel "assez grand, presque chaud, pas chaud...etc. Alors, les propositions nécessitent un élargissement à la logique classique.

Dans ce chapitre, nous présenterons quelque aspect théorique de la logique floue, ainsi que les bases de son application pour la commande de processus.

III.2 Intérêts de la logique floue [34]:

La logique floue trouve ses origines dans un certain nombre de constatations :

➤ La connaissance que l'être humain a d'une situation quelconque est généralement imparfaite, elle peut être incertaine (il doute de sa validité), ou imprécise (il a du mal à l'exprimer clairement).

➤ L'être humain résout souvent des problèmes complexes à l'aide de données approximatives :

la précision des données est souvent inutile. Par exemple, pour choisir un appartement, il pourra prendre en compte la surface, la proximité de commerces, la distance du lieu de travail, le loyer, sans pour autant avoir besoin d'une valeur très précise de chacune de ces données.

➤ Dans l'industrie ou les techniques, les opérateurs résolvent souvent des problèmes complexes de manière relativement simple et sans avoir besoin de modéliser le système.

De même, tout le monde sait qu'un modèle mathématique n'est pas nécessaire pour conduire une voiture et pourtant une voiture est un système très complexe.

➤ Plus la complexité d'un système augmente, moins il est possible de faire des affirmations précises sur son comportement.

De ces constatations viennent naturellement les déductions suivantes :

➤ Plutôt que de modéliser le système, il est souvent intéressant de modéliser le comportement d'un opérateur humain face au système.

➤ Plutôt que par des valeurs numériques précises, le fonctionnement doit être décrit par des qualificatifs globaux traduisant l'état approximatif des variables.

III.3 La théorie de la logique floue :

III.3.1 Principe et définition :

La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous développée par Zadeh [35]. A côté d'un formalisme mathématique fort développé, nous préférons aborder la présentation de manière intuitive.

Les notions de température moyenne ou de courant faible sont relativement difficiles à spécifier de manière précise. On peut fixer des seuils et considérer que l'on attribue tel ou tel qualificatif en fonction de la valeur de la variable par rapport à ces seuils.

Ceci ne peut exprimer qu'un avis très tranché du qualificatif "température moyenne" par exemple. L'aspect "vague" de ce qualificatif n'est pas représenté figure(III.1). On peut définir le degré d'appartenance de la variable température à l'ensemble "faible" comme le "degré de vérité" de la proposition "la température est faible"[35].

En logique booléenne, le degré d'appartenance (μ) ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1). La température peut être :

- faible : $\mu_{\text{faible}}(T) = 1, \mu_{\text{moyenne}}(T) = 0, \mu_{\text{élevée}}(T) = 0$
- moyenne : $\mu_{\text{faible}}(T) = 0, \mu_{\text{moyenne}}(T) = 1, \mu_{\text{élevée}}(T) = 0$
- élevée : $\mu_{\text{faible}}(T) = 0, \mu_{\text{moyenne}}(T) = 0, \mu_{\text{élevée}}(T) = 1$
- Elle ne peut pas prendre deux qualificatifs à la fois.

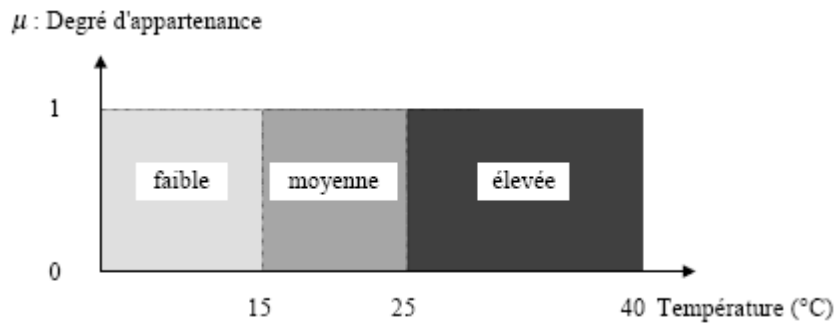


Figure III.1: Exemple d'ensembles considérés en logique booléenne

En logique floue, le degré d'appartenance devient une fonction qui peut prendre une valeur réelle comprise entre 0 et 1 inclus.

$\mu_{\text{moyenne}}(T)$, par exemple, permet de quantifier le fait que la température puisse être considérée comme moyenne.

Dans ce cas, la température peut être considérée, à la fois, comme faible avec un degré d'appartenance de 0,2 et comme moyenne avec un degré d'appartenance de 0,8 figure(III.2).

$$\mu_{\text{faible}}(T) = 0,2, \mu_{\text{moyenne}}(T) = 0,8, \mu_{\text{élevée}}(T) = 0$$

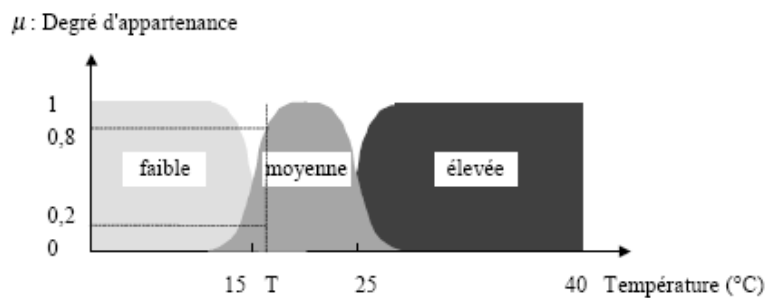


Figure III.2: Exemple d'ensembles considérés en logique floue

Pour la variable floue x , on définit un ensemble flou A sur un univers de discours X par une fonction degré d'appartenance :

$$x \rightarrow \mu_A(x)$$

L'univers de discours est l'ensemble des valeurs réelles que peut prendre la variable floue x et $\mu_A(x)$ est le degré d'appartenance de l'élément x à l'ensemble flou A figure(III.3).

Plus généralement, le domaine de définition de $\mu_A(x)$ peut être réduit à un sous-ensemble de X [35].

On peut ainsi avoir plusieurs fonctions d'appartenance, chacune caractérisant un sous-ensemble flou. C'est par l'association de tous les sous-ensembles flous de l'univers de discours, que l'on obtient l'ensemble flou de la variable floue x . Par abus de langage, les sous-ensembles flous sont fort souvent confondus avec l'ensemble flou.

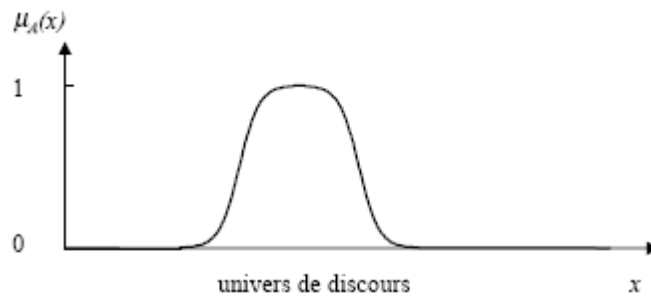


Figure III.3: Représentation d'un ensemble flou par sa fonction d'appartenance

Dans notre exemple, la variable floue est la température, l'univers de discours est l'ensemble des réels de l'intervalle $[0, 40]$. On attribue à cette variable trois sous-ensembles flous : faible, moyenne et élevée. Chacun est caractérisé par sa fonction degré d'appartenance :

$\mu_{\text{faible}}(T)$, $\mu_{\text{moyenne}}(T)$, $\mu_{\text{élevée}}(T)$.

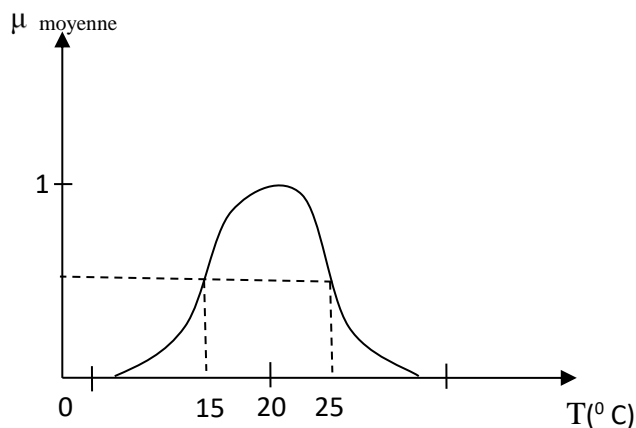


Figure III.4: Cas de l'ensemble flou "moyenne" de la variable Température

On peut définir la fonction degré d'appartenance μ_{moyenne} sur tout l'univers de discours :

$$\mu_{\text{moyenne}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \exp(15 - x)} ; x \in [0, 20] \\ 1 - \frac{1}{1 + \exp(25 - x)} ; x \in [20, 40] \end{cases}$$

III.3.2 Fonction d'appartenance :

La fonction d'appartenance μ comprise entre 0 et 1 est associée au sous ensemble E_I de $T(X)$ et à la variable X , dont l'ensemble des valeurs possible est $T(X)$. Elle s'appelle aussi, degré

d'appartenance ou coefficient d'appartenance ou degré de possibilité, qui est la possibilité que la variable u ait la qualité associée au sous-ensemble E_I . Elle est utilisée pour faire le traitement mathématique des variables linguistiques dans le but de traiter des déductions floues par ordinateur.

On attribue à chaque valeur de la variable linguistique des fonctions d'appartenances μ , une valeur déterminée pour la variable X sera désignée par facteur d'appartenance. Ils existent plusieurs formes de la fonction d'appartenance a s'avoir [36]:

a) Fonction triangulaire :

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b < x \leq c \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (\text{III-1})$$

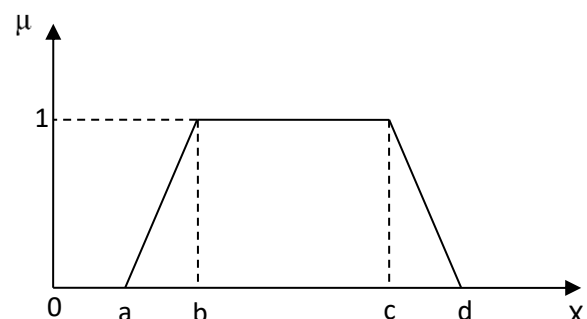
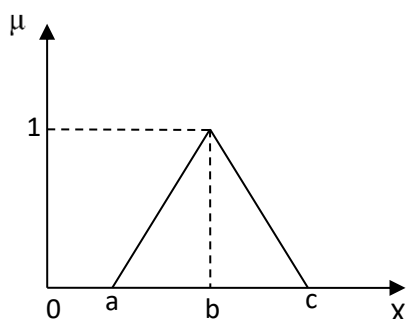
b) Fonction d'appartenance trapézoïdale :

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ 1 & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c < x \leq d \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (\text{III-2})$$

c) Fonction d'appartenance gaussienne :

$$\mu(x) = \text{EXP} \left[- \left(\frac{x-m}{\delta} \right)^2 \right] \quad -\infty < x < +\infty \quad (\text{III-3})$$

La figure (III.5) représente les formes de ces trois types de fonctions d'appartenance



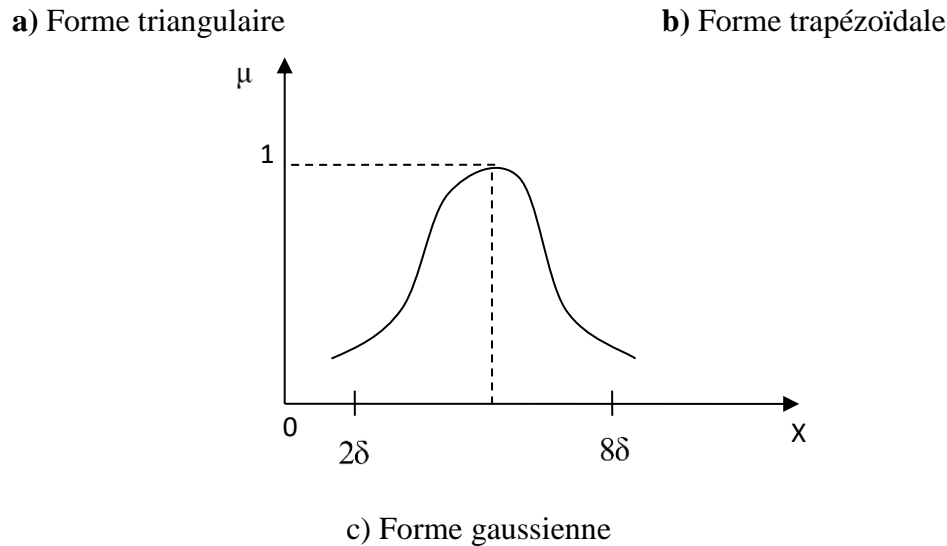


Figure III.5: Différentes formes de la fonction d'appartenance.

III.3.3 Variable linguistique :

Une variable linguistique représente un état dans le système flou, sa valeur est définie dans des termes linguistiques qui peuvent être des mots ou des phrases d'un langage naturel ou artificiel. Chaque variable linguistique est caractérisée par un ensemble tel que : $(x, T(x), u)$

ou: x : le nom de variable

$T(x)$: ensemble de termes de variable, c'est l'ensemble des noms des valeurs linguistiques de x dont chaque valeur est un sous-ensemble flou défini dans U .

U : l'univers de discours.

Comme exemple de variable linguistique, on prend la vitesse de rotation du moteur. Son ensemble de termes T (vitesse) peut être: T (vitesse) = {lente, moyenne, rapide, ...}.

Ou chaque termes dans T (vitesse) est caractérisé par un ensemble flou dans un univers de discours $U=[0,200]$ par exemple.

Pour les vitesses inférieures ou égales à 80 intervient la variable linguistique (lent), et pour les vitesses supérieures ou égales à 150 intervient la variable linguistique (rapide). Ces deux termes peuvent être caractérisés comme des ensembles flous dont les fonctions d'appartenances sont montrées sur la figure (III.6)

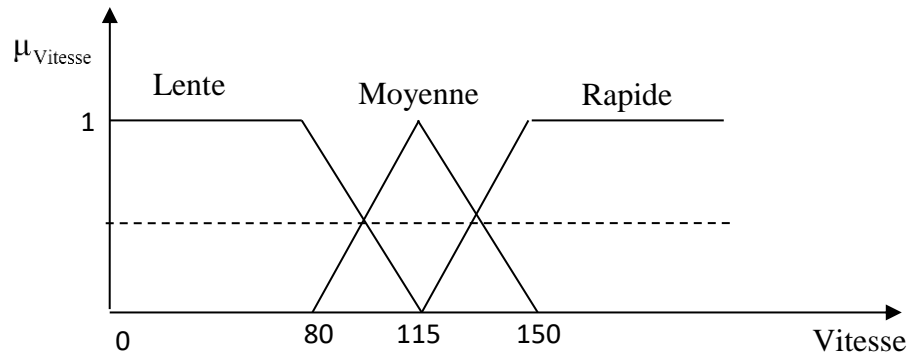


Figure III.6: Représentation des variables linguistiques.

III.3.4 Opérateurs de la logique floue :

Les variables linguistiques sont liées entre elles au niveau des règles d'inférence par des opérateurs *ET* ou *OU*. Il s'agit d'opérateurs de la logique floue qui interviennent sur les fonctions d'appartenance représentant les variables linguistiques. De plus, il existe l'opérateur *NON* qui s'appelle (complément, négation, inverse)

Opérateur *OU* (l'union)

La fonction d'appartenance $\mu_{A \cup B}$ pour l'ensemble flou $A \cup B$ est définie comme suit:

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (\text{III-4})$$

- **Opérateur *ET* (l'intersection)**

La fonction d'appartenance $\mu_{A \cap B}$ pour l'ensemble flou $A \cap B$ est définie comme suit:

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (\text{III-5})$$

- **Opérateurs *NON* (complément)**

On définit la fonction d'appartenance $\mu_{\bar{A}}$ pour l'ensemble flou \bar{A} par:

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (\text{III-6})$$

- **Produit cartésien :**

Soit A_1, \dots, A_n des ensembles flous, dans les univers de discours u_1, \dots, u_n respectivement. Le produit cartésien de A_1, \dots, A_n est un ensemble flou dans l'univers de discours $u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_n$ dont sa fonction d'appartenance est exprimée par :

$$\begin{aligned} \mu_{A_1, A_2, \dots, A_n}(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) &= \min\{\mu_{A_1}(\mu_1), \dots, \mu_{A_n}(\mu_n)\} \\ \text{ou:} \quad \mu_{A_1, A_2, \dots, A_n}(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) &= \mu_{A_1}(\mu_1), \dots, \mu_{A_n}(\mu_n) \end{aligned} \quad (\text{III-7})$$

▪ **Relation floue :**

Une relation floue est un ensemble flou dans les univers de discours u_1, \dots, u_n . Elle est exprimée comme suit :

$$R_{u_1, u_2, \dots, u_n} = \left\{ \left((u_1, \dots, u_n) R_{(u_1, \dots, u_n)} \right) / (u_1, \dots, u_n) \in u_1, \dots, u_n \right\} \quad (\text{III-8})$$

▪ **La composition sup-star :**

Soit R et S deux relations floues dans les univers de discours $U \times V$ et $V \times W$ respectivement, la composition de R et S est une relation floue notée ROS telle que :

$$\text{ROS} = \left\{ \left[(u, w), \sup(\mu_{R(u,v)} * \mu_{S(v,w)}) \right] / u \in U, v \in V, w \in W \right\} \quad (\text{III-9})$$

Avec $*$ est un opérateur appartient à la norme triangulaire T-norme

III.3.5 Logique floue et raisonnement approximatif :

Règle compositionnelle sup-star pour inférence :

Si R est une relation floue dans $U \times V$ et si x est un ensemble flou dans U, alors la règle compositionnelle ‘sup-star’ pour l’inférence affirme que l’ensemble flou y dans V peut se déduire par : $y = \text{XOR}$

Où XOR représente sup-star composition.

