



Etude de l'effet compensatoire d'un parc éolienne à vitesse fixe

First Mekkaoui Ali⁽¹⁾, Second Dr Laouer Mohamed⁽²⁾

⁽¹⁾ Département d'Electrotechnique, Université de Saida, mekkaouialisaida@yahoo.fr

⁽²⁾ Département d'Electrotechnique, Université de Saida, laouer@yahoo.fr

Résumé — L'une des causes principales de la déconnexion des éoliennes du réseau est la variation de la tension (creux ou survoltage) aux jeux de barres communs de connexion. L'utilisation d'un compensateur statique (STATCOM), permet de réguler cette tension et de maintenir les éoliennes connectées au réseau même sous certaines conditions sévères de perturbation.

Dans cet article, nous proposons une étude de l'importance de l'utilisation de l'un des FACTS «STATCOM» compensateur statique synchrone qui permettra de maintenir la tension aux alentours de la valeur nominale par le biais de l'injection de la puissance réactive. Cette opportunité offre la possibilité de la connexion du parc éolien au réseau électrique. Le choix de cette étude sera justifié par une simulation sous MATLAB.

Mots clés — éolienne, énergie réactive, STATCOM, compensation.

I. INTRODUCTION

Ces dernières années, la production des énergies renouvelables, particulièrement celle produite par des éoliennes, prend une place de plus en plus importante dans l'énergie totale fournie aux consommateurs par les compagnies d'électricité. La puissance installée a pris aussi, une proportion telle que les gestionnaires des réseaux électriques imposent de nouvelles normes pour la déconnexion des unités décentralisées de production d'énergie électrique. En effet, les déconnexions, suite aux déclenchements d'équipements de protection des parts éoliens, ne sont plus tolérées selon certaines normes. Pour maintenir les éoliennes connectées au réseau, même sous certaines conditions de perturbations, les concepteurs et les constructeurs sont obligés de créer de nouveaux systèmes de commande permettant de garder les éoliennes en production sur le réseau électrique. Cette capacité des éoliennes d'être connectées au réseau est appelée « Ride Through » dans la littérature. Dans le cas d'éoliennes à vitesse fixe à base de génératrice à induction à rotor a cage (directement connectée au réseau), le contrôle des puissances à l'aide des courants rotoriques ou statoriques n'est pas possible. Ce type d'éoliennes, n'est pas relié à un convertisseur, ce qui simplifie que sa structure rend son coût moins élevé, comparativement aux autres types d'éoliennes (éoliennes à vitesse variable utilisant une génératrice à induction à rotor bobine ou une génératrice synchrone).

Cependant, l'énergie réactive nécessaire pour magnétiser la machine, ne peut être produite par un convertisseur, d'où, le recours à des bancs de condensateurs raccordés au point commun de connexion (PCC) avec le réseau électrique. Aussi, l'énergie réactive fournie par ces condensateurs est fixe et ne peut pas contribuer à réguler la tension au point de connexion. L'une des causes principales de la déconnexion des éoliennes du réseau est la variation de la tension (creux ou surtension) au PCC [3].

II. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE EOLIENNE.

L'énergie d'origine éolienne, fait partie des énergies renouvelables. L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor ; celle-ci est alors convertie en énergie mécanique puis elle-même sera transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique accouplée à la turbine éolienne. Ce couplage mécanique peut être soit direct, si la turbine et la génératrice ont des vitesses du même ordre de grandeur ; soit réalisé par l'intermédiaire d'un multiplicateur dans le cas contraire. Enfin, il existe plusieurs types d'utilisation de l'énergie électrique produite. Elle peut être stockée dans des accumulateurs, ou distribuée par le biais d'un réseau électrique ou enfin peut alimenter des charges isolées. Le système de conversion éolien est également le siège de pertes, à titre indicatif, le rendement est de 59 % au rotor de l'éolienne, de 96% au multiplicateur ; il faut de plus, prendre en compte les pertes de la génératrice et des éventuels systèmes de conversion [1].

Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes:

- Au niveau de la turbine (rotor), qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite.
- Au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique, transmise ensuite au réseau électrique [1].

