

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/343471889>

IMPLANTATION EXPERIMENTALE D'UN M.P.P.T POUR UN SYSTEME DE GENERATION EOLIENNE A AXE HORIZONTAL

Conference Paper · April 2010

CITATIONS

0

READS

644

3 authors:



Sadek Ameziane

Université de Bouira

3 PUBLICATIONS 2 CITATIONS

SEE PROFILE



Said Drid

University of Batna 2.

196 PUBLICATIONS 1,448 CITATIONS

SEE PROFILE



Boutabba Tarek

Abbes Laghrour - Khenchela University

28 PUBLICATIONS 130 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Recherche et identification de quelques plantes médicinales à caractère hypoglycémiant de la pharmacopée traditionnelle des communautés de la vallée du M'Zab (Sahara septentrional Est Algérien) [View project](#)



Diabete, Modelling and Control [View project](#)



IMPLANTATION EXPERIMENTALE D'UN M.P.P.T POUR UN SYSTEME DE GENERATION EOLIENNE A AXE HORIZONTAL

Sadek AMEZIANE, Said DRID, Tarek BOUTABBA

Laboratoire LSPIE, L.S.P.IE Research Laboratory, Electrical engineering département
Université de Batna, Rue M.E.H Boukhlof, Algérie, Tel/Fax: +213.33.81.24.80
E-mail: amezianesadekas@yahoo.fr

Résumé - Le but de cette article intitulé "Implantation Expérimentale d'un M.P.P.T Pour un Système de Génération Eolienne à axe Horizontal" est l'implantation expérimental d'un M.P.P.T (Maximum power point tracking) qui signifie en français maximisation de la puissance extraite, et qui a pour rôle la maximisation de la puissance extraite d'un système de génération éolienne. Afin de reproduire la vitesse angulaire de la turbine sans l'utilisation d'une réelle turbine on a proposé ou avec un autre terme utilisé un émulateur éolien basé sur un moteur électrique à courant continu à excitation séparée. Le générateur éolien proposé est basé sur une génératrice à courant continu à excitation séparé. L'M.P.P.T proposé est celui avec asservissement de la vitesse.

1. INTRODUCTION

L'essor du développement des éoliennes a commencé au début des années 80[1]. Des éoliennes de quelques dizaines de kW ont commencé à être installées autour du monde afin d'alimenter les sites isolés [1]. Les générateurs éoliens sont des générateurs dont la source primaire d'énergie est le vent. Il est bien connu que le vent a des caractéristiques très fluctuantes et imprévisibles. Même s'il y a des évaluations statiques permettant de prédire les valeurs moyennes du vent pour quelques jours ou pour toutes l'année. La vitesse du vent change très fréquemment et il est impossible pour le moment de prédire sa valeur pour un moment donné. La puissance débitée par une turbine éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent [1]. Donc, une petite variation de la vitesse du vent causera une variation importante de la puissance débitée par la turbine. La puissance mécanique débitée par la turbine éolienne très fluctuante cela implique une puissance électrique générée par le générateur éolienne très fluctuante. Cela pose beaucoup de problèmes pour les administrateurs du système énergétique pour deux raisons :

- Il faut assurer la balance entre la puissance générée et la puissance consommée. Donc le générateur éolien devrait fournir l'énergie que le consommateur demande.
- La puissance consommée est prévisible et variable. A cause de ces restrictions, les générateurs actuels ne peuvent pas fonctionner sans être associés à une source classique d'énergie (central thermique, groupe diesel,).

Plusieurs technologies des systèmes éoliens sont envisageables, mais les plus intéressants ce sont ceux éoliens à axe horizontal. On peut classer les systèmes

éoliens à axe horizontal [2] en deux différentes classes, le système éolien à vitesse fixe (ce genre de système est destiné à travailler pour des vitesses égales à la vitesse nominale et cela si on admet que la vitesse nominale est celle qui donne au générateur électrique la possibilité de générer une puissance électrique à 50Hz (le cas de notre réseau)) et le système éolien à vitesse variable (ce sont des systèmes aptes à travailler pour des vitesses égales ou différentes de la vitesses nominale [3]). Plusieurs technologies sont mises en service afin d'assurer le fonctionnement à vitesse variable pour le système éolien :

