

Simulation de chaînes de conversion d'énergie appliquée à une éolienne de type Savonius

S. BELLARBI¹, N.KASBADJI.MERZOUK²,

¹Centre de Développement des Energies Renouvelable
Route de l'observatoire, BP 62 Bouzareah, Alger

²Unité de Développement des Equipements Solaires, UDES, Bou-Ismaïl.

Email : s.bellarbi@cder.dz, nkmerzouk@udes.dz

Résumé : Parallèlement au marché important de la génération éolienne de forte puissance, se développent des systèmes de plus petite puissance (quelques 100 W à quelques kW) surtout dédiés aux sites isolés [1]. Les chaînes de conversion d'énergie sont alors très différentes de celles de grande puissance, elles sont souvent fondées sur l'utilisation d'un alternateur triphasé à aimants permanents débitant directement, à travers un redresseur à diodes, dans un accumulateur électrochimique généralement basse tension (12 à 48 V) [2]. Dans cet article, nous proposons une modélisation de cette chaîne de conversion, peu conventionnelle, en vue de l'estimation de la production d'énergie.

Mots clés :

Aérogénérateur, synchrone, aimants permanents, redresseur, source continue.

INTRODUCTION

La turbine éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. La puissance de la masse d'air qui traverse la surface équivalente à la surface active S de l'éolienne est donnée par les relations suivantes [2] [3] :

$$P_V = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_V^3$$

$$P_{MAX} = \frac{16}{27} P_V$$

$$C_{P_{MAX}} = \frac{P_{MAX}}{P_V} = \frac{2 \cdot P_{MAX}}{\rho \cdot S \cdot V_V^3} = 0.59$$

$$\lambda = \frac{R \cdot \Omega}{V_V}$$

ρ , V_V , P_{MAX} , C_{MAX} , λ représentent la masse volumique de l'air, la vitesse locale de vent, La puissance maximale recueillie par une éolienne, le coefficient de puissance maximal et λ une grandeur spécifique.

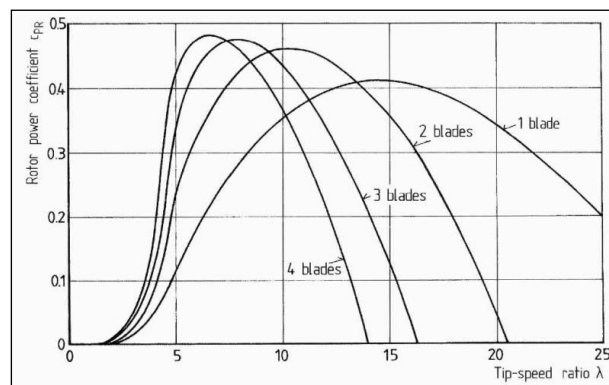


Figure 1 : Coefficient aérodynamique de puissance en fonction de la vitesse de rotation normalisée [4].

1. MODELISATION DE LA CHAINE EOLIENNE DE PETITE PUISSANCE

La vitesse du vent peut être modélisée [5], dans cette étude, sous forme déterministe par une somme de plusieurs harmoniques sous la forme :

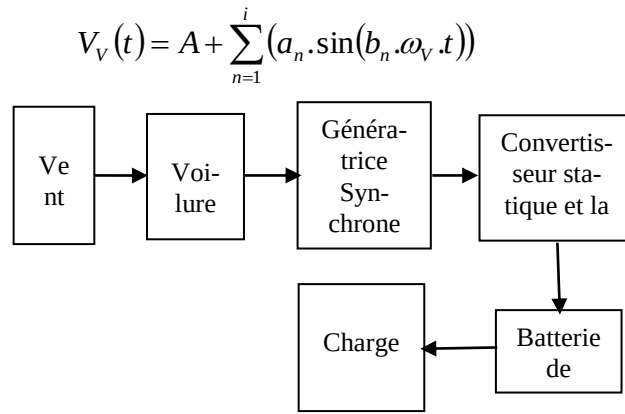


Figure 2 : Chaîne de conversion d'énergie éolienne de petite puissance [4].

