

Table des matières

Introduction générale.....	2
Chapitre I l'état de l'art des éoliennes	
I.1 Energies renouvelables.....	6
I.2 L'énergie éolienne.....	7
I.2.1 Définition de l'énergie éolienne.....	7
I.3 Principaux composants d'une éolienne.....	8
I.4 Fonctionnement d'une éolienne.....	9
I.5 Les différents types d'éoliennes.....	11
I.5.1 Éoliennes à axe vertical.....	11
I.5.2 Eolienne à axe horizontal.....	13
I.6 Avantages et inconvénients des énergies éoliennes.....	14
I.6.1 Les avantage.....	14
I.6.2 Les inconvénients.....	15
I.7 Principe de conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.....	16
I.8 Les éoliennes à vitesse fixe.....	16
I.9 Intérêt de la vitesse variable.....	17
I.10 Conclusion.....	18
Chapitre II modélisation de la chaine conversion éolienne	
II.1 Introduction.....	20
II.2 Modèles du vent.....	20
II.3 Modélisation de la turbine éolienne à vitesse variable	20
II.3.1 Hypothèses simplificatrices.....	21
II.4 Modélisation de la turbine.....	22
II.5 Modèle du multiplicateur.....	24
II.5.1 Equation dynamique de l'arbre.....	24
II.6 Stratégies de commande de la turbine éolienne.....	25
II.6.1 Caractéristique puissance vitesse d'éolienne de grande puissance.....	25
II.7 Techniques d'extraction du maximum de la puissance.....	27
II.7.1 Bilan des puissances.....	27
II.7.2 Maximisation de la puissance avec asservissement de la vitesse.....	28
II.7.3 Conception du correcteur de vitesse	30
II.8 Résultats de simulation.....	30

II.9	La machine asynchrone à double alimentation.....	33
II.9.1	Description de la machine asynchrone à double alimentation.....	33
II.9.2	Mode de fonctionnement de la MADA.....	34
II.10	Domaine d'application de la MADA	36
II.11	Avantages et inconvénients de la MADA.....	36
II.11.1	Avantages de la MADA.....	36
II.11.2	Inconvénients de la MADA.....	37
II.12	Modélisation de la machine asynchrone à double alimentation.....	37
II.12.1	Hypothèses simplificatrices	38
II.12.2	Equations électriques et équations mécaniques.....	39
II.12.2.1	Equations Electriques de la machine.....	39
II.12.2.2	Equation magnétique.....	40
II.12.2.3	Equation mécanique.....	41
II.12.3	Application de la transformation de park	42
II.12.4	Modélisation de la machine asynchrone dans le repère de Park	43
II.12.4.1	Equation électrique.....	43
II.12.4.2	Equation magnétique.....	44
II.12.5	Choix du référentiel.....	46
II.12.5.1	Référentiel lié au stator	46
II.12.5.2	Referentiel lié au rotor.....	46
II.12.5.3	Référentiel lié au champs tournant.....	47
II.12.6	Mise sous forme d'équations d'état.....	48
II.12.7	Simulations.....	48
II.12.7.1	Conditions de la simulation.....	48
II.12.7.3	Interprétation	51
II.13	Commande vectorielle de la machine asynchrone à double alimentation.....	52
II.13.1	Stratégie de commande de la MADA.....	52
II.13.2	Principe de la commande vectorielle de la MADA.....	53
II.13.3	Variantes de la commande vectorielle.....	54
II.13.4	Procédé d'orientation du flux.....	54
II.13.4.1	Orientation du flux rotorique.....	55
II.13.4.2	Orientation du flux statorique.....	55
II.13.4.3	Orientation du flux magnétisant.....	55

II.13.5	Orientation du flux statorique.....	55
II.13.6	Relation entre le courant statorique et le courant rotorique.....	57
II.13.8	Relation entre tensions rotoriques et courants rotoriques.....	58
II.13.9	Commande directe.....	60
II.13.10	Résultats de simulation et interprétations.....	61
II.14	Le convertisseur.....	64
II.15	Contrôle du convertisseur	67
II.16	Les avantages de la structure.....	67
II.17	Modèle complet du système de conversion éolien.....	68
II.17.1	Le convertisseur coté réseau.....	69
II.17.2	Le bus continu.....	70
II.17.3	Le filtre	71
II.17.4	Le nœud de connexion.....	73
II.18	Contrôle de la liaison au réseau.....	73
II.18.1	Réglage de la tension du bus continu.....	73
II.18.2	Contrôle des courants de filtre	73
II.19	Simulations.....	75
II.19.1	Conditions de la simulation.....	76
II.19.2	Résultats obtenus.....	76
II.19.3	Interprétations.....	77
II.20	Conclusion.....	78
Chapitre II Supervision de la ferme éolienne		
III.1	Introduction.....	80
III.2	Algorithme de supervision locale de la puissance réactive.....	80
III.2.1	Principe.....	80
III.2.1.1	Mode 1(Delta).....	81
III.2.1.2	Mode 2(MPPT).....	81
III.2.1.3	Mode 3 (MF = 1).....	81
III.3.	Etat de l'art sur les algorithmes de supervision des puissances active et réactive dans une ferme éolienne.....	82
III.3.1	Les algorithmes de supervision basés sur des régulateurs Proportionnel Intégral PI	82
III.3.1.1	Algorithme pour le réglage du facteur de puissance de la ferme éolienne.....	82
III.3.1.2	Algorithme pour le réglage des puissances active et réactive de la ferme éolienne.....	83

