

Optimisation Technico-Économique de la Production de l'Électricité à Partir des Énergies Renouvelables

Maamri Mokhtar ^{#1}, Bouzeboudja Hamid ^{*2}, Tandjaoui Mohammed Naseer ^{#3}

[#] Département de génie électrique, Université d'USTO,

B.P 1505 El M'naouar, Oran, Algeria.

¹mokhtar_maamri31@yahoo.com

³tandjoui-31maa@yahoo.com

^{*} Département de Technologie, Université de Bechar.

B.P 1505 El M'naouar, Oran, Algeria.

² mokhtar_maamri31@yahoo.com

Résumé — Les problèmes de l'environnement, tels que, les limites des ressources, le réchauffement climatique, la pollution atmosphérique due à l'émission de gaz à effet de serre dans le cas des hydrocarbures, ainsi que la production de déchets difficiles à traiter dans le cas du nucléaire, ont fait prendre conscience qu'un développement écologique et économique respectueux de l'environnement, dans lequel nous vivons, est nécessaire pour pouvoir produire des énergies propres et cela doit être très intéressant dans le futur. C'est dans ce contexte que cet article est basé sur l'étude d'une nouvelle technologie qui représente un couplage d'un système hybride de type photovoltaïque-éolien avec un groupe diesel pour la production de l'électricité verte.

Mots clés — Systèmes hybrides photovoltaïques - éolien - Dimensionnement – Optimisation- Effet de serre

I. INTRODUCTION

L'exploitation des ressources renouvelables connaît un grand essor dans les pays industrialisés et même dans quelques pays sous-développés. Concernant l'Algérie, un pays très vaste d'un climat très diversifié, ayant deux grandes zones géographiques distinctes, le Nord méditerranéen et le Sud saharien, peut devenir un bon concurrent dans cette course de recours aux énergies renouvelables. Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient vraiment attractif. Cependant, ces solutions exigent au préalable un dimensionnement laborieux basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval et un savoir faire que seule l'expérience dans l'ingénierie des systèmes énergétiques pourra assurer. Cette gestion rigoureuse de l'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle rendu possible grâce à des logiciels très performants. Ces installations hybrides vont connaître, à moyen terme un intérêt certain grâce à leur flexibilité vis-à-vis des sources d'énergie primaires. L'objectif

de ce travail, est l'étude d'une centrale de production électrique hybride, qui combine entre deux sources d'énergies renouvelables (éolienne, photovoltaïque) avec stockage et un groupe électrogène de secours. Nous avons simulé le système hybride (éolienne – photovoltaïque - groupe diesel) sous le logiciel Matlab-Simulink et nous présentons les résultats obtenus pour différents cas (journée d'hiver, d'été ou quelconque durant l'année) appliqués à la région de **Ain Sefra**.

II. DESCRIPTION D'UNE CENTRALE HYBRIDE

Le système hybride présente un double avantage afin de minimiser les perturbations de l'environnement, grâce à une consommation sur le lieu de production de ressources naturelles renouvelables et une sécurité d'approvisionnement, quelles que soient les conditions météorologiques. Il existe deux types de système de production hybride, système alterné et système parallèle. Le système alterné consiste en association d'un système éolienne, un système photovoltaïque et un groupe électrogène relié par un système de commutation entre les trois permettant d'assurer le passage d'un fonctionnement d'une source à une autre (selon les conditions météorologique jour et nuit), par contre le système parallèle relie les deux sources (éolienne, photovoltaïque) en même temps à la batterie et le groupe électrogène intervient en secours (quand les batteries sont déchargées). Le système choisi dans notre étude, est réalisé de telle sorte à obtenir un fonctionnement parallèle des deux sources (éolienne, photovoltaïque) avec un groupe électrogène de secours, conçu pour l'alimentation d'un site isolé [1]

