



MODELISATION D'UNE CHAINE DE CONVERSION D'ENERGIE EOLIENNE A BASE D'UNE GENERATRICE SYNCHRONE/ASYNCHRONE APPLICATION AUX SITES (TLEMCCEN ET ADRAR)

¹Mama BOUCHAOUR,¹Laarej MERAD et ²Borhan Eddine SABRI

¹Université de Tlemcen, Faculté des Sciences, Département de Physique
Unité de Recherche « *Matériaux et Energies Renouvelables* », URMER
BP: 119, Fg. Pasteur, Tlemcen, 13000, Algeria

²Ecole Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen, ESSAT
BP: 165, Bel Horizon, Tlemcen, 13000, Algeria

Reçu le : 14/04/2020

Accepté le : 03/06/2020

RÉSUMÉ

Le système de conversion de l'énergie éolienne, (WECS) (Wind Energy Conversion System), est assuré par une génératrice synchrone et asynchrone, dans ce travail nous modélisons un système d'aérogénérateur à production d'énergie électrique à base de ces génératrices.

Dans notre travail, la simulation de la chaîne de conversion d'énergie éolienne à base des machines synchrones à aimant permanent et des machines asynchrones à double alimentation, en passant par une étude comparative entre deux sites Algériens avec des paramètres climatiques différents pour connaître quels sont les bons sites pour une installation éolienne.

Mots clés : Energies renouvelables, aérogénérateur, génératrice synchrone, Asynchrone.

ABSTRACT

The Wind Energy Conversion System, (WECS) is provided by a synchronous and asynchronous generator; in this work we are modeling an aerogenerator system producing electrical energy based on these generators.

In this paper, the simulation of the wind energy conversion chain based on synchronous permanent magnet machines and double-feed asynchronous machines, through a comparative study between two Algerian sites with different climatic parameters to know what are the right sites for a wind turbine installation.

Key words: Renewables energies, aerogenerator, Synchronous generator, Asynchronous.

I. INTRODUCTION

L'éolienne ne peut être considérée que comme une source d'énergie de complément et non de remplacement des solutions classiques et cela en raison de la nature fluctuante du vent.

La simulation de la chaîne de conversion d'énergie éolienne à base des machines synchrones à aimant permanent et des Machines Asynchrones à Double Alimentation (MADA) et d'une Génératrice Synchrone à Aimant Permanent (GSAP), a pris une ampleur considérable cette dernière décennie, pour cela une étude comparative entre deux sites Algériens (Tlemcen et Adrar) avec différents paramètres climatiques afin de déterminer le bon site d'installation [1, 2].

II. PARTIE THEORIQUE

II.1. SYSTEMES QU'UTILISENT LES MACHINES ASYNCHRONES

Les Génératrices Asynchrones à Double Alimentation (GADA) sont les plus utilisées dans le monde d'énergie éolienne, aussi il existe la génératrice asynchrone à cage d'écureuil qu'est très utiliser à cause de sa robustesse et son faible coût, La GADA peut travailler sur une grande plage de variation de vitesse il consiste à connecter le stator de la machine directement au réseau et le rotor au réseau aussi mais à travers un convertisseur statique. La machine asynchrone à double alimentation (MADA) peut fonctionner en moteur ou en génératrice, on peut distinguer quatre différents modes de fonctionnement :

1. Moteur hypo synchrone,
2. Hyper synchrone,
3. Génératrice hypo,
4. Hyper synchrone.

L'originalité de cette machine provient du fait que le rotor n'est plus une cage d'écureuil

En posant : $g = \frac{\omega_s - \omega_{mec}}{\omega_s}$ (1)

L'équation 1 devient :

$$\frac{E_r}{E_s} = g \frac{N_r}{N_s} \quad (2)$$

coulée dans les encoches d'un empilement de tôles, mais il est constitué de trois bobinages connectés en étoile dont les extrémités sont accessibles de l'extérieur par l'intermédiaire de bagues conductrices sur lesquelles viennent frotter des balais [3, 4, 5].

II.1. Intérêt de la MADA

La Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA) avec rotor bobiné présente un stator triphasé identique à celui des machines asynchrones classiques et un rotor contenant également un bobinage triphasé accessible par trois bagues munies de contacts glissants. Ce type de machine est utilisé comme génératrice (Voir figure 1) dans la plupart des projets de centrale éolienne, car il offre de grands avantages de fonctionnement [6, 7].