- **La technique mécanique** : c'est une technique qui utilise les paramètres aérodynamiques de la turbine comme outil de variation de la vitesse, et dans ce sens là on distingue deux modes [4] : le stall control (basé sur l'accrochage et le décrochage de la génératrice à la turbine), robuste car c'est la forme des pales qui conduit à une perte de portance au-delà d'une certaine vitesse de vent, mais la courbe de puissance chute plus vite : il s'agit donc d'une solution passive, et le pitch control (basé sur l'abaissement et l'augmentation de l'angle de calage des pales, qui permet d'ajuster la portance des pales à la vitesse du vent pour maintenir une puissance sensiblement constante). Il faut noter que cette technique n'est fonctionnelle que pour des vitesses égales ou supérieures à la vitesse nominale.
- **La technique électrique** : c'est une technique qui utilise les convertisseurs statiques comme outil de variation de la vitesse [3].
- **La technique hybride** : c'est une technique qui utilise les deux techniques précédentes à la fois afin d'améliorer le rendement de production et de sécurité du système [2, 5].

Le système éolien à vitesse variable est un système apte à travailler pour des vitesses égales ou différentes de la vitesse nominale (optimal) à l'aide du sous système MPPT, et cela pour produire la puissance max [3]. L'MPPT peut être définie comme étant un algorithme [6] ou un système [2] capable d'aider le système éolien à axe horizontal à vitesse variable pour extraire le maximum de puissance électrique à partir de l'énergie cinétique du vent disponible.

Dans cet article on va essayer d'implanter expérimentalement un M.P.P.T pour un système de

génération éolienne à axe horizontal à vitesse variable. Le banc d'essai expérimental sur lequel on a travaillé se compose des éléments suivants :

- Une carte dSPACE;
- Un ordinateur Pentium III « 566 Mhz » équipé de Matlab/Simulink et Control Desk;
- Carte de mesure des courants et tensions;
- Les convertisseurs (redresseur triphasé, hacheurs) ;
- Une source de tension alternative triphasée en vue d'alimenter le redresseur triphasé et une autre à courant continu ;
- Un moteur à courant continu à excitation séparée de 1kWatt;
- Une génératrice à courant continu à excitation séparée de 1kWatt;
- Un capteur de vitesse (tachy génératrice), disposé sur le même alignement de l'axe du moteur-générateur ;
- La charge (résistances électriques).



Figure 1. Vue de l'ensemble du banc d'essai.

2. MODELISATION DE LA TURBINE EOLIENNE A AXE HORIZONTAL

La turbine éolienne étudiée ici, est constituée de pales de longueur R entraînant une génératrice électrique avec l'intermédiaire de l'arbre de la turbine (Figure 2).

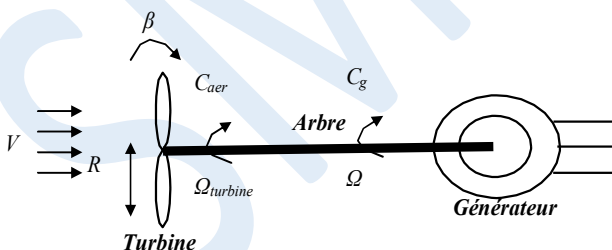


Figure 2. Schéma de la turbine éolienne proposé.

La puissance du vent P_v ou puissance éolienne est définie de la manière suivante [2]:

$$P_v = \frac{\rho.S.V^3}{2} \quad (1)$$

où : ρ est la densité de l'aire (approximativement 1.22 kg/m³ à la pression atmosphérique à 15°C), S est la surface

balayée par la turbine, le rayon du cercle est déterminé par la longueur de la pale et V la vitesse du vent.

La puissance aérodynamique apparaissant au niveau du rotor de la turbine s'écrit comme suit [2] :

$$P_{aer} = C_p.P_v = C_p(\lambda, \beta). \frac{\rho.S.V^3}{2} \quad (2)$$

Le coefficient de puissance C_p représente le rendement aérodynamique de la turbine éolienne. Il dépend de la caractéristique de la turbine. Ce coefficient est en fonction du ratio de vitesse λ et de l'angle d'orientation de la pale β .