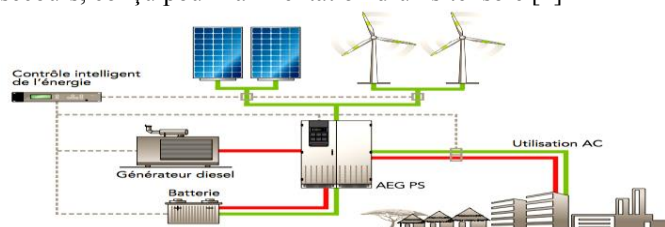


Fig. 1 Schéma physique de la chaîne de conversion d'énergie électrique hybride (photovoltaïque- éolienne- groupe électrogène)

III. DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION HYBRIDE

Le dimensionnement de l'installation à étudier sera organisé de la façon suivante: l'étude du potentiel énergétique sur le site choisi, la détermination du profil de charge des consommateurs, le dimensionnement du générateur photovoltaïque, du générateur éolien, du générateur diesel, et le dimensionnement des batteries de stockage. Les données météorologiques dépendent du site choisi à implanter le système. Dans cette étude, nous avons choisi un système éolien - photovoltaïque associé à un groupe diesel, donc la connaissance et l'estimation des deux sources d'énergies (soleil et vent) doivent être effectuées. Des relevés de données ont été réalisés afin de vérifier le choix du site (Fig. 3 et Fig. 4).

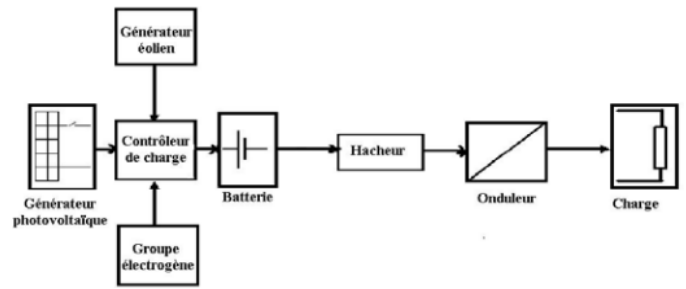


Fig. 4 Schéma d'une installation type d'un système hybride (PV-éolienne-groupe diesel)

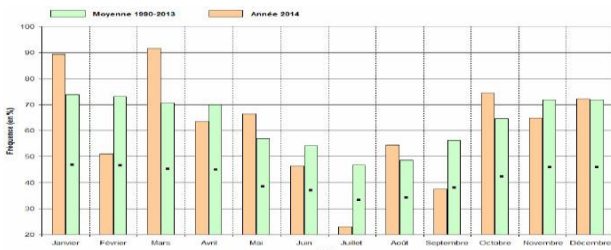


Fig. 2 Relevés de la variation de la vitesse du vent (mars et avril)

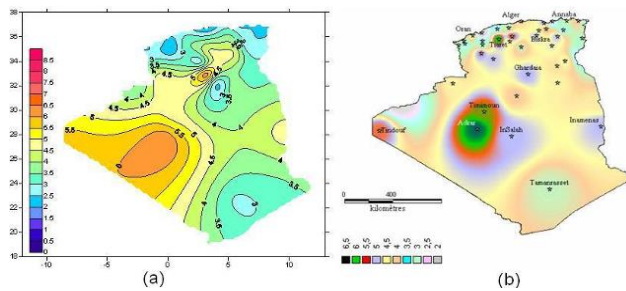


Fig. 3 Carte du gisement solaire en Algérie

La connaissance exacte du profil de charge de nos consommateurs facilitera la détermination de la taille de nos générateurs. Nous rappelons que notre système hybride est prévu pour l'alimentation électrique d'un site isolé. L'étude du bilan énergétique a pour l'égalité:

$$\text{Energie générée} = \text{Energie consommé}$$

IV. MODELISATION DU SYSTEME HYBRIDE

L'objectif est de disposer de modèles suffisamment fiables afin d'effectuer une étude d'optimisation du dimensionnement et de la gestion d'énergie du système complet.