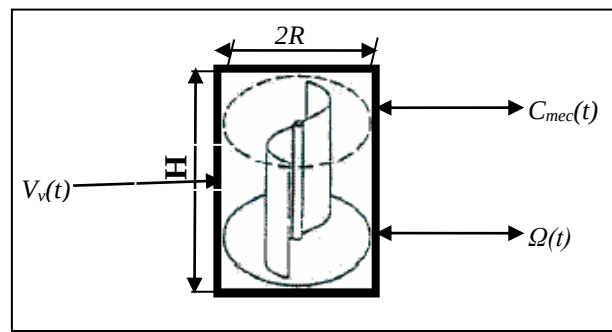


Figure 3 : Entrées – sorties du modèle de la voilure Savonius [6].

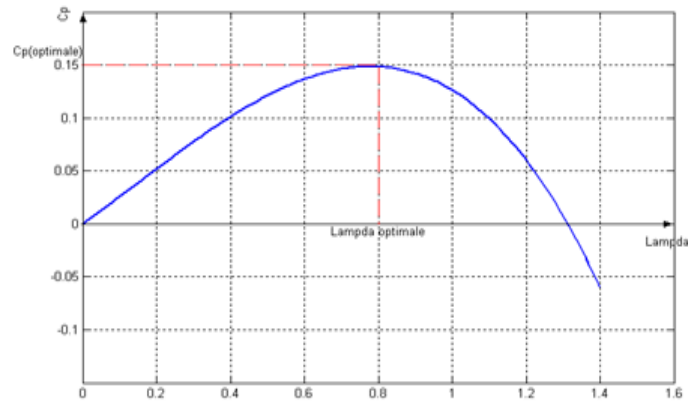


Figure 4 : Courbe caractéristique retenue pour les essais [7].

$$C_p(\lambda) = -0,2121\lambda^3 + 0,0856\lambda^2 + 0,2529\lambda + 0$$

$$\lambda_{opt} = 0,78, \quad C_p^{opt}(\lambda_{opt}) = 0,15, \quad \lambda_0 = 1,31$$

$$H = 2m ; R = 0,5m$$

Pour la vitesse réduite optimale, le coefficient de puissance est maximal et la voilure délivre un maximum de puissance mécanique. Il est donc fortement souhaitable d'exploiter le système éolien de façon à obtenir son fonctionnement sur ce point.

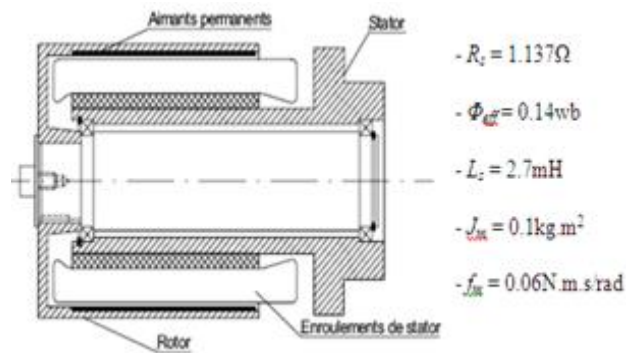


Figure5 : Construction mécanique de la génératrice WR-02 [7].

Le modèle suppose par hypothèse qu'on dispose d'armatures à pôles lisses (sans pièce polaire), qu'il n'y a pas de saturation et que la constitution des bobinages est parfaitement symétrique.

1.2 Les Convertisseurs statiques

Les convertisseurs statiques sont un élément essentiel du système de conversion d'énergie pour l'éolien. Non seulement il permet d'obtenir la forme souhaitée de l'énergie électrique mais aussi d'optimiser la puissance prélevée [8]. En supposant les pertes négligeables dans tous les montages étudiés.

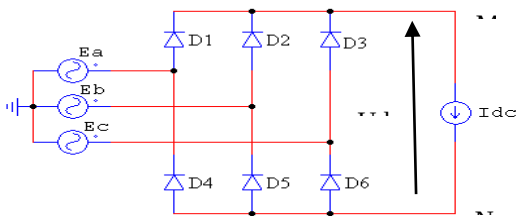


Figure 6 : Schéma d'un Pont de diodes [8].

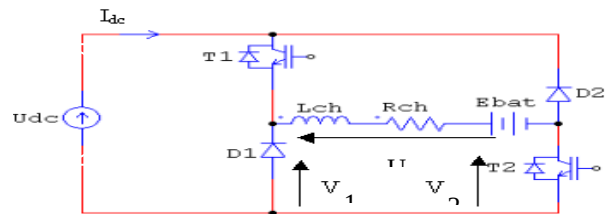


Figure 7 : Structure d'un hacheur dévolteur.

