



Etude comparative des performances d'un STATCOM et d'un SVC sur la stabilité d'un parc éolien connecté au réseau électrique

A. Mekkaoui ^{#1}, M. Laouer ^{#2}, K. Hartani ^{*3}

[#]Laboratoire LMMC, Université de Saida

^{*}Laboratoire de génie électrotechnique, Université de Saida

¹mekkaouialisaida@yahoo.fr

²laouer@yahoo.fr

³kada_hartani@yahoo.fr

Abstract— Maintaining stability and voltage control to an acceptable level still remains a serious problem and requires daily monitoring by managers of electrical networks. To remedy this, the FACTS devices provide an efficient and reliable solution to deal with this situation. The purpose of this article will focus on the study of the impact of two FACTS devices such shunts on an electric network; he will be the SVC and STATCOM. Simulation of individual cases of normal and abnormal functions will be studied in this present article. We try to support our choice by simulating faults in wind turbines and make statements characteristics for each FACTS and make the comparison to decide which of the two is more appropriate. The comparative study will be made by means of simulation in Matlab to support the final choice of FACT retained.

Résumé — Le maintien de la stabilité et le réglage de la tension à un niveau admissible restent toujours un problème préoccupant et nécessite un suivi quotidien de la part des gestionnaires des réseaux électriques. Pour y remédier, les dispositifs FACTS apportent une solution efficace et fiable pour faire face à cette situation. L'objectif de cet article sera focalisé sur l'étude de l'impact de deux dispositifs FACTS de type shunts sur un réseau électrique ; il s'agira du SVC et du STATCOM. La simulation des différents cas de fonctionnements normal et anormal sera étudiée dans ce présent article. Nous essayerons d'appuyer notre choix par la simulation des défauts au niveau des éoliennes et de faire des relevés de caractéristiques pour chacun des FACTS et de faire la comparaison afin de décider lequel des deux est plus adapté. L'étude comparative sera faite par le moyen de simulation sous Matlab pour appuyer le choix final du FACT retenu.

Keywords— SVC, STATCOM, Stabilité, Aérogénérateur, Compensation, Simulink

I. INTRODUCTION

Ces dernières années, la production des énergies renouvelables, particulièrement celles produites par des

éoliennes, prennent une place de plus en plus importante dans le réseau électrique.

Les déconnexions, suite aux déclenchements d'équipements de protection des parcs éoliens, ne sont pas tolérées selon les critères de connexion. Pour maintenir les éoliennes connectées au réseau sous certaines conditions de perturbations, les constructeurs sont obligés de créer de nouveaux systèmes de commande permettant de garder les éoliennes en production sur le réseau électrique [1].

Le parc éolien est généralement le siège de multitudes perturbations d'ordre électriques ou /et mécaniques. On peut citer les accidents mécaniques qui peuvent mettre hors service une ou plusieurs éoliennes. On peut aussi envisager un fonctionnement anormal dû aux surcharges des consommateurs ou à des défauts. De ces derniers, résultent des creux de tension ou des surtensions. Les dispositifs FACTS seront utilisés pour faire face à ce problème et apportent une solution efficace et fiable

II. MODÉLISATION DE LA CHAÎNE ÉOLIENNE

A. Modélisation du vent.

Nous avons représenté l'évolution de la vitesse de vent de façon déterministe, par une somme de plusieurs harmoniques, conformément à l'équation suivante [8]:

$$V(t) = 10 + 0.2 \sin(0.1047t) + 2 \sin(0.2665t) + \sin(1.2930t) + 0.2 \sin(3.6645t) \quad (1)$$

