

---

## **Résumé des travaux effectués**

Laboratoire de Conception, Optimisation et de Modélisation des Systèmes  
(LCOMS)  
Université de Lorraine

### **e-Monitoring des Smart-grids d'Énergies Renouvelables : analyse de données et modélisation**

Projet de recherche Postdoctorale financé par le programme de bourse  
d'excellence de la Banque Islamique de Développement (BID)  
Février 2018-Janvier 2019

Présenté par :

Boudy BILAL, Maître de Conférences  
Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), Nouakchott

Sous la supervision de :

M. Kondo H. ADJALLAH, Professeures  
Université de Lorraine  
M. Alexandre SAVA, Maître de Conférences, HDR  
Université de Lorraine

---

Boudy BILAL

Maître de conférences

Ecole Supérieure Polytechnique, Nouakchott-Mauritanie

Email : [boudy.bilal@esp.mr/](mailto:boudy.bilal@esp.mr/) [boudy\\_bilal@yahoo.fr/](mailto:boudy_bilal@yahoo.fr/) [boudy.bilal@unive-loarrine.fr](mailto:boudy.bilal@unive-loarrine.fr)

---

**Adresse : institution d'origine**

Ecole Supérieure Polytechnique,  
Avenue Jaber Essabah, Nouakchott  
BP. 4303 Nouakchott-Mauritanie,

**Adresse : institution d'accueil**

LCOMS, Université de Lorraine  
EA7306, Université de Lorraine, 1rte d'Ars  
Laquenexy, 57070 Metz, France

---

**Dates des voyages et indicateurs du projet**

<b>Voyage pour l'établissement d'accueil</b>	
Date de départ de Nktt pour Paris	25 Février 2018
Date d'arrivé à Paris	25 Février 2018
Date de départ de Paris pour Metz	26 février 2018
Date d'arrivé à Metz	26 février 2018
<b>Retour pour l'établissement d'origine</b>	
Date de départ de Metz pour Paris, prévue	20 janvier 2019
Date d'arriver à Paris, prévue	20 janvier 2019
Date de départ de Paris pour Nktt, prévue	31 janvier 2019
Date d'arrivé à Nouakchott, prévue	31 janvier 2019
Objectif de la mission	Séjour Postdoctoral ( <b>1 Février 2018-31 janvier 2019</b> )
Intitulé du projet de recherche	<b>e-Monitoring des Smart-grids d'énergies renouvelables : Analyse de Données et Modélisation</b>
Objectifs principaux	<ul style="list-style-type: none"><li>- Analyse des données de génératrices éoliennes et photovoltaïque, et modélisation des potentiels de production</li><li>- Modélisation par les réseaux des neurones de la puissance produite par les aérogénérateurs</li><li>- Modélisation et analyse de performance de modèles de prédiction de puissance produite par aérogénérateur à l'aide de l'ANFIS</li></ul>
Source de financement	- Bourses d'Excellence de la Bank Islamique de développement (BID)

---

---

## Sommaire

I. Résumé.....	2
II. Rédaction d'articles .....	6
III. Activité en dehors de recherches scientifiques.....	6
IV. Contribution aux travaux d'autres laboratoires .....	7
V. Contribution à l'encadrement des thèses de masters et de doctorat .....	7
V.1. Co-encadrement de thèses de doctorat.....	7
V.1. Encadrement de theses de masters .....	8
VI. Remerciements.....	8
VII. Références bibliographiques.....	9