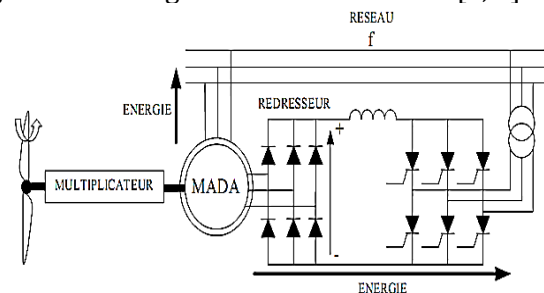


Figure 1 : MADA dans une chaîne de conversion d'énergie éolienne.

Pendant la rotation, le flux magnétique généré par le stator crée des f.e.m dans le bobinage du rotor. Le rapport entre les f.e.m créées au rotor et au stator est :

$$\frac{E_r}{E_s} = \frac{N_r}{N_s} \frac{\omega_s - \omega_{mec}}{\omega_s} \quad (4)$$

N_r et N_s sont respectivement le nombre de spires des bobinages rotoriques et statoriques. ω_s et ω_{mec} sont respectivement les pulsations de synchronisme et mécanique de la machine.

Les courants au stator et au rotor sont définis comme dans le cas d'un transformateur parfait

$$\frac{I_r}{I_s} = \frac{N_r}{N_s} \quad (3)$$

Donc le rapport entre la puissance au rotor r , S et la puissance au stator s , S devient :

$$\frac{S_r}{S_s} = \frac{E_r I_r}{E I_s} = g \quad (5)$$

Cette équation montre que pour une puissance constante transmise au stator, plus on transmet de la puissance par le rotor, plus on augmente le glissement. La pulsation au stator (imposée par le réseau) étant supposée constante, il est donc possible de contrôler la vitesse de la génératrice en agissant simplement sur la puissance transmise au rotor via le glissement g [8-11].

II.2. Machine synchrone à aimant permanent

La machine synchrone à aimant permanent (Voir figure 2) est devenue compétitive par rapport à la machine asynchrone, même dans le domaine de la moyenne puissance [12-15]. Le stator de la machine synchrone à aimant permanent est identique à celui d'une machine asynchrone, il est constitué d'un empilage de tôle magnétique qui contient des encoches dans les quelles sont logés trois enroulements identiques décalés entre eux de 120° .

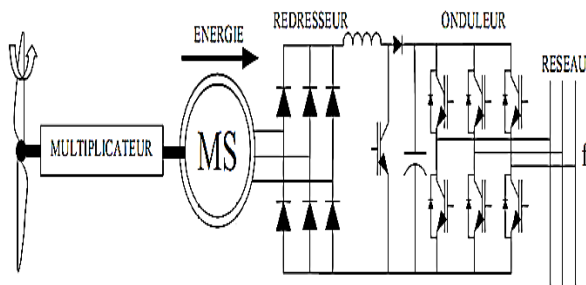


Figure 2 : Machine synchrone dans une chaîne de conversion d'énergie éolienne

III.COMPARAISON ENTRE DEUX SITES ALGERIENS

L'étude comparative entre deux sites algériens (Tlemcen et Adrar), le profil du vent est différent pour les deux sites, la vitesse du vent dans le site de Tlemcen est 2,02 m/s

(cette valeur est calculée à l'aide des centres de mesure pendant dix ans à 10 m d'altitude et pour le site d'Adrar la vitesse du vent est 6 m/s.

Pour connaître la vitesse du vent à une altitude d'installation de l'aérogénérateur[16-19] :

$$V_v(h) = V_v(h_{mes}) \cdot \frac{\ln(\frac{h}{\alpha})}{\ln(\frac{h_{mes}}{\alpha})} \quad (6)$$

Où :

$V_v(h)$: Vitesse du vent (m/s).

$V_v(h_{mes})$: Vitesse du vent à l'altitude à 10 m a.d.s

On calcul la somme des valeurs des vents mesurées dans toutes l'année et on la divise par 12 pour trouver la vitesse moyenne annuelle de vent de Tlemcen, avec h_{mes} est égal à 10 m.

