



# L'impact d'une ferme éolienne dans le réseau Ouest Algérien (220KV)

Guentri Hocine<sup>#1</sup>, Lakdja Fatiha<sup>\*2</sup>

<sup>#1</sup> Department of Electrical Engineering, Saida University

<sup>\*2</sup>The Department of Electrical Engineering, Saida University, Electrical Engineering Department, Intelligent Control and Electrical Power System Laboratory (ICEPS), Djillali Liabes University, Sidi-Bel-Abbes.

<sup>1</sup>hguentri2005@yahoo.fr

<sup>2</sup>flakdja@yahoo.fr

**Abstract**— Wind energy one of the world's fastest growing energy technologies. It is estimated that 16% of the world's electricity will be harnessed from wind power by 2020.

Recently, Wind Power Plant (WPP) has been experiencing a rapid development in a global scale. The size of wind turbines and wind power plants are increasing quickly; a large amount of wind power is integrated into the power system. As the wind power penetration into the grid increases quickly. This paper studies the effect of wind power plants with double fed induction generator (DFIG) on the electric power system operation. The important characteristics such as: Voltage quality, active and reactive loss of the network. The simulation results clearly show the effect of wind power plants on the grid loss active of electric power system.

**Keywords**— Wind power, double fed induction generator (DFIG), loss active, power system.

## I. INTRODUCTION

L'énergie éolienne est l'une des plus importante et prometteuses sources d'énergie renouvelable à travers le monde, principalement parce qu'on le considère non polluant et économiquement viable. En même temps, il y a eu un développement rapide relatif à la technologie des turbines de vent [1].

Généralement les turbines éoliennes peuvent fonctionner à vitesse fixe ou à vitesse variable. Pour une vitesse fixe, le générateur est directement relié au réseau électrique. La vitesse de rotor de la vitesse fixe en principe est déterminée par la boîte de vitesse et le nombre de paires de pole du générateur. Un empêchement de la vitesse fixe est que sa qualité de puissance est pauvre. Pour une vitesse variable équipée d'un convertisseur connecté au stator du générateur, le générateur peut être un générateur d'induction de barre de camp, générateur synchrone ou générateur synchrone à un aimant permanent[2].

Les turbines utilisent le générateur d'induction à double alimentation (DFIG) sont dominant dues à son opération à vitesse variable, au contrôle séparé de la puissance active et réactive, et son convertisseur de puissance partiellement évaluée [3].

La distribution de l'électricité, en Algérie, connaît depuis quelques années de fortes perturbations du fait d'une augmentation croissante de la demande intérieure. Parmi les objectifs affichés par les pouvoirs publics, le marché local doit

atteindre 500 MW, amenant la part de l'électricité produite par les énergies renouvelables à 5% de l'électricité totale produite [4].

Dans ce cadre, le présent travail décrit une étude sur l'insertion de l'énergie éolienne dans le réseau ouest Algérien pour la ligne 220 Kv. Le but principal est d'améliorer le transit de puissance et diminuées les pertes actives dans ce réseau en incorporant une ferme éolienne avec l'utilisation d'un outil de simulation performant qui est le PSAT.

## II. LES CARACTERISTIQUES DE LA TURBINE EOLIENNE

### A. Modèle aérodynamique

L'éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Trois facteurs déterminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor: la densité de l'air, la surface balayée par le rotor et la vitesse du vent. La densité de l'air et la vitesse du vent sont des paramètres climatologiques qui dépendent du site[5].

La puissance mécanique récupérée par la turbine éolienne est donnée par:

$$P_m = 0.5\rho AC_p(\lambda)V_m^3 \quad (1)$$

Ou :

P : densité de l'aire,

C<sub>p</sub> : coefficient de la puissance,

A : Aire balayée par les pales  $\pi R^2$ ,

$\lambda$ : rapport de la vitesse en bout de pale,

V<sub>m</sub> : la vitesse du vent

Le ratio de la vitesse est donné par :

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V_m} \quad (2)$$

Ou

$\Omega$  : la vitesse angulaire de rotation de la turbine,

R : le rayon de la pale de la turbine.

$$\Omega = t_G \cdot \Omega_m \quad (3)$$

Avec :

$t_G$  : Ratio de transmission (Gearbox) ;

$\Omega_m$  : la vitesse mécanique du rotor du générateur .