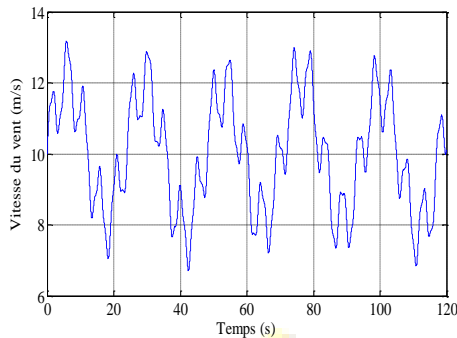


Fig. 1 Vitesse du vent en fonction du temps

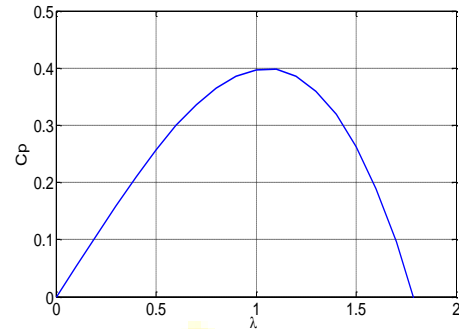


Fig.2 Coefficient aérodynamique de puissance.

B. Modélisation de la turbine.

A partir de l'énergie cinétique des particules de la masse d'air en mouvement passant par la section de la surface active S de la voile, la puissance de l'éolienne est donnée par l'équation suivante [4] :

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

Avec:

ρ : Densité de l'air $\rho=1.225 \text{Kg/m}^3$.

V : La vitesse du vent (m/s).

S : Aire balayée par la turbine (m^2),

Où

$$S = \pi R^2 \quad (3)$$

R : Rayon de la voile (m)

Pour décrire la vitesse de fonctionnement d'une éolienne, on utilise la vitesse réduite (spécifique) λ qui est le rapport de la vitesse linéaire en bout de pales de la turbine ramenée à la vitesse de vent, soit:

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V} \quad (4)$$

Avec :

Ω : Vitesse de rotation (rad/s).

C. Modélisation du multiplicateur.

Le multiplicateur est la liaison entre la turbine et le générateur, il est supposé rigide et modélisé par un simple gain. L'élasticité et le frottement du multiplicateur sont négligés :

$$\Omega_{\text{turbine}} = \frac{\Omega_{\text{génératrice}}}{G} \quad (5)$$

Avec:

G : Gain de multiplicateur.

D. Modélisation de l'arbre de la machine.

L'équation fondamentale de la dynamique permet de déterminer l'évolution de la vitesse mécanique de la génératrice asynchrone. Le modèle simplifié de cette équation est donné par [4] :

$$(J_t + J_m) \frac{d\Omega}{dt} = C_{eol} - C_{em} - (f_m - f_t) \Omega \quad (6)$$

Avec :

J_t : Inertie de la turbine

J_m : Inertie de la machine,

f_m : Coefficient de frottement de la machine

f_t : Coefficient de frottement des pales

C_{eol} : Le couple statique fournie par l'éolienne



E. Modélisation de la machine asynchrone.

Le modèle classique de la machine asynchrone à cage dans le repère de Park, est le suivant:

- Stator

$$\begin{cases} v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \varphi_{ds} - \omega_s \varphi_{qs} \\ v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \varphi_{qs} + \omega_s \varphi_{ds} \end{cases} \quad (7)$$
- Rotor

$$\begin{cases} v_{dr} = 0 = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \varphi_{dr} - \omega_r \varphi_{qr} \\ v_{qr} = 0 = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \varphi_{qr} + \omega_r \varphi_{dr} \end{cases} \quad (8)$$

Avec :

$[\varphi_{sd}, \varphi_{sq}]$; $[V_{sd}, V_{sq}]$; $[i_{sd}, i_{sq}]$: Représentent respectivement les composantes du flux, de la tension et du courant statoriques dans le repère de Park.

$[\varphi_{rd}, \varphi_{rq}]$; $[i_{rd}, i_{rq}]$: Représentent respectivement les composantes du flux et du courant rotoriques dans le repère de Park.

III. Description des dispositifs FACTS

A. STATCOM

Le STATCOM (Static synchronous compensator) est un convertisseur de tension à base de GTO ou des IGBT alimentés par des batteries de condensateurs ; l'ensemble est connecté parallèlement au réseau à travers un transformateur de couplage Fig. 3 [5].