A. Modélisation du générateur PV

Le modèle à une diode est le modèle le plus classique de la littérature [6]. Il fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule, deux résistances (série et shunte) pour les pertes, le modèle d'une cellule est celui de la figure ci-dessous (Fig. 5).

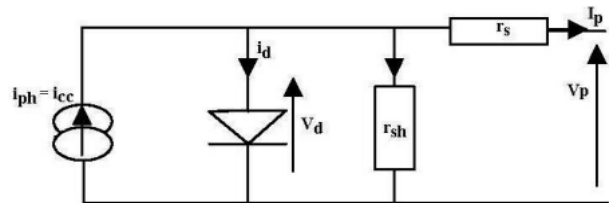


Fig. 5 Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque

Ce modèle comporte quatre variables. Les deux variables d'entrée sont: E_s - ensoleillement dans le plan des modules (W/m^2) et T_j - température de jonction de la cellule ($^{\circ}C$). Les deux variables de sortie sont: I_G - courant fourni par le groupe de modules (A) et V_G la tension aux bornes du groupe de modules (V).

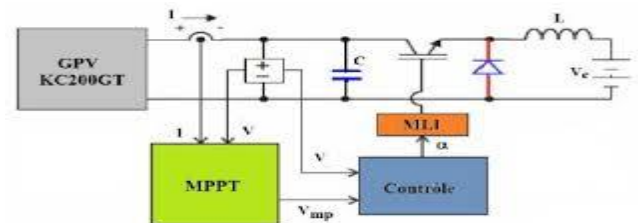


Fig. 6 Schéma bloc du GPV

Nous obtenons alors l'équation caractéristique pour un groupe de modules photovoltaïques déduite du schéma électrique équivalent de la figure 5.

$$I_G = I_{ph} - I_d - I \cdot R_{sh} \quad (1)$$

Le courant, I_{ph} est directement dépendant de l'ensoleillement et de la température des modules et peut se mettre sous la forme:

$$I_{ph} = P_1 \times E_s \times [1 + P_2 (E_s - E_{sref}) + P_3 (T_j - T_{jref})] \quad (2)$$

Où: $E_{sref} = 1000 \text{ W/m}^2$, est l'ensoleillement de référence. $T_{jref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ est la température de référence des modules. P_1 , P_2 et P_3 sont des paramètres constants. Le courant de polarisation de la jonction PN, I_d est donné par l'expression:

$$I_d = I_{sat} \times \left[\exp \left(\frac{q}{k.A.n_s.T_j} (V_G + R_s.I_G) \right) - 1 \right] \quad (3)$$

Avec: I_{sat} est le courant de saturation ; k la constante de Boltzman ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) ; q la charge élémentaire ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) ; A le facteur d'idéalité de la jonction. Le courant de saturation de la diode est:

$$I_{sat} = P_4 \times T_j^3 \times \exp(E_g / k \times T_j) \quad (4)$$

Où: E_g est l'énergie de gap et P_4 est un paramètre constant. Enfin, le courant traversant la résistance shunt s'écrit sous la forme:

$$I_{sh} = \frac{V_G}{R_{sh}} \quad (5)$$

Nous pouvons alors écrire l'équation finale:

$$I_G = P_1 \times E_s \times \left[1 + P_2 (E_s - E_{sref}) + P_3 (T_j - T_{jref}) \right] - \frac{V_G}{R_{sh}} - P_4 \times T_j^3 \times \exp \left(-\frac{E_g}{k.T_j} \right) \left[\exp \left(\frac{q}{k.A.n_s.T_j} (V_G + R_s.I_G) \right) - 1 \right] \quad (6)$$

Nous obtenons une fonction implicite de la forme:

$$I_G = f(I_G, V_G, E_s, T_j) \quad (7)$$

avec 7 paramètres à déterminer P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , A , R_s et R_{sh} .