Supposons que l'éolienne a une hauteur égale à 70m donc d'après la relation 6 on a :

$V_v(70) = 3,024$ m/s et $\alpha = 0,2$; pour une zone agricole avec de nombreux bâtiments, ou des haies de 8 mètres espacées de 250 m.

Pour le site d'Adrar $V_v(h_{mes}) = 6$ m/s.

Donc la vitesse à 70 m d'altitude est :

$V_v(70) = 8,451$ m/s et α égal zone agricole avec quelques maisons et hautes haies (d'une hauteur de huit mètres maximum) espacées d'environ 500 m.

La figure (3), représente le block Simulink pour simuler la puissance active de la chaîne de conversion éolienne à base d'une génératrice asynchrone, les gains sont utilisés afin de convertir la valeur de puissance active qu'est en P_u à l'unité Watt la puissance nominale de la machine asynchrone à double alimentation est $1,5 \cdot 10^6$ (VA) et la puissance nominale de la turbine est $1,5 \cdot 10^6$ (Watt).

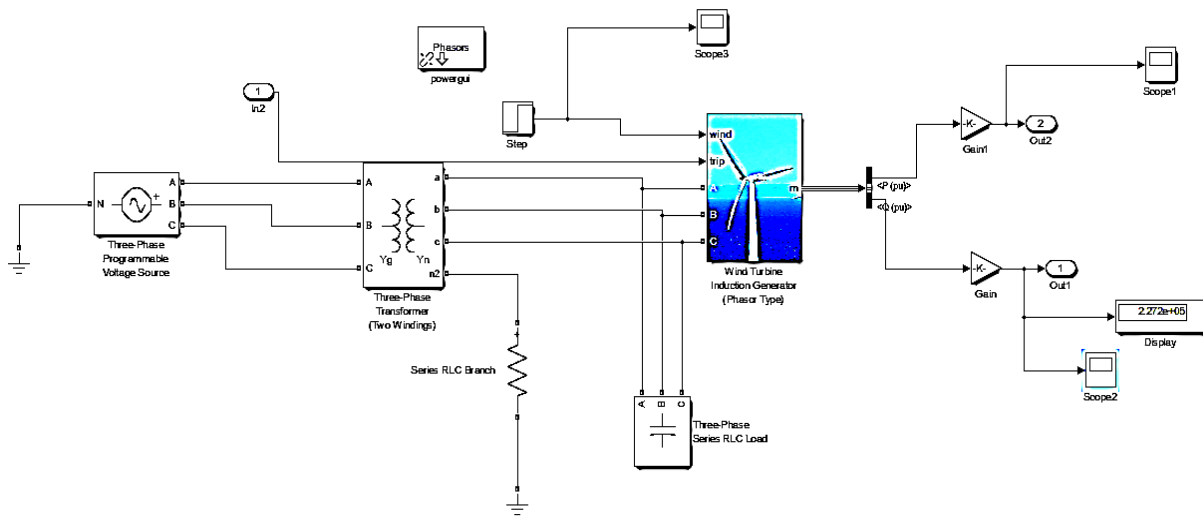


Figure 3 : Block utilisé pour la simulation

La figure 4, est la courbe de la vitesse stable du vent 8,451 m/s pour le site d'Adrar, cette vitesse est calculé pour une altitude de 70 m.

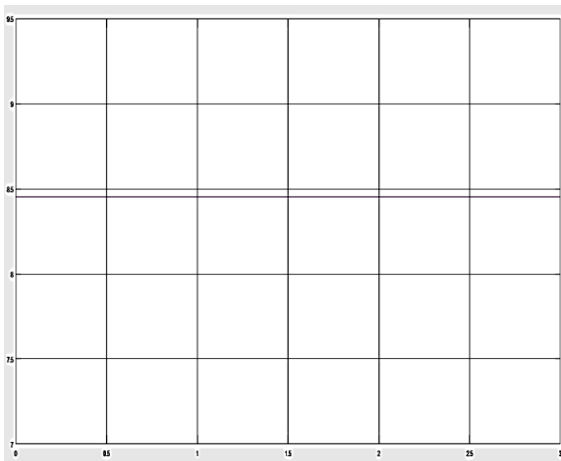


Figure 4 : Vitesse du vent

La figure 5, est la courbe de la puissance active (Watt) pour le site d'Adrar, le système commence avec des oscillations importantes au démarrage : des valeurs de l'ordre de 3 fois de la puissance nominale donc le système nécessite une commande de ses puissance afin de le mettre plus stable, la valeur de la puissance active se stabilise dans le régime permanent dans la valeur $-1,2 \cdot 10^6$, la valeur est négative donc la machine fonctionne comme une génératrice, on conclut que la machine est en train de fournir la puissance active au réseau électrique.