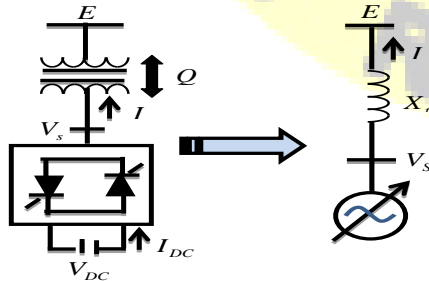


Fig. 3 Modèle équivalent d'un STATCOM

Le STATCOM est capable de délivrer une puissance réactive même si la tension au niveau des jeux de barres, est très faible. D'après sa caractéristique, on constate que le courant maximal du STATCOM est indépendant de la tension du nœud [2]. L'équation (9) de la puissance réactive, décrit le transfert de cette dernière avec le réseau électrique [4].

$$Q_{sh} = \frac{|V_k|^2}{X_{sh}} - \frac{|V_k||V_{sh}|}{X_{sh}} \cos(\theta_k - \theta_{sh}) = \frac{|V_k|^2 - |V_k||V_{sh}|}{X_{sh}} \quad (9)$$

Si $|V_k| > |V_{sh}|$ alors Q_{sh} devient positive et le STATCOM absorbe de la puissance réactive.

Si $|V_k| < |V_{sh}|$ alors Q_{sh} devient négative et le STATCOM fournit de la puissance réactive.

B. SVC

Le SVC (Static Var Compensator) est un dispositif qui sert à maintenir la tension en régime permanent et en régime transitoire à l'intérieur des limites désirées. Il injecte de la puissance réactive dans la barre où il est branché de manière à satisfaire la demande de puissance réactive de la charge.

La Fig. 4 représente le modèle équivalent d'un SVC. Il est composé d'un condensateur de réactance " X_C " dont la puissance réactive fournie, peut être complètement enclenchée ou complètement déclenchée et d'une bobine d'induction de réactance inductive " X_L " dont la puissance réactive absorbée est commandée entre zéro et sa valeur maximale. Les thyristors sont montés en tête-bêche pour assurer des inversions très rapides du courant [5].

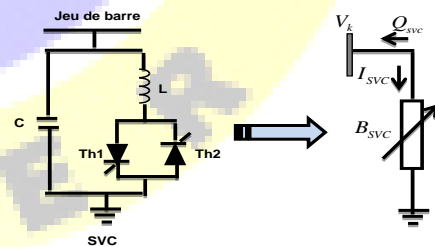


Fig. 4 Modèle équivalent d'un SVC

La puissance réactive Q_{SVC} est positive lorsqu'elle est absorbée par le compensateur (comportement inductif), le courant d'entrée I est un courant réactif, il est supposé positif



lorsqu'il est retardé de 90° par rapport à la tension V_{SVC} . Si par contre, le compensateur fournit de la puissance réactive (comportement capacitif), cette dernière est considérée comme étant négative, ainsi que le courant I [3]. La puissance réactive Q_{SVC} varie entre une valeur inductive " Q_{ind} " et une valeur capacitive " Q_{cap} " [7].

Avec :

$$Q_{cap} = \frac{V_{SVC}^2}{X_C} \quad (10)$$

On obtient alors la réactance capacitive X_C nécessaire pour le condensateur. De la relation suivante, on peut déterminer la réactance X_L de la bobine d'inductance.

$$Q_{ind} = \frac{V_{SVC}^2}{X_L} - \frac{V_{SVC}^2}{X_C} \quad (11)$$

IV. Simulation du système

Cas a) : Fonctionnement normal

Dans un premier temps, nous allons présenter le fonctionnement normal du parc éolien illustrer par les figures 5 et 6 et voir l'effet des deux types de FACTS sur le maintien de la tension.