III.3.6 Implication floue :

L’implication floue est un opérateur qui a pour but d’évaluer un degré de vérité d’un règle R sous la forme :

Si x est A alors y est B

Cette évaluation est donnée à partir des valeurs de la prémisse et celle de la conclusion.

$$\mu_R(x, y) = I(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (\text{III-10})$$

Où I est un opérateur d’implication

II.4 Le contrôleur flou :

Un contrôleur flou est un système à base de connaissance particulier utilisant un raisonnement en profondeur limitée, dans une procédure de chaînage avant des règles (activation des règles par les prémisses) ; Un schéma représentatif peut être le suivant : [37]

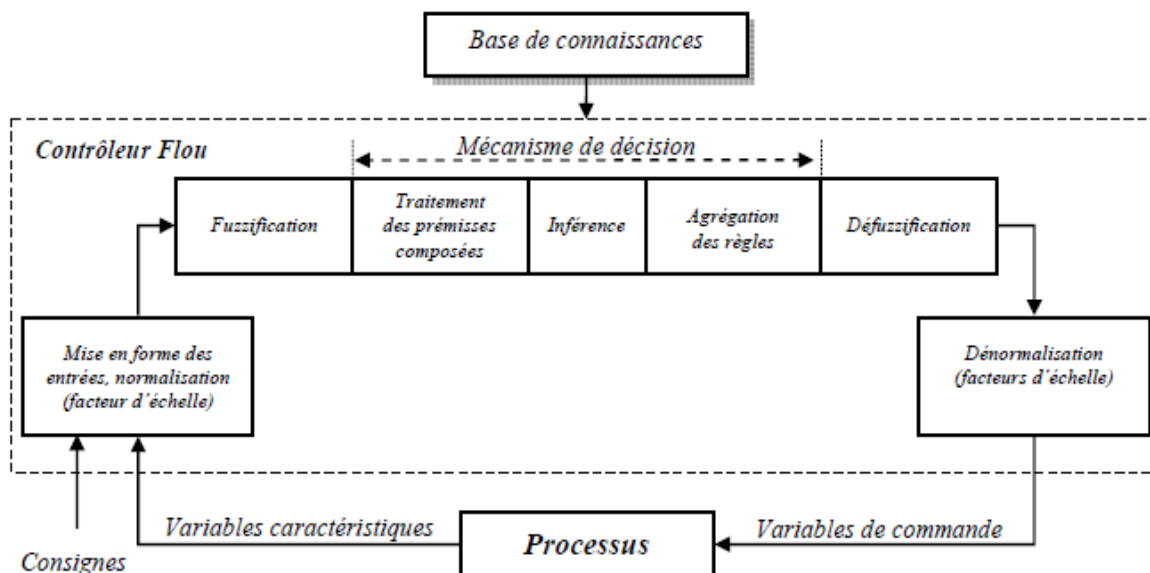


Figure III.7: Structure de base d'un contrôleur flou [21]

III.4.1.1 Normalisation :

Cette première étape permet le traitement des variables d'entrée du contrôleur flou. Par exemple, calcul d'erreurs (Différence entre grandeurs mesurée et consignes) et variation d'erreurs. L'utilisation de domaine normalisée (Univers de discours compris entre $[-1, 1]$) nécessite une transformation d'échelle, celle-ci est réalisée par l'intermédiaire de facteurs d'échelle de transformation des grandeurs physiques des entrées en des valeurs normalisées appartenant à l'intervalle $[-1, 1]$.

III.4.1.2 Fuzzification :

C'est l'opération de projection des variables physiques réelles sur des ensembles flous caractérisés par les valeurs linguistiques prises par ces variables. Deux cas peuvent se présenter selon que la mesure d'une variable physique réelle est précise (valeur numérique) ou pas. [37]

Le choix de la forme de fonction d'appartenance (triangulaires, trapézoïdales,...) est arbitraire. Quant au nombre de fonction d'appartenance, il est généralement impaire car elles se répartissent

autour de zéro (3, 5 et 7 sont des valeurs courant). Un exemple de fonctions d'appartenance triangulaires est donné dans la figure suivante : [38]

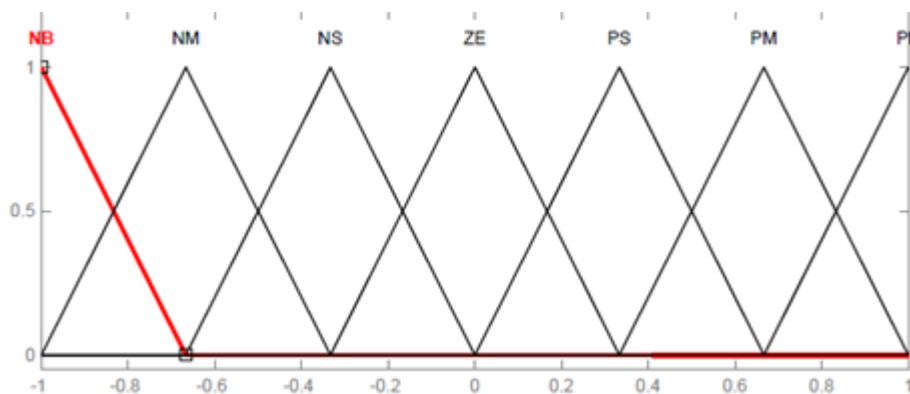


Figure III.8: Exemple de fonction d'appartenance triangulaire.

NB, NM, \dots, PB sont des valeurs linguistique, avec :

- NB : Negative big (negative grand)
- NM : Négative middle (négative moyen)
- NS : Negative small (négative petit)
- ZE : Zéro
- PS : Positive small (positive petit)
- PM : Positive middle (positive moyen)
- PB : Positive big (positive grand)

III.4.1.3 Inférence :

En logique classique, la règle de raisonnement du *modus ponens* permet, à partir des deux assertions,

- X est A
- Si x est A alors y est B , de conclure que Y est B .

En logique floue, la règle s'appelle *modus ponens* généralisé et permet à partir des assertions.

- X est A'
- Si x est A alors y est B , de conclure que Y est B' .

L'inférence est l'opération d'agrégation des règles.

U		T		
		F	M	E
V	F	Z	P	GP
	E	Z	Z	P

Tableau III.1: Exemple d'inférence des règles

Les règles que décrit ce tableau sont (sous forme symbolique) :

Dans l'exemple ci-dessus on a représenté les règles qui se sont activées à un instant donné par des cases sombres :

SI (T est M ET V est F) ALORS U est P

Où

SI (T est E ET V est F) ALORS U est GP

Il arrive que toutes les cases du tableau ne soient pas remplies, on parle alors de règles d'inférences incomplètes. Cela ne signifie pas que la sortie n'existe pas, mais plutôt que le degré d'appartenance n'est nul pour la règle en question.

Il s'agit maintenant de définir les degrés d'appartenance de la variable de sortie à ses sous-ensembles flous.

Il existe plusieurs méthodes d'inférence comme «Max-Min», «Max-Produit», «Max-Somme» qui permet d'y arriver.

Ces méthodes se différencient essentiellement par la manière dont vont être réalisés les opérateurs («ET» et «OU») utilisés dans les règles d'inférence.

III.4.1.4 Défuzzification :

Consiste à transformer l'ensemble flou résultant en une grandeur de commande précise. Là aussi existe plusieurs méthodes [39]. parmi lesquelles :

- La méthode de la hauteur
- La première maxima
- La dernière maxima
- La moyenne maxima

- Le centre de gravité
- Le centre des aires
- Le centre de maxima
- Le centre de la plus grand surface

Les méthodes de défuzzification les plus utilisées en commande floue sont : le centre de gravité, le centre des aires et le centre de maxima

➤ **La méthode du centre de gravité :**

Cette méthode est la plus souvent utilisée et donne généralement les meilleurs résultats. Elle consiste à prendre comme solution l'abscisse du centre de gravité des solutions.

C'est aussi la méthode la plus couteuse en temps de calcul.[37]

La formule qui permet d'obtenir le centre de gravité à partir de l'ensemble flou de sortie est la

suivante :
$$x_0 = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx}$$

III.4.1.5 Démoralisation :

Cette dernière étape transforme les valeurs normalisées des variables de commande des valeurs appartenant à leur domaine physique respectif.

III.4.2 Les différentes étapes de la commande floue :

On distingue classiquement les étapes ci-dessous dans la structure d'un contrôleur flou[28]:

- l'identification des variables pour d'entrée et de sortie.
- la construction de règles de contrôle.
- établir l'approche pour décrire l'état du système en termes de sous-ensembles flous, soit établir méthode de Fuzzification et fonctions d'appartenance floues.
- sélection de la règle compositionnel d'inférence.
- méthode La défuzzification est l'étape qui permet de transformer l'ensemble flou, obtenu par le calcul précédent, en une grandeur de commande à appliquer au processus.

Dans la section suivant, on peut expliquer les étapes précédentes avec PSS basés sur la logique floue.

III.5 PSS basés sur la logique floue :

Le stabilisateur de système de puissance est utilisé pour améliorer le rendement du générateur synchrone. Cependant, il en résulte dans la mauvaise performance dans diverses conditions de chargement qui a mis en œuvre avec *PSS* classiques. A cet effet, le besoin de logique floue *PSS* se pose. Le contrôleur flou utilisé dans stabilisateur système électro-énergétique est normalement une deux entrées et une composante de sortie unique. C'est généralement un système *MISO*. Les deux entrées sont changement de vitesse angulaire et le taux de variation de la vitesse angulaire tandis que la sortie du contrôleur logique floue est un signal de tension. Une modification de la tension de la rétroaction au système d'excitation en fonction de la puissance accélération sur une unité est utilisée pour améliorer la stabilité du système. Les signaux de stabilisation sont calculés en utilisant les fonctions d'appartenance floue standard en fonction de ces variables[28].

III.5.1 Sélection de variables d'entrée et de sortie :

On fait définir les variables d'entrée et de contrôle, c'est-à-dire, déterminer quels états du processus doivent être observées et doivent être considérées comme des mesures de contrôle. Pour les modèles *FLPSS*, l'accélération et la déviation de vitesse du générateur peuvent être observés et ont été choisis comme le signal d'entrée du *PSS* floue. Les performances dynamiques du système pourraient être évaluées par l'examen de la courbe de réponse de ces deux variables. La tension est à la sortie du contrôleur logique floue[28].

Pratiquement, la vitesse d'axe seulement est facilement disponible. Le signal d'accélération peut être dérivé des signaux de vitesses mesurées à deux instants successifs d'échantillonnage à l'aide d'équation au-dessous :

$$\Delta\omega(k) = \frac{(\Delta\omega(k) - \Delta\omega(k-1))}{\Delta T} \quad (\text{III-11})$$

III.5.2 Fonction d'appartenance :

Les variables choisies pour ce contrôleur sont la déviation de vitesse, d'accélération et de tension, en cela, la déviation de la vitesse et l'accélération sont les variables d'entrée et la tension est variable de sortie. Le nombre de variables linguistiques décrivant les sous-ensembles flous d'une variable varie en fonction de la demande (l'application). Généralement, un nombre impair est utilisé. Un nombre raisonnable est sept. Toutefois, la multiplication des sous-ensembles flous entraîne une augmentation correspondante du nombre de règles. Chaque variable linguistique a sa fonction d'appartenance floue. La fonction d'appartenance mappe les valeurs nettes dans des variables de floues. Les fonctions d'appartenance triangulaires sont utilisées pour définir le degré

d'appartenance. Il est important de ne pas que le degré d'adhésion joue son rôle important dans la conception[28].

Un contrôleur flou. Chacune des variables d'entrée et de sortie de flous est affecté sept sous-ensembles flous linguistiques variant de grand négatif (NB) à grand positif (PB). Chaque sous-ensemble est associé à la fonction de d'appartenance triangulaire à partir d'un ensemble de sept fonctions d'appartenance pour chaque variable floue.

<i>NB</i>	NECATIVE BIG
<i>NM</i>	NECATIVE MEDIUM
<i>NS</i>	NECATIVE SMALL
<i>ZE</i>	ZERO
<i>PS</i>	POSITIVE SMALL
<i>PM</i>	POSITIVE MEDIUM
<i>PB</i>	POSITIVE BIG

Tableau III.2: Variables floues pour la fonction d'appartenance.

Les variables sont normalisées en multipliant avec des gains respectifs de $K1, K2, K3$, afin que leur valeur comprise entre -1 et 1 . Les fonctions d'appartenance des variables d'entrée et de sortie ont 50% de chevauchement entre les sous-ensembles flous adjacents [28]. La fonction d'appartenance pour l'accélération, la vitesse et la tension sont indiquées à la figure suivant :

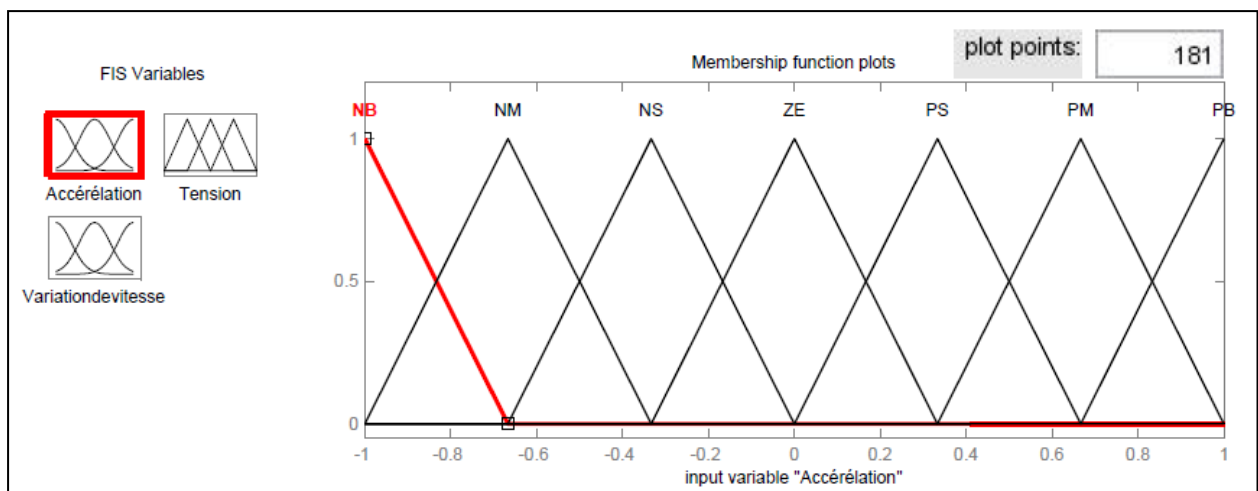


Figure III.9: Fonctions d'appartenance pour l'accélération.

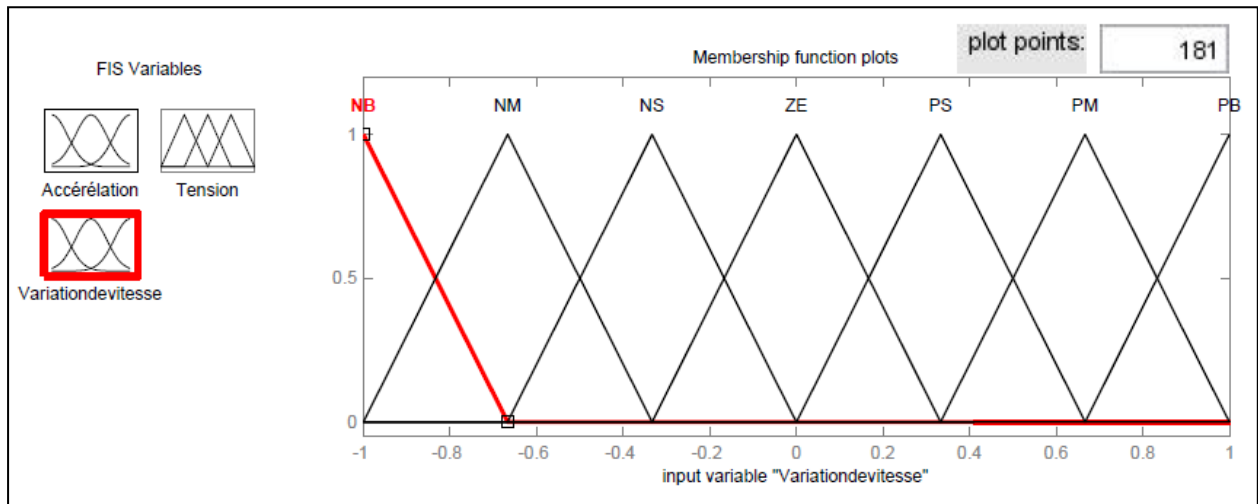


Figure III.10: Fonctions d'appartenance pour la variation de vitesse.

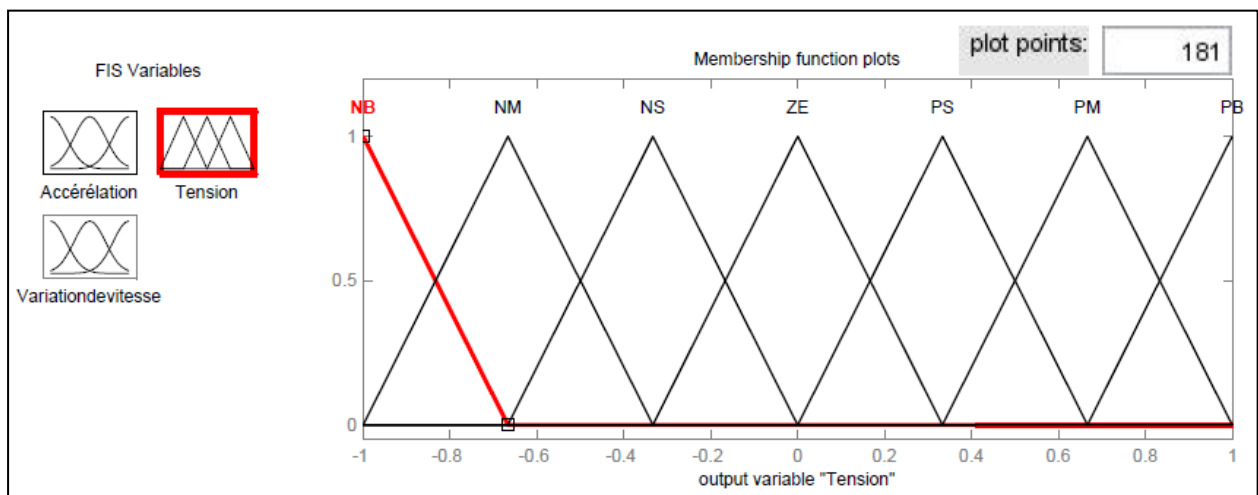


Figure III.11: Fonctions d'appartenance pour la tension.