La puissance P<sub>t</sub> et le couple T<sub>t</sub> développés par la turbine sont donnés par les relations suivantes :



$$P_t = P_m \cdot C_p = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 \cdot V_m^3 C_p(\lambda) \quad (4)$$

$$T_t = \frac{P_t}{\Omega} = \frac{\frac{1}{2} \rho \pi R^2 \cdot V_m^3 C_p(\lambda)}{\Omega} = \frac{\frac{1}{2} \rho \pi R^3 \cdot V_m^2 C_p(\lambda)}{\lambda} \quad (5)$$

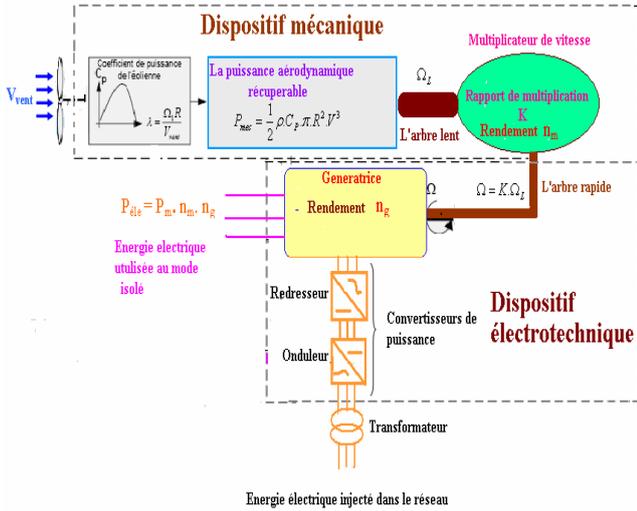


Fig. 1 schéma macroscopique d'un aérogénérateur éolien

### B. Modèle de générateur à double alimentation (GADA)

La plupart des schémas pour une ferme éolienne sont basés sur le générateur à double alimentation (GADA) montré dans la figure.2. Ainsi, il se compose par deux convertisseurs alimentés par tension dans la configuration dos à dos. Ceux derniers permettent le contrôle découplé de l'écoulement de puissance actif et réactif entre le GADA et le réseau DC en ajustant la commutation de l'IGBTs. Pour cette structure, des équations du générateur à double alimentation en termes des axes de « d » et de « q » en négligeant les flux transitoires du stator et rotor peuvent être écrites comme suit [6], [7] :

Pour le circuit du stator :

$$v_{ds} = -R_s i_{ds} + (x_s + x_m) i_{qs} + x_m i_{qr} \quad (5)$$

$$v_{qs} = -R_s i_{qs} - (x_s + x_m) i_{ds} + x_m i_{dr} \quad (6)$$

Pour le circuit du rotor :

$$v_{dr} = -R_r i_{dr} + (1 - \omega)((x_r + x_m) i_{qr} + x_m i_{qs}) \quad (7)$$

$$v_{qr} = -R_r i_{qr} + (1 - \omega)((x_r + x_m) i_{dr} + x_m i_{ds}) \quad (8)$$

Ou

$v_{ds}, v_{qs}$  : les tensions des axes d et q du stator ;

$i_{ds}, i_{qs}$  : les courants des axes d et q du stator ;

$v_{dr}, v_{qr}$  : les tensions des axes d et q du rotor ;

$i_{dr}, i_{qr}$  : les courants des axes d et q du rotor ;

$R_s, R_r$  : les résistances du stator et rotor ;

$x_s$  : inductance individuelle du stator ;

$x_r$  : inductance individuelle du rotor ;

$x_m$  : inductance mutuelle ;

$\omega$  : la vitesse angulaire du rotor.

### III. REPARTITION REGIONALE DE LA VITESSE DU VENT

Pour implémenter une éolienne, il faut choisir un site où la vitesse du vent fournirait l'énergie nécessaire ; nous devons donc faire des mesures de la vitesse du vent dans plusieurs sites. La (Fig. 2) montre un exemple des régions ventées en Algérie d'après les données satellitaires du Laboratoire «d'Énergie Éolienne» du CDER en 2011.