Le coefficient λ est défini comme étant le rapport entre la vitesse linéaire des pales et la vitesse du vent [2] :

$$\lambda = \frac{\Omega_{turbine}.R}{V} \quad (3)$$

Où : $\Omega_{turbine}$ est la vitesse de la turbine et R la longueur de la pale.

Connaissant la vitesse de la turbine, le couple aérodynamique peut être donné comme suit :

$$C_{aer} = \frac{P_{aer}}{\Omega_{turbine}} = C_p \cdot \frac{\rho.S.V^3}{2\Omega_{turbine}} \quad (4)$$

La masse de l'éolienne est reportée sur l'arbre de la turbine sous la forme d'une inertie $J_{turbine}$ et comprend la masse des pales et la masse du rotor de la turbine. L'inertie totale de l'arbre J qui apparaît sur le rotor de la génératrice peut être donnée comme suit [2] :

$$J = \frac{J_{turbine}}{G^2} + J_g = J_{turbine} + J_g \quad (5)$$

Où : G^2 est le gain du multiplicateur égale à 1 dans notre cas et J_g l'inertie de la génératrice électrique.

Il est à noter que le moment d'inertie de la génératrice peut être négligé devant l'inertie de la turbine et cela dans le cas des grosses éoliennes. L'équation fondamentale de la dynamique permet de déterminer l'évolution de la vitesse mécanique à partir du couple mécanique total (C_{mec}) appliqué au rotor [2] :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_{mec} \quad (6)$$

Le couple mécanique C_{mec} prend en compte, le couple électromagnétique C_{em} produit par la génératrice, le couple des frottements visqueux C_r , et le couple issu du multiplicateur C_g [2].

$$C_{mec} = C_g - C_{em} - C_r \quad (7)$$

Le couple résistant du aux frottements est modélisé par un coefficient de frottements visqueux f [2]:

$$C_r = f \Omega \quad (8)$$

La turbine d'une éolienne à axe horizontal à vitesse variable peut être modélisée comme le montre le schéma bloc de la (Figure 3).

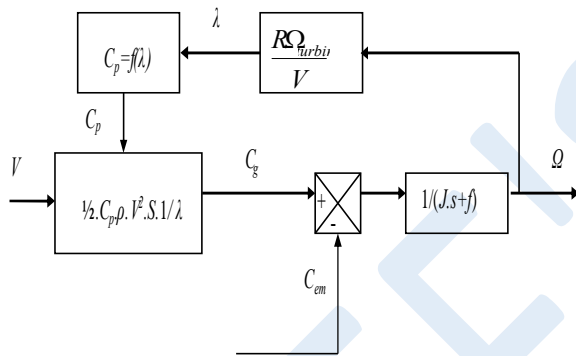


Figure 3. Schéma bloc de la turbine éolienne à axe horizontal à vitesse variable proposé.

L'expression du coefficient de puissance C_p est spécifique à chaque éolienne et dépend des caractéristiques intrinsèques de celle-ci. Dans cet article on va utiliser l'expression du C_p suivante [7] :

$$C_p = 7,9563 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^5 - 17,375 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^4 + 9,86 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^3 - 9,4 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^2 + 6,38 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda + 0,001 \quad (9)$$

Il faut noter que l'angle de calage β ($\beta=2$) est fixe. L'allure de C_p peut être représenter comme suit:

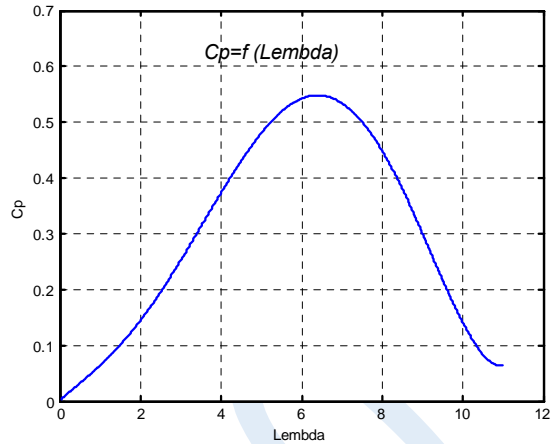


Figure 4. Evolution du C_p en fonction de Lambda ' λ '.