---

## I. Résumé

Les ressources fossiles telles que le pétrole, le gaz naturel et le charbon s'épuise de plus en plus, due à l'utilisation massive pour servir les besoins en énergie. Outre, ces ressources sont néfastes à l'environnement. Les énergies renouvelables (éolienne, solaire, hydraulique, etc.) constituent une alternative incontournable aux énergies d'origine fossile, tout en restant moins nocives pour l'environnement. La production de l'énergie éolienne a connu ces dernières décennies une utilisation massive avec un taux d'augmentation de la capacité installée d'environ 31% par an. Cette progression d'utilisation des ressources éoliennes disponibles pour la production d'électricité doit être accompagnés par des mesures permettant une meilleure gestion de la maintenance afin de réduire le risque technico-économique et d'augmenter la disponibilité du système. Des travaux sont effectuées pour caractériser des sites susceptibles de recevoir des parcs éoliens et pour analyser la faisabilité technique et économiques des parcs éoliens. Cependant, les analyses faites se sont basés essentiellement sur la variabilité annuelle, mensuelle ou journalière des paramètres météorologiques pour le dimensionnement des structures des parcs éoliens, des systèmes de génération de l'énergie et de l'optimisation de leurs fonctionnements. Toutefois, les systèmes d'aérogénérateurs sont connus par leurs caractères complexes, dépendant de la variabilité aléatoire des paramètres météorologiques, notamment la vitesse de vent et la direction de vent. Les aérogénérateurs vivent donc dans des états de stress engendrés par les efforts et l'intermittence sans cesse de la vitesse de vent. Ces efforts que reçoivent un aérogénérateur ont des conséquences sur sa performance et sa résistance, qui peuvent se manifester sous forme de vibrations, de roulements et paliers endommagés, d'échauffement de la génératrice et des huiles de lubrifications, défaillance des systèmes de régulation et de système de conversion d'énergie, ....Il est donc nécessaire de mettre en place une stratégie de contrôle des aérogénérateurs, de gestion de fonctionnement et la planification de taches de maintenance des systèmes éoliens afin de maximiser la disponible du système. Une analyse de fonctionnement des parcs éolien basée sur la prédiction de future comportement des aérogénérateurs permettrait d'apporter des informations fondamentales pour le contrôle et la gestion de l'énergie produite. Plusieurs travaux sont développés pour la prédiction de la vitesse de vent. Cependant, peu d'études sont réservées à la prédiction de la puissance produite par aérogénérateurs. Toutefois, les travaux [1-15] ont permis de proposer de nouvelles approches (ANN, BP-NN, ANFIS, ANN-GA-BP, PSO) pour prédire la puissance produite par aérogénérateurs, améliorant des méthodes conventionnelles [16-19]. Cependant, ces nouvelles approches ne tiennent pas compte de certaines caractéristiques intéressantes des

---

aérogénérateurs, telles que la vitesse de rotation et la température de la génératrice de l'aérogénérateur, pouvant avoir une influence non négligeable sur la performance de modèles de prédiction. En outre, la plupart des approches de prédiction proposés se limitent généralement à l'utilisation d'un ou deux paramètres d'entrée du modèle pour faire la prédiction. Cependant, la considération de plusieurs variables influençant la sortie du modèle de prédiction pourrait améliorer la performance du modèle et offrir des résultats plus précis. Ainsi, l'objectif principal de ce travail est de proposer une approche permettant de prédire la puissance produite par aérogénérateurs, en utilisant l'ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Les contributions principales de ce travail sont de :

- 1) concevoir une structure originale de l'ANFIS permettant de prédire la puissance produite à la sortie des aérogénérateurs.
- 2) utiliser les données météorologiques réelles d'un parc éolien de 30 MW, collectées par pas de 10 minutes sur une période d'un an. Dans notre cas d'étude, la vitesse de vent, la vitesse de rotation et la température des génératrices des aérogénérateurs seront utilisées comme paramètres du modèle et la puissance mesurée sera utilisée comme objectif du modèle.
- 3) tester le modèle proposé en utilisant les données de mesures collectées sur des aérogénérateurs des mêmes caractéristiques et qui fonctionnent dans des conditions climatiques différentes.
- 4) comparer le modèle proposé à d'autres types de modèles existants et basés essentiellement sur le modèle de l'ANFIS (ANFIS-GP, ANFIS-SC, ANFIS-FCM, ANFIS-GA et l'ANFIS-PSO)
- 5) analyser l'influence de choix d'une fenêtre des données glissante sur la performance du modèle proposé. La fenêtre glissante utilise une quantité des données plus faible comparée à l'utilisation des toutes données disponibles pour la prédiction.