III STATCOM (STATIC COMPENSATOR)

C'est en 1990 que le premier STATCOM a été conçu, c'est un convertisseur de tension à base de GTO ou de IGBT

alimenté par des batteries de condensateurs, l'ensemble est connecté parallèlement au réseau à travers un transformateur de couplage Fig. 1. Ce dispositif est l'analogie d'un Compensateur synchrone; et comme c'est un dispositif électronique. Il n'a pas d'inertie mécanique présentant alors de meilleures caractéristiques telles que sa dynamique rapide, son faible coût d'installation et de sa maintenance devant les compensateurs synchrones.

constate que le courant maximal du STATCOM est indépendant de la tension du nœud.

Pour un STATCOM idéal, n'ayant pas des pertes actives, l'équation (1) de la puissance réactive, décrit le transfert de cette dernière avec le réseau électrique [4].

$$Q_{sh} = \frac{|V_k|^2}{X_{sh}} - \frac{|V_k||V_{sh}|}{X_{sh}} \cos(\alpha_k - \alpha_{sh}) = \frac{|V_k|^2 - |V_k||V_{sh}|}{X_{sh}} \quad (1)$$

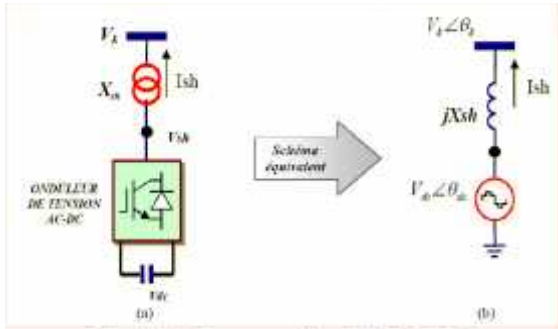


Fig.1 (a) Structure d'un STATCOM
(b) Schéma équivalent [5]

- 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.

IV. Etude d'un système de parc éolien sans compensation

Le STATCOM permet le même contrôle qu'un SVC mais avec plus de robustesse. Ce dispositif est capable de délivrer la puissance réactive même si la tension au niveau des jeux de barres est très faible, d'après sa caractéristique, On

La figure 2, montre le schéma de simulation d'un parc éolien composé de deux éoliennes de 1.5 MW et une éolienne de 3 MW reliées entre elles. Le parc est connecté à un réseau électrique de 125 kV à travers une ligne de distribution de 25 km de long, la ligne est à une tension de 25 kV connectée au réseau à travers un transformateur 125 kV/25 kV pour une puissance de 47 MVA [3].