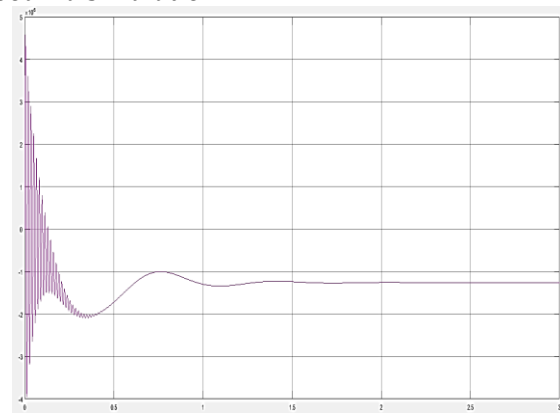


Figure 5 : Puissance active pour le site d'Adrar

La figure 6, représente la vitesse moyenne annuelle stable du vent est 3,024 m/s en fonction de temps (s) pour le site de Tlemcen, cette vitesse est calculée pour une altitude de 70 m.

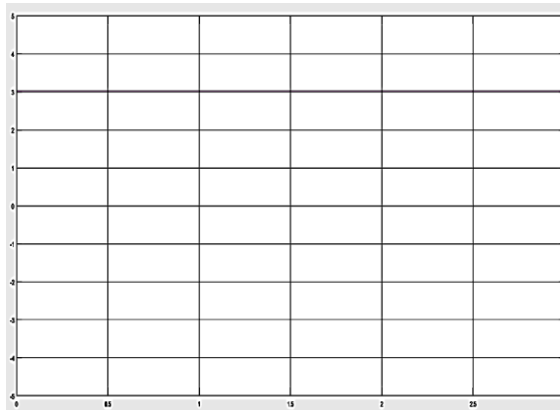


Figure 6 : Vitesse du vent de Tlemcen

La figure 7, représente la puissance active (Watt) en fonction de temps pour le site

de Tlemcen, le système commence avec des oscillations importantes au démarrage : des valeurs de l'ordre de 3 fois de la puissance nominale ($4,5 \cdot 10^6$ Watt) donc le système nécessite une commande de ses puissance afin de le mettre plus stable, la valeur de la puissance active se stabilise dans le régime permanent dans la valeur $2 \cdot 10^5$, la valeur est positive donc la machine est fonctionné comme un moteur, on conclut que la machine est en train d'absorber la puissance active de réseau électrique.

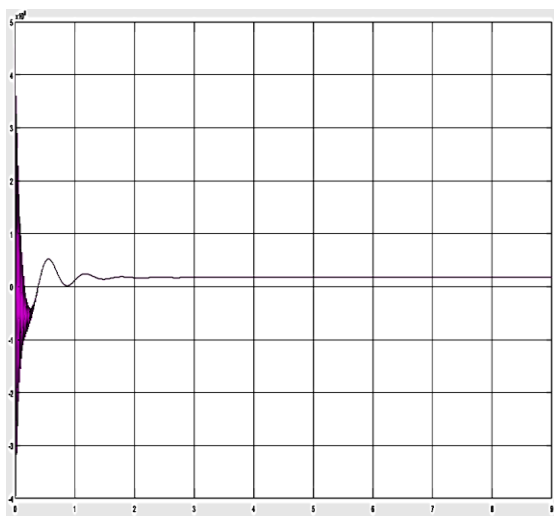


Figure 7 : Puissance active à Tlemcen

On conclut que certains sites comme Tlemcen ne sont pas favorables pour l'implémentation de l'énergie éolienne car les caractéristiques

climatiques de ce site ne nous permettent pas de produire l'électricité à base de l'énergie de vent, au contraire un site comme Adrar avec la turbine et la machine choisie produit une grande puissance active.