III.5.3 La base de règles floues [40]:

Un ensemble de règles qui définissent la relation entre l'entrée et la sortie de du contrôleur à logique floue peut être trouvé utilisant la connaissance disponible dans le domaine de concevoir PSS[28]. Ces règles sont définies en utilisant les variables linguistiques. Les deux entrées, la vitesse et l'accélération, se traduisent (49)règles pour chaque machine. Les règles typiques ont la structure suivante :

- **Règle(1):** si la variation de vitesse est *NB* (NEGATIVE BIG), *ET* l'accélération est *NB* ALORS la tension (la sortie de PSS floue) est *NB*.
- **Règle(2):** si la variation de vitesse est *ZE*(ZERO), *ET* l'accélération est *NS*(NEGATIVE SMALL) ALORS la tension (la sortie de PSS floue) est *NS*.

- **Règle(3)**: si la variation de vitesse est *PB*(POSITIVE BIG), ET l'accélération est *NM*(NEGATIVE MEDIUM) ALORS la tension (la sortie de *PSS* floue) est *PM*(POSITIVE MEDIUM). Et ainsi de suite...

Toutes les 49 règles régissant le mécanisme sont expliquées dans le tableau (III.3), où tous les symboles sont définis dans la terminologie de base de logique floue.

Variation de vitesse	Accélération						
	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>
<i>NM</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>
<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>
<i>ZE</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>
<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>
<i>PM</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>PB</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

Tableau III.3: Base de règles de contrôleur a logique floue.

La sortie de stabilisateur est obtenue en appliquant une règle particulière exprimée sous forme de fonctions d'appartenance. Finalement l'appartenance de sortie de la règle est calculée. Cette procédure est suivie pour toutes les règles et avec chaque règle un résultat est obtenu.

Nous utilisons le mécanisme d'inférence le plus couramment utilisé est celui dit « de *Mamdani* ». Précédemment, on peut connaître les étapes (Fuzzification, degré d'activation, implication et agrégation).

III.5.4 Défuzzification :

Généralement, la solution d'un problème utilisant les ensembles flous, est un résultat exprimé en termes de valeurs floues (fonctions d'appartenance). D'autre part, pour exploiter ou appliquer physiquement ces résultats, on doit utiliser des valeurs ordinaires. Cette opération qui consiste à convertir les valeurs floues en valeurs ordinaires, s'appelle la défuzzification.

La méthode de défuzzification la plus utilisée est certainement, la méthode du centre de gravité, dont le principe est de prendre l'abscisse du centre de gravité de la surface de la fonction d'appartenance résultante.

Dans le cas d'un univers de discours discret, cette méthode donne :

$$y = \frac{\sum_1^n \mu(x_i)x_i}{\sum_1^n \mu(x_i)} \text{ avec : } X = (x_1 \dots \dots \dots x_2) \tag{III-12}$$

Cependant, cette méthode de défuzzification est parfois complexe et demande des calculs importants. C'est pour cette raison qu'on utilise souvent une autre méthode plus simple qui est la méthode du maximum, dont le principe est de prendre l'abscisse du maximum de la fonction d'appartenance résultante [41].

III.5.5 la mise en œuvre de la logique floue[40]:

La représentation de diagramme bloc du contrôleur à logique floue mise en application sur simple machine (générateur synchrone) a connecté au réseau infini. Comme dans la figure suivante :

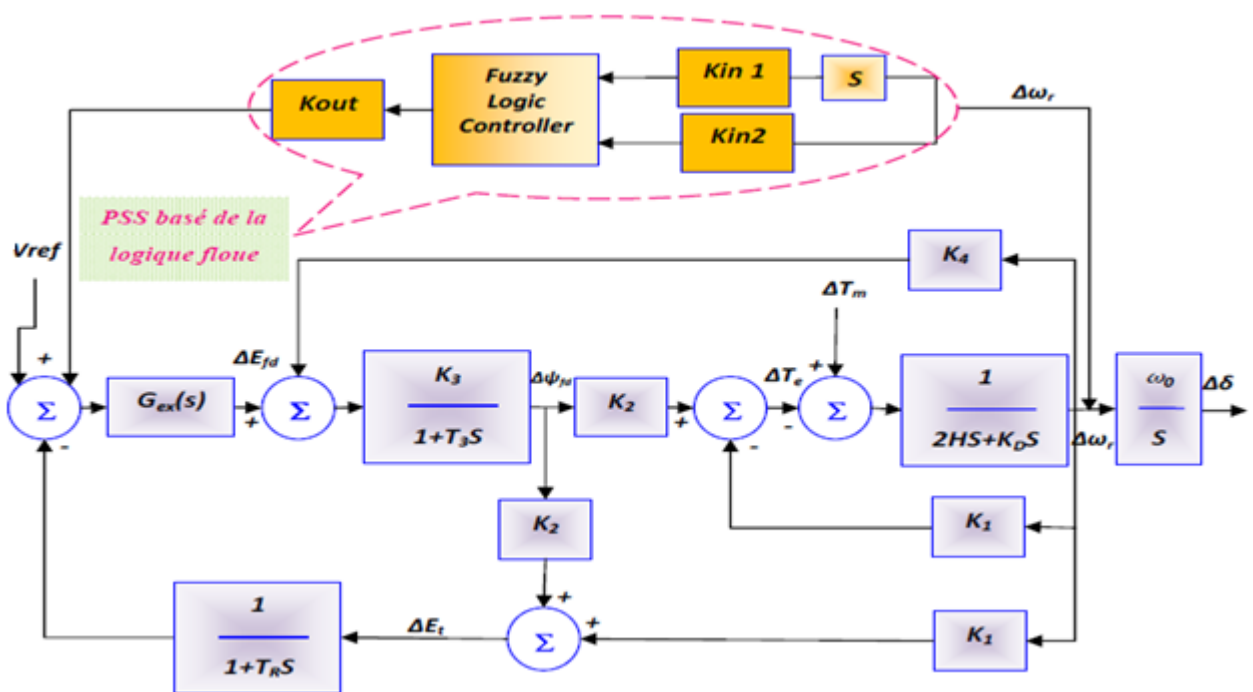


Figure III.12: Exécution de contrôleur de logique floue.

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé les principaux concepts théoriques de la logique floue, puis après avoir décrit une structure d'une commande base La logique floue permet de modéliser un système complexe, en modélisant seulement le comportement de l'opérateur humain face au système. Classée parmi les techniques de l'intelligence artificielle, la logique floue permet de modéliser puis de remplacer l'expertise de conduite de processus, en provenance du concepteur ou de l'utilisateur.

Etude comparative

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va tester les schémas blocs de régulateurs avec les paramètres de référence. Ainsi on présente un résultat de la programmation sous forme interface graphique pour simuler et analyser les performances des réseaux électriques en utilisant la technique de la programmation visuelle sous l'environnement MATLAB.9.

IV.2 Exécution système étudié avec régulateur automatique de tension AVR:

Le modèle de simulation étudier la réponse du système avec la tension constante est montré dans la figure (IV.1). En cette représentation les caractéristiques dynamiques du système sont exprimées en termes de prétendue constante de K.

➤ Paramètres schéma bloc de simulation :

$K_1=0.7635$, $K_2=0.8643$, , $K_4=1.4188$,

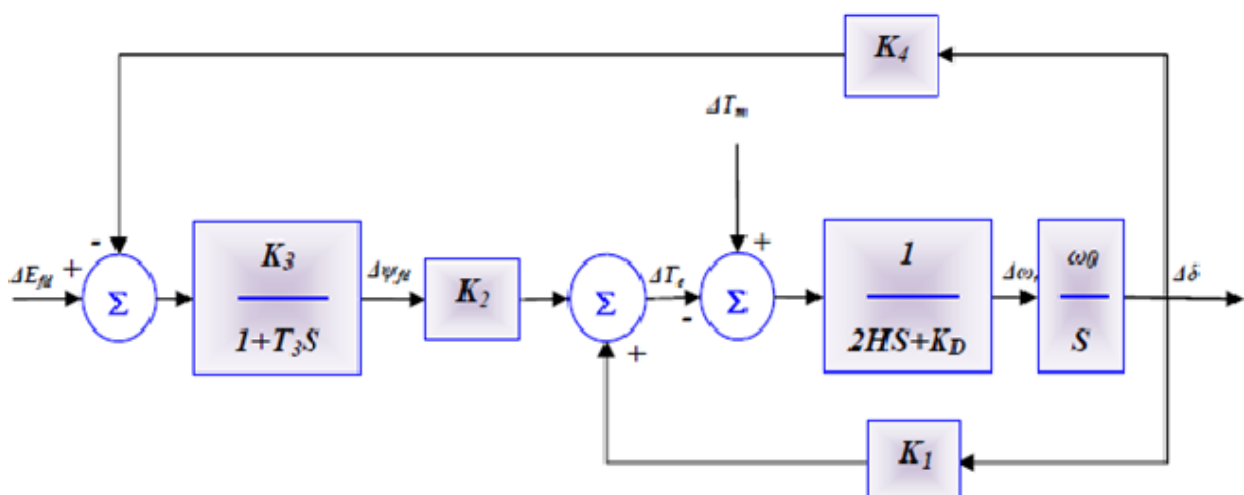


Figure IV.1: Représentation du réseau SMIB+AVR sur MATLAB/Simulink

Les résultats de simulation pour chacun d'angle de charge, de la vitesse angulaire, du couple électrique montré au-dessous.

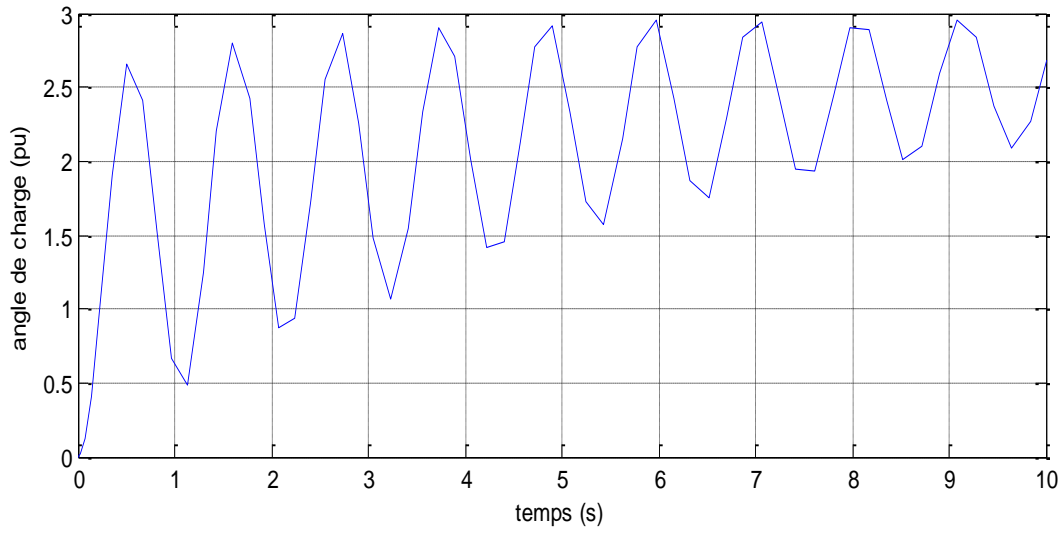


Figure IV.2: Présente la variation du position angulaire.

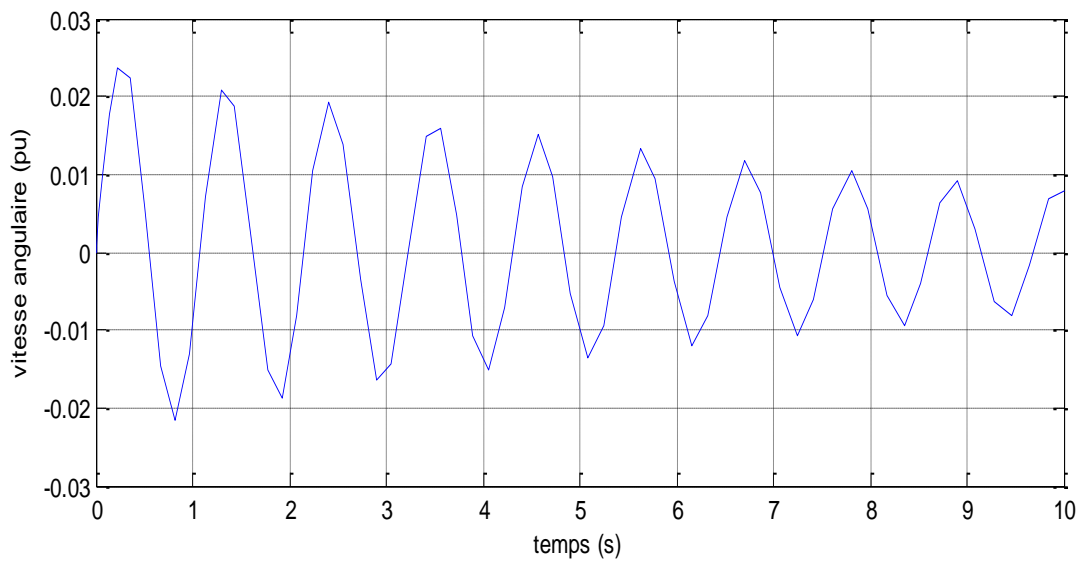


Figure IV.3: Présente la variation de la vitesse angulaire.

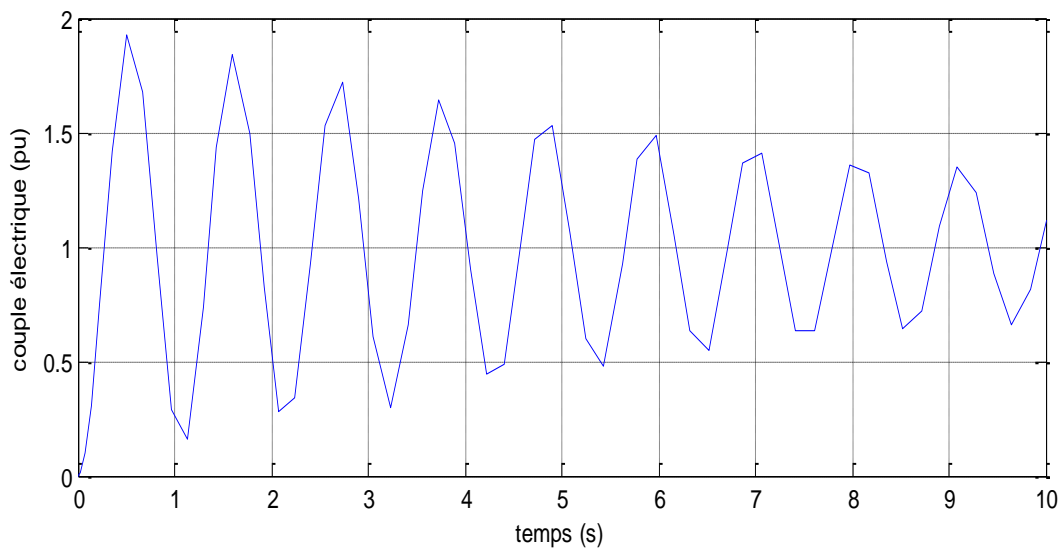


Figure IV.4: Présente la variation du couple électrique.

Remarques:

Dans ces résultats, il apparaît clairement que le système sans régulateur de vitesse (Gouverneur) présente des oscillations électromécaniques divergentes. Il est alors nécessaire de placer le Gouverneur pour améliorer la stabilité du système.

IV.3 Exécution système étudié avec le système d'excitation (AVR- Gouverneur) sans PSS:

La norme IEEE type ST1A le modèle de système d'excitation a été considéré pour l'étude et intégré lui avec le système de jeu de barre infini de machine simple. Également, les schéma blocs de simulation est montré dans la figure (IV.5) les paramètres de système d'excitation sont :

$K_3(\text{exciter})=200$ and $TR=0.02$.

➤ Paramètre schéma bloc de simulation:

$K_1=0.7635$, $K_2=0.8643$, $K_4=1.4188$, $K_5 = 0.1462$, $K_6=0.4166$.

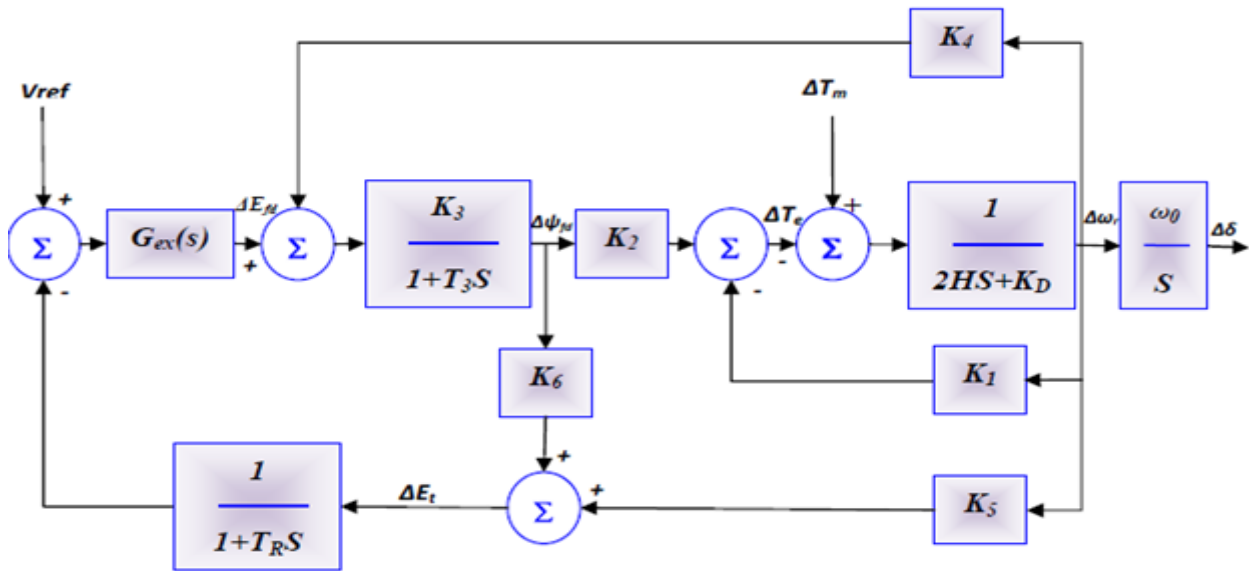


Figure IV.5: Représentation du réseau SMIB+d'excitation(AVR- Gouverneur)sur MATLAB/Simulink

Les résultats de simulation pour chacun d'angle de charge, de la vitesse angulaire, du couple électrique et de la tension terminale montré au-dessous.