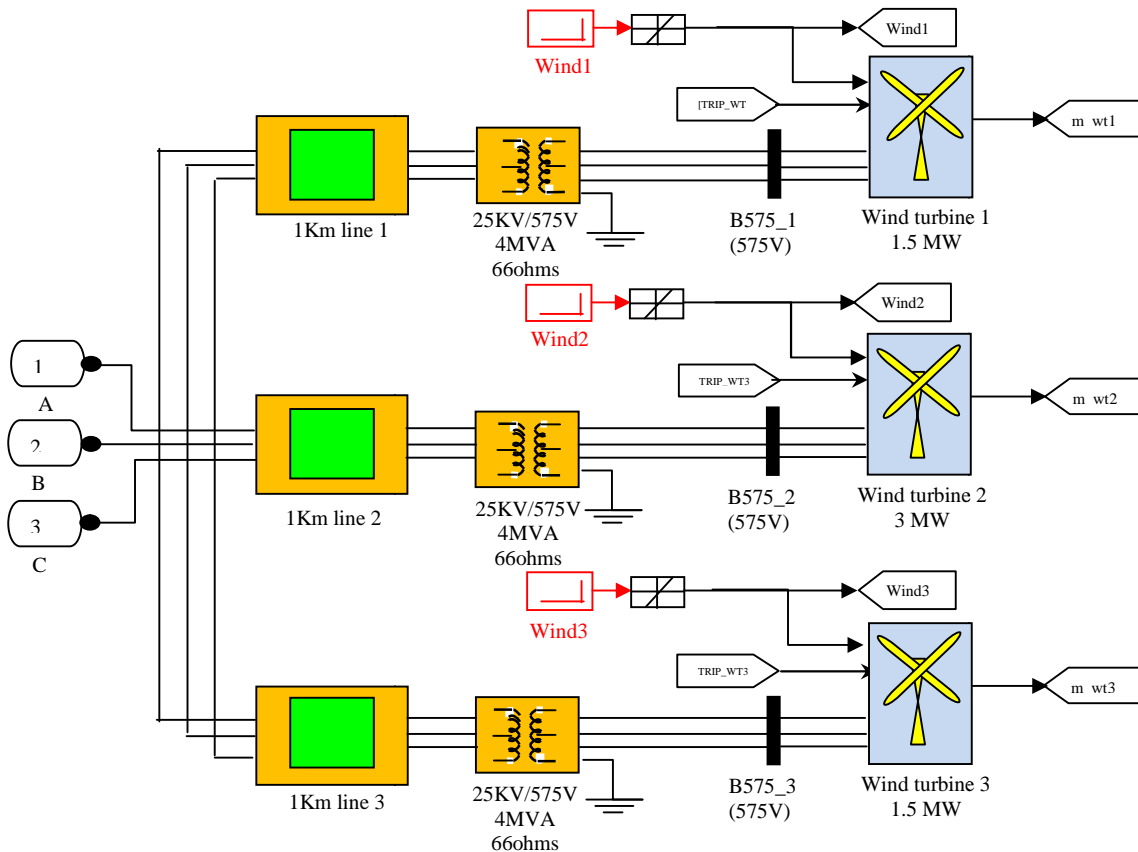


Fig.2 Schéma de simulation d'un parc éolien de 6 MW

La simulation du parc 6 MW sans compensation donne au niveau du nœud 25 les résultats suivants.

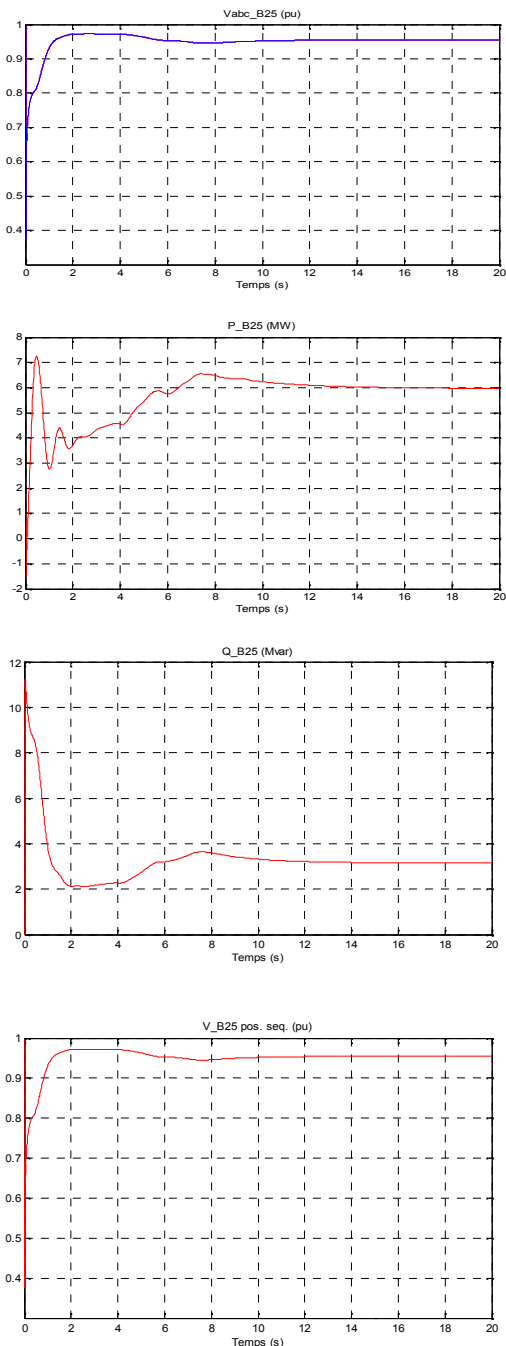


Fig.3 Résultats de simulation du parc 6 MW sans compensation

Interprétation des résultats

On remarque que la tension au niveau du nœud de connexion B25 est inférieure à 1 pu, elle est aux alentours de 0.94 pu donc on peut conclure que notre parc éolienne de 6 MW ne peut être connecté au réseau classique.