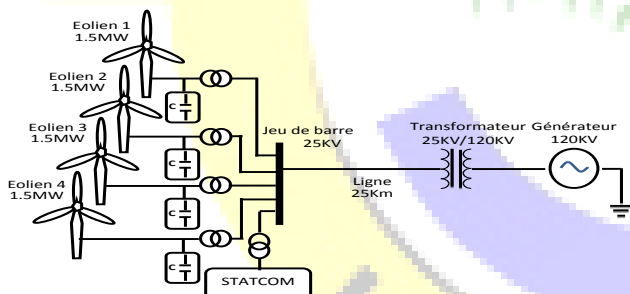


Fig. 5 Représentation d'un système muni d'un STATCOM

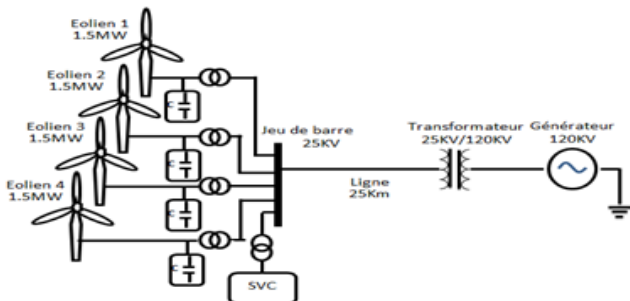
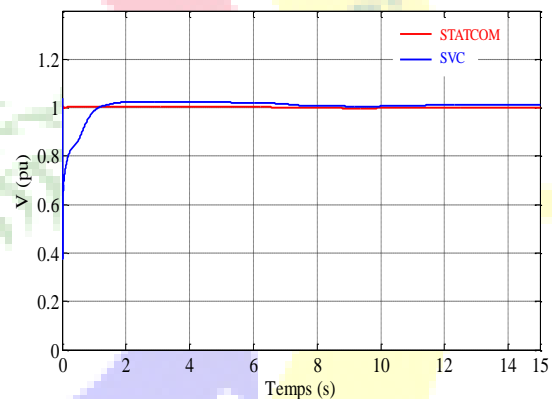


Fig. 6 Représentation d'un système muni d'un SVC

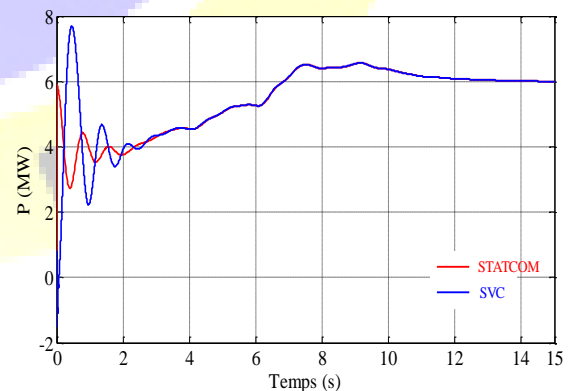
Les courbes de la figure 7 décrivent le comportement des différents éléments du parc éolien en fonctionnement normal.

Pour notre système muni de STATCOM on remarque que la puissance active générée commence à augmenter en douceur (avec la vitesse du vent) pour atteindre sa valeur nominale qui est de 6 MW au bout de 12s. La puissance réactive absorbée par le jeu de barre est de l'ordre de 1M var pour une vitesse du vent de 11m/s. La tension au nœud de connexion atteint sa valeur nominale de 1pu donc le STATCOM a une meilleure réponse dans les régimes transitoires (il est plus rapide).

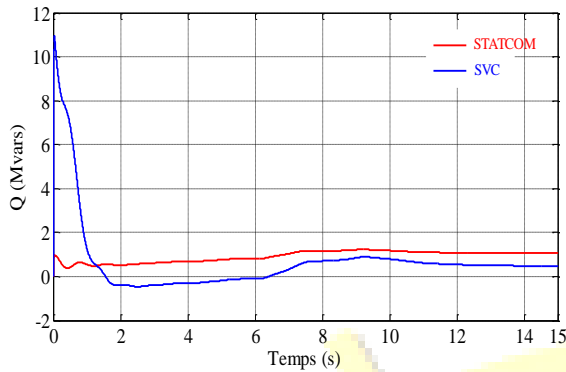
Concernant notre système muni de SVC, On remarque que la puissance active générée atteindra sa valeur nominale qui est de 6 MW au bout de 12s mais pendant la phase de démarrage elle atteint un pic 7.8MW, La puissance réactive absorbée par le nœud de connexion est de l'ordre de 0.5M var avec un pic au démarrage de l'ordre de 11M var, La tension au nœud de connexion atteint sa valeur nominale de 1pu au bout de 1s.