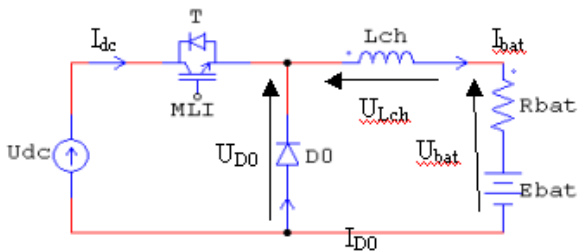


Figure 8 : Schéma de convertisseur en pont à commande différentielle.

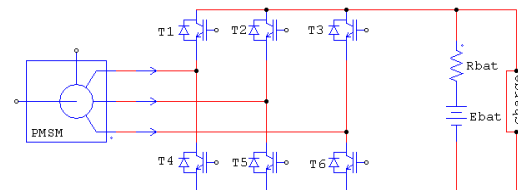


Figure 9 : Redresseur MLI.

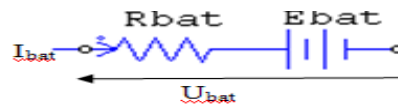


Figure 10 : Schéma de simulation de la batterie.

2. Méthodes de recherche du point de puissance maximale

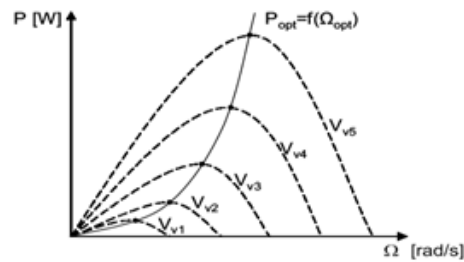


Figure 11 : Caractéristiques de voilure dans le plan puissance – vitesse [7].

2.1 Maximisation de puissance sans connaissance de la courbe caractéristique de la voilure $C_P(\lambda)$.

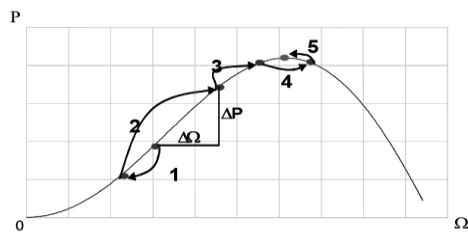


Figure 12 : Principe de fonctionnement de MPPT à vitesse de vent constante

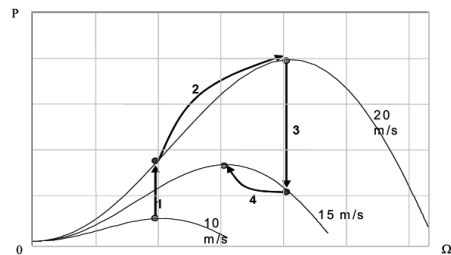


Figure 13 : Principe de fonctionnement de MPPT à vitesse de vent non constante

2.1.1 MPPT par la logique floue [7],[8]

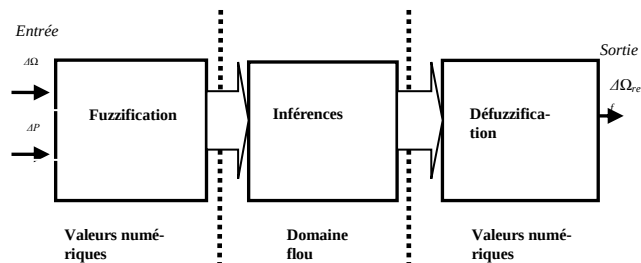


Figure14 : Structure de base du contrôleur MPPT flou.

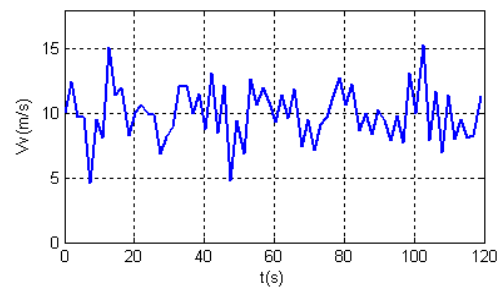


Figure 15 : Echantillon de test du vent.

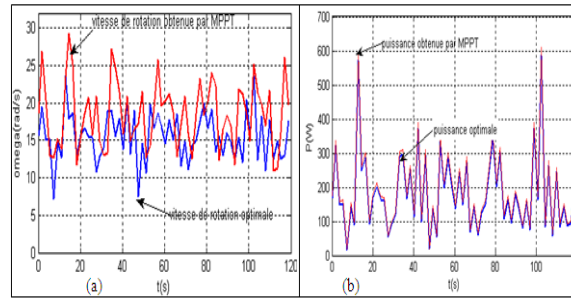


Figure 16 : Courbes issue de la MPPT et optimale : a) courbes de Vitesse de rotation, b) courbes de puissance.