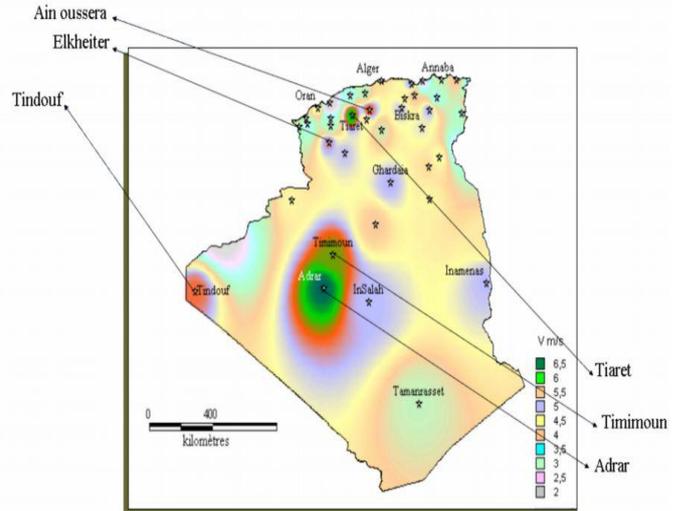


Fig. 2 Les régions ventées en Algérie [8]

### A. Description du réseau ouest Algérien 220Kv (2012)

Ce réseau est composé de 21 nœuds dont 06 nœuds de production (04 nœuds contrôlés (PV) , 02 nœuds pour la compensation de la puissance réactive, 01 nœud pivot raccordé à la plus grande centrale de l'ouest qui se trouve à TARGA) voir figure.3 .



# Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014

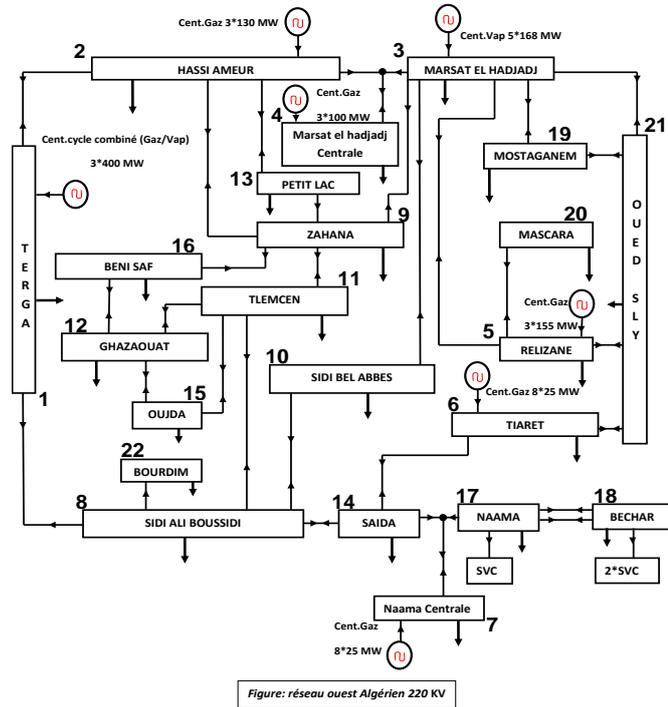


Figure: réseau ouest Algérien 220 KV

Fig. 3 Réseau ouest Algérien 2012.

### B. Choix du site de l'énergie du vent dans le réseau Ouest Algérien (220Kv)

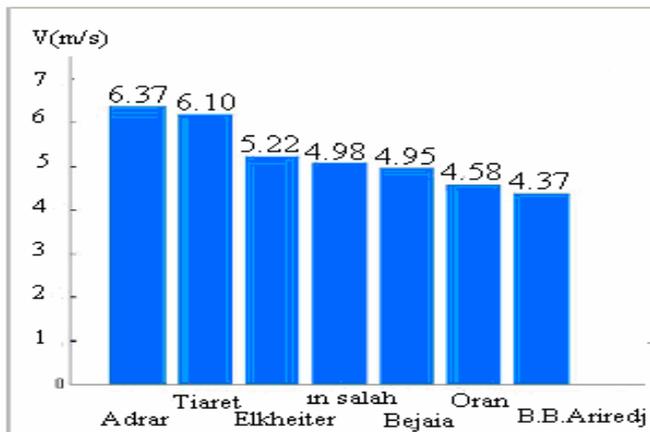


Fig. 4 Comparaison entre les vitesses moyennes de sites ventés [6]

Le choix de l'emplacement de l'éolienne dans le réseau est lié aux conditions climatiques de cette région et les conditions internes de ce réseau.

