

## SOMMAIRE

Introduction générale .	1
<b>CHAPITRE I - ETAT DE L'ART SUR L'ENERGIE EOLIENNES</b>	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Perspectives d'offre d'énergie .....	3
I.3 Génération d'énergie renouvelable .....	5
I.4 Production éolienne .....	5
I.4.1 Historique de l'éolien .....	6
I.4.2 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne .....	7
I.4.3 Etat de l'art, principes et descriptif de la turbine éolienne.....	7
I.4.3.1 Définition de l'énergie éolienne .....	7
I.4.3.2 Architecture d'une éolienne à axe horizontal .....	9
I.4.3.3 Différents types d'éoliennes .....	11
I.4.3.4 Turbines à axe horizontal .....	11
I.4.3.5 Turbines à axe verti.....	12
I.4.3.6 Conception des pales .....	13
I.4.3.7 Matériaux de la pale .....	15
I.4.4 Stratégies de fonctionnement d'une éolienne .....	15
I.4.4.1 Bilan des forces sur une pale .....	15
I.4.4.2 Systèmes de régulation de la vitesse de rotation de l'éolienne .....	16
I.5 Etat de l'art sur la conversion électromécanique.....	18
I.5.1 Fonctionnement à vitesse fixe .....	19
I.5.2 Fonctionnement à vitesse variable .....	20
I.5.3 Générateurs synchrones et topologies .....	22
I.5.3.1 Générateur Synchrone à Rotor Bobiné .....	22
I.5.3.2 Générateur Synchrone à Aimants Permanents (GSAP) .....	23
I.6 Conclusion .....	29
<b>CHAPITRE II-MODELISATION DES TURBINES EOLIENNES</b>	
II.1 Introduction .....	30
II.2 Conversion de l'énergie éolienne .....	30

## SOMMAIRE

II.2.1 Conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique .....	30
II.2.2 Loi de Betz .....	31
II.2.3 La vitesse spécifique ou normalisée (Tip-Speed-Ratio). .....	31
II.2.4 Coefficient de puissance .....	32
II.2.5 Coefficient de couple .....	33
II.2.6 Courbes caractéristiques des turbines éoliennes .....	33
II.2.7 Production d'énergie mécanique .....	34
II.3 Modélisation du système éolien .....	34
II.3.1 Introduction.....	34
II.3.2 Hypothèses simplificatrices pour la modélisation mécanique de la turbine .....	36
II.3.3 Modèle de la turbine .....	36
II.3.4 Modèle du multiplicateur .....	37
II.3.5 Equation dynamique de l'arbre de transmission .....	37
II.4 Stratégies de commande de la turbine éolienne .....	38
II.5 Système de contrôle de l'aéroturbine .....	39
II.6 Méthodes de recherche du point maximum de puissance .....	40
II.6.1 MPPT avec la connaissance de la courbe caractéristique de la turbine éolienne. ....	41
II.6.1.1 Maximisation de la puissance avec asservissement de vitesse .....	41
II.6.1.2 Maximisation de la puissance sans asservissement de vitesse .....	42
II.7 Résultats de simulation .....	44
II.8 Conclusion .....	47

## **CHAPITRE III-MODELISTION ET SIMULATION DE LA GENERATRICE**

### **SYNCHRONNE A AIMANTS PERMANENTS**

III.1 Introduction .....	48
III.2 Modèle de la machine synchrone à aimants permanents .....	48
III.2.1 Modèle de la MSAP .....	48
III.2.1.1 Equations électriques .....	49
III.2.1.2 Equations magnétiques .....	50
III.2.1.3 Equations mécaniques .....	51

## SOMMAIRE

III.3 Simulation de la GSAP .....	51
III.3.1 GSAP à vide .....	52
III.3.1.1 Résultats de simulation .....	52
III.3.2 L'influence d'une charge séparée (Rch, Lch) .....	53
III.3.2.1 Résultats de simulation .....	53
III.3.3 L'influence d'une charge réelle sur une source parfaite .....	54
III.3.3.1 Résultats de simulation .....	54
III.4 Conclusion .....	55

## **CHAPITRE IV-MODELISATION GLOBALE DE LA CHAINE DE CONVERSION DE L'AEROGENERATEUR SYNCHRONES A AIMANTS PERMANENTS**

IV.1 Introduction. ....	56
IV.2 Modèles du convertisseur de puissance. ....	57
IV.2.1 Modèle du convertisseur de puissance dans le repère naturel.....	57
IV.2.2 Relations générales.....	58
IV.2.2.1 Fonction de connexion .....	58
IV.2.2.2 Fonction de conversion .....	58
IV.2.3 Modèle du convertisseur de puissance dans le repère naturel.....	58
IV.2.4 Modèle continu équivalent du convertisseur de puissance .....	59
IV.3 Modélisation de la liaison au réseau .....	60
IV.3.1 Modélisation du bus continu .....	60
IV.3.2 Modélisation du filtre .....	61
IV.3.2.1 Modélisation du filtre dans le repère naturel .....	61
IV.3.2.2 Modélisation du filtre dans le repère de Park .....	62
IV.4 Modèle complet de la chaîne de conversion éolienne .....	62
IV.4.1 Modèle utilisant des interrupteurs idéaux des convertisseurs de puissance .....	62
IV.4.2 Modèle utilisant le modèle continu équivalent des convertisseurs de puissance .....	62
IV.5 Commande d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne à base de GSAP .....	63
IV.5.1 Commande de la génératrice synchrone à aimants permanents .....	63
IV.5.1.1 Commande en couple de la GSAP .....	64

## SOMMAIRE

IV.5.1.2 Conditions de commandabilité .....	68
IV.5.2 Contrôle de la liaison au réseau .....	69
IV.5.2.1 Contrôle du convertisseur de puissance .....	69
IV.5.2.2 Contrôle des courants envoyés au réseau .....	69
IV.5.2.3 Régulation des puissances .....	70
IV.5.2.4 Régulation du bus continu par réglage du transit de puissance active .....	71
IV.5.3 Compatibilité de la structure proposée vis-à-vis de la tension du bus continu .....	73
IV.5.3.1 Limites de fonctionnement coté génératrice - convertisseur MLI1 .....	74
IV.5.3.2 Limites de fonctionnement coté convertisseur MLI2 – réseau. ....	74
IV.6 Résultats de simulation .....	77
IV.7 Conclusion. ....	85
Conclusion générale .....	86