De la (Figure 4), on peut déduire que le $C_{pmax}=0,54$ et $\lambda_{Cpmax}=6,41$. Le modèle de notre turbine à axe horizontal sur la plateforme Simulink du logiciel Matlab avec « $R=1m$; $\rho=1,22 \text{ kg/m}^3$ » donne les résultats suivants :

On remarque de la (Figure 5) que la puissance électrique est variable avec la variation de la vitesse angulaire mécanique de la turbine. L'allure de la puissance en fonction de la vitesse angulaire est semblable à celle du C_p en fonction de λ (ratio de vitesse).

On remarque aussi que plus la vitesse du vent est grande plus la puissance délivrée est grande et qui est tout a fait normal car la puissance est exprimée par la vitesse cube du vent.

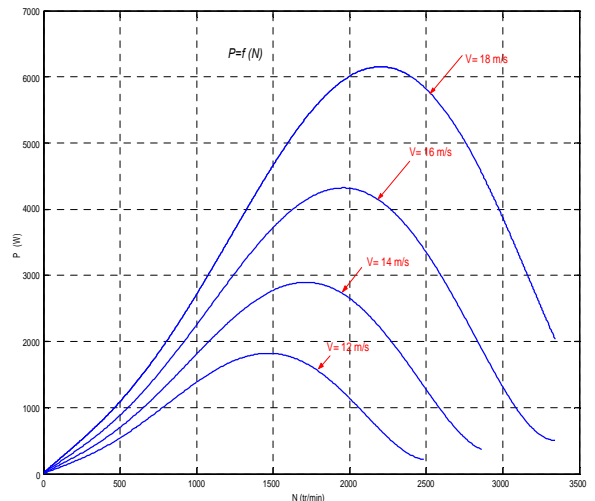


Figure 5. La puissance mécanique de la turbine en fonction de la vitesse de rotation.

3. IMPLANTATION D'UN EMULATEUR EOLIEN

Pour reproduire la caractéristique (Ω (vitesse angulaire), P (puissance électrique)) d'une éolienne à vitesse variable, on va utiliser un système nommé simulateur ou émulateur éolien (reproducteur de

comportement d'une éolienne à vitesse variable) et qui peut être schématisé comme suit :

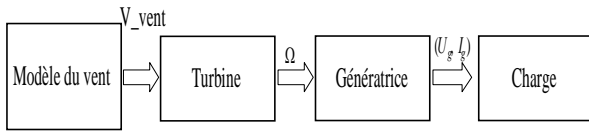


Figure 6. La puissance mécanique de la turbine en fonction de la vitesse de rotation.

Deux possibilités sont envisageables pour reproduire les caractéristiques de la vitesse du vent, les mesures expérimentales et la modélisation analytique. La première consiste à effectuer des mesures expérimentales sur un site éolien bien défini. La deuxième possibilité semble plus souple car il s'agit d'une modélisation analytique de la grandeur. Parmi les méthodes les plus utilisées pour modéliser le vent [8] : la méthode qui utilise la caractéristique spectrale de Van Der Hoven. Alors la vitesse du vent [8] peut s'écrire comme suit :

$$V(t) = v_1(t) + v_2(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{i=0}^{N_1} A_i \cos(w_i t + \varphi_i) + \frac{2}{\pi} \sum_{i=N_1}^N A_i \cos(w_i t + \varphi_i) \quad (10)$$

Tel que :

A_i : l'amplitude de chaque composante spectrale ;

w_i : la pulsation en rad/s ;

φ_i : La phase en rad.

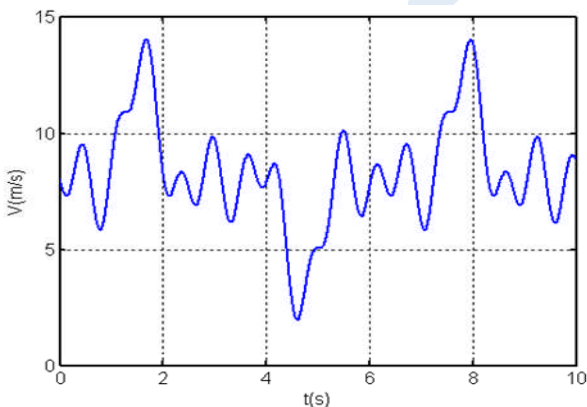


Figure 7. La vitesse du vent $V(m/s)$ proposé en fonction du temps $t(s)$.