V Etude d'un système de parc éolien avec une compensation STATCOM

Le STATCOM dont le schéma bloc est insérer au parc éolien 6MW comme le montre la fig. 4 utilise le même principe de la compensation de la puissance réactive. Il est constitué d'un onduleur (dont les détails ne sont pas mentionnés) avec un condensateur du côté courant continu (CC) et une inductance de couplage du côté courant alternatif (AC), et il est connecté sur le réseau électrique. Le STATCOM régule la tension au PCC en contrôlant la quantité de puissance réactive injectée ou absorbée dans le réseau, lorsque la tension du réseau est faible ($V < V_2$) le STATCOM génère de la puissance réactive (STATCOM capacitif) et lorsque la tension du réseau est élevée ($V > V_2$), elle absorbe de la puissance réactive (STATCOM inductif).

Pour les simulations, il a été utilisé deux éoliennes de 1.5MW et une éolienne de 3MW utilisant des génératrices asynchrones à cage. L'enroulement du stator est relié directement au réseau de 60Hz et le rotor est commandé par un système de pitch - control, L'angle de calage des pales est contrôlé de telle sorte que la puissance de sortie de la génératrice est limitée à sa valeur nominale pour des vitesses de vent ne dépassant pas la vitesse nominale 9m/s. Afin de fonctionner en génératrice, la vitesse de la génératrice doit être légèrement supérieure à la vitesse synchrone. La vitesse de la génératrice varie alors approximativement entre 1 pu à vide et 1,005pu à charge nominale.

La puissance réactive absorbée par les génératrices éoliennes est en partie compensée par des bancs de condensateurs de 400kvar reliés à chaque paire de turbines éoliennes, comme le montre la fig. 5. Le reste de la puissance réactive nécessaire pour maintenir la tension au PCC du bus B25 à 25kV (1 pu) est fournie par un STATCOM de 3Mvar [3].