Les travaux de recherche effectués ont permis de :

- a) proposer une approche originale de prédiction basée sur le système d'inférence neuro-floue adaptatif (ANFIS) ;
- b) analyser la performance du modèle en utilisant des données réelles collectées sur un parc éolien de 30 MW installé sur la côte ouest de Nouakchott-Mauritanie. Dans le cadre de ce travail, la vitesse de vent, la vitesse de rotation et la température de la génératrice des aérogénérateurs sont utilisées comme variables d'entrée pour le modèle, et la puissance réelle à la sortie des aérogénérateurs sont utilisées comme objectif du modèle ;

- 
- c) Avant la phase de l'apprentissage et de test, les données initialement collectées sont prétraitées afin d'exclure les valeurs aberrantes. Ensuite, les données prétraitées sont utilisées pour analyser la performance du modèle proposé selon deux scénarios.
- i. Pour le premier scénario, l'apprentissage et le test du modèle sont effectués en considérant les données prétraitées provenant des aérogénérateurs WT01, WT02, WT03 et WT04, avec 70% des données considérées pour la phase de l'apprentissage et 30% pour la phase de test pour le cas de chaque aérogénérateur ;
  - ii. Pour le second scénario, les données de l'aérogénérateur WT01 sont utilisées pour l'apprentissage du modèle et les données des aérogénérateurs WT02, WT03 et WT04 sont utilisées pour la phase de test. Trois cas d'études sont donc réalisés pour le scénario 2 :
    - a) Cas1, les données provenant de l'aérogénérateurs WT01 est utilisé pour l'apprentissage et celle de l'aérogénérateur WT02 est utilisé pour le teste ;
    - b) Cas2, les données de l'aérogénérateurs WT01 est utilisé pour l'apprentissage et celle de l'aérogénérateur WT03 est utilisé pour le teste ;
    - c) et le cas3, les données de l'aérogénérateur WT01 est utilisé pour l'apprentissage et celle de l'aérogénérateur WT04 est utilisé pour le teste.;
  - iii. La performance du modèle est évaluée selon les deux scenarios. Les résultats suivants ont été trouvés :
    - Le scénario 1 a permis d'aboutir au fait que le modèle présente une performance significative avec les coefficients de corrélation variant 99,77 et 99,80% pour la phase de test. Cependant, les indicateurs de performance NMSE, NMAE et RMSE évoluent entre 0,0041 -0,0047, 0,0466 - 0,0473 et entre 43,19 -46,59 kW, respectivement ;
    - Le scénario 2 a montré que, les indicateurs de performance du model (NMSE, NMAE et RMSE) varient entre : 0,0036 - 0,0041, 0,0406 - 0,434 et entre 40,17 et 43,50 kW, respectivement, pour la phase de test. Tandis-que, le coefficient de corrélation évolue entre 99,80 et 99,82% pour la phase de test ;
    - Les résultats ont montré, aussi, que la distribution de l'erreur reste gaussienne pour les deux scénarios (1 et 2), avec plus de 80% des erreurs observées entre -30 kW et 30 kW pour le scénario 1 et entre -35 kW et 35 kW pour le scénario 2, pour la phase de test ;
    - Le modèle proposé est comparé aux cinq autres modèles basé sur l'ANFIS. Les résultats ont montré que le modèle ANFIS proposé présente une meilleure performance.
- d) Un nouveau modèle ANFIS basée sur une approche de fenêtres glissance (MWA) est ensuite proposé. Ce modèle permet d'analyser la performance du modèle en considérant une quantité

---

des données plus faible en faisant déplacer la fenêtre des données par pas de déplacement à des horizons différents :

- 1) horizon à très court terme, le pas de déplacement de la fenêtre est de 10 minutes. Le pas de 10 minutes correspond au déplacement de la fenêtre d'un échantillon, puisque les données sont mesurées par pas de 10 minutes.
- 2) horizon à court terme, où la fenêtre se déplace par pas d'une heure, correspondant à 6 échantillons ;
- 3) horizon à moyenne terme, le pas de déplacement de la fenêtre est une journée (144 échantillon),
- 4) horizon à long terme ou le pas de déplacement de la fenêtre est une semaine, ce qui correspond à (1008 échantillons).

Afin de tester la performance du modèle ANFIS proposé en tenant compte de cette nouvelle approche (MWA), les données prétraitées provenant des aérogénérateurs : WT01, WT02, WT03 et WT04 sont utilisées pour l'apprentissage et le test du modèle. Pour chaque aérogénérateur, quatre pas de déplacement (TSI) sont considérés : pas de 10 min, pas d'une heure, pas d'une journée et pas d'une semaine. Cinq étapes de prédiction, chacune correspond à une fenêtre glissante de 5000 échantillons, sont testés. Pour chaque étape de prédiction, les indicateurs de performance du modèle sont déterminés. Ensuite, la moyenne des cinq valeurs de chaque indicateur de performance est calculée pour chaque pas de prédiction.