D'après les relevés effectués sur l'allure moyenne de la vitesse du vent enregistré dans la région de Ksar chelala à Tiaret

pendant le mois d'Avril 2012 représenté dans la figure.5

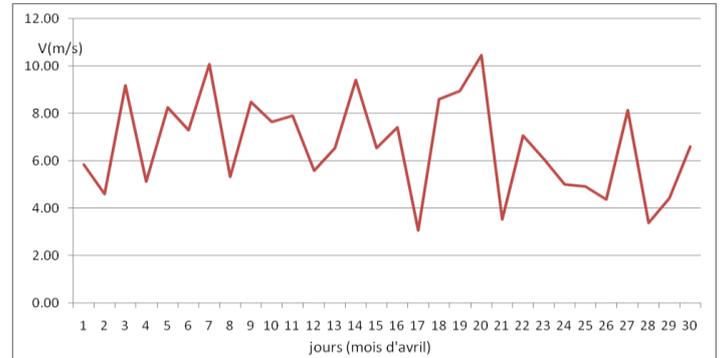


Fig. 5 La vitesse du vent enregistré dans la région de Ksar chelala à Tiaret pendant le mois d'Avril 2011.

La vitesse du vent moyenne pendant ce mois est de : 6.78m/s.

Suivant ces données, nous pouvons localiser l'emplacement de ce dispositif au niveau de la wilaya de Tiaret pour qu'il soit rentable. Donc nous devons extraire le maximum de la puissance comme nous avons déjà cité puisque la puissance générée est proportionnelle à la vitesse du vent, il faut respecter les normes de sécurité bien sur (à ne pas dépassé 25 m/s) voir figure.5.

### IV. SIMULATION ET RESULTATS

L'effort le plus pénible de ce document concerne l'étape de réalisation du modèle du réseau ouest Algérien 220Kv dans le logiciel PSAT. Premièrement tous les composantes de la topologie de ce réseau doit être dessinées dans l'environnement PSAT. Après ça les données devraient être introduites exactement dans la boite de dialogue de chaque élément de ce réseau. Finalement, tous le système doit être exposé à un test de simulation sans l'insertion de l'énergie éolienne ( figure.6 ).

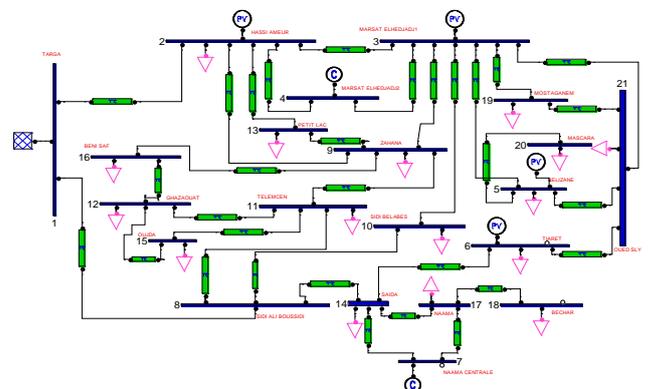


Fig. 6 Réseau ouest Algérien 2012 inséré dans PSAT.



# Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



Pour voir l'état de ce réseau nous sommes obligés de calculer l'écoulement de puissance.

Les résultats de simulation de l'écoulement de puissance du réseau Ouest Algérien pour la ligne 220Kv (2012), sans éolienne sont comme suit :

TABLE I  
REULTATS DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE

Nœuds	Tension [Kv]	Phase [rad]	Pgen [Mw]	Qgen [MVar]	Pload [Mw]	Qload [MVar]
1	225.5	0	149.8519	35.5978	0	0
2	222.75	0.01875	328	-231.807	27.47	12.82
3	228.25	0.00527	290	119.134	0	0
4	228.25	0.0062	0	118.1264	0	0
5	224.4	-0.05209	120	0.23333	127	0
6	233.2	-0.03832	212	133.688	122.31	65.18
7	228.8	-0.11709	0	55.9299	0	0
8	225.2748	-0.01383	0	0	0	0
9	222.6401	0.00072	0	0	51	16
10	224.4062	-0.01932	0	0	93.85	43.83
11	220.3267	-0.03641	0	0	77.33	32.89
12	218.9459	-0.0428	0	0	10	5
13	222.4416	0.01083	0	0	37.66	17.58
14	226.3756	-0.05584	0	0	76	38
15	219.6037	-0.04031	0	0	0	0
16	217.4746	-0.04782	0	0	93.38	46.85
17	228.7043	-0.11728	0	0	51.67	44.85
18	226.3377	-0.1631	0	0	20.64	8.73
19	225.6063	-0.02483	0	0	61.78	18.9
20	221.1975	-0.07269	0	0	40.16	18.74
21	224.1859	-0.07048	0	0	197	37.7
TOTAL			1099.852	230.9026	1087.25	407.07