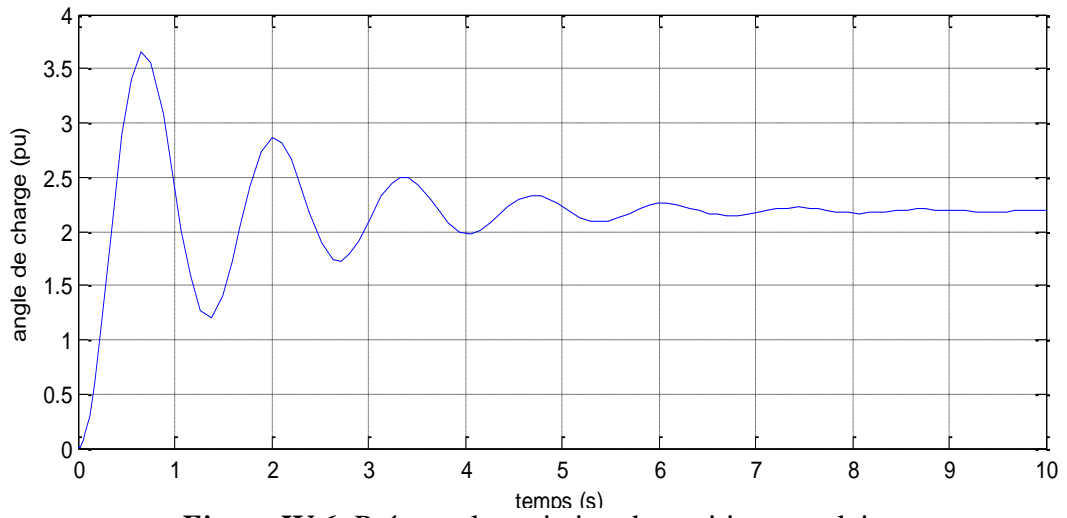


Figure IV.6: Présente la variation du position angulaire.

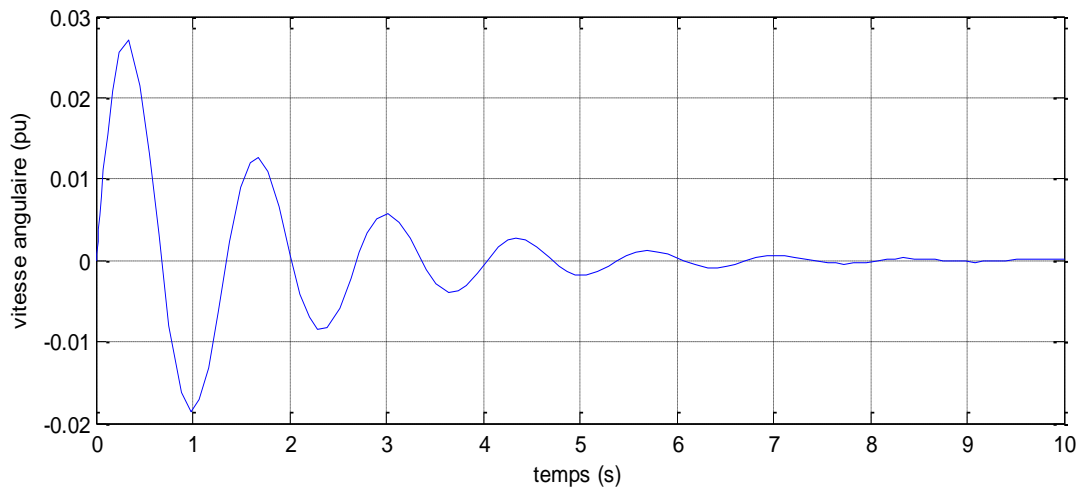


Figure IV.7: Présente la variation de la vitesse angulaire.

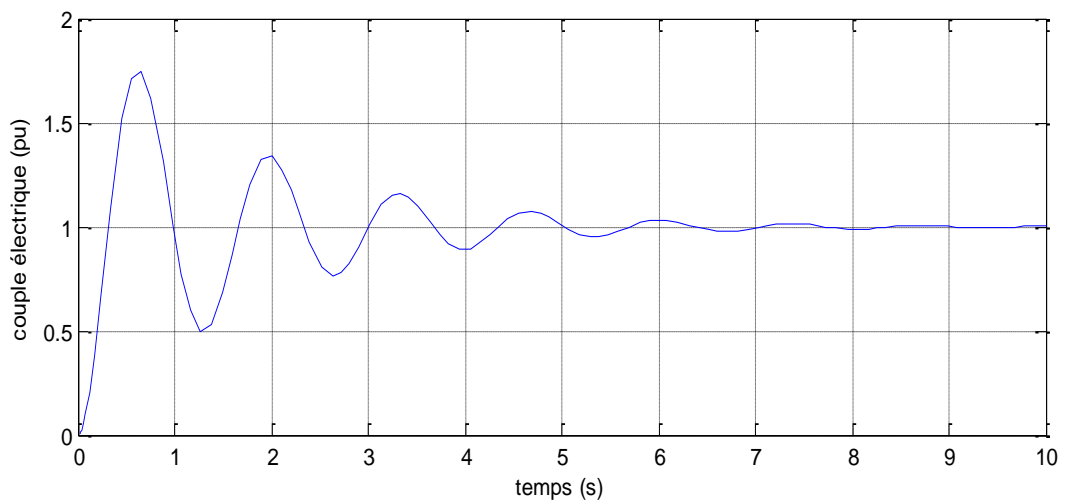


Figure IV.8. Présente la variation du couple électrique.

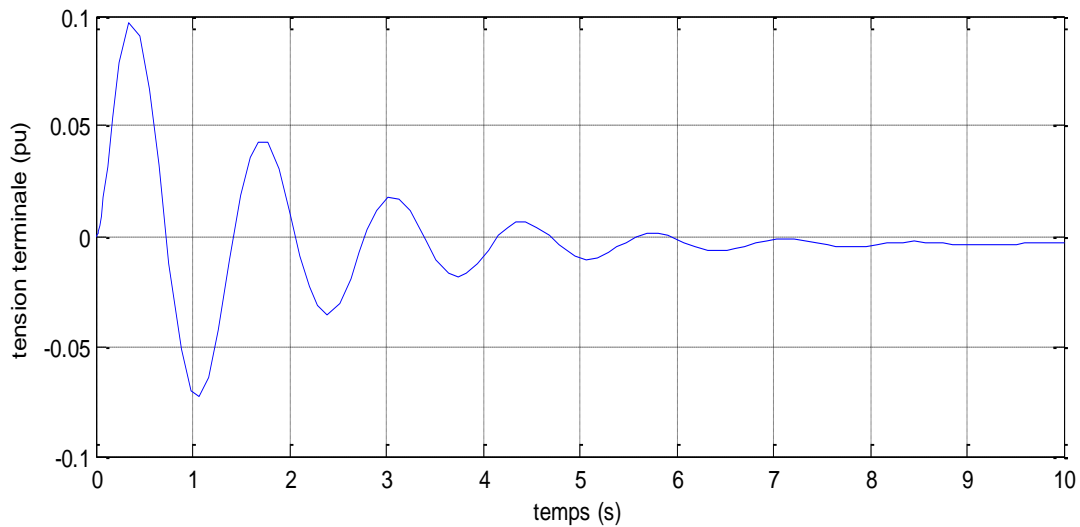


Figure IV.9. Présente la variation de la tension terminale.

Remarques:

Les résultats de simulation dans les figures au-dessus montrent qu'après l'utilisation de Gouverneur le system devient stable que l'AVR dans un temps de réponse après 7 seconds pour la variation de l'angle et de vitesse et de couple(puissance).

- ✓ Pour améliorer la stabilité du système mieux que le système précédant, il est alors nécessaire de placer le *PSS* (stabilisateur de puissance).

IV.4. Exécution du système étudié avec du système d'excitation AVR avec *PSS*:

D'après le chapitre (II) précédent, on peut utiliser MATLAB/simulink pour l'application du modèle de la figure (II.12).

- Paramètre schéma bloc de simulation

$K_1=0.7635$, $K_2=0.8643$, $K_3(\text{exciter})=1.3230$, $K_4=1.4188$, $K_5 = 0.1462$, $K_6=0.4166$.

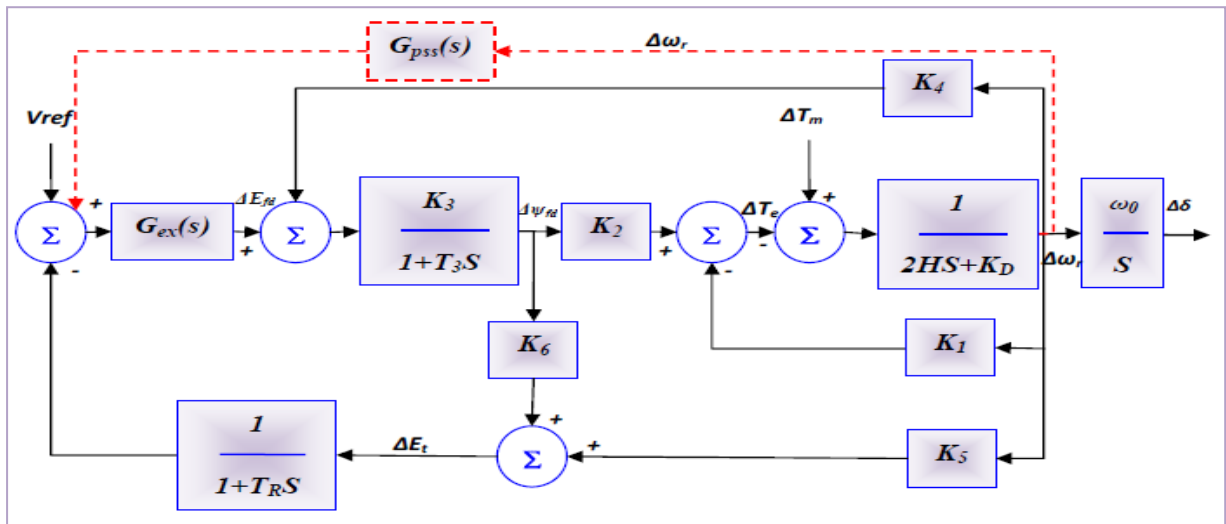


Figure IV.10: Représentation du réseau SMIB+PSS sur MATLAB/Simulink.

Les résultats de simulation pour chacun d'angle de charge, de la vitesse angulaire, du couple électrique et de la tension terminale montré au-dessous.

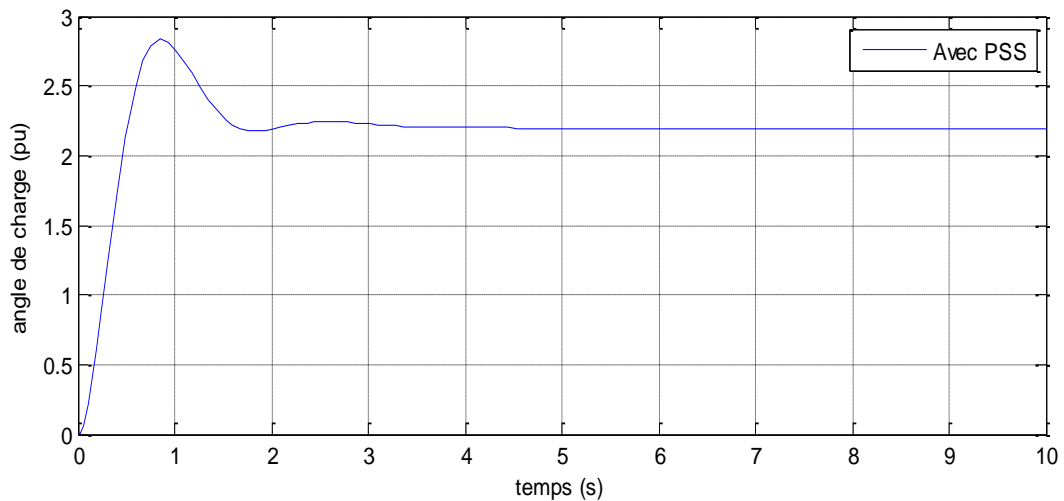


Figure IV.11: Présente la variation du position angulaire.

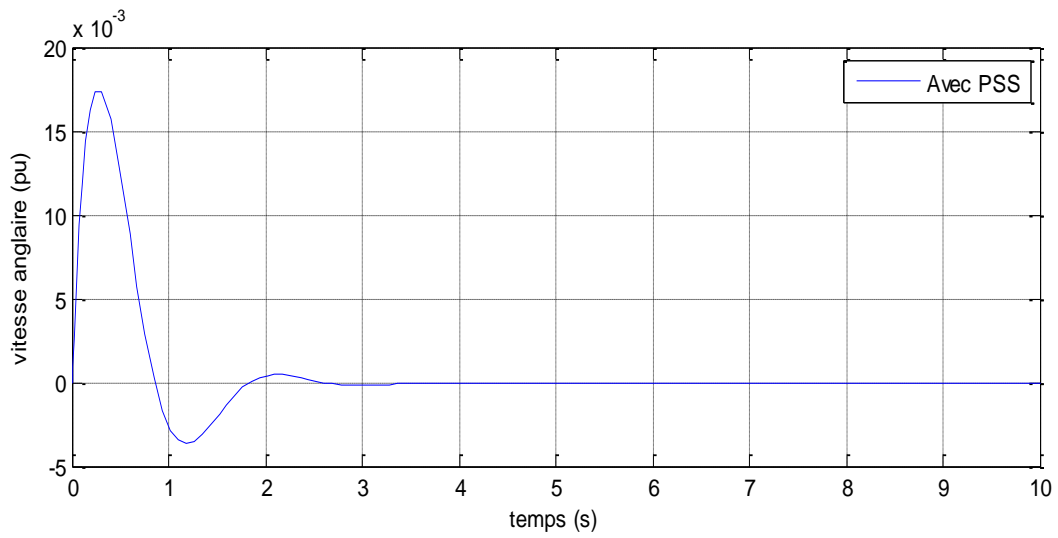


Figure IV.12. Présente la variation de la vitesse angulaire.

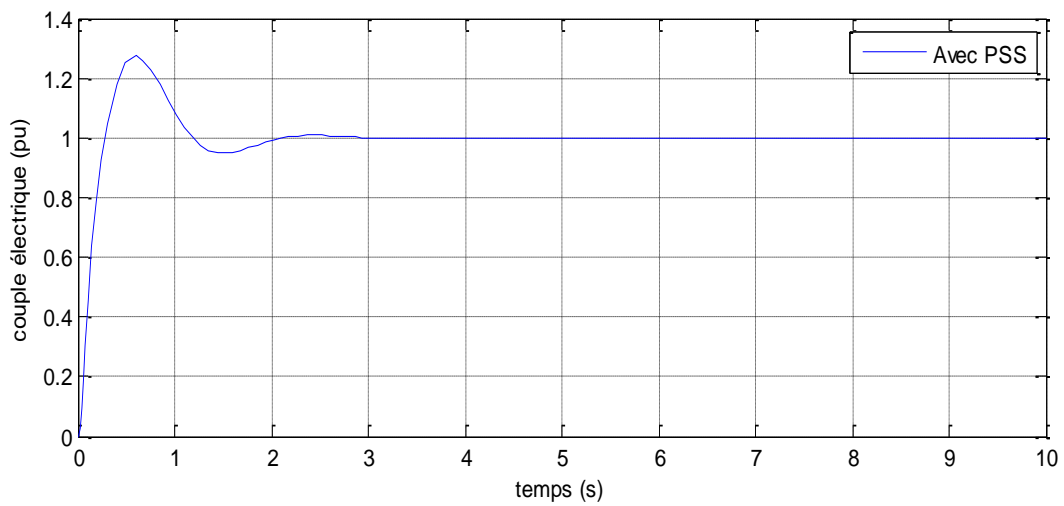


Figure IV.13. Présente la variation du couple électrique.

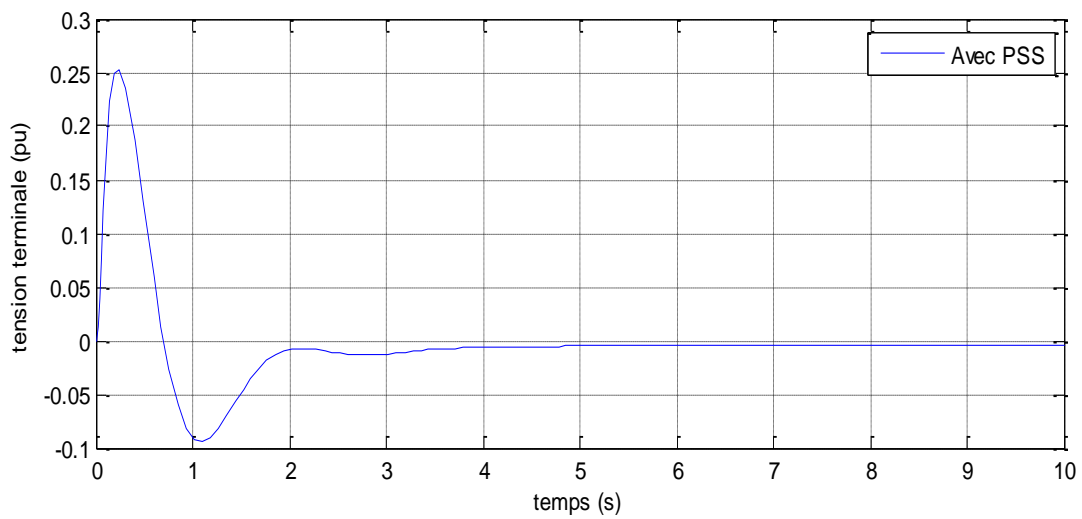


Figure IV.14. Présente la variation de la tension terminale.

IV.5 Etude de comparaison du régulation sans PSS et régulation avec PSS:

Nous avons comparé entre les deux cas suivants, où notre système est connecté avec le régulateur PSS conventionnelle et l'autre sans régulateur, puis choisissez le choix le plus efficace et le meilleur selon le critère de performance qui permettent à la bonne exploitation du système.

D'après le chapitre (II) précédent, on peut utiliser MATLAB/simulink pour l'application les deux schémas blocs dans la figure (II.12), et la figure (II.11).

Les résultats de simulation dans les figures (IV.15), (IV.16), (IV.17), (IV.18), et (IV.19) est montré au-dessous, pour chacun d'angle de charge, de la vitesse angulaire, du couple électrique et de la tension terminale, avec PSS est sans PSS.