La turbine éolienne va être remplacé par un moteur à courant continu à excitation séparée (de puissance 1kW) et cela afin de reproduire la caractéristique (Ω (vitesse angulaire), P (puissance mécanique) à partir de la vitesse du vent illustré ci-dessus.

La génératrice utilisé est la génératrice à courant continu à excitation séparée (de puissance 1kW) et qui a pour but la production de la puissance électrique qui alimente la charge électrique.

La charge électrique utilisé pour testé l'efficacité du l'émulateur éolien proposé est une charge résistive nommé R .

Avec une tension d'excitation et induit du moteur à courant continu à excitation séparée respectivement $U_a = 220V$ et $U_g = 150V$, tension d'excitation de la génératrice

$U_{exg} = 160V$, une charge $R=40\Omega$, un hacheur série et la réalisation de l'installation illustrée dans la (Figure 6) avec la vitesse du vent illustré dans la (Figure 7), on aura le résultats expérimentaux en fonction du temps suivants :

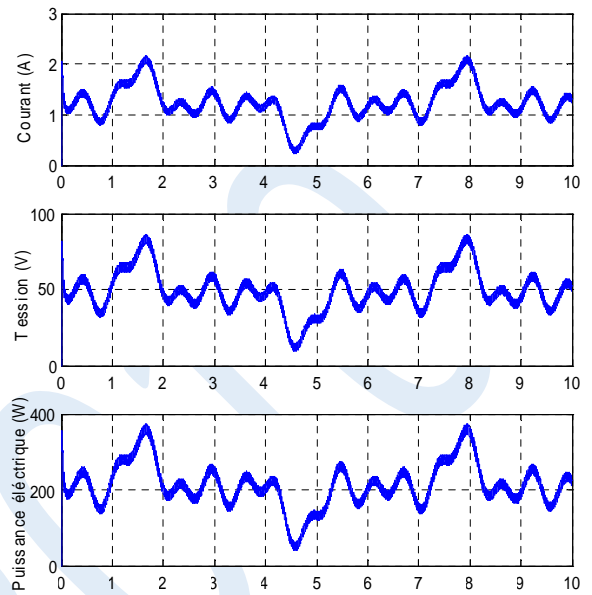


Figure 8. Courant, tension et puissance délivrée par la turbine éolienne pour une charge de 40Ω expérimentalement.

On remarque que les bandes de la puissance électrique, la tension et courant sont importantes et cela à cause de l'absence de l'M.P.P.T; et qui a pour rôle la poursuite de la puissance max disponible.

4. L'M.P.P.T DU SYSTEME EOLIEN PROPOSE (PRINCIPE ET IMPLANTATION)

La puissance capturée par la turbine éolienne peut être maximisée en ajustant le coefficient C_p . Ce coefficient étant dépendant de la vitesse de la génératrice. L'utilisation d'une éolienne à vitesse variable permet de maximiser cette puissance. Il est donc nécessaire de concevoir des stratégies de commande permettant de maximiser la puissance électrique générée (donc le couple) en ajustant la vitesse de rotation de la turbine à sa valeur de référence quelle que soit la vitesse du vent considérée comme grandeur perturbatrice. Pour cela, on peut distinguer deux approches (types) possibles :

- La première, la moins classique, considère que la caractéristique C_p n'est pas connue ;
- La seconde façon d'agir, plus répandue, suppose que cette caractéristique de voilure est connue. Il suffit de suivre la courbe de puissance optimale comme caractéristique de charge pour que l'éolienne soit dans les conditions optimales.

L'M.P.P.T proposé dans ce travail est celui à caractéristique de voilure connu avec asservissement de la vitesse (le C_p est celui définie au paravant).