- i. Les résultats obtenus ont montré que pour l'aérogénérateur WT01, les indicateurs de performance du modèle, correspondant aux pas de prédiction : 10 min, d'une heure et d'une journée, offre une meilleure performance que d'utiliser toutes les données mesurées sur la période d'un an.
- ii. Pour les aérogénérateurs WT02 et WT03, les indicateurs de performance du modèle ont été meilleurs pour le pas 10 min et le pas d'une heure.
- iii. Globalement, l'approche MWA, présente des performances satisfaisantes à un temps raisonnable pour les quatre horizons des prédictions considérées comparé à l'utilisation de toutes les données pour la prédiction. L'intérêt d'utiliser l'approche de la fenêtre glissante se situe dans le fait qu'il n'est pas nécessaire d'attendre une année de fonctionnement du parc éolien pour commencer à faire la prédiction et le contrôle du système. Avec le MWA, l'analyse de données et la prédiction du futur comportement du système éolien peuvent être entamés dès la première semaine de fonctionnement du parc éolien.

---

La prédiction de futur comportent des aérogénérateurs est très utile pour le contrôle, la gestion et la planification de la maintenance des systèmes de parcs éoliens. Il serait très intéressant de valider cette approche (ANFIS-MWA) pour d'autres systèmes d'aérogénérateurs des caractéristiques différentes et fonctionnant dans les mêmes conditions météorologiques et/ou dans des conditions météorologiques différentes. En effet, les aérogénérateurs sont des dispositifs électromécaniques complexes et dépendent de nombreux paramètres critiques tels que l'angle des pales, la vitesse de rotation du rotor, le couple moteur de la turbine, les températures du rotor et de la génératrice d'aérogénérateur, la température des huiles de lubrification, la tension du réseau électrique, la vibration, la robustesse du système de contrôle, etc. La prédiction de l'énergie produite en se basant sur l'approche fenêtre glissante (MWA) permet d'améliorer l'état de santé d'un système éolien et d'assurer la disponibilité du système éolien pour la production d'électricité. Il serait donc intéressant de prendre en compte de ces paramètres afin d'améliorer la qualité de la prédiction pour gestion optimal du système.

## II. Rédaction d'articles

L'ensemble de travaux réalisés ont permis de préparer les papiers suivants:

1. **B. Bilal**, A.S.M. Siddibe, K.H. Adjallah, A. Sava (2018). Approach to Characterise and Model the Solar Radiation on Flat Ground: A Case Study. Centre'2018, 09-11, Abidjan, Côte d'Ivoire (*déjà présenté dans un workshop international*)
2. **B. Bilal**, A. Sava, K.H. Adjallah, N. Mamoudou, A. Ndiaye, C.M.F. Kebe, V. Sambou and P.A. Ndiaye. Approach for Identification of Optimal Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Parameters for Wind Turbine Output Power Prediction Based on Meteorological and WTs Operating data (*soumission INTERSOL 2019 - 3rd EAI International Conference on Innovations and Interdisciplinary Solutions for Underserved Areas, February 14-19, 2019, Cairo, Egypt*)
3. **B. Bilal**, K.H. Adjallah, A. Sava, M. Ndongu, N. Dia, P.A. Ndiaye. An original approach to predict Wind Turbine Power Output using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: A Case Study. (*soumission: Applied energy*)
4. **01 papier en cours de rédaction, soumission pour un journal prévu avant 31 janvier 2019 (date de fin de séjours).**

**B. Bilal**, K.H. Adjallah, A. Sava. Wind Turbines Output Power Prediction based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Moving Window Approach.

## III. Activité en dehors de recherches scientifiques

Durant la période du séjour, j'ai également participé :



- 
1. aux jurys de soutenance des Masters et de diplôme d'Ingénieurs à l'ENIM
  2. aux rencontres du groupe de recherche RARe (Risque-Anticipation-Résilience)
  3. à la formation dans le cadre du programme tous chercheurs du laboratoire LCOMS
  4. à des séminaires de formation scientifique

#### **IV. Contribution aux travaux d'autres laboratoires**

Durant la période de mon séjour à LCOMS de l'UL, J'ai contribué à la rédaction des articles suivants déjà publier.