Solutions proposées pour le site de Tlemcen :

- En principe l'énergie éolienne est une énergie complémentaire car le vent n'est pas toujours disponible, pour cette raison on peut utiliser des énergies fossiles et on ajoute des petites éoliennes pour l'alimentation des petites dispositifs électriques (Lampes, radio...)
- Ou bien on peut utiliser des systèmes hybrides (photovoltaïque-éolienne) pour avoir un bon rendement
- Une autre solution est d'installer des aérogénérateurs de type Savonius présentant comme avantages la possibilité de fonctionner avec des faibles vitesses.
- Ou bien installer un aérogénérateur de petites dimensionnements et puissance.

IV. CHAINE DE CONVERSION EOLIENNE A LA BASE DE MSAP

Dans cette partie la chaine de conversion éolienne à base d'une Génératrice Synchrones à Aiment Permanent (GSAP) (Voir figure 8).

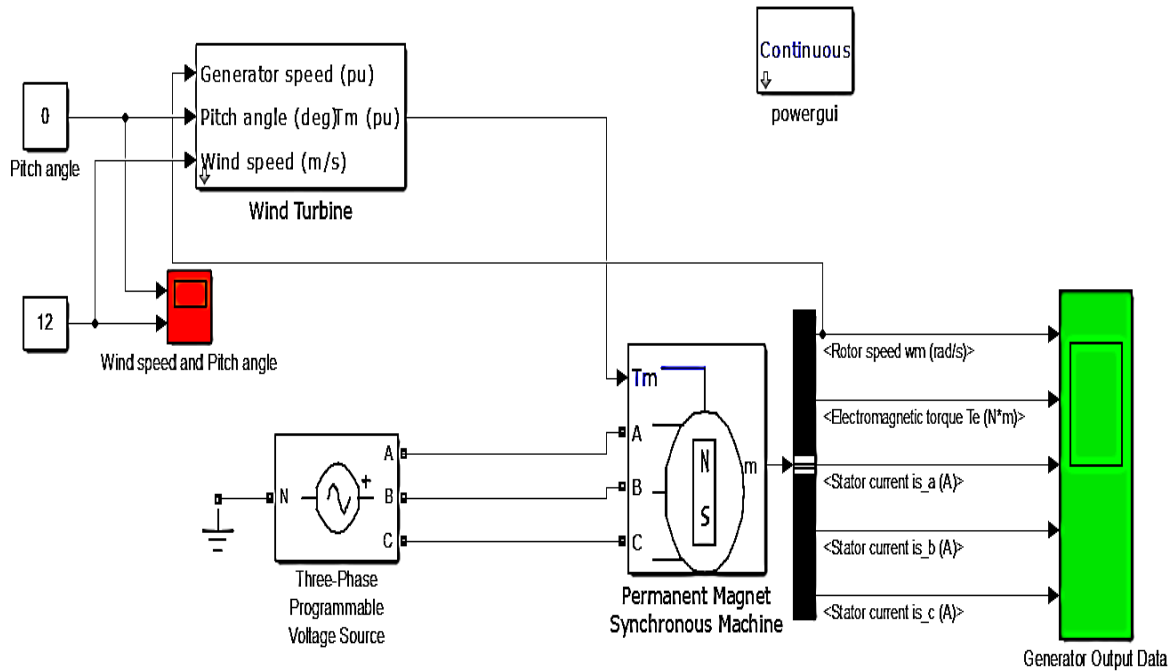


Figure 8 : *Chaine de conversion éolienne à base de GSAP*

Dans cette partie on utilise une petite turbine avec une puissance de 8,5 KW, cette dernière peut fonctionner à faible vitesse, on applique la vitesse du vent calculée pour le site de Tlemcen (3,2 m/s).

La figure 9, est la courbe de la puissance active pour le site de Tlemcen à base d'une petite turbine, on constate que cette fois le résultat est différent de celle dans la figure 7, car la vitesse du vent (3,2 m/s) est capable de générer une puissance à la base d'une telle turbine, on remarque un dépassement au régime transitoire ensuite la puissance se stabilise à la valeur -5,5 KW, la valeur est négative donc elle est fournie au réseau électrique.