Cette structure de commande consiste à régler le couple apparaissant sur l'arbre de la turbine C_{aer} de manière à fixer sa vitesse à une référence. Pour réaliser ceci, l'utilisation d'un asservissement de la vitesse est indispensable (asservissement à hystérésis). La référence de la vitesse de la turbine est celle correspondant à la valeur optimale du ratio de vitesse λ_{Cpmax} ($\beta=2$, constant) permettant d'obtenir la valeur maximale du C_p . Alors on peut écrire :

$$\Omega_{ref} = \frac{\lambda_{Cpmax} \cdot V}{R} \quad (11)$$

V : la vitesse du vent ;

R : la longueur de la pale.

Avec une tension d'excitation et alimentation induit du moteur à courant continu à excitation séparée respectivement $U_{ex} = 220V$ et $E_a = 150V$, tension d'excitation de la génératrice $U_{exg} = 160V$, une charge variable, un hacheur série-parallèle et la réalisation de l'installation illustrée dans la figure ci-dessous, on aura les résultats expérimentaux de les (Figure 10, 11):

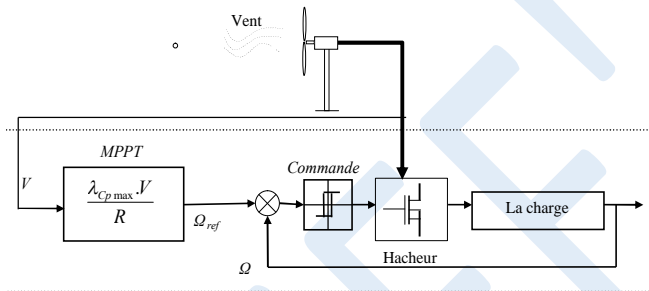


Figure 9. Principe de l'M.P.P.T proposé pour le système éolien.

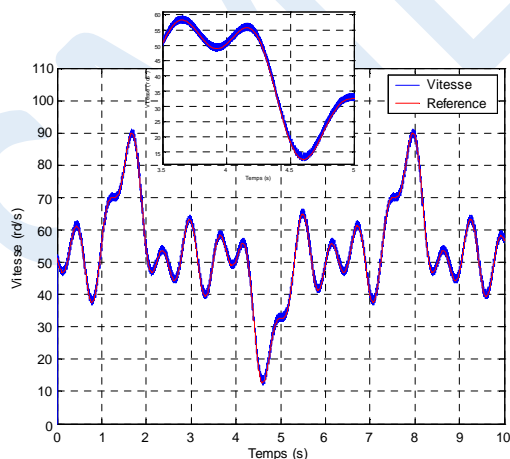


Figure 10. Vitesse de la turbine expérimentalement et vitesse de référence en fonction du temps.

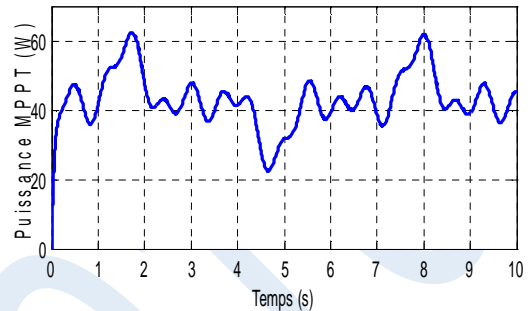
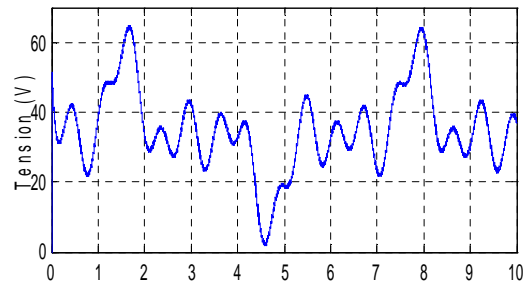


Figure 11. Tension et puissance du système éolien proposé avec son M.P.P.T expérimentalement en fonction du temps.