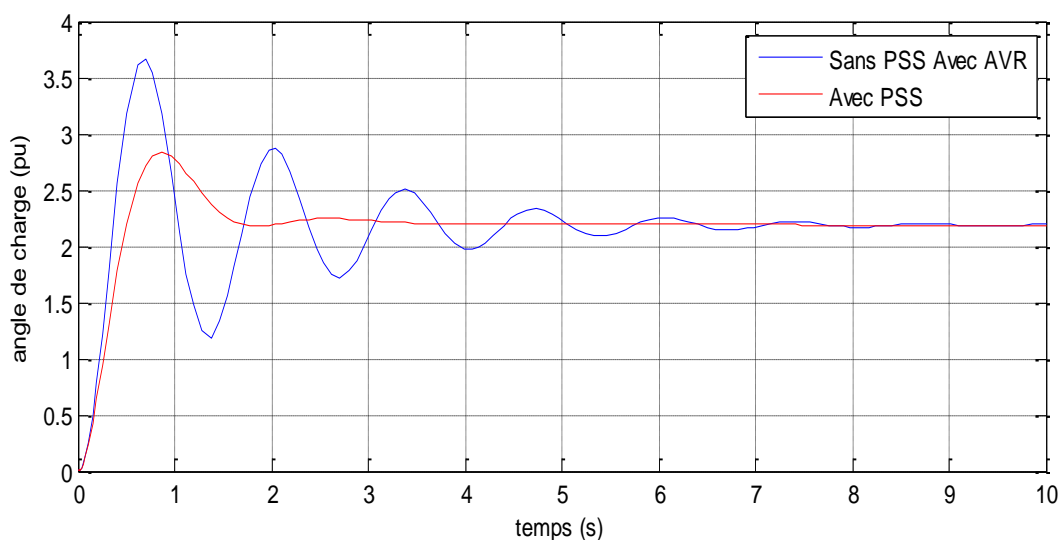


Figure IV.15: Présente la variation du position angulaire.

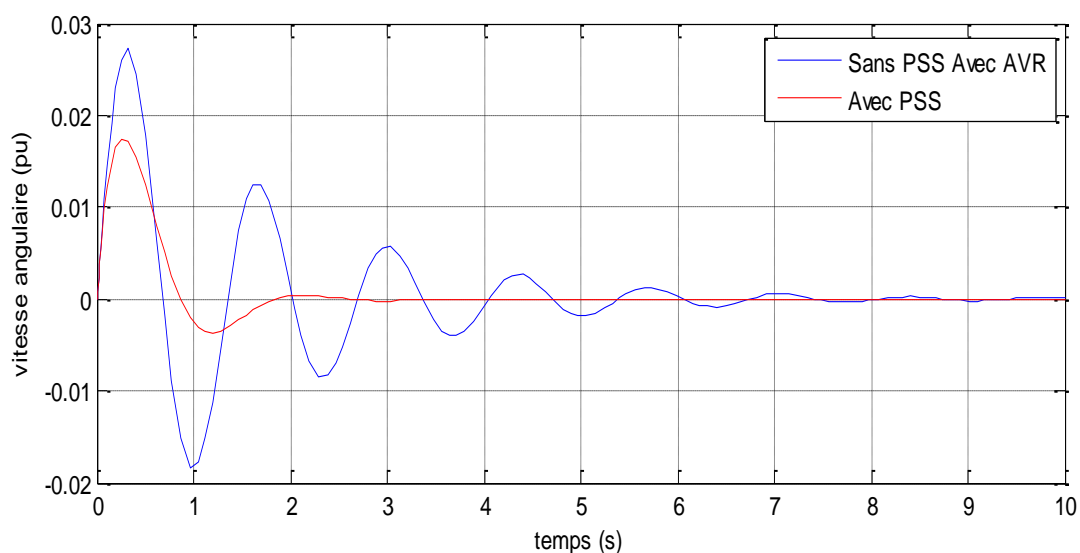


Figure IV.16: Présente la variation de la vitesse angulaire.

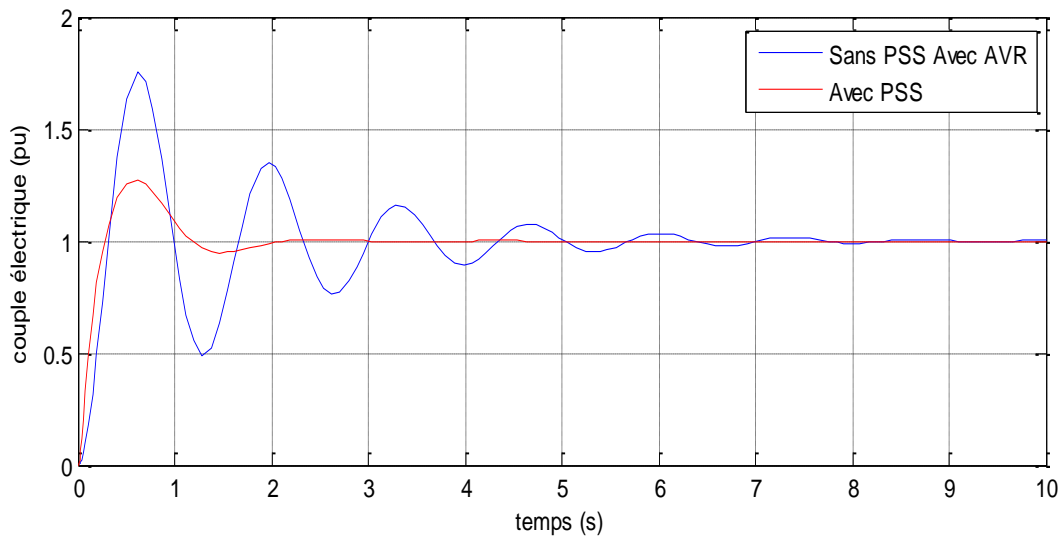


Figure IV.17: Présente la variation du couple électrique.

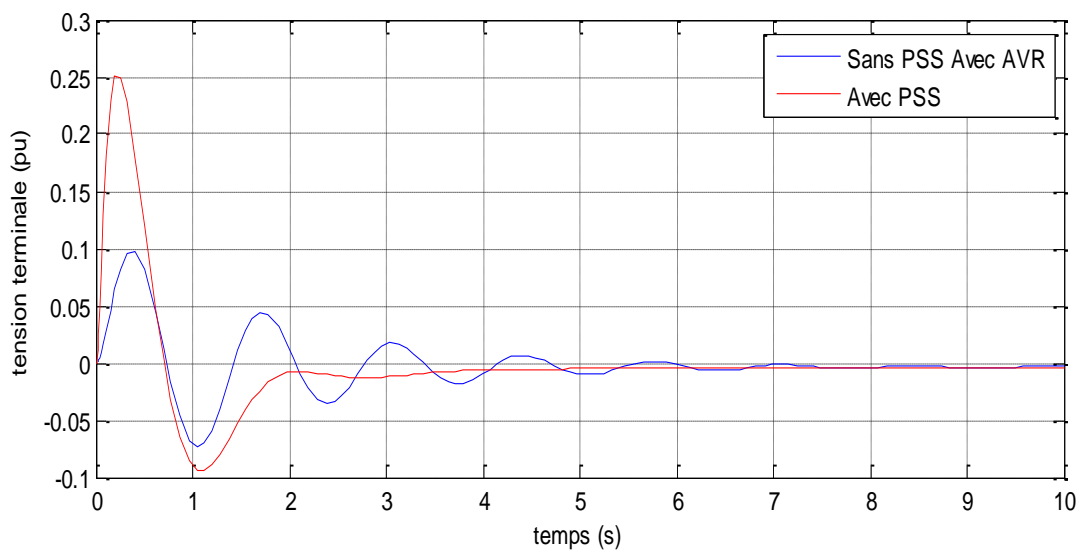


Figure IV.18: Présente la variation de la tension terminale.

Remarques:

Les résultats de simulation dans les figures au-dessus montrent qu'après l'utilisation de *PSS* le système devient stable que le système précédant (sans *PSS*) dans un temps de réponse entre 2 à 3 secondes pour la vitesse angulaire et position angulaire et 2 secondes pour le couple électrique et la tension terminale donc le *PSS* a une bonne influence sur la régulation de la puissance avec un bon amortissement des oscillations de la vitesse angulaire, ainsi que l'angle de charge.

-Afin de connaître l'effet de la stabilisateur *PSS*, on peut appliquer des quelques critères dans les deux cas, où le système était avec *PSS* conventionnelle et sans *PSS*.

- Premièrement, Nous définissons les paramètres “des critères temporels instantanés“ sur le tableau (IV.1), pour chacun courbe d'angle de charge, de la vitesse angulaire et du couple électrique :

Les cas	Sans <i>PSS</i>			Avec <i>CONVPSS</i>		
La courbe	δ	ω	T_e	δ	ω	T_e
D_p	1.419	0.0271	0.0271	0.638	0.01833	0.304
t_p	0.6734	0.314	0.6331	0.8358	0.2658	0.5604
$t_r(5\%)$	4.752		4.753	1.385		1.606

Tableau IV.1. Comparaison des critères temporels instantanés du système avec et sans *PSS*.

Lors nous faisons déplacer le *PSS* au système, ce dernier va à la stabilité tôt (1.385 pour l'angle de charge, et 1.606 pour le couple électrique). Par contre, dans le cas sans *PSS* le système devient stable à 4.752s, et à 4.753 pour l'angle et le couple électrique, respectivement.

- Deuxièmement, les différents critères typiques peuvent être utilisés pour caractériser la performance du système régulé les paramètres des critères temporels intégraux ([*IAE*] Integral of Absolute Error, [*ISE*] Intégral of Square Error, et aussi [*ITAE*] Intégral Time multiplied by Absolute Error), on peut montrer sur le tableau (IV.2).

Les cas	Sans <i>PSS</i>	Avec <i>CONVPSS</i>
<i>IAE</i>	0.1495	0.1169
<i>ISE</i>	0.007102	0.007336
<i>ITAE</i>	0.3273	0.2232

Tableau IV.2. Comparaison des critères temporels intégraux du système avec et sans *PSS*.

Nous avons connu d'après les chapitres précédents, le système sera d'autant mieux réglé lors le critère intégral choisi sera minimal.

Du tableau au-dessus on peut vérifier que le système avec *PSS* conventionnelle mieux réglé, parce que l'intégrale de l'erreur absolue est minimale par rapport le cas sans *PSS* ($IAE_{\text{minimal}} = IAE_{\text{avec CONVPSS}} = 0.1169$), aussi l'intégrale de l'erreur absolue pondérée par le temps est minimale ($ITAE_{\text{minimal}} = ITAE_{\text{avec CONVPSS}} = 0.2232$),

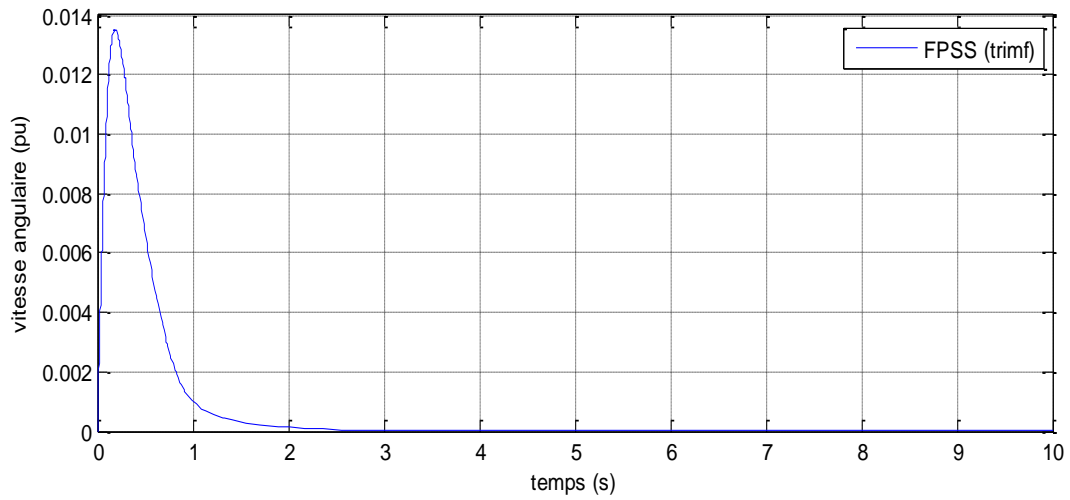


Figure IV.21: Présente la variation de la vitesse angulaire.

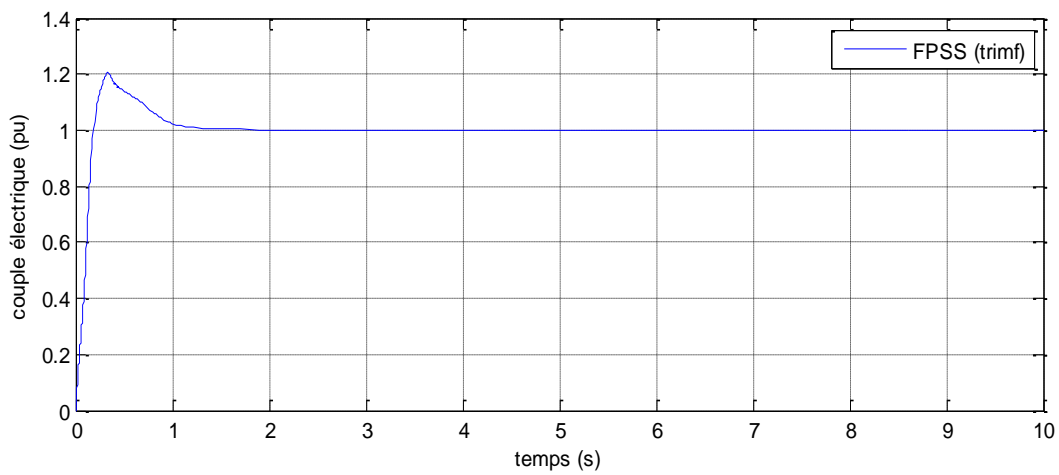


Figure IV.22: Présente la variation du couple électrique.

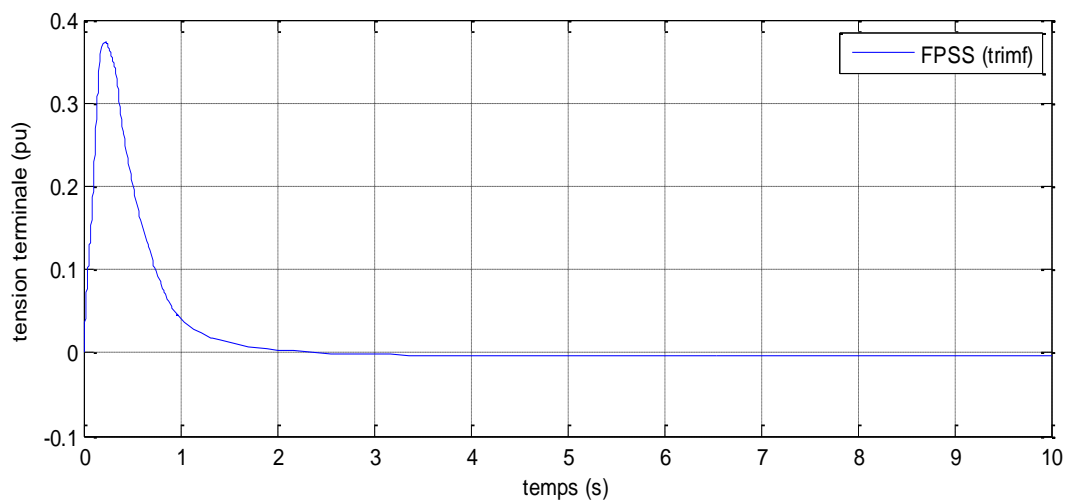


Figure IV.23: Présente la variation de la tension terminale.

IV.7 Etude de comparaison du régulation PSS conventionnel et régulation PSS basée sur logique floue:

Nous avons comparé entre les trois cas : où notre système est :

- sans régulateur *PSS*.
- connecté avec régulateur *PSS* conventionnelle.
- connecté avec régulateur *FLPSS(PSSflou)*.

Simultanément, nous exécutons les schémas blocs des figures (II.12), (II.11) et de la figure (IV.12), pour les mêmes paramètres.

A partir des critères de performance, nous obtenons le bon choix qui permette à la bonne exploitation du système.

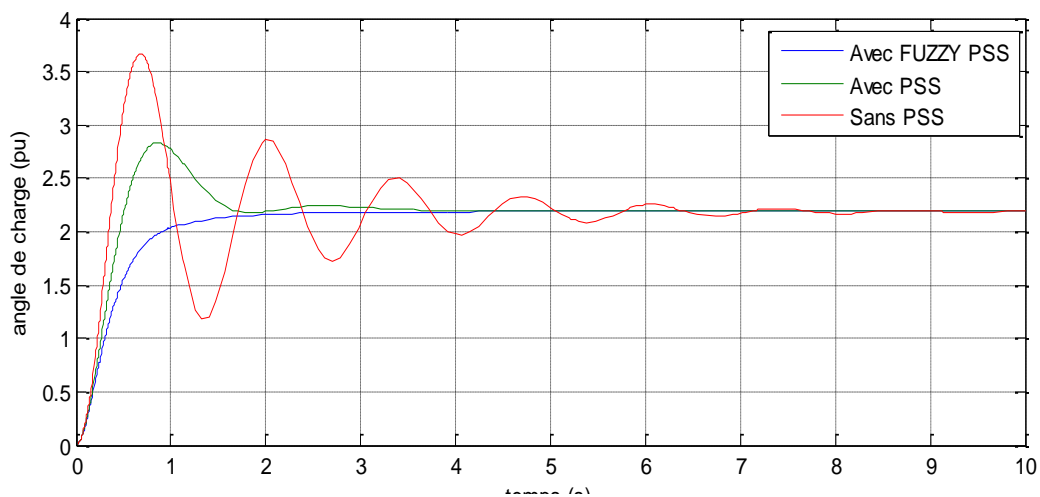


Figure IV.24: Présente la variation du position angulaire.