1. A. Ndiaye, C.M.F. Kébé, **B. Bilal**, A. Charki, V. Sambou, P.A. Ndiaye (2018). Investigation of Degradation in Crystalline Silicon Photovoltaic Modules After 10 Years Exposition in Senegal by Infrared (IR) and Electroluminescence (EL). InterSol 2018: Innovations and Interdisciplinary Solutions for Underserved Areas pp 23-40 (**chapitre dans springer**).
2. Z. Pabame, C.M.F. Kebe, **B. Bilal**, A. Ndiaye, A. Gueye, P.A. Ndiaye (2018). A Study of the Wind Potential in Climatic Zones of Chad. InterSol 2018: Innovations and Interdisciplinary Solutions for Underserved Areas pp 100-107 (*chapitre publié dans springer*).
3. M.M. ALI, N. DIA, **B. BILAL** and M. NDONGO (2018). Theoretical models for prediction of methane production from anaerobic digestion: A critical review. Int. J. Phys. Sci., Vol. 13(13), pp. 206-216, 16 July, 2018. (*Papier publié dans un journal*)
4. E. Abdi, **B. Bilal**, D. Nourou, M. Ndong, CMF Kebe, P.A. Ndaye (2018). Wind parameters measurement to analysis the sectoral variation influence on the diurnal behavior of wind potential for a site: Application for the site of Nouakchott, Mauritania. CAFMET2018. (*Papier présenté dans une Conférence Internationale*).

#### **V. Contribution à l'encadrement de thèses de masters et de doctorat**

##### **V.1. Co-encadrement de thèses**

Trois thèses sont en cours de co-encadrement

- Thème de thèse : Modélisation et caractérisation des potentiels éolien et solaire : Application à l'analyse de l'influence du profil de charge et de la fiabilité des composant de systèmes hybrides sur son optimisation (*01 papier présenté dans une conférence Internationale, 2018*),

**Candidate : Eslehoum ABDI**

- 
- Thème de thèse : Caractérisation des potentiels méthanogènes, modélisation et optimisation de biodigesteurs : Application à l'analyse de l'influence des paramètres sur l'optimisation de systèmes de production de biogaz''. (*01 papier publié dans un journal international indexé, 2018*).

**Candidat : Mohamed Mahmoud ALY**

- Thème de thèse : Approche de caractérisation du potentiel éolien dans le but d'optimiser le choix d'une technologie d'aérogénérateurs pour la production d'électricité : Application aux trois zones climatiques du Tchad (*01 chapitre publié dans springer, 2018*)

**Candidat : Zoutene PABAM**

### **V.1. Encadrement de thèses de masters**

Un étudiant en Master est en cours d'encadrement sous le thème « *Méthodologie de d'analyse et de choix d'une Technologie d'Aérogénérateur Adaptée à un site donné : Analyse de l'influence de la variation sectorielle et diurne sur le productible* »

## **VI. Remerciements**

Les travaux de recherche ont été effectués au sein du laboratoire LCOMS de l'Université de Lorraine. Ils ont été financés par le programme de bourse d'excellence de la Banque Islamique de développement (BID).

A ce titre, j'adresse ma vive reconnaissance à la Banque Islamique de développement (BID), pour m'avoir soutenu à travers ce programme de bourse d'excellence. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance. J'espère que la fin de ce projet de bourse n'est que le début d'une collaboration sans cesse grandissante.

Je tiens à remercier particulièrement M. Kondo H. ADJALLAH, Professeur des Universités à L'Université de Lorraine, Directeur des relations internationales de l'ENIM et responsable du groupe de recherche "Risque Anticipation Résilience" pour m'avoir fait confiance en acceptant de me confier cette tâche de travaux de recherche et pour avoir mis à ma disposition tous les moyens et les compétences du laboratoire.

Je voudrais également remercier très sincèrement Monsieur Alexandre SAVA, Maître de conférences HDR (habilité à diriger des recherches) à l'Université de Lorraine pour ses critiques constructives, ses qualités tant professionnelles qu'humaines, son aide précieuse tout au long de mes travaux de recherche à LCOMS de l'UL.