Les pertes totales de ce réseau :  
Les pertes actives : 12.6019 MW  
Les pertes réactives : -176.1573 MVar

Les objectifs principales du gestionnaire de réseau qui est le GRTE (Société Algérienne de la Gestion du Réseau de Transport d'Electricité) sont premièrement minimiser les pertes qui sont devenues inacceptables en second introduire les énergies renouvelables dans ce réseau.

C'est pour cela, que nous avons jugé qu'il est nécessaire d'insérer l'énergie éolienne dans le réseau réel dans le but de réduire le cout, soit directement par la diminution des pertes ou par la réduction de la production.

Mais le problème qui se pose ou nous allons insérer ce dispositif ?

### C. L'emplacement de l'éolienne dans le réseau

Le choix de l'emplacement de l'éolienne dans le réseau est lié aux conditions climatiques de cette région et les conditions internes de ce réseau.

Suivant l'étude faite et cité au paragraphe « Choix du site de l'énergie du vent dans le réseau Ouest Algérien (220Kv) », nous avons installés notre ferme éolienne au niveau de la wilaya de Tiaret dans la région de Ksar chelala ou cette dernière possède une vitesse moyenne du vent de l'ordre de 6.78m/s.

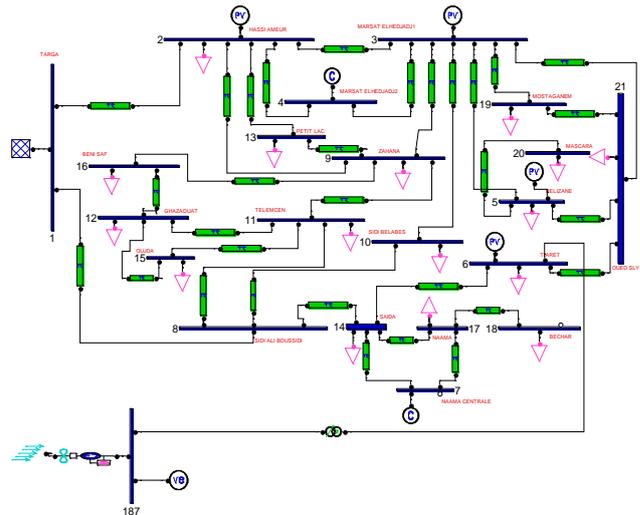


Fig. 7 L'insertion de l'énergie éolienne dans la région de la wilaya de Tiaret

Les résultats de simulation du réseau ouest Algérien 2012 avec éolienne sont comme suit :

TABLE II  
REULTATS DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE AVEC EOLIENNE

Nœuds	Tension [Kv]	Phase [rad]	Pgen [Mw]	Qgen [MVar]	Pload [Mw]	Qload [MVar]
1	225.5	0	112.299	40.901	0	0
2	222.75	0.02128	328	-229.697	27.47	12.82
3	228.25	0.00998	290	117.6099	0	0
4	228.25	0.01064	0	118.0065	0	0
5	224.4	-0.04265	120	0.6686	127	0
6	233.2	-0.01281	212	286.9173	122.31	65.18
7	228.8	-0.10971	0	56.151	0	0
8	225.2526	-0.01241	0	0	0	0
9	222.6384	0.00369	0	0	51	16
10	224.3807	-0.01736	0	0	93.85	43.83
11	220.3079	-0.03434	0	0	77.33	32.89
12	218.9339	-0.04053	0	0	10	5
13	222.4385	0.0135	0	0	37.66	17.58
14	226.3384	-0.04841	0	0	76	38
15	219.589	-0.03813	0	0	0	0



# Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



16	217.4646	-0.04532	0	0	93.38	46.85
17	228.7042	-0.1099	0	0	51.67	44.85
18	226.3375	-0.15572	0	0	20.64	8.73
19	225.6575	-0.0183	0	0	61.78	18.9
20	221.1975	-0.06325	0	0	40.16	18.74
21	224.2558	-0.05723	0	0	197	37.7
22 éol	69	0	37.37	-153.492	0	0
TOTAL			1099.649	237.065	1087.25	407.07

La puissance produite par l'éolienne est de : 37.37Mw.  
Les pertes totales de ce réseau après insertion :  
Les pertes actives : 12.399 MW  
Les pertes réactives : -169.995 MVar

L'allure de la vitesse du vent pendant les 20 premières secondes ;

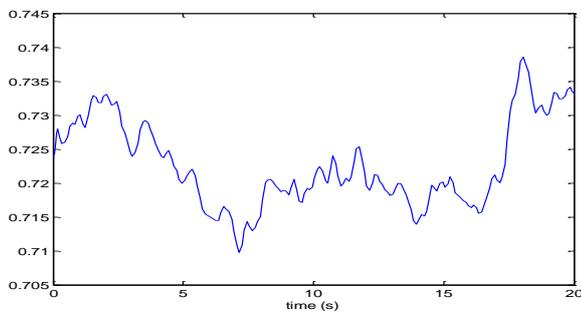


Fig. 8 La vitesse du vent de l'éolienne

### D. Interpretation des résultats.

TABLE III  
COMPARAISON DES RESULTATS

Résultats	Sans éolienne	Avec éolienne	Meilleure emplacement
Puissance produite par la centrale pivot (MW)	149.8519	112.299	Région de Tiaret
Pertes active totales (MW)	12.6019	12.399	Région de Tiaret

D'après les résultats obtenus suivant le tableau (III), on remarque que les pertes totales du système ont diminués de 12,6019 MW à 12,399 MW, soit un gain de 0,203 MW, comme nous pouvons aussi remarquer que la puissance produite par la centrale de TARGA à diminué d'un gain de 37.5529MW qui a été compensée par l'éolienne.

Ces améliorations sont obtenues grâce à l'emplacement de l'éolienne dans la wilaya de Tiaret. Ce choix qui a été dicté par les conditions climatiques de cette région.

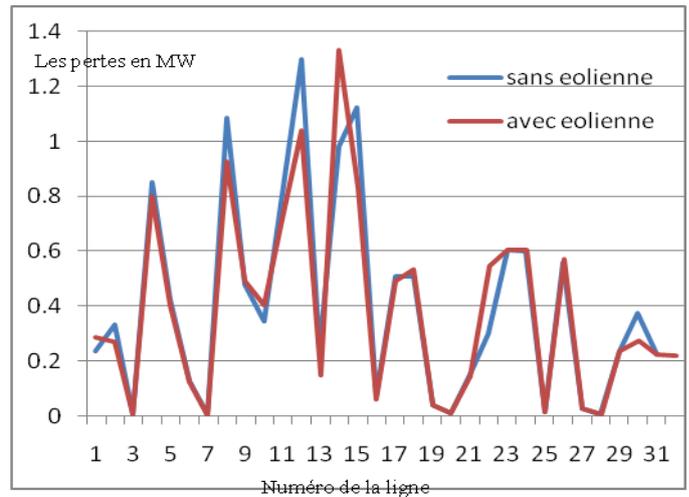


Fig. 9 Les pertes actives sans et avec éolienne.

### Annexe

Le vent a été modélisé comme distribution de Weibull déjà proposé par F.Milano (2005) en tenant compte de la nature composée du vent qui a inclus la moyenne[9].