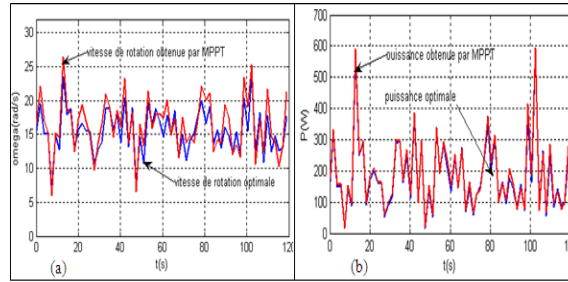


Figure 17 : Courbes issue de la MPPT et optimale – entrées relatives : a) courbes de Vitesse de rotation, b) courbes de puissance.

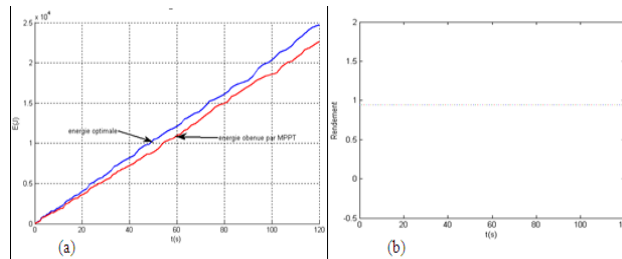


Figure 18 : Courbes de comparaison énergétique : a) Courbes de l'énergie, b) Courbes de rendement obtenu grâce à MPPT floue.

Le calcul de l'écart entre l'énergie optimale issue de puissance optimale P_{opt} et celle qui est obtenue à l'aide de dispositif MPPT donne un aperçu chiffré de la qualité du prélèvement énergétique sur un laps de temps donné.

2.2 Maximisation de puissance avec la connaissance de la courbe caractéristique de la voilure $C_p(\lambda)$.

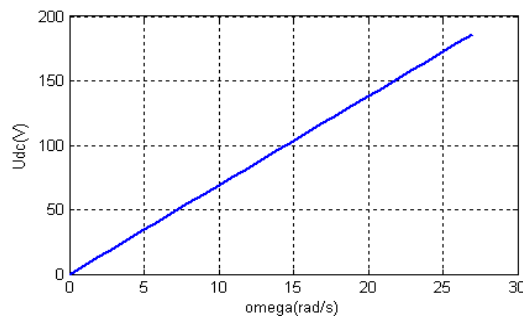


Figure 19 : Tension redressée en fonction de la vitesse de rotation en régime optimal.

2.2.1 Résultats de simulation pour l'hacheur dévolteur simple

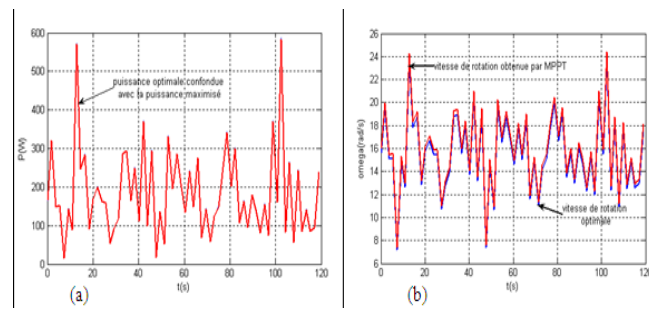


Figure 20 : a) Puissance éolienne b) Vitesse de rotation.

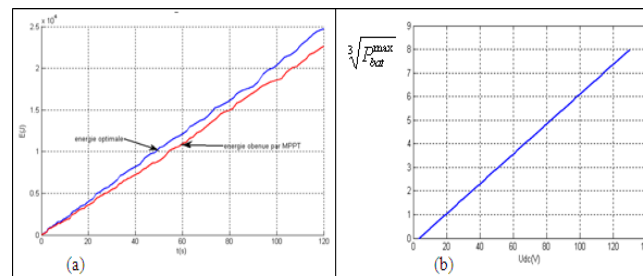


Figure 21 : a) Efficacité énergétique, b) Puissance maximale de batterie 48V en fonction de la tension redressée.