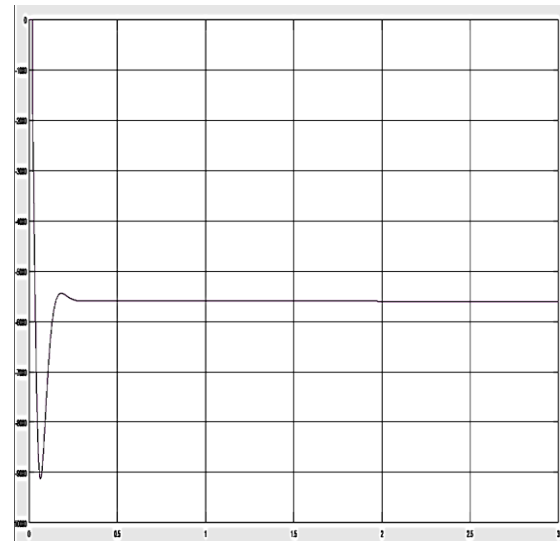


Figure 9 : *Puissance active*

La figure 10, est la courbe de la vitesse angulaire de rotor (rad/s), au régime transitoire la vitesse atteint une valeur de 190 (rad/s) puis elle se stabilise à la valeur 148 rad/s qu'est équivalent à une vitesse de rotation : 1413 (tr/mn).

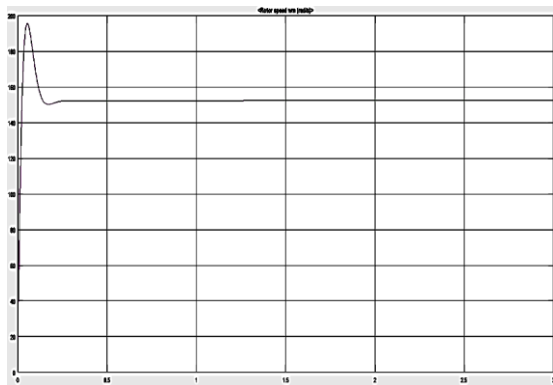


Figure 10 : Vitesse angulaire de rotor

La figure11, présente la courbe des courants statorique (A), il s'agit d'un système triphasé décalé, on remarque un dépassement au début de système qu'est normal c'est le démarrage de la machine qui nécessite un grand courant dans le régime transitoire puis le courant se stabilise à 13A.

On constate que cette valeur est petite car on est en train d'utiliser une petite génératrice, en principe les machines synchrones sont utilisées dans les grandes puissances mais il existe des génératrices avec des petites puissances.

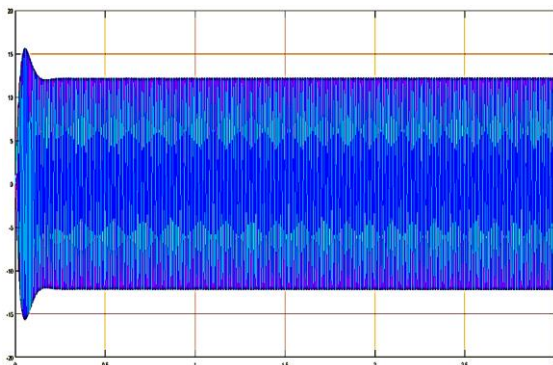


Figure 11 : Courants statoriques

On conclut que afin d'utiliser l'énergie éolienne dans un site où la vitesse du vent n'est pas forte on utilise un petit aérogénérateur qu'est capable de fournir la puissance au réseau (le rayon de l'éolienne est de 5 m).

VI.CONCLUSION

Les simulations effectuées grâce au Simulink du logiciel Matlab, de plus on a observé la chaine de conversion éolienne avec

chaque type de vent ce qui veut dire : aléatoire, fixe et variable, à base de machine synchrone ou asynchrone, pour comprendre le comportement de chaque machine, les interprétations physique sont ajoutées afin d'expliquer les phénomènes du système, l'étude comparative nous a permis de connaître les sites où c'est possible de créer de l'énergie éolienne en Algérie et aussi les endroit où cela est impossible.

Afin de protéger notre environnement et sauvegarder notre planète, les pays s'intéressent de plus en plus à la production des énergies propres et durables, l'Algérie comme tous les pays du monde s'intéressent à son tour à ces énergies dites propres et renouvelables en général. À l'aide des différentes recherches et études effectuées par de multiples pays le développement de ces énergies est en continuelle progression.