La résistance série doit être plus petite que possible et la résistance shunt doit être très grande pour que le maximum de courant soit délivré pour la charge. $P_1 = 0,0036$; $P_2 = 0,0001$; $P_3 = -0,0005$; $P_4 = 70,843$; $A = 1$; $R_s = 0,614 \text{ } \Omega$; $R_{sh} = 151,16 \text{ } \Omega$.

B. Modélisation de la batterie

Le modèle de batterie implanté dans les programmes de simulations numériques s'inspire du modèle des batteries Ford [15]. Soit U , la tension aux bornes de la batterie:

$$U = E_0 - K \cdot \frac{\int I_b \cdot dt}{Q_0} - R_b \times I_b \quad (8)$$

E_0 est la tension à vide de la batterie chargée; K une constante qui dépend de la batterie; R_b la résistance interne de la batterie, I_b le courant de décharge (> 0); Q_0 est la capacité de la batterie (Ah) et $\frac{\int I_b \cdot dt}{Q_0}$ indique l'état de décharge de la batterie.

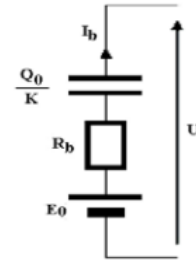


Fig.7 Modèle électrique de la batterie

C. Modélisation de la turbine

Une voilure éolienne transforme l'énergie de la masse d'air en mouvement et délivre une puissance mécanique caractérisée par la vitesse de rotation et le couple mécanique [8].

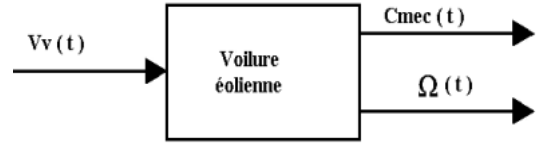


Fig.8 Modèle de la voilure

Selon la caractéristique propre de la voilure $C_p(\lambda)$ donnée par l'équation suivante:

$$C_p = \frac{2 P_{eol}}{\tau \cdot S \cdot V_v^3} \quad (9)$$

On peut calculer la puissance éolienne qui est donnée par l'équation ci-dessous.

$$P_{eol} = \frac{1}{2} C_p(\lambda) \times \rho \times S \times V_v^3 \quad (10)$$

Le couple éolien est donné par l'équation suivante:

$$C_{eol} = C_{mec} = \frac{1}{2} \frac{C_p(\lambda) \cdot \rho \cdot R \cdot S \cdot V_v^2}{\lambda} \quad (11)$$

V.SIMULATION DU SYSTEME HYBRIDE

A. Simulation

Pour simuler le système hybride (éolienne – photovoltaïque - groupe diesel), nous avons réalisé le schéma de simulation de la figure 9 sous le logiciel Matlab- Simulink. La gestion d'énergie des différentes sources est assurée par un gestionnaire qui commande l'ouverture et la fermeture des commutateurs selon les conditions météorologiques (Fig. 10).

je me suis appuyé sur des renseignements offerts par la société de distribution d'électricité et du gaz de l'ouest de Ain Sefra, voici en détail des résultats statistiques de la consommation de l'énergie électrique dans cette région, pendant l'année 2012