2.2.2 Résultats de simulation pour l'hacheur asymétrique

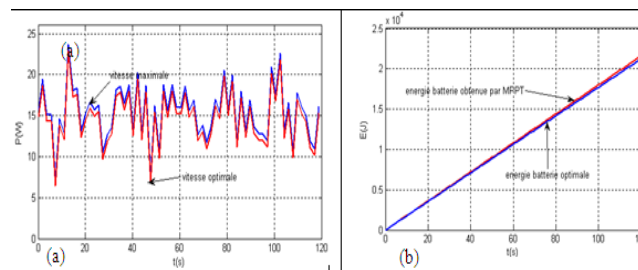


Figure 22 : a) Vitesse de rotation, b) Efficacité énergétique.

3. Résultats de simulation obtenue à vitesse de vent linéaire

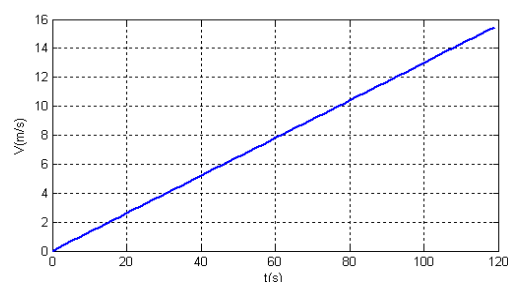


Figure 23 : Echantillon de test du vent.

3.1 Résultats de simulation sans connaissance de la courbe caractéristique de la voilure

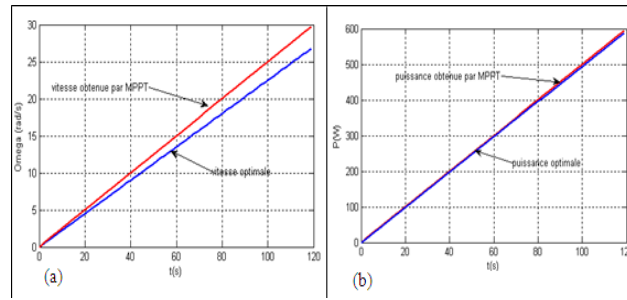


Figure 24 : Courbes issue de la MPPT et optimale : a) courbes de Vitesse de rotation, b) courbes de puissance.

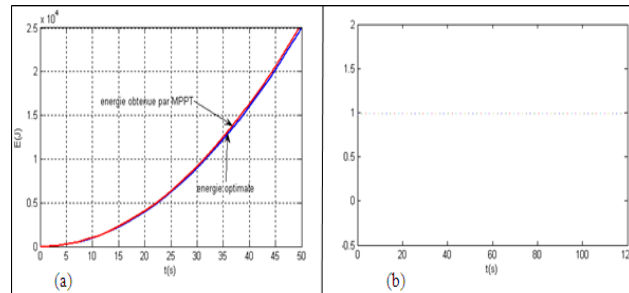


Figure 25 : Courbes de comparaison énergétique :
a) Courbes de l'énergie, b) Courbes de Rendement obtenu grâce à MPPT floue.

3.2 Résultats de simulation avec la connaissance de la courbe caractéristique de la voilure

3.2.1 Résultats de simulation pour l'hacheur dévolteur simple

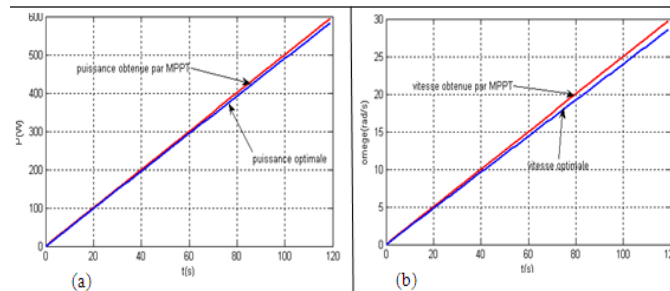


Figure 26 : a) puissance éolienne b) vitesse de rotation.

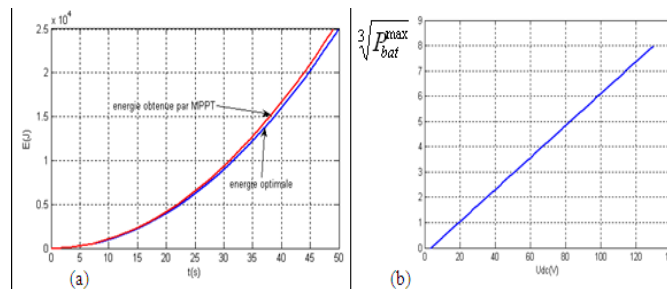


Figure 27 : a) Efficacité énergétique, b) Puissance maximale de batterie 48V en fonction de la tension redressée.