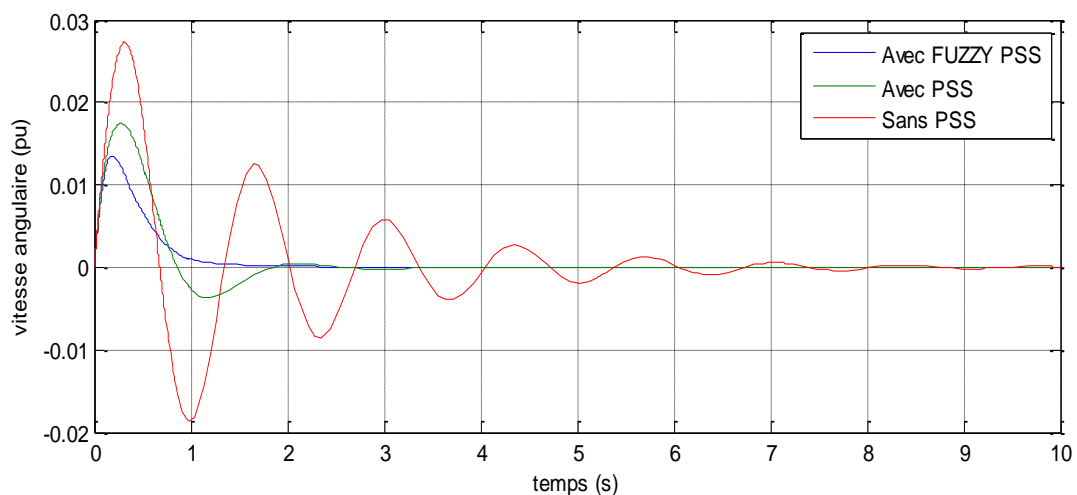


Figure IV.25: Présente la variation de la vitesse angulaire.

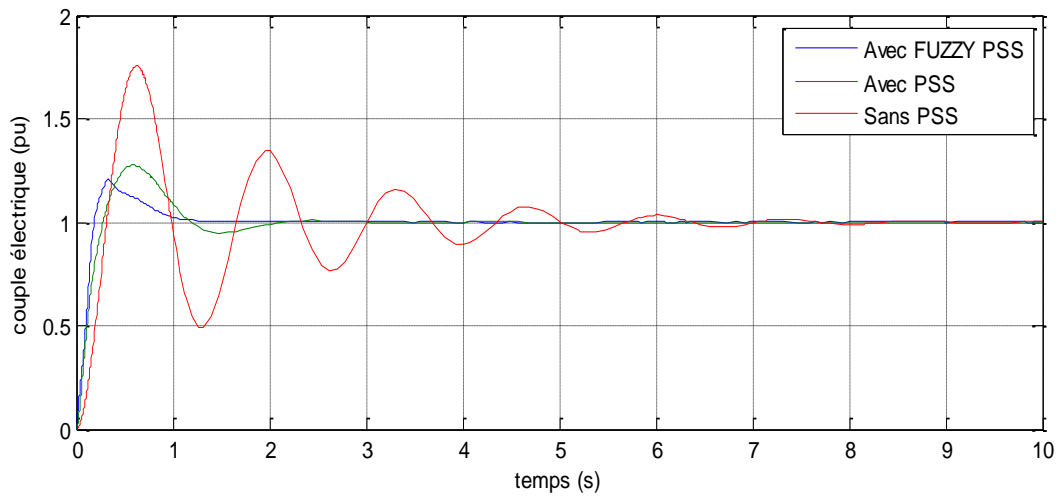


Figure IV.26: Présente la variation du couple électrique.

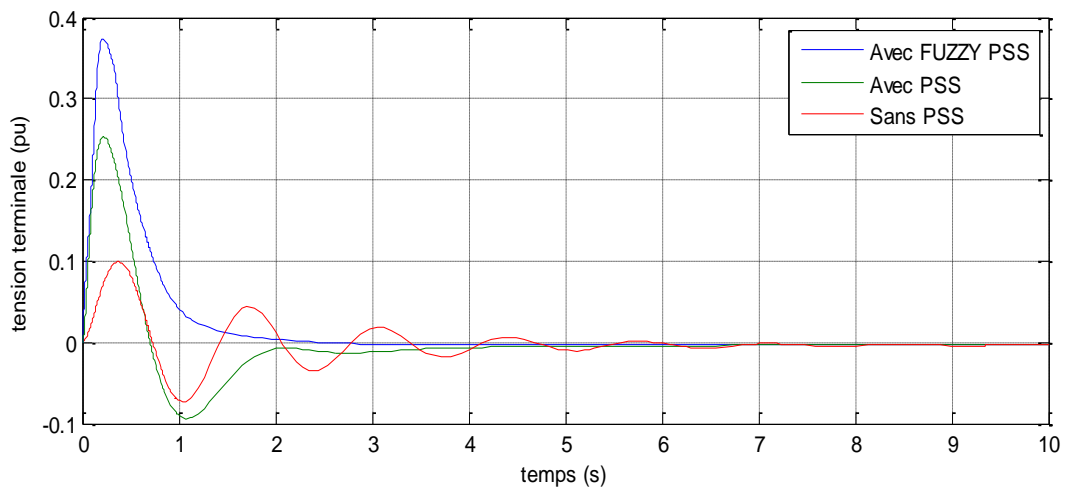


Figure IV.27: Présente la variation de la tension terminale.

Les deux tableaux ci-dessous montrent les paramètres des critères, l'un des critères temporels instantanés et l'autre des critères temporels intégraux.

Les cas	Sans PSS			Avec PSS			Avec FUZZY PSS		
	δ	ω	T_e	δ	ω	T_e	δ	ω	T_e
D_p	1.419	0.0271	0.743	0.638	0.01833	0.304	0	0.01381	0.223
t_p	0.6734	0.314	0.6331	0.8358	0.2658	0.5604	/	0.1822	0.3443
$t_r(5\%)$	4.752	/	4.753	1.385	/	1.606	1.28	/	0.8491

Tableau IV.3. Comparaisons des critères temporels instantanés.

Les cas	Sans <i>PSS</i>	Avec <i>PSS</i>	Avec <i>FUZZY PSS</i>
IAE	0.1495	0.1169	0.09975
ISE	0.007102	0.007336	0.008198
ITAE	0.3273	0.2232	0.1715

Tableau IV.4. Comparaison des critères temporels intégraux.

Lors nous déplaçons le *FLPSS* au système, ce dernier va à la stabilité tôt (1.28s pour l'angle de charge). Par contre, les courbe d'angle pour les cas sans *PSS* et avec *PSS* conventionnel sont stable au (4.752s et 385s) respectivement.

Du tableau (IV.4) on peut vérifier que le système avec *FLPSS* mieux réglé, parce que l'intégrale de l'erreur absolue est minimale par rapport les autres cas

$$(IAE_{\min imal} = IAE_{avec\ FLPSS} = 0.09975),$$

aussi l'intégrale de l'erreur absolue pondérée par le temps est minimale

$$(IAE_{\min imal} = IAE_{avec\ FLPSS} = 0.17155).$$

Le régulateur flou est utilisé pour pouvoir ajuster le système rapidement (temps de réponse très court) par rapport au régulateur classique et de maintenir la tension V_i proche de sa référence $V_{réf}$ avec un minimum de dépassement

IV.8. Application à un système multi-machines :

Le générateur connecté à un jeu de barres infini représente un des rare cas d'exploitation des réseaux de puissance électriques. Les générateurs sont en général groupés et reliés avec d'autre formants ainsi des systèmes multi-machines. Les phénomènes d'oscillation de puissance sont rencontrés en grande partie entre de grandes régions interconnectées. Dans le cadre de ce travail le réseau test multi-machines qui a été retenu est celui de Kundur et une simulation basé sur le stabilisateur proposé Fuzzy-PSS conduite. Les performances du stabilisateur Fuzzy-PSS en termes d'amortissement des oscillations locales et interrégionales sont évaluées dans les sections suivantes.

IV.8.1. Description du réseau étudié :

Le réseau test se compose de deux zones totalement symétriques reliés entre-elles par deux lignes en parallèle de 220 km de longueur avec une tension nominale de 230 kV, figure (4.6). Il a été spécifiquement conçu [42] pour étudier les oscillations électromécaniques de basse fréquence dans les grands systèmes électriques interconnectés. Malgré sa petite taille, il imite très bien le comportement des systèmes typiques en fonctionnement réel. Chaque zone est équipée de deux générateurs identiques de 20 kV/900 MVA. Les machines synchrones ont des paramètres identiques sauf pour les inerties qui sont $H = 6.5$ s dans la zone 1 et $H = 6.175$ s dans la zone 2. La charge est représentée par une impédance constante partagée entre les zones de telle manière que la zone 1 exporte 400 MW vers la zone 2. Vu que la charge maximale d'une seule ligne est d'environ 140 MW, le système est un peu stressé, même dans l'état statique. Le jeu de barres auquel est connecté le générateur $G1$ est considéré comme le jeu de barres de référence. Des batteries de condensateur sont installées dans chaque zone afin d'améliorer le profil de tension pour qu'elle soit proche de l'unité relative dans les deux zones.

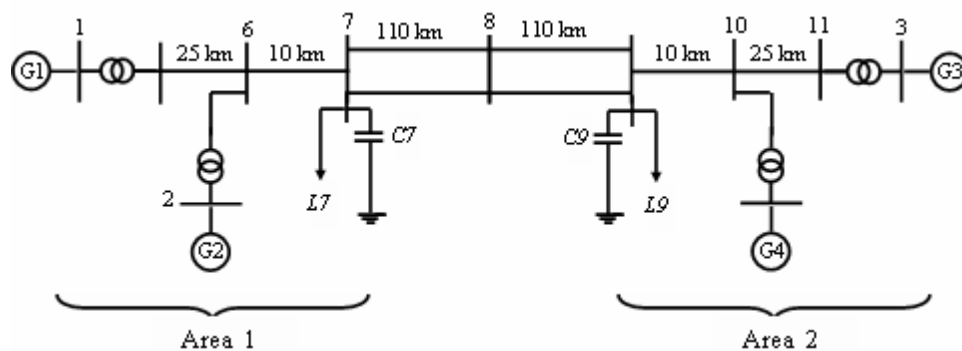


Figure IV.28 : Représentation schématique des deux régions du système étudié.

IV.8.2. Amortissement des oscillatoires inter-régions :

Les échanges croissants d'énergie font apparaître des oscillations de puissance, nommées « Oscillation inter-régions ». Ces oscillations électromécaniques sont visibles par l'oscillation de la vitesse ou l'angle des arbres des générateurs d'au moins deux régions mais aussi par l'oscillation de la puissance transitant sur les lignes du réseau [43]. Les oscillations inter-régions limitent la production d'énergie par les machines ainsi que le transport d'énergie, entre autre à cause de l'écart des oscillations qui dépasse la capacité de production des générateurs, et augmentent les risques d'instabilité.

Pour mieux représenter ce phénomène d'oscillations inter-régions, on prend souvent un exemple mécanique analogue figure (4.7): celui de deux chariots reliés par un ressort, oscillants en opposition de phases, chaque chariot représentant un groupe de machines cohérentes (c'est-à-dire avec des angles internes *id* «en phases») et le ressort représentant les lignes [44].

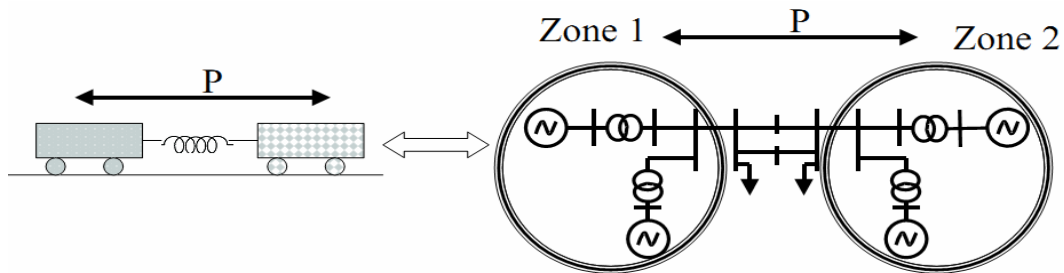


Figure IV.29 : Exemple mécanique analogue aux oscillations inter-régions

Rappelons que sur un réseau électrique il existe trois principaux types de mode d'oscillation:

- les modes dits sous-synchrones où les oscillations se font à une fréquence relativement élevée, sujet non traité dans notre étude ($\geq 1,5$ Hz) ;
- les modes dits locaux où une machine oscille seule contre une autre machine du même site ou contre le reste du réseau ($\geq 1,0$ Hz) ;

Les modes dits inter-régions (ou interzones) où un groupe de machines cohérentes oscille contre un autre groupe (de 0,1 à 1 Hz).

L'amortissement des oscillations inter-régions peut se faire de trois façons principales:

- soit par des lignes THT (Très Hautes Tensions) en ajoutant des lignes supplémentaires, c'est la solution la plus coûteuse;
- Soit par des dispositifs FACTS (Flexible AC Transmission System), placés sur les lignes les plus contraintes, ce sont des injecteurs de puissance réactive [45]; nous ne nous intéresserons pas à ce type d'amortissement dans cette thèse.
- soit par des PSS (Power System stabilizer) [46] couplés à des AVR (Automatic Voltage Regulator) qui agissent sur la tension d'excitation de la machine synchrone : c'est la solution conventionnelle.

Nous pouvons également amortir les oscillations inter-régions par les correcteurs non linéaires c'est cette solution que nous testons ici.

IV.8.3. Intérêt de l'amortissement des oscillations inter-régions :

Dans les réseaux électriques, les marges de transmission de la puissance (la différence entre la limite thermique et l'utilisation « normale ») sont amenées à être de plus en plus réduites, la

Consommation augmentant, et les structures de production et de transport se développant peu, pour des raisons de rentabilité économiques mais aussi écologiques. On perçoit dès lors l'intérêt de nouvelles technologies permettant de se rapprocher des limites thermiques des réseaux déjà en places.

L'augmentation de la stabilité des réseaux électriques par l'amortissement des oscillations interrégions, permet tout en gardant une marge de sécurité équivalente, de réduire les marges de transmission de puissance.

IV.8.4. Résultats de simulation

Le modèle de système de puissance de quatre machines montré dans la figure (IV.29) a été choisi pour évaluer la performance et l'efficacité du stabilisateur proposé pour l'amortissement des oscillations locales et interzones. La performance obtenue avec le stabilisateur proposé FPSS est comparée à celles obtenues en utilisant un stabilisateur conventionnel (CPSS) [47], en utilisant un stabilisateur flou (FPSS) sous différentes contingences. Une représentation schématique du diagramme d'un générateur est montrée dans la figure (IV.29).

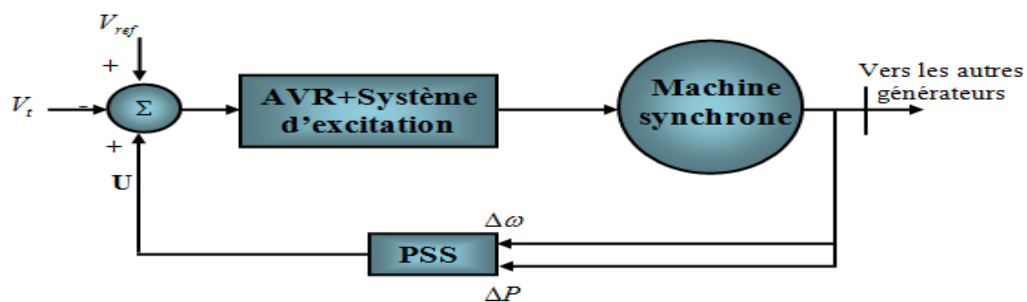


Figure IV.30 Configuration d'un générateur équipé supplémentaire stabilisateur.

IV.8.4.1. Système sans stabilisateur

Nous étudions en premier lieu le fonctionnement du système sans PSS. La perte de stabilité du système aux grandes perturbations conduit évidemment à la présence de modes d'oscillations électromécaniques fortement instables. Nous appliquons un défaut triphasé sur la ligne 7-8 suivi par une élimination du défaut. Le temps de défaut et de retour à l'état initial est choisi de l'ordre de 6 périodes du réseau (0.1 s). Les réponses des angles de rotor, la variation de vitesse des

générateurs et la puissance électrique et la tension terminale suite au défaut choisi sont montrées dans les figures (IV. 31-34).

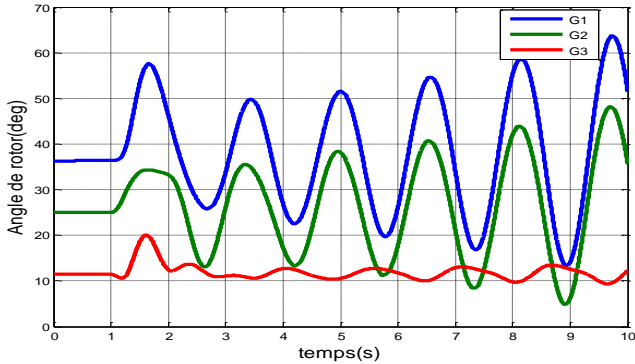


Figure IV. 31. Variation Angles de rotors des générateurs (Sans PSS)

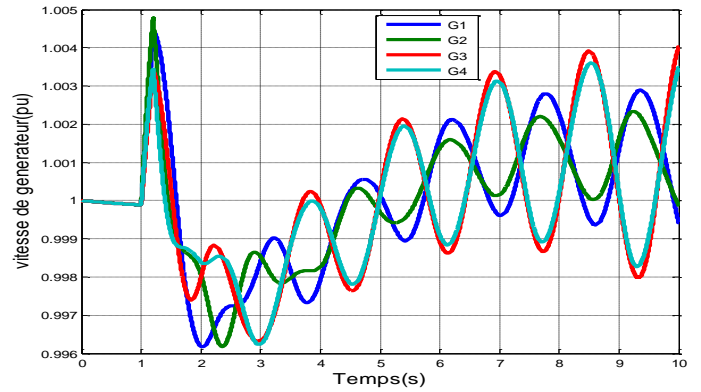


Figure IV.32 Variation de vitesse des générateurs (Sans PSS)

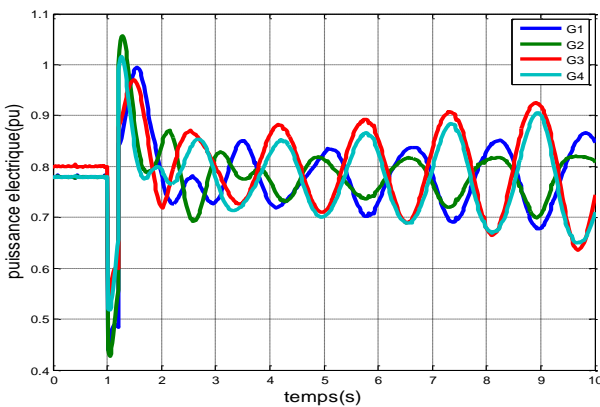


Figure IV.33. Puissances électriques des générateurs (Sans PSS)

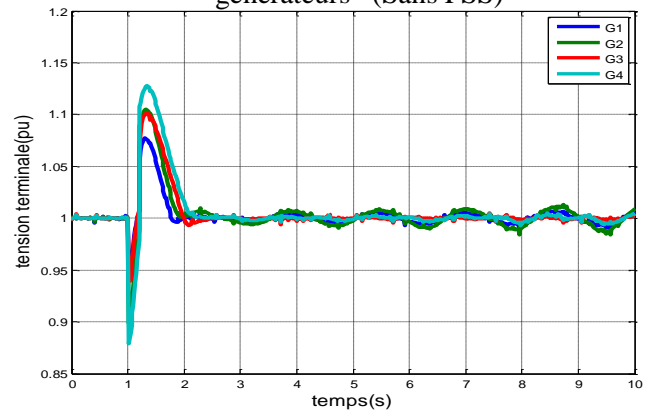


Figure IV.34. Tension terminale des générateurs (Sans PSS)

La figure (IV.31) montre bien que les modes instables mènent à un écart croissant des angles de rotor et par conséquent à la perte de la stabilité du système.