TABLE IV  
LES PARAMETRES DU MODELE DU VENT

Nominal wind speed/ air density	15m/s / 1.225Kg/m <sup>3</sup>
Filter time constant/sample time	4s,0.1s
Weibull constant C & K	20,2
Ramp constants [ $t_{sr}$ , $t_{er}$ , $A_{wr}$ ]	5s,15s,1m/s
Gust constants [ $t_{sg}$ , $t_{eg}$ , $A_{wg}$ ]	5s,15s,0m/s
Turbulence constants [ $h$ , $Z_0$ , $df$ , $n$ ]	50m,0.01,0.2Hz,50

TABLE V  
LES PARAMETRES DU DFIG

[MVA,KV,Hz], kW/kVA	[600 69 60], 3pu
[ $R_s, X_s$ ] [ $R_r, X_r$ ] $X_m$	[0.01 0.10] [0.01 0.08] 3.00 pu
$K_p$ , $T_p$ , $K_v$ , $T_e$	[10pu 3s], 10pu, 0.01s
Pole, Gear Ratio,	[4 1/89]
Blade length and number	[75.00m 3]
$P_{max}$ , $P_{min}$ ; $Q_{max}$ , $Q_{min}$	[1.00 0.00]pu; [0.7 -0.7] pu
No of generators	300Nos

### V. CONCLUSIONS

Dans cet article, la structure générale du système éolien étudié a été rappelée en subdivisant le système éolien en modèle aérodynamique et le modèle de générateur à double alimentation(Gada), son fonctionnement a été décrit et cité aussi les trois facteurs déterminant le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor.

Ensuite, la répartition régionale de la vitesse du vent d'un site choisi où la vitesse du vent fournirait l'énergie nécessaire a été énumérée et montré par un exemple des régions ventées



**Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**  
**The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 13 et 14 Octobre 2014**



en Algérie d'après les données satellitaires du laboratoire «d'énergie éolienne» du CDER en 2011.

Suivant les relevés qui ont été effectués, l'allure moyenne de la vitesse du vent max a été enregistrée dans la région de ksar chelala à Tiaret.

Le but principal de cet article a été présenté par une épreuve pour formuler un modèle du réseau ouest algérien 2012 pour la ligne 220kv.

Dans ce modèle a été inclut toutes les centrales utilisées dans cette région pour la production de l'énergie électrique, ainsi que la simulation a été illustré par l'utilisation d'un des logiciels les plus récents qui est le logiciel PSAT. Ce dernier a été appliqué pour un tel système compliqué sans aucun échec ou instabilité dans la simulation.

A travers cette article a été inséré une ferme éolienne dans le réseau ouest Algérie 2012 pour la ligne 220kv pour améliorer non seulement le cout de la production et de transport mais aussi améliorer la qualité de service du ce réseau réel par la réduction des pertes actives. Par ailleurs, les résultats obtenus ont pu diminuer la production ce qui va influencer le cout global du réseau, sans oublier l'impact sur l'environnement.

REFERENCES

- [1] A. Gupta and D. K. Jain, *Some Investigations on Recent Advances in Wind Energy Conversion Systems*, IPCSIT vol.28 IACSIT Press, Singapore, 2012.
- [2] Trinh Trong Chuong, *The impact of wind power plant with doubly fed induction generator on the power systems*, IJSTER, vol.4 (1), pp. 1-10, January 2013.
- [3] M.J.Kadhim, D. S.Chavan, "Improvement Fault-ride Through of DFIG Based Wind turbines by using a Series Compensation Technology with Emphasis Put on the Mitigation of Voltage Dips," *IJRTE.*, vol. 2, Issue-2, May. 2013.
- [4] L. Louze, "Production décentralisée de l'énergie électrique : Modélisation et contrôle d'une génératrice asynchrone auto excitée," Thèse de Doctorat, université de Constantine 2010.
- [5] L.Jedut, E.Rosovelski, K.Rudion "Investigation of DFIG Based Wind Turbine Influence on the Utility Grid," *Modern Electric Power Systms* pp 05, 2010.
- [6] J.C.Munoz, and C. A. Canizares, "Comparative Stability Analysis of DFIG-Based Wind Farm and conventional Synchronous Generators", *IEEE Power system conference and Exposition*, March 2011.
- [7] F. Milano, "PSAT, Matlab-based Power System Analysis Toolbox," 2010, [Online]. Available: <http://www.power.uwaterloo.ca/fmilano/>.
- [8] N. Kaspadji.Merzouk, M. Merzouk, "Perspectives du pompage éolien en Algérie," *Projet National de recherche*, domicilié au CDER Alger 2008.
- [9] S. Sreedharan, W.Ogsakul, J.G.Sigh, "Maximization of Instantaneous Wind Penetration Using Particle Swarm Optimization," *ISEST*, vol.2, No.5, pp.39-50, 2010.