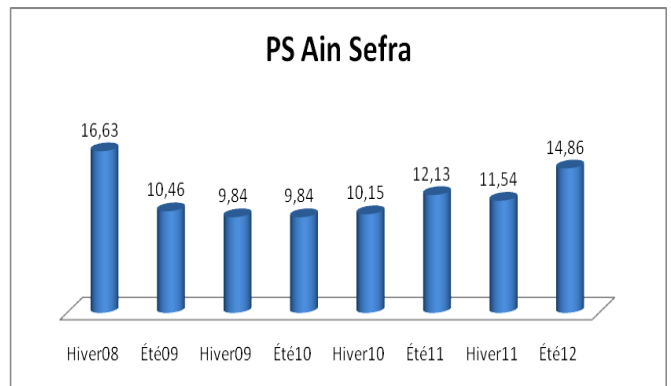


Fig. 12 La pointe de la journée du 30/07/2012 d'Ain Sefra

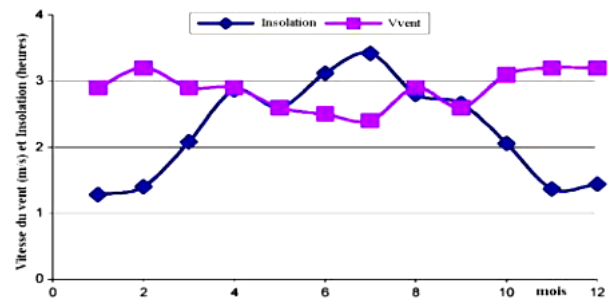


Fig. 13 Variation de la vitesse de vent et de l'insolation

On remarque que vu la complémentarité des deux sources d'énergie, que la région de Ain Sefra est favorable à l'installation d'un système électrique hybride.

C. Résultats de simulation

On a simulé le système hybride en introduisant les valeurs de l'ensoleillement et de la vitesse du vent d'une journée, et on a visualisé la tension de la batterie, ainsi que l'état des relais des générateurs (Fig. 14 et 15).

Nous avons aussi fait tester le système hybride sur deux journées consécutives en été (Fig. 16) et deux journées en hiver (Fig. 17). On remarque, d'après ces résultats, que le régulateur gère le système suivant les fonctions décrites précédemment, et que la tension de la batterie varie entre deux valeurs minimale et maximale prédéfinie.

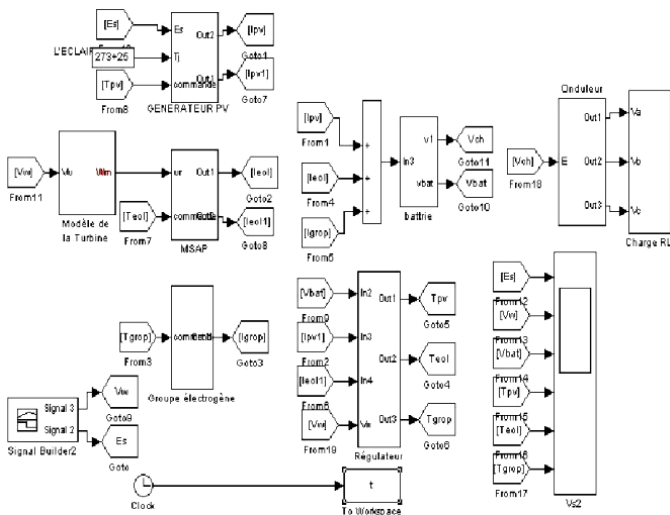


Fig. 9 Schéma de simulation du système hybride

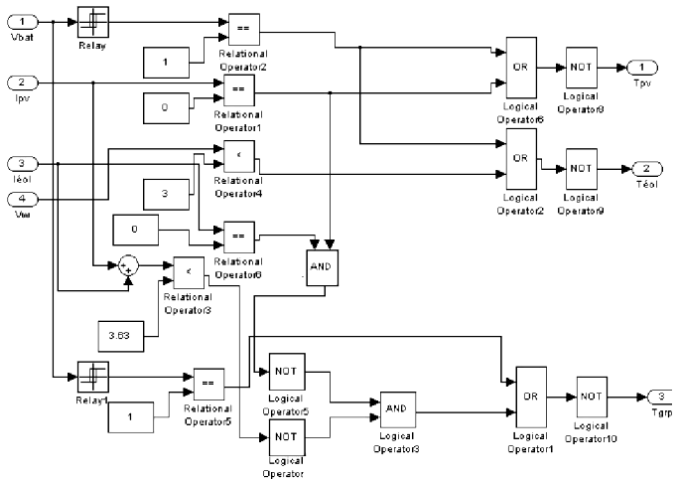


Fig. 10 Schéma de simulation du gestionnaire

B. Application

Une application est faite dans la région de Ain Sefra, Ain Sefra est une région ventée ; dont le colonisateur a réinvesti cette source énergétique en construisant des parcs du moulin ; afin de reproduire du blé et les autres céréales : les moulins de Ain Ourka et du Tiout.