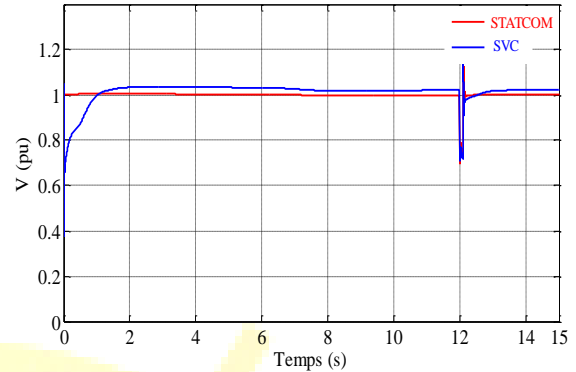
(a) Tension au nœud de connexion



(b) Puissance active



(c) Puissance réactive



(a) Tension au nœud de connexion

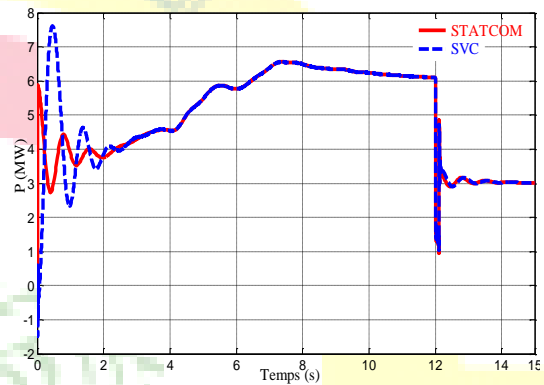
Fig. 7 Résultats de simulation : cas (a)

Cas b) : Fonctionnement de défaut

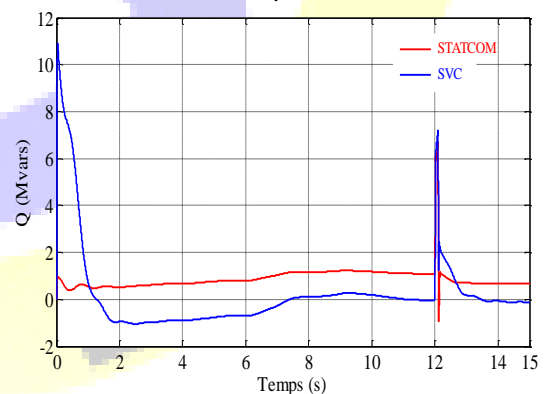
Dans un seconde temps, nous allons simuler un défaut (court-circuit biphasé) au niveau des éoliennes 3 et 4 et pour les mêmes conditions des éoliennes dans les deux cas de FACTS nous relèverons les courbes et les faire suivre d'interprétations. Les courbes obtenues dans la Fig. 8 donnent les résultats de simulation respectivement du SVC et du STATCOM.

À $t = 12$ s, un défaut entre phases est appliqué à la sortie des éoliennes 3 et 4. À $t = 12.11$ s, le système de protection des éoliennes 3 et 4 est activé et les déconnectent du système ; les éoliennes 1 et 2 continuent à produire de l'énergie 1.5 MW chacune. On remarque que la tension au nœud connexion reste aux alentours de 1 pu avec une meilleur réponse en régime dynamique pour le STATCOM et que la puissance active chute de 6 MW à 3 MW, la puissance réactive est aux alentours de 0.73M var pour le STATCOM et de l'ordre de 0.1M var pour le SVC.