Mes remerciements vont également à l'endroit de l'Ecole Supérieure Polytechnique (ESP) de Nouakchott et du Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifiques

---

(MESRS) de Mauritanie pour m'avoir autorisé à me rendre au LCOMS de l'Université de Lorraine pour le séjour de recherche postdoctoral sur une période d'un an.

Je ne saurais terminer sans remercier le ministère du Pétrole, de l'Énergie et des Mines et la Société Mauritanienne d'Electricité (SOMELEC) pour avoir fourni les données météorologiques et énergétiques utilisées dans cette étude.

## VII. Références bibliographiques

- [1]Liu T, Wei H, Zhang K. Wind power prediction with missing data using Gaussian process regression and multiple imputation. *Appl. Soft Comput* 2018;71:905-16.
- [2]Marvuglia A, Messineo und A. Monitoring of wind farms' power curves using machine learning techniques. *Appl. Energy* 2012; 98:574-83.
- [3]Ishikawa T, Kojima T, Namerikawa T. Short-Term Wind Power Prediction for Wind Turbine via Kalman Filter based on JIT Modeling. *IEEJ Trans. Electron. Inf. Syst* 2015;135(1):81-9.
- [4]Croonenbroeck C, Ambach und D. A selection of time series models for short- to medium-term wind power forecasting. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn* 2015;136:201-10.
- [5]Liu H, Tian HQ, Pan DF, Li YF. Forecasting models for wind speed using wavelet, wavelet packet, time series and Artificial Neural Networks. *Appl. Energy* 2013;107:191-208.
- [6]Osório GJ, Matias JCO. Hybrid Neuro-Fuzzy Evolutionary Approach for Short-Term Wind Power Forecasting. *In: 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference* 2012, p.257-60.
- [7]Osório GJ, Matias JCO, Catalão JPS. Short-term wind power forecasting using adaptive neuro-fuzzy inference system combined with evolutionary particle swarm optimization, wavelet transform and mutual information. *Renew. Energy* 2015;75:301-07.
- [8]Kusiak A, Haiyang Z, Zhe S. Short-Term Prediction of Wind Farm Power: A Data Mining Approach. *IEEE Trans. Energy Convers* 2009;24(1):125-36.
- [9]An X, Jiang D, Zhao M, Liu C. Short-term prediction of wind power using EMD and chaotic theory. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2012;17:1036-42.
- [10] Bigdeli N, Afshar K, Gazafroudi AS, Ramandi MY. A comparative study of optimal hybrid methods for wind power prediction in wind farm of Alberta, Canada. *Renew. Sustain. Energy Rev* 2013;27:20-9.
- [11] Weidong X, Yibing L, Xingpei L. Short-term forecasting of wind turbine power generation based on genetic neural network. *In: 8th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)* 2010, p.5943-46.

- 
- [12] Huang CM, Kuo CJ, und Huang YC. Short-term wind power forecasting and uncertainty analysis using a hybrid intelligent method. *IET Renew. Power Gener* 2017;11(5):678-87.
- [13] Kassa Y, Zhang JH, Zheng DH, Wei D. A GA-BP Hybrid Algorithm Based ANN Model for Wind Power Prediction. *In Proc. of 4th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering* 2016, p.158-63.
- [14] Kassa Y, Zhang JH, Zheng DH. Wei und D. Short term wind power prediction using ANFIS. *In: IEEE International Conference on Power and Renewable Energy 2016*, p.388-93.
- [15] Saleh AE, Moustafa MS, Abo-Al-Ez KM, Abdullah AA. A hybrid neuro-fuzzy power prediction system for wind energy generation. *Int. J. Electr. Power Energy Syst* 2016;74:384-95.
- [16] Abbas M, Belhadj J. Wind resource estimation and wind park design in El-Kef region, Tunisia. *Energy* 2012;40(1):348-57.
- [17] EL-Shimy M., „Optimal site matching of wind turbine generator: Case study of the Gulf of Suez region in Egypt. *Renew. Energy* 2010;35(8):1870-78.
- [18] Pallabazzer R. Evaluation of wind-generator potentiality. *Sol. Energy* 1995;55(1):49-59.
- [19] Justus CG, Hargraves WR, Yalcin A. Nationwide assessment of potential output from wind-powered generators. *J. of Applied Meteorology* 1976;15(7):673-78.