Fig. 11 Région de Aun Sefra

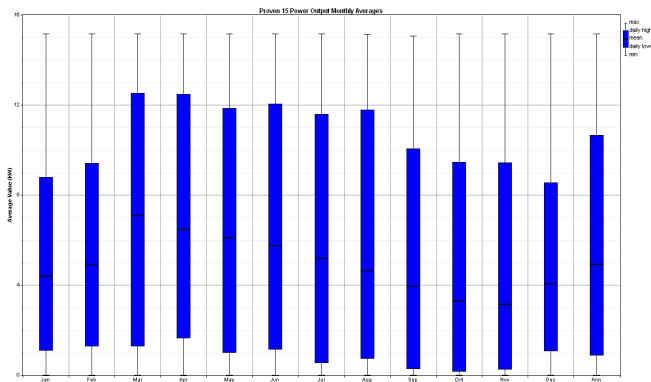


Fig. 14 Les formes d'ondes des principaux paramètres d'un réseau électrique au point de raccordement d'une éolienne

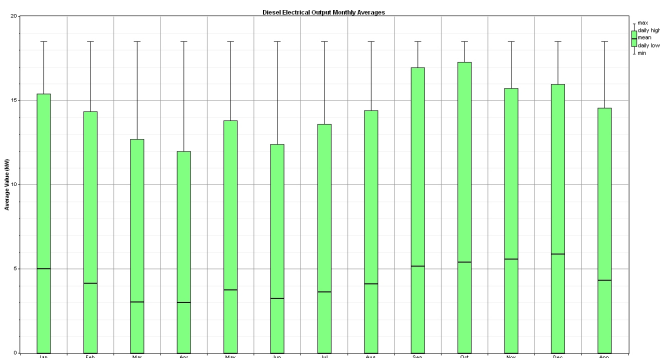


Fig. 15 Représentation des puissances moyennes mensuelles gazole

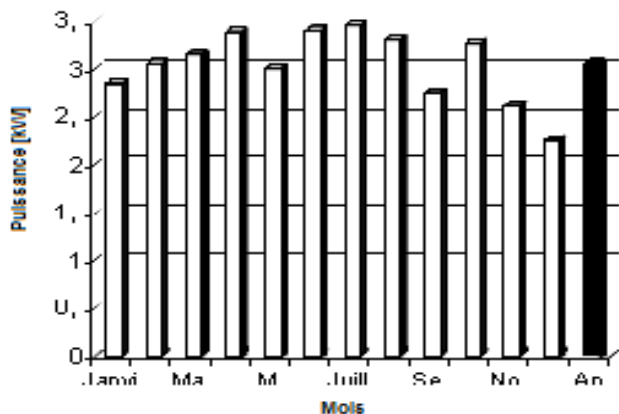


Fig. 16 Représentation des puissances moyennes mensuelles du PV

VI. CONCLUSION

Dans cet article, le dimensionnement d'une centrale hybride autonome (photovoltaïque, éolienne, diesel) a été effectué, par l'estimation du potentiel énergétique journalier disponible et la puissance demandée par l'utilisateur. A partir de ces données indispensables, on a dimensionné le champ photovoltaïque, la turbine éolienne avec son générateur et un groupe diesel qui convient à notre installation. Notre choix s'est porté sur un dispositif de stockage d'énergie par batteries. La simulation numérique

de chaque générateur et de toute la chaîne hybride montre l'efficacité et la fiabilité de ce dispositif.