III.3.2 Algorithmes basés sur des fonctions objectives.....	84
III.3.3 Algorithme basé sur la distribution proportionnelle des références de puissances.....	84
III.4. Résultat de simulation.....	84
III.4.1 Conditions de simulation.....	85
III.4.2 Interprétation des résultats.....	86
III.5. Conclusion.....	87

Conclusion

général.....	89
--------------	----

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

Liste des figures

Figure I.1: Répartition des sources primaires d'énergie dans le monde	6
Figure I.2: La conversion éolienne.....	8
Figure I.3: Les éléments d'une éolienne.....	8
Figure I.4: La nacelle.....	9
Figure I.5: L'éolienne à l'intérieur.....	11
Figure I.6: Éolienne type Savonius.....	12
Figure I.7: Éoliennes type Darrieus.....	13
Figure I.8: Éolienne à axe horizontal (3MW).....	13
Figure I.9: b Eolienne sous le vent.....	14
Figure I.10: a Eolienne face au vent.....	14
Figure I.11: Eolienne à vitesse fixe à base de la machine asynchrone à cage.....	16
Figure I.12: Puissance théorique disponible au niveau de la turbine éolienne.....	17
Figure I.13: Courbe typique de la puissance produite d'un aérogénérateur à vitesse variable.....	18
Figure II.1: Système mécanique de l'éolienne.....	21
Figure II.2: Modèle mécanique simplifiée de la turbine.....	22
Figure II.3: Schéma de la turbine éolienne.....	22
Figure II.4: Coefficient de puissance C_p en fonction de λ pour de différentes β	23
Figure II.5: schéma bloc du modèle de la turbine.....	25
Figure II.6: Caractéristique puissance vitesse typique d'une éolienne de grande puissance.....	26
Figure II.7: Caractéristique puissance vitesse mesurée d'une éolienne de 1.5 MW.....	27
Figure II.8: Diagramme de conversion de puissance.....	28
Figure II.9: Stratégies de commande de la turbine étudiée.....	28
Figure II.10: Fonctionnement optimal de la turbine.....	29
Figure II.11: Schéma bloc de la maximisation de la puissance extraite avec asservissement de la vitesse.....	30
Figure II.12: schéma bloc du modèle de la turbine en boucle ouverte.....	30
Figure II.13: Allure de vitesse : (a) de vent ; (b) Mécanique.....	31
Figure II.14: modèle de la turbine dans la zone 2 (M.P.P.T).....	32
Figure II.15: Allure de vitesse : (a) de vent ; (b) Mécanique.....	32
Figure II.16: le coefficient de puissance (Zone 2).....	32
Figure II.17: la vitesse spécifique λ	33
Figure 18: Structure de rotor bobinée.....	34
Figure 19: Structure d'une machine asynchrone à double alimentation.....	34

Figure II.20:Les quatre modes de fonctionnement d'une MADA.....	35
Figure 21:Représentation spatiale de la MADA.....	38
Figure II.22:Représentation des enroulements de la MADA.....	40
Figure II.23:Transformation de Park.....	42
Figure II.24:Zoom de la tension statorique et rotorique sur deux périodes.....	49
Figure II.25:La composante directe et en quadrature du flux statorique.....	49
Figure II.26:La composante directe et en quadrature du flux Rotorique.....	50
Figure II.27:La composante directe et en quadrature du Courant Rotorique.....	50
Figure II.28:La composante directe et en quadrature du Courant Statorique.....	50
Figure II.29:La Vitesse Mécanique.....	51
Figure II.30:Le couple Electromagnétique.....	51
Figure II.31:Vecteur courant et flux dans le système d'axe choisi.....	54
Figure II.32:Modèle de la MADA pour le contrôle de puissances.....	59
Figure II.33:Schéma bloc de la commande directe.....	61
Figure II.34:Système régulé par un PI.....	61
Figure II.35:La puissance active et réactive statorique pour la commande vectorielle de la puissance.....	62
Figure II.36: Le flux statorique selon l'axe d et q pour la commande vectorielle directe de la puissance.....	62
Figure II.38:courant statorique selon l'axe d et q pour la commande vectorielle directe de la puissance.....	63
Figure II.39:Le couple électromagnétique.....	63
Figure II.40:Le convertisseur coté rotor de la MADA à modéliser.....	64
Figure II.41:Principe de la MLI.....	65
Figure II.42:Structure du système étudié.....	67
Figure II.43:Le dispositif de commande de la chaine de conversion.....	69
Figure II.44:Le bus continu.....	71
Figure II.45:Schéma du filtre.....	71
Figure II.46:Schéma de principe du contrôle de la liaison au réseau.....	75
Figure II.47:(a) Le profil de vent ; (b) La puissance extraite du vent.....	76
Figure II.48:La tension du bus continu.....	76
Figure II.49:Puissance réactive fournie au réseau	77
Figure III.1:Schéma bloc du contrôle des puissances active et réactive d'une ferme.....	83

Figure III.2:les profils du vent dans une ferme éolienne.....	84
Figure III.3:la puissance Active de la ferme.....	85
Figure III.4:la puissance réactive dans une ferme.....	85
Figure III.5:la puissance Active de chaque éolienne.....	86
Figure III.6:La puissance Réactive de chaque éolienne.....	86