References

- [1] A.Haitham, M. Mariusz, K. Al-Haddad,2012, Power Electronics for Renewable Energy Systems, Transportation and Industrial Applications » chapter 10 « properties and control of doubly fed induction machine ».
- [2] T. Grignoux, R. Gibert, P. Neau et C. Buthion, Eoliennes en Milieu Urbain -État de l'Art, (2006) 99-129.
- [3] M. Mesaoud, Contribution à la Modélisation de l'Aérogénérateur Synchrone à Aimant Permanent, Thèse de Magister, Université de Batna, 2008.
- [4] A. Mahammedi, Etude et Optimisation d'un Système Hybride Eolien- Photovoltaïque, Thèse de Magister, Université de Sétif 1, 2014.
- [5] K. Ferkous, Etude d'une Chaine de Conversion d'Energie Eolienne, Thèse de Magister en Physique, Université de Constantine, 2009.
- [6] B. Multon, Aérogénérateurs électriques, Master, STS IST Paris - ENS Cachan, 2007.
- [7] S. EL Aimani, Control design and Dynamic Performance Analysis of a Wind Turbine- Induction Generator Unit, 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering, IbnZohr University, Morocco, 2011.

- [8] S. Hamecha, Etude et Commande d'une Eolienne à base d'une Machine Synchrone à Aimant Permanent, Thèse de Magister, Université de Tizi-Ouzou, 2013.
- [9] A. Abdellah, Optimisation Multicritère d'une Chaîne Eolienne Passive Thèse de Doctorat, INPT, 2007.
- [10] Yazhou, Lei, A. Mullane, G. Lightbody et R. Yacimini, Modeling of the wind turbine with a doubly fed induction generator for grid integration studies, Energy Conversion, IEEE Transactions (2006) 205-213.
- [11] A. Mirecki, Etude Comparative de Chaînes de Conversion d'Energie Dédiées à une Eolienne de Petite Puissance, Thèse de doctorat, Génie électrique, INPT, 2005.
- [12] B. Multon, O. Gergaud, H. Ben ahmed, X. Roboam et S. Astier, Etat de l'Art des Aérogénérateurs, L'électronique de puissance vecteur d'optimisation pour les énergies renouvelables, Ed Novelect - ECRIN, ISBN 2-912154-8-1, (2002) 97-154.
- [13] B. Chabot, Énergies renouvelables Encyclopaedia Universalis, 1997.
- [14] B. MULTON, Aérogénérateurs électriques, Master Recherche Paris 11 - ENS Cachan 2010.
- [15] F. POITIERS, Étude et Commande de Génératrices Asynchrones pour l'Utilisation de l'Energie Eolienne (Machine Asynchrone à Cage Autonome - Machine Asynchrone à Double Alimentation Reliée au Réseau Thèse de Doctorat, Université de Nantes, 2003.
- [16] B. MULTON, X. ROBOAM, B. DAKYO, C. NICHITA, O. GERGAUD et H. BEN AHMED, « Aérogénérateurs électriques », Techniques de l'Ingénieur, Traités de Génie Electrique, 2004.
- [17] P. TERRIER et C. THÉORÊT, « *Projet Technologique Etude d'un Eolien* », Montréal, 2006.
- [18] B. VASEGHI, « *Contribution à l'Etude des Machines Electrique en Présence de Défaut entre Spire* », Thèse de Doctorat, INPL, 2003.
- [19] I. VECHIU, « *Modélisation et Analyse de l'Intégration des Energies Renouvelables dans un Réseau Autonome* », 2005.
- [20] O. ROURKE, F. BOYLE, and A. REYNOLDS, Tidal energy, Applied Energy, livre P 63-75, 2010. 2009.
- [21] A. Bati and F. Brennan, The Modeling, Simulation and Control of a 50 kW Vertical Axis Wind Turbine, Asian Transactions on Engineering, (2012) 24-43.
- [22] O. Djaafri, A. Harizi « Modélisation, Simulation et Contrôle d'une Turbine Eolienne », Master Académique, Université de M'Sila, 2016.
- [23] BENALI Tarek, BENOURET Saâdi, Contribution à l'étude d'un Système Eolien Basé sur une Machine Synchrone à Aimants Permanents, Université A. Mira - BEJAIA Faculté de Technologie Département de Génie Electrique, 2014