REFERENCES

- [1] D. Rekioua *, Z. Roumila et T. Rekioua 'Etude d'une centrale hybride photovoltaïque - éolien - diesel' Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°4 (2008) 623 – 633
- [2] L. Chang, 'Systèmes de Conversion de l'Energie Eolienne', IEEE Canadian Review, pp. 1 – 5, 2002.
- [3] O.Gergaud, 'Modélisation Energétique et Optimisation Economique d'un Système de Production Eolien et Photovoltaïque Couplé au Réseau et Associé à un Accumulateur', Thèse de Doctorat, ENS de Cachan, France, 2002.
- [4] A. Tomilson, J. Quaicoe, R. Gosine, M.Hinchey and N.Bose, 'Modeling and Autonomous Wind-Diesel System using Simulink', Conference CCECE'97, IEEE, pp. 35 – 38, 1997.
- [5] A. Schmidhofer and H. Weis, 'Optimisation of Power Electronics for Small Stand Alone Wind Power Stations', Conférence EPE, Toulouse, France, pp. 1 – 4, 2003.
- [6] J. Sevansson, 'A Comparison Between Electrical Systems for Variable Speed Operation of Wind Turbines', Association Conference and Exhibition (EWEC'94), Thessaloniki, Greece, pp. 500 – 505, 10-14 October 1994.
- [7] M. N. Tandjaoui, C. Benachaiba, O. Abdelkhalek, B. Dennaï. S. Mohamed. Y. Mouloudi. B. Denai. A. Othmane. "Apport des éoliennes dans les réseaux électriques - Utilisation d'un SVC -"(sipe 11)-16-17/01/2013.
- [8] M. Tandjaoui, C. Benachaiba, O. Abdelkhalek, B. Dennaï, "Renewable energy and its impact in power quality of distribution systems", SSC5'12, Umm Al-Qura University. Makkah, April 16- 18, 2012
- [9] M. Tandjaoui, Haidas Mohamed, Benachaiba Chelleli, "Intégration des éoliennes pour la Production d'Énergie Electrique en Algérie - Site Tindouf.", SIPE'10, Novembre 2010, JSR, N°0 vol. 1 (2010).pp 183-188. Béchar, Algérie.
- [10] K. Belmokhtar, M. L. Doumbia, K. Agbossou, "Modélisation et commande d'un système éolien à base de machine asynchrone à double alimentation pour la fourniture de puissances au réseau électrique" CIGE'10, Novembre 2010, JSR, N°0 vol. 2 (2010).pp 54-62. Béchar, Algérie.
- [11] T. Laverne, J. Hureau, P. Devinant, "Etude des effets d'un fort niveau de turbulence sur l'aerodynamique des eoliennes a axe horizontal", XVème Congrès Français de Mécanique, Nancy, 3 – 7 Septembre 2001.
- [12] L. Krichen, B. François et A. Ouali, " Modélisation, commande et interaction de deux éoliennes à vitesse variable ", Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2 (2007), pp. 225 – 230.
- [13] F. Boukli Hacène, N. Kasbadji Merzouk et L. Loukarfi, " Analyse statistique et élaboration d'un atlas éolien de la vallée du Cheliff " Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°4 (2007), pp. 583 – 588.
- [14] M. Belatel et H. Benalla, " Etude par CAO d'une machine synchrone à aimant permanent pour la production d'énergie éolienne ", Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008), pp. 167 – 180.
- [15] R. Maouedj, S. Bousalem et B. Benyoucef, " Optimisation d'un système de pompage éolien Application aux sites sahariens ", Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008), pp. 239 – 250.
- [16] D. Rekioua, Z. Roumila et T. Rekioua, " Etude d'une centrale hybride photovoltaïque - éolien - diesel ", Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°4 (décembre 2008), pp. 623 – 633.
- [17] F. Belhamel, S. Moussa, K. Benfarhat et F. Kharchi, " Analyse des Contraintes Mécaniques Agissant sur un Pylône Haubané d'Aérogénérateur et Technologies Mises en OEuvre pour son Installation ", Rev. Energ. Ren.: ICPWE (2003), pp. 125-130.
- [18] T. Rekioua, M.T. Irid et Z. Roumila, " Dimensionnement d'une central hybride photovoltaïque – éolienne – diesel ", Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda (2007), pp. 173 – 176.