Pour rétablir la stabilité du système et améliorer l’amortissement des modes électromécaniques, les stabilisateurs (sans PSS, CPSS, FPSS) sont maintenant ajoutés aux générateurs.

IV.8.4.2. Evaluation de performance et comparaison

Pour évaluer la performance des différents stabilisateurs des simulations temporelles du système sont effectuées en considérant le modèle non linéaire pour ces différents scénarios en présence d’une grande perturbation transitoire.

Scénario 1 : un défaut triphasé de 6 périodes du réseau (0.1 s) est appliqué au milieu d’une ligne de double ligne de transmission 7-8.

Cette perturbation de forte amplitude est sensée provoquer une oscillation inter zone.

En effet ce court-circuit interrompt momentanément et rétablit le transfert de puissance entre les deux zones du réseau. Le régime transitoire provoqué par la perturbation engendre une fluctuation dans la direction du transfert de puissance. La figure (IV.35) montre les réponses temporelles, les écarts entre les angles des générateurs 2 et 1 le mode local, les écarts entre les angles des générateurs 4 et 2 et entre les angles des générateurs 3 et 1 ce qui illustre le mode d'oscillations inter-régions pour le défaut proposé. Les oscillations interrégionales se manifestent clairement sur l'écart angulaire des générateurs appartenant à des régions différentes, ils oscillent en opposition de phase comme l'illustre les premières oscillations. La figure (IV.36) représente la réponse dynamique des écarts de variation des vitesses des générateurs. Nous pouvons clairement constater que le stabilisateur Floue-PSS proposé assure une bonne performance satisfaisant permettant d'obtenir le meilleur

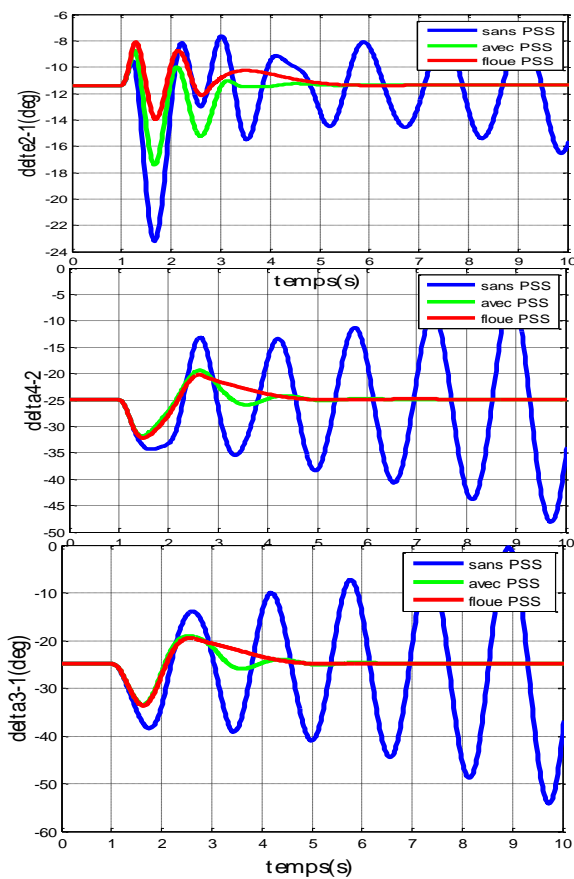


Figure IV.35. Ecart des angles des générateurs

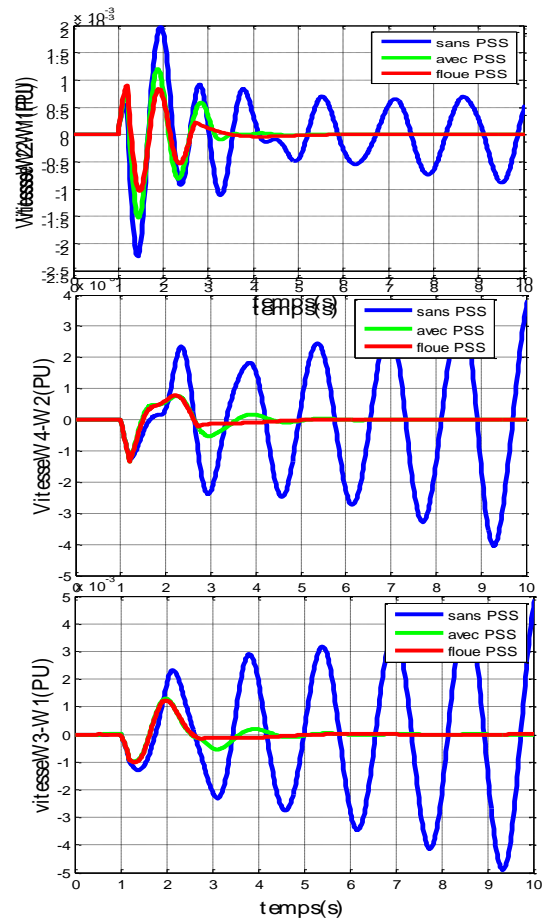


Figure IV.36. Ecart des vitesses des générateurs

Les variations des angles des rotors influencent fortement les puissances électriques des générateurs du système ainsi que les tensions terminales.

La figure (IV.37) illustre la réponse dynamique des puissances électriques des quatre générateurs et la réponse dynamique des tensions terminales représentées par la figure (IV.38).

On a représenté les signaux des stabilisateurs dans la figure (IV.39).

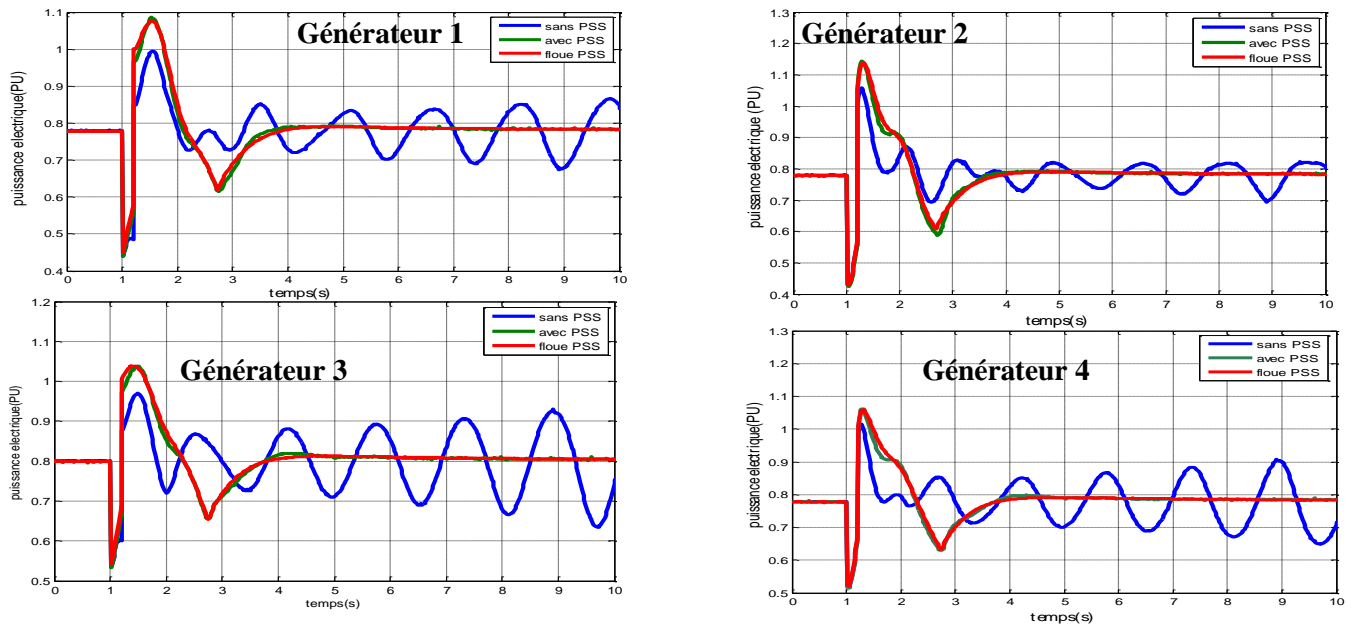


Figure IV.37. Puissance électrique des générateurs (1^{er} scénario)

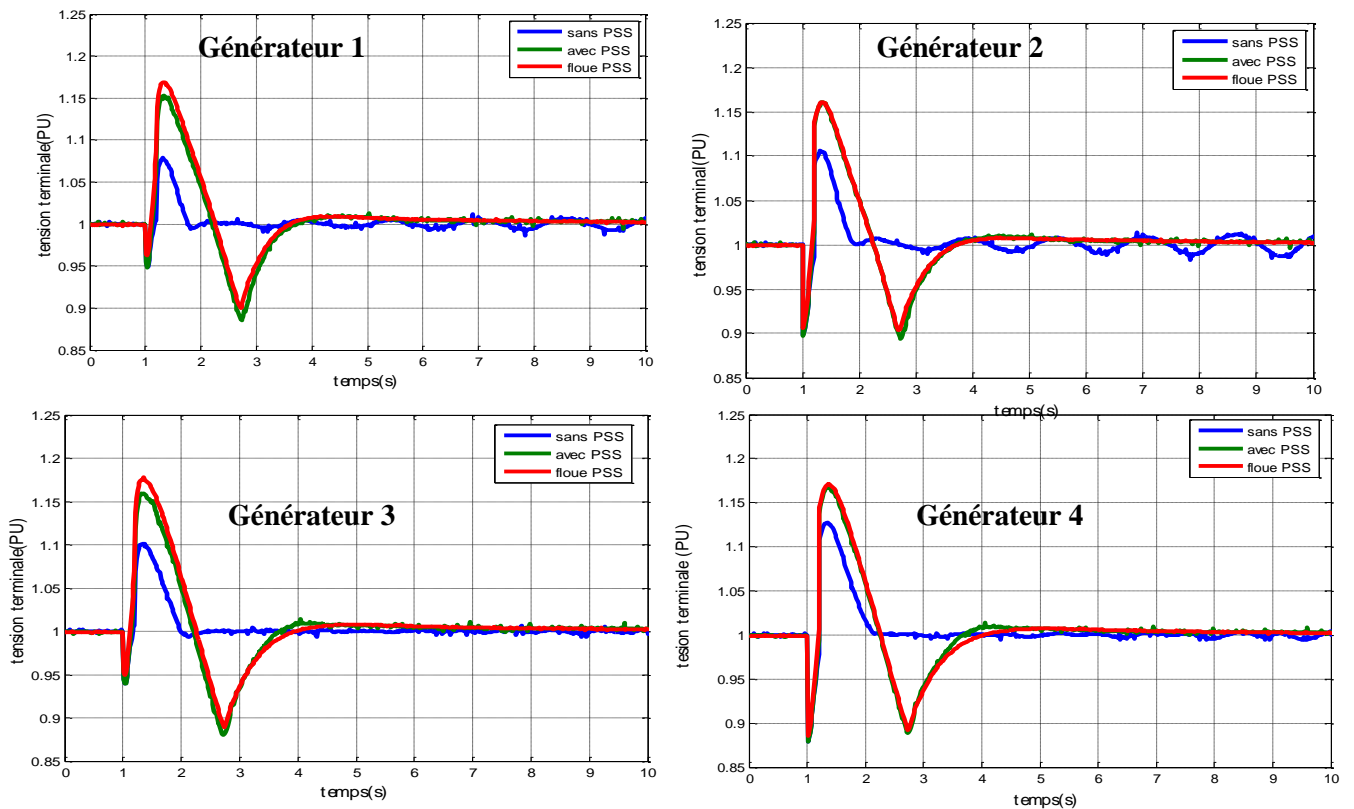


Figure IV.38. Variation de la tension terminale des générateurs (1^{er} scénario)

IV.8.4.3. Test de robustesse

La robustesse consiste à assurer que la stabilité du réseau (et donc l'amortissement des modes

d'oscillations critiques) reste garantie dans une plage de points de fonctionnement assez large. Nous allons considérer deux perturbations ayant des grandes variations dans une utilisation normale d'un réseau: les valeurs des changements dans les tensions de référence et les impédances des lignes. Nous allons nous assurer du bon fonctionnement des stabilisateurs et de leurs performances pour deux points de fonctionnement différents.

Pour tester la robustesse de stabilisateurs proposés, les perturbations suivantes sont appliquées et la performance du système évaluée.

Scénario 2 : Les réponses du système suite à une contingence sévère d'une grande amplitude tel qu'un défaut monophasé a la terre dans la région 2 sur la ligne 9-10 est appliqué à la proximité du jeux de barre 9 pendant 6 périodes du réseau (0.1 s).

Les réponses dynamiques des écarts des angles de rotors et de variation des vitesses entre les

Générateurs donnés dans les figures (IV.39) et (IV.40) respectivement, montrent bien la restauration rapide de la stabilité suite à cette contingence et l'amortissement d'oscillations locales obtenu avec le stabilisateur flou PSS dans la zone 1 est le plus efficace

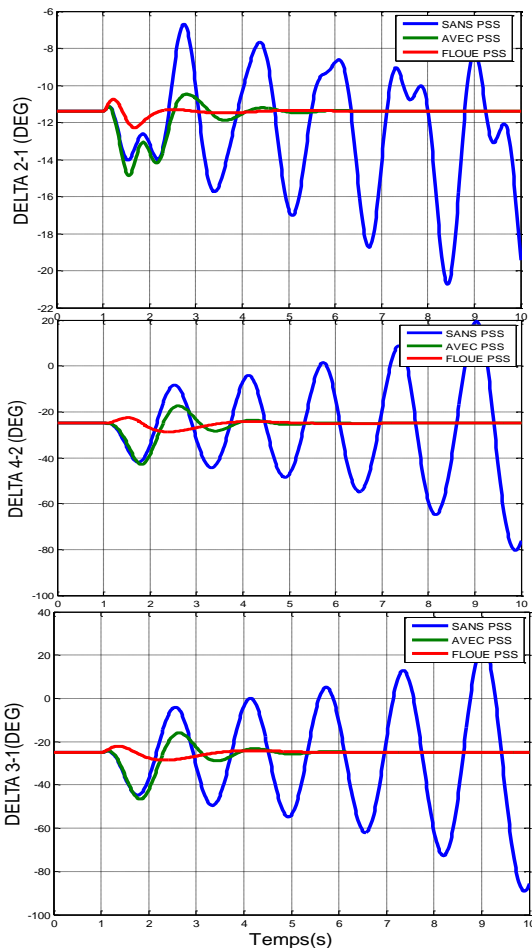


Figure IV.39. Ecart des angles des générateurs

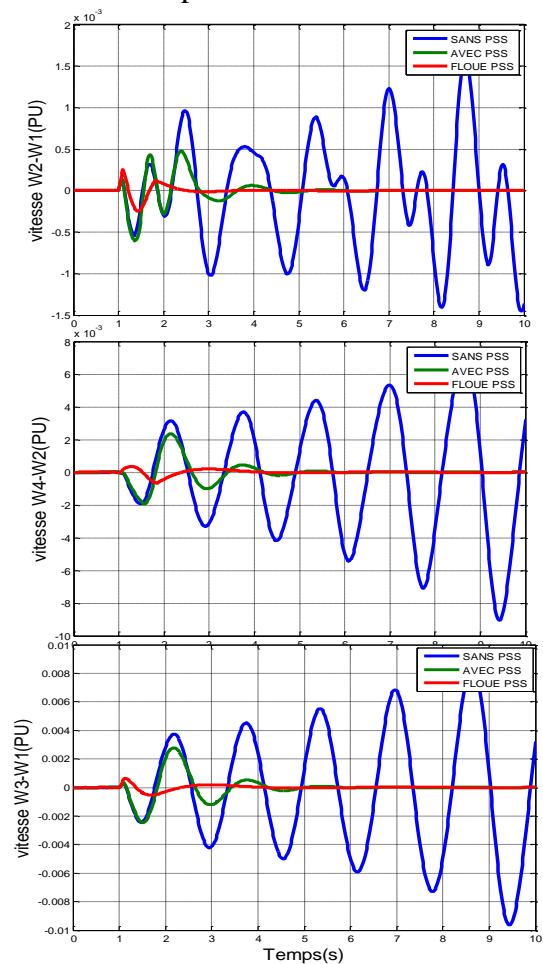


Figure IV.40. Ecart des vitesses des générateurs

La réponse dynamique des puissances électriques des quatre générateurs, la réponse dynamique des tensions terminales et les signaux stabilisateurs sont présentées respectivement dans les figures (IV. 4.41-42).