La simulation nous montre clairement que STATCOM a une meilleure performance que le SVC dans les réseaux de distribution d'énergie. Le STATCOM avec son apport en énergie réactive permet de stabiliser la tension à une valeur relativement constante malgré l'existence du défaut dans le parc éolien.



(b) Puissance active



(c) Puissance réactive

Fig. 8 Résultats de simulation : cas (b)

Pour conclure, un tableau comparatif des performances du SVC et du STATCOM est établi.



**Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 3rd International Seminar on New and Renewable
Energies**

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



SVC	STATCOM
Génère plus d'harmoniques.	Génère moins d'harmoniques.
la réponse est lente au cours des régimes transitoires.	Une meilleure réponse lors des régimes transitoires.
Agissant comme une susceptance variable	Agissant comme une source de tension derrière une réactance
Le SVC est une admittance (inductive ou capacitive) shunte contrôlée.	le STATCOM est une source de tension synchronisée en shunt avec le réseau électrique
La capacité de compensation du SVC diminue à raison que la tension du service diminue	le STATCOM est capable de fournir son courant nominal, même lorsque la tension est presque nulle.

Tableau 1 : Tableau comparatif

V. Conclusion

Le rôle des dispositifs FACTS comme le SVC et le STATCOM dans l'amélioration de la performance du système est spécifiée. L'amélioration de la stabilité, l'amortissement des oscillations de puissance, la régulation de la tension, l'augmentation de la puissance de transmission en fournissant une énergie réactive afin de stabiliser la tension après l'apparition d'un défaut, sont considérés comme des facteurs d'amélioration. Les résultats des simulations montrent que le parc éolien a de meilleures performances de stabilité de la rémunération lorsqu'il est muni d'un STATCOM par rapport au SVC avant, pendant et après le défaut. Avant le défaut, le comportement des deux FACTS présente une différence au

niveau du régime transitoire (une meilleure réponse du STATCOM par rapport au SVC) et qu'en présence d'un court-circuit, le STATCOM réagit en faveur du maintien de la stabilité du réseau électrique entier contrairement au SVC qui fait apparaître plus qu'un inconvénient et surtout pendant la durée du défaut. Enfin, notre choix est fixé sur le STATCOM suite aux avantages qu'il donne comparé au SVC.

REFERENCES

- [1] B. Robyns, A. Davigny, C. Saudemont, A. Ansel, V. Courtecuisse "Impact de l'éolien sur le réseau de transport et la qualité de l'énergie", *J3eA Vo.5* hors seriel (2000), journée de la section Électrotechnique du club EEA.
- [2] L. Qi, J. Langston, M. Steurer, "Applying a STATCOM for Stability Improvement to an Existing Wind Farm with Fixed-Speed Induction Generators", *Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21 st Century*, 2008 IEEE, page(s): 1-6, 20-24 July 2008.
- [3] Roohollah Fadaeinedjad, Gerry Moschopoulos, "Using STATCOM to Mitigate Voltage Fluctuations Due to Aerodynamic Aspects of Wind Turbines", *IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC 2008*, 15-19 June 2008 Page(s):3648 -3654.
- [4] Stanescu O., Bolborgci D., OPREA S "Modeling of wind power plants generators in transient stability analysis" *Journal of Sustainable Energy*, Vol. 3, No. 4, December, 2012.
- [5] Youssef A. Mobarak «SVC, STATCOM, and transmission line rating enhancements on induction generator driven by wind turbine "Journal of international journal of electrical engineering & technology (IJEET) Volume 3, Issue 1, January- June (2012).
- [6] C. A. Canizares., "Power Row and Transient Stability Models of FACTS controllers. for Voltage and Angle Stability Studies," *IEEE/PES WM Panel on Modeling, Simulation and Applications of FACTS Controllers in Angle and Voltage Stability Studies*, Singapore, Jan. 2000.
- [7] J. Dixon and J. Rodriguez, «Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review», *Proceedings of The IEEE*, Vol. 93, No. 12, PP 2144-2164, December 2005.