3.2.2 Résultats de simulation pour l'hacheur asymétrique

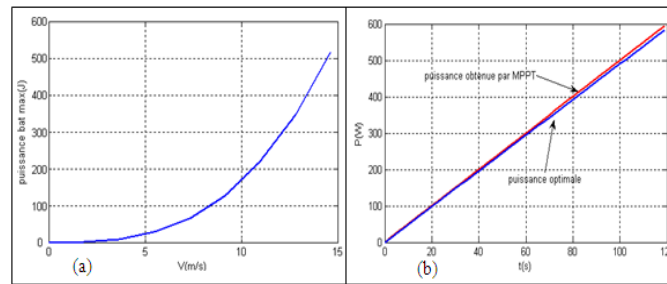


Figure 28 : a) Puissance batterie maximale (à 48V) en fonction du vent, b) Puissance batterie 48V optimale et maximisée par MPPT.

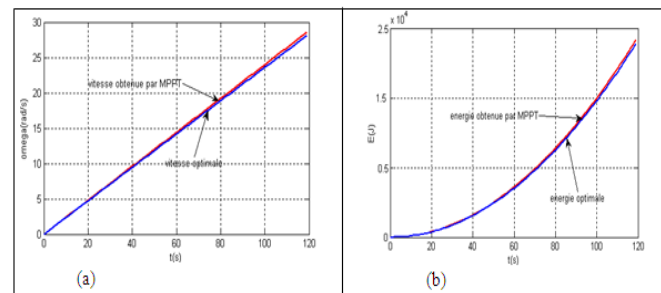


Figure 29 : a) vitesse de rotation, b) Efficacité énergétique.

4. Conclusion

Dans le choix final de la meilleure structure, nous avons montré l'interaction entre plusieurs paramètres tels que le profil du vent, Au final, dans cette gamme de puissance et moyennant un dimensionnement système adéquat, l'application de différents gisements éoliens nous a permis de conclure à l'excellente compétitivité du circuit le plus simple vis à vis du compromis coût / performance : association pont de diodes - hacheur abaisseur de tension.

Bien que le dispositif MPPT soit fiable dans tous les cas étudiés, on remarque les grandes différences en quantité d'énergie selon la configuration et le profil du gisement éolien. Pour assurer une plus grande disponibilité en énergie, plusieurs ressources renouvelables peuvent être interconnectées ensemble (éolien – photovoltaïque – piles à combustibles).

5. Références

- [1] O. Gergaud « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », *Thèse de Docteur de l'École Normale Supérieure de Cachan*, France, 9 Décembre 2002.
- [2] V. Rogez « Modélisation simplifiée de sources de production décentralisée pour des études de dynamique des réseaux. Application à l'intégration d'une production éolienne dans un réseau de distribution insulaire », *Thèse de Docteur de l'Université d'Artois*, France, 17 Décembre 2004.
- [3] D. Le GOURIERE « Energie éolienne, théorie, conception et calcul pratique des Installations », Eyrolles ; Paris, 1982.
- [4] H. Camblong « Minimisation de l'impact des perturbations d'origine éolienne dans la génération d'électricité par des aérogénérateurs à vitesse variable », *Thèse de Docteur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Bordeaux*, France, 18 Décembre 2003.
- [5] N. Kasbadji Merzouk « Evaluation du gisement éolien, contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie », *Thèse de Doctorat en Physique énergétique*, Tlemcen, Algérie, Mai 2006.
- [6] Alain.H.CHAUVIN « L'éolienne Savonius. Etude aérodynamique et performances mécaniques », *12èmes Journées Internationales de Thermique*.
- [10] A.Mirecki « Etude comparative de chaines de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance », *Thèse de Docteur de l'Université de Toulouse*, France, 2005.
- [8] Jean-Philippe MARTIN « Contribution à L'alimentation en Tension de Machine Synchrones à Aimants Permanents a Nombre de Phases Elevé, Fonctionnement Normal et Dégradé », *Docteur de l'Institut National Polytechnique de Lorraine*, France, 2003.