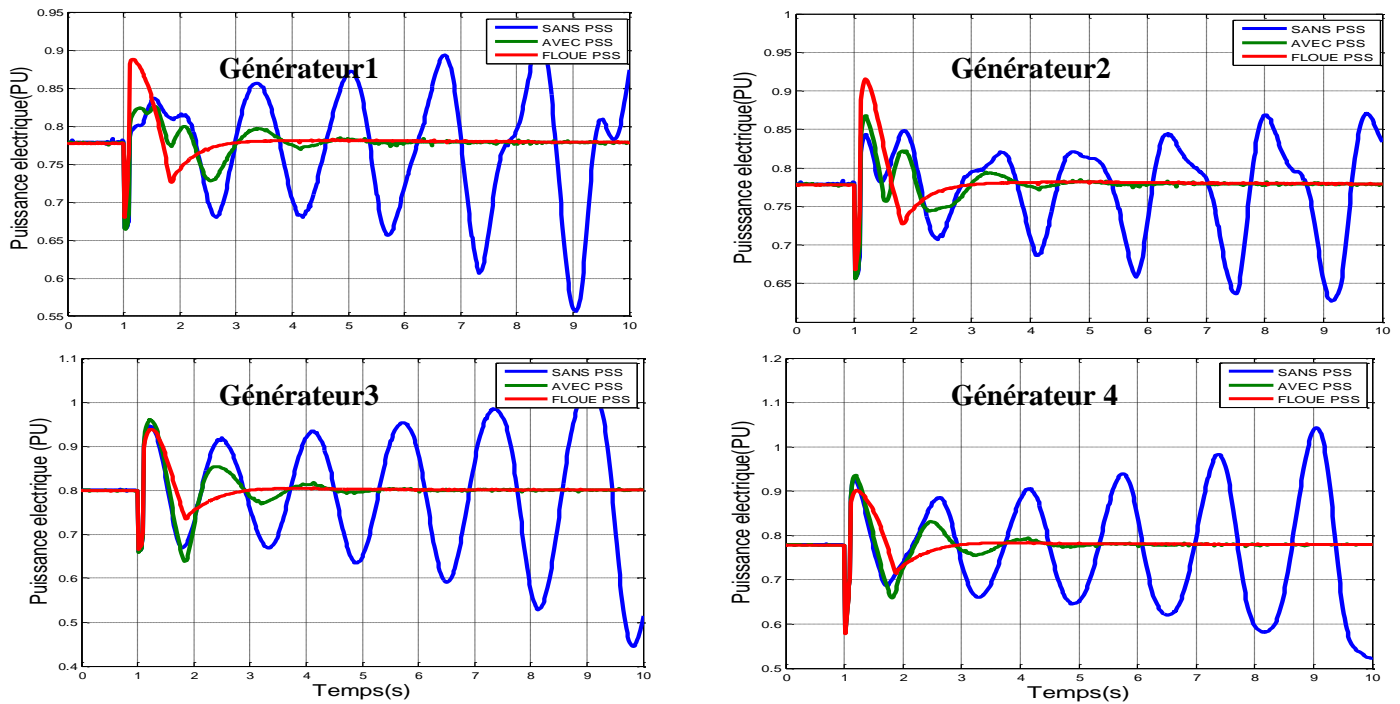


Figure IV.41. Puissance électrique des générateurs (2ème scénario)

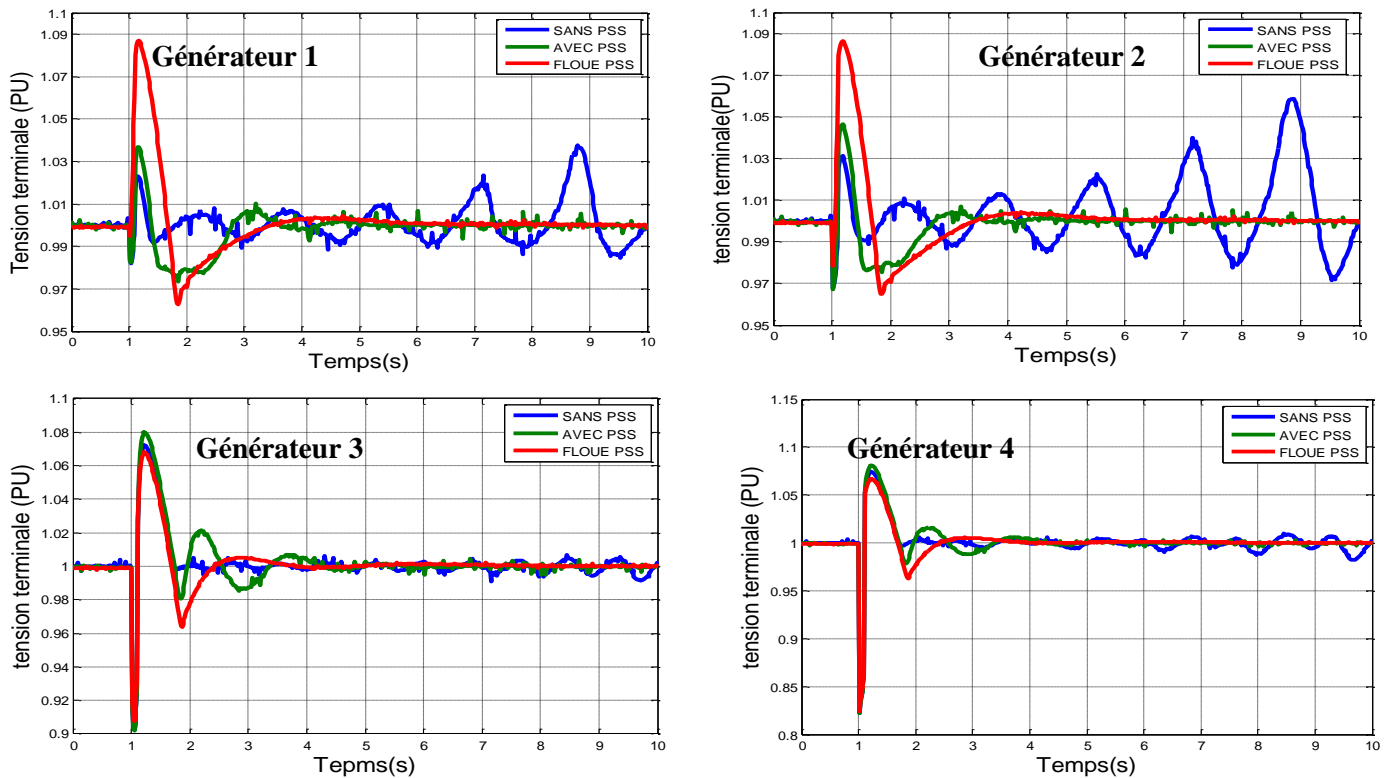


Figure IV.42. Variation de la tension terminale des générateurs (2ème scénario)

IV.9 Conclusion:

Dans ce chapitre, Nous avons appliqué une approche non linéaire pour la conception d'un stabilisateur du système de puissance pour l'amortissement des oscillations électromécaniques de faible fréquence basé sur la combinaison de la commande par PSS et commande par logique floue. Le modèle mathématique du système de puissance est obtenu par 'incorporation des règles floues décrivant le comportement dynamique de ce système.

Les résultats de simulations ont montré que le régulateur FLPSS permet efficacement d'améliorer l'amortissement et assurer la stabilité de système pour différents points de fonctionnement, il permet d'obtenir le meilleur amortissement des modes locaux et le mode interzone dans le système multi-machine comparativement avec les deux stabilisateurs (sans PSS et CPSS) pour différents types des contingences.

Conclusion générale :

Les systèmes électro-énergétiques ne cessent de se développer. L'extension des réseaux interconnectés rend les systèmes fortement sensibles aux oscillations interrégionales. Ces oscillations peuvent sérieusement restreindre le transport de l'énergie électrique. Elles peuvent également conduire à des perturbations s'étendant à tout le système électro-énergétique si, par exemple, une cascade de fautes de lignes de transmission se produit. Dans ces nouvelles conditions, les opérateurs des réseaux électriques se trouvent souvent obligés à faire fonctionner les systèmes aux limites de la stabilité. Par conséquent, l'amélioration de la stabilité aux petites perturbations, en particulier l'amortissement des oscillations interrégionales, représente un objectif prioritaire.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude de la stabilité d'un système électro-énergétique par méthodes stabilisateur de puissance « PSS » et logique floue. Les PSS représentent toujours un moyen efficace pour l'amortissement des modes électromécaniques locaux, mais leur rôle dans l'amortissement des modes interrégionaux est toujours considéré comme de faible importance. Dans cette étude nous avons montré que le méthode logique floue satisfait aussi bien l'amortissement des modes interrégionaux et l'amortissement des modes locaux.

Notre travail de recherche s'est articulé autour des points suivants :

- la modélisation d'un système de puissance, modélisation adaptée pour l'étude de stabilité aux petites perturbations.
- L'application de la théorie des ensembles flous pour l'amélioration de la stabilité du système mini-machines .
- Etude de comparaison

Dans la partie modélisation, nous avons présenté les modèles mathématiques non linéaires des éléments du système de puissance. Nous avons également développé le modèle linéaire associé.

Nous avons aussi rappelé la théorie de la stabilité, les problèmes de la stabilité aux petites perturbations d'un système de puissance et le principe du stabilisateur PSS.

Conclusion générale

Les systèmes flous qui sont des approximations universelles sont utilisés pour approximer le comportement dynamique non linéaire inconnu du système de puissance en utilisant les variables d'états mesurées directement comme des entrées.

Afin d'évaluer les performances on va tester les schémas blocs de régulateurs avec les paramètres de référence.

Par comparaison, il peut être conclu que la performance de la *FL PSS* proposé est beaucoup mieux et les oscillations sont amorties beaucoup plus rapide

L'analyse des résultats obtenus montre PSS basé sur la théorie de la logique floue permet d'assurer un bon amortissement des oscillations électromécaniques et d'assurer convenablement la stabilité globale du système.

Bibliographies

- [1](OKOU AIME FRANCIS, 2002)« Commande non linéaire adaptative des réseaux électrique multi-machine» Doctorat MONTRÉAL, LE 15 JWR2002
- [2] (IEEE/CIGRE, 2004) IEEE/CIGRE joint Task force on Stability Terms and Definitions, «Definition and Classification of Power System Stability» ,IEEE Trans on power systems, vol.19,n.2,pp.1387-1401,May2004
- [3] (Hassan ALKHTIB,2008) «Etude de la stabilité aux petites perturbation dans la grande réseaux électriques :optimisation de la régulation par un méthode met heuristique »Doctorat de l'université paul-Cézanne D'aix Marseille
- [4] (djamel Eddine GHOURAF And Abdellatif NACERI ,2013) Commande par PSS pour amelioration de la stabilité de système électro-énergétique Acta electechnicta , Volume54,Number 1,2013.
- [5] (Kamel SOUDI,2014) « Stabilisateur intelligents des systèmes électro-énergétique » Doctorat en science de université Ferhat Abbas-Setif UFAS(ALGERIE).
- [6] Custem T.V., Systèmes électriques de Puissance I. Cours ELEC 029, Département d'Electricité, Electronique et Informatique : Institut Montefiore, Université de Liège, 2002.
- [7] (N. Kandil, 1999) « Algorithmes pour accélération la simulation en stabilité transitoire » Thèse d'état université de Montréal
- [8] A.R.Bergen et V.Vittal , power system Analysis . 2nd Edition , prentice Hall, 2000
- [9] J.D, Glover, M.S. Sarma et T.Overbye, power system analysis and design, Thomson, 2008
- [10] (Gholipour Shahraki, 2003) «Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électrique » thèse Doctorat, Faculté des Sciences &Techniques Université Henri-Poincaré, Nancy-I ,2003
- [11] M.EL-Hawary et J.Momoh , Electric System Dynamics and Stability with Artificial Intelligence, Marcel Dekker 2000
- [12] H.Sakaguchi A.Ishigame et S.Suzak Transient Stability Assessment For Power System Via Lure Type Laypunov Function IEEE power system conference exposition vol,1 pp7803-8718 2004
- [13] (Larsen et al 1981) Larsen E.V. and Swann D.A., « Applying power system stabilizers part-I: General concepts », *IEEE Trans. Power App. Sys.*, vol.100, n°. 6, pp. 3017-3024, Jun. 1981.
- [14] (M .Karim Sebaa,2008)« Commande intelligence pour l'amélioration de la stabilité dynamique des réseaux d'énergie électrique » Doctorat de Université de Science & technologies Houari Boumediene (USTH) Alger

Bibliographies

- [15] (Pal et al., 2005) Pal B and Chaudhuri B « Robust Control in Power System Springer Science – Business Media, Inc, 2005
- [16] (Allenbach, 2005, I) Allenbach J.M., Systèmes Asservis, Volume 1, Asservissements linéaires classiques, Ecole d'Ingénieurs de Genève, 2005.
- [17] (Yee et al., 2004) Yee S.K. and Milanović J.V., « Comparison of the optimisation and linear sequential method for tuning of multiple PSSs ». *IEEE Power Engineering Society, General Meeting Denver, CO, June. 2004.*
- [18] (Singh, 2004) Singh R., A Novel Approach for Tuning of Power System Stabilizer Using Genetic Algorithm, Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, July 2004.
- [19] (Pal et al., 2005) Pal B. and Chaudhuri B., *Robust Control in Power Systems*, Springer Science + Business Media, Inc, 2005.
- [20] (Aström et al., 1995) Aström K. and Hägglund T., *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*, Instrument Society of America, 1995.
- [21] (DeMello et al., 1969) DeMello F.P. and Concordia C., « Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control », *IEEE Trans. on PAS*, vol. PAS-88, pp. 316–329, 1969.
- [22] (IEEE, 2003) IEEE Task Force on Power System Stabilizers, « Overview of Power System Stability concepts », *IEEE Trans. On Power Systems*, pp. 1762-1768, 2003.
- [23] (Sauer et al., 1998) Sauer P. and Pai M., *Power System Dynamics and Stability*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1998.
- [24] (Farmer, 2006) Farmer R.G., *Power System Dynamics and Stability*, The Electric Power Engineering Handbook, 2nd edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- [25] (Custem, 2002, I) Custem T.V., Systèmes électriques de Puissance I. Cours ELEC 029, Département d'Electricité, Electronique et Informatique : Institut Montefiore, Université de Liège, 2002.
- [26] (IEEE, 2005) IEEE, IEEE recommended practice for excitation system models for power system stability studies, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, Std.421.5, 2005.
- [27] (Neeraj gupta, 2008) «fuzzy logic based power system stabilizer» Thesis submitted in partial fulfillment of the drives university patiala-14704.
- [28] (Rogers, 2000) Rogers G., *Power System Oscillations*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts 2000.
- [29] (Kundur et al., 1989) Kundur P., Klein M., Rogers G.J. and Zywno M.S., « Application of Power System Stabilizers for Enhancement of Overall System Stability », *IEEE Transaction on Power System*, vol. 4, n°. 2, pp. 614-626. May, 1989.
- [30] (Larsen et al., 1981, I) Larsen E.V. and Swann D.A., « Applying power system stabilizers part-I: General concepts », *IEEE Trans. Power App. Sys.*, vol.100, n°. 6, pp. 3017-3024, Jun. 1981.

Bibliographies

- [31] (*Fleming et al., 1981*). Fleming R.J., Mohan M.A. and Parvatisam K., « Selection of parameters of stabilizers in multi-machine power systems », *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-100, pp. 2329-2333, 1981.
- [32] (*Yu, 1983*) Yu Yao-Nan, *Electric Power System Dynamics*, Academic Press 1983.
- [33] ((*Aboul-Ela et al., 1996*). Aboul-Ela M.E., Salam A.A., McCalley J.D. and Fouad A.A., « Damping Controller Design for Power System Oscillations Using Global Signals », *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 11, n°. 2, pp. 767-773, May 1996.
- [34] F. Chevré, F. Guély "La Logique Floue", Cahier technique N° 191, Collection Technique, Groupe Schneider
- [35] J.A. Momoh, X.W. Ma, "Overview and Literature Survey of Fuzzy Set Theory in Power Systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, N°.3, Aug.1995.
- [36] W. Mielczarski, "Fuzzy Logic Techniques in Power Systems", New York, Physica-Verlag Heidelberg, 1998.
- [37] (L.Baghli,2003) « contribution à la commande de la machine asynchrone utilisation de la logique floue, réseaux de neurone et l'algorithme génétique » Thèse Doctorat NANCY 2003
- [38] (F. Chevré et F. Guély) « Cahier technique n :191 : la logique floue» groupe Schneider ,1998.
- [39] (M.Ruel) Introduction à la logique floue logique à la valeur multiple Levis Québec 1991
- [40] (Slimane TOUIL&Djilani Ben Attous 2017) « Effect of different membership functions on fuzzy power system stabilizer for synchronous machine connected to infinite bus » *Int J Syst Assur Eng Manag* (January 2017) 8 (Suppl. 1):S255–S264 DOI 10.1007/s13198-015-0344-8
- [41] (EMIRA NECHADI, 2013) « Commande et stabilité d'un système électro-énergétique» Doctorat en Science de Université Ferhat Abbas-Sétif UFAS(ALGERIE).
- [42] Kundur. P. (1994). *Power system stability and control*. New York: McGraw-Hill
- [43] (Lamine Mili) Opportunity study on the use of phasor measurement in an interconnected Power system, 1997
- [44] (Olaf Samuelsson) *Power System Damping : Structural aspects of controlling active power*, thèse à Lund, 1997
- [45] (N.G. Hingorani) Flexible AC Transmission, *IEEE spectrum*, vol. 30, pp. 40-45, 1993
- [46] (J. Carpentier) "Contribution à l'étude du Dispatching Economique", *Bulletin Société Française Electriciens*, Vol. 3, August 1962.
- [47] (H. Shayeghi, A. Safari, et H.A). Shayanfar, PSS and TCSC damping controller coordinated design using PSO in multi-machine power system, *Energy Conv. Manage.*, vol. 51, pp. 2930– 2937, 2010
- [48] (*Emira NECHADI, 2013*)«Commande et stabilité d'un Système électro-énergétique» Doctorat en Science de université Ferhat Abbas — Setif UFAS (ALGERIE).
- [49] *Neeraj Gupta " fuzzy logic based power system stabilizer" thesis master of engineering university Patiala jun2008*

Bibliographies

- [50] (Larsen *et al.*, 1981, III). Larsen E.V. and Swann D.A., « Applying power system stabilizers part-III: Practical considerations », *IEEE Trans. Power App. Sys.*, vol.100, n°. 6, pp. 3034-3046, Jun. 1981.
- [51] (Fleming *et al.*, 1981). Fleming R.J., Mohan M.A. and Parvatisam K., « Selection of parameters of stabilizers in multi-machine power systems », *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-100, pp. 2329-2333, 1981
- [52] (Aström *et al.*, 1995).Aström K. and Hägglund T., *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*, Instrument Society of America, 1995.
- [53] (Sadicovic *et al.*, 2006). Sadicovic R., Andersson G. and Korba P., « Method for Location of FACTS for Multiple Control Objectives », *X SEPOPE Conference*, Brazil, May.