A une vitesse du vent constante (à l'ordre de 100 rad/s) :

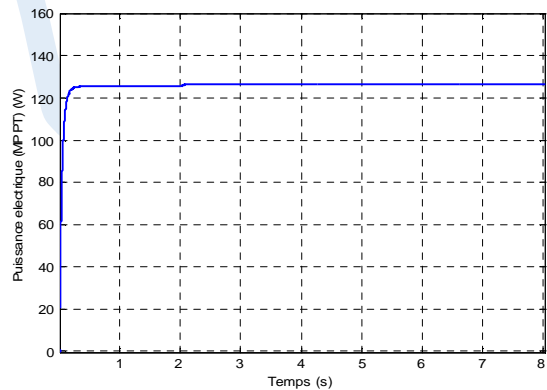


Figure 12. Puissance de la génératrice éolienne avec son M.P.P.T à une charge variable expérimentalement en fonction du temps.

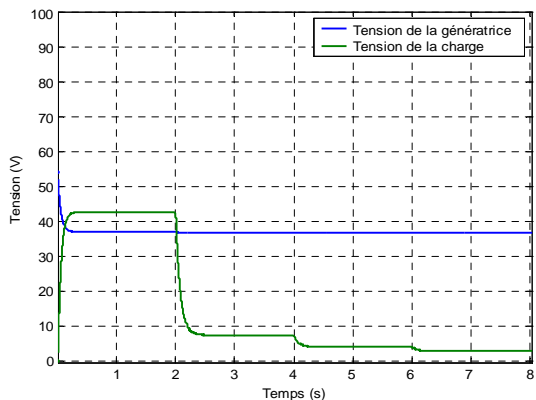


Figure 13. Tension de la génératrice éolienne avec son M.P.P.T et tension de la charge à une charge variable expérimentalement en fonction du temps.

5. CONCLUSION

Vu le manque des bancs d'essai des éoliens, donc la première tâche était la réalisation d'un émulateur éolien composé de :

- Une machine à courant continu + un hacheur série " pour simuler la turbine".
- Une génératrice à courant continu.
- Une charge résistive variable.
- Hacheurs : série, parallèle et série-parallèle pour l'extraction du max de puissance.

La commande implantée sur le système dSPACE DS1103 a pour rôle, d'une part la commande de la turbine "moteur" par imposition du profil du vent et d'une autre part générer la commande de l'M.P.P.T implantée.

6. REFERENCES

- [1]-Gabriel-octavian cimuca, « système inertiel de stockage d'énergie associé à des générateurs éoliens », thèse de Doctorat de l'école nationale supérieure d'arts et métiers centre de Lille, France, 2005.
- [2]-Salma.El Aimani, « modélisation de différentes technologies d'éoliennes intégrées dans réseaux de moyenne tension », thèse de Doctorat de l'Université Lille, France, 2004.
- [3]-Salma.El Aimani, « Modélisation d'une éolienne à vitesse variable basée sur une machine asynchrone à double alimentation couplée à un réseau Moyenne Tension », JCGE'03, Saint-Nazaire, 5 et 6 juin 2003.
- [4]-MENY IVAN, « Modélisation et réalisation d'une chaîne de conversion éolienne petite puissance », Laboratoire d'électrotechnique de Montpellier (LEM) meny@univ-montp2.fr.
- [5]-Frédéric.Poitiers, « Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne (machine asynchrone à cage autonome, machine asynchrone à double alimentation reliée au réseaux) », thèse de doctorat de génie électrique, Université Nantes, France, 2003.
- [6]-Andreas Petersson, « Evaluation of Current Control Methods for Wind Turbines Using Doubly Fed Induction Machines », IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 20, NO. 1, 2005.
- [7]-Frédéric.Poitiers, « Etude d'un système éolien basé sur une machine asynchrone à double alimentation », JCGE'03, Saint-Nazaire, 5 et 6 juin 2003.
- [8]-Eric Jean Roy Sambatra, « Simulation d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne à base d'une génératrice synchrone à aimants permanents pour un site isolé », JCGE'03, Saint-Nazaire, 5 et 6 juin 2003.

Abstract – The aim of this Article's title "Implantation Expérimentale d'un M.P.P.T Pour un Système de Génération Eolienne à axe Horizontal" is the establishment experimental of an M.P.P.T (Maximum power point tracking), who have as objective extraction of the max power into the system wind generator. In order to reproduce the angular speed of the turbine without using a real turbine we have offer a wind rival appointed « émulateur éolien » bases on DC motor. The wind generator proposes is based on D.C generator. The M.P.P.T proposes it's him with the speed control.