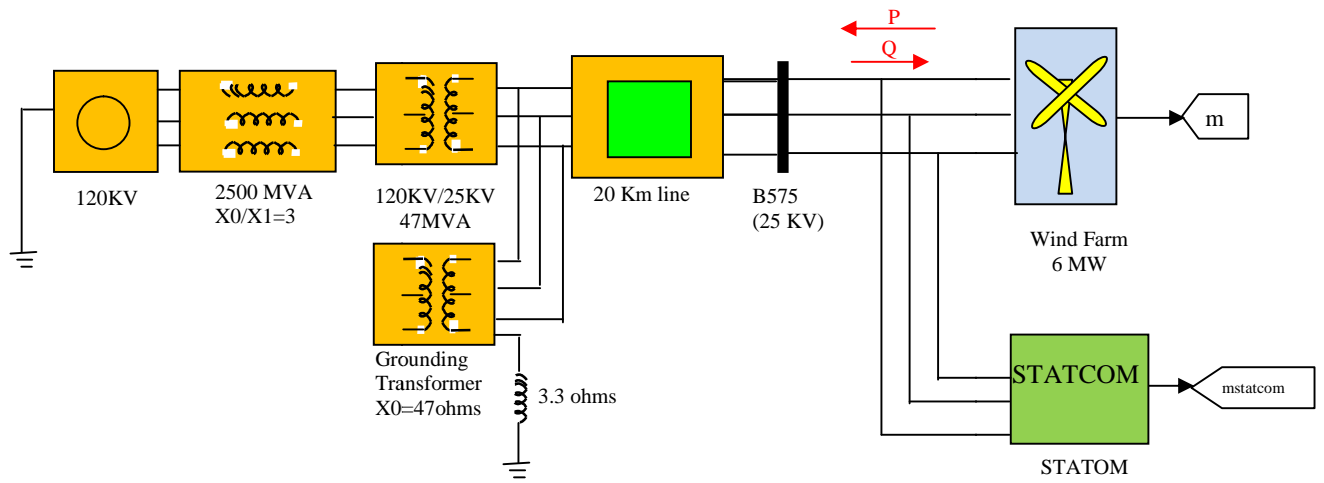


Fig. 4 Schéma de simulation d'un parc éolien 6 MW avec un compensateur STATCOM

La simulation nous donne au niveau de la turbine éolienne les résultats suivants

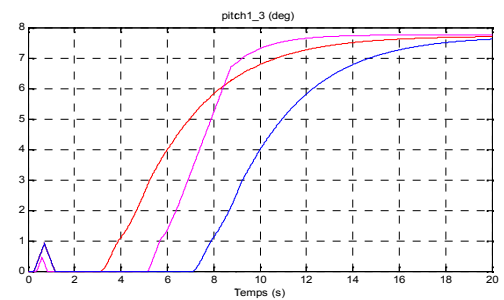
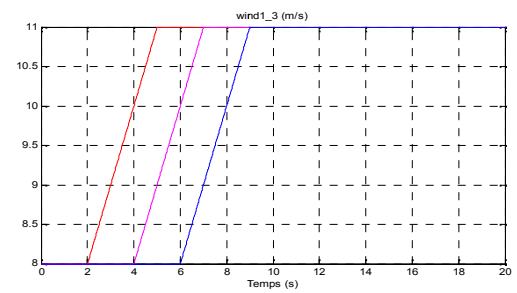
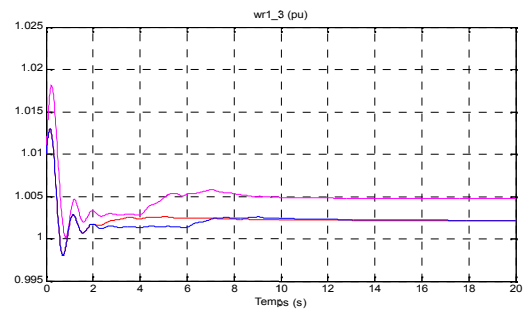
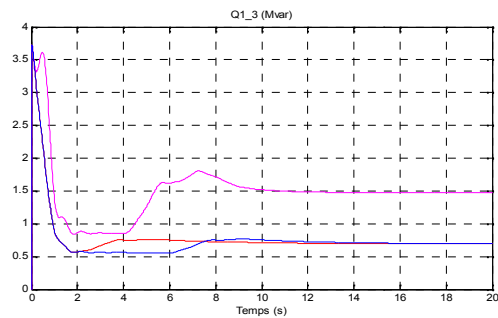
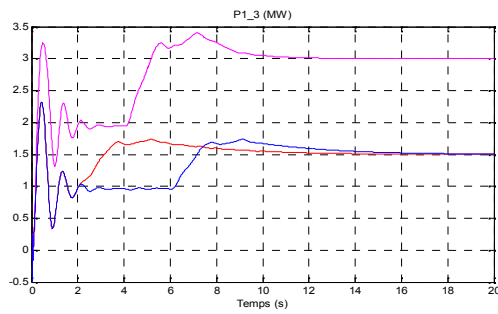


Fig.5. Résultats de simulation avec compensation STATCOM au niveau de la turbine

Interprétation des résultats

Au commencement, la vitesse du vent est fixée à 8 m/s, puis commençant à $t=2s$ pour la turbine éolienne 1, la vitesse du vent est ramenée à 11 m/s en 3 secondes. La même rafale du vent est appliquée à la turbine 2 et à la turbine 3, respectivement avec 2 secondes et 4 secondes de retard par rapport à la première turbine.

Pour chaque turbine d'éolienne, la puissance active générée commence à augmenter en douceur (avec la vitesse du vent) pour atteindre sa valeur nominale de 3 MW pour éolienne 2 et 1.5 KW pour éolien 1 et 3 dans environ 8s. Au cours de cette période, la vitesse de la turbine est passée de 1.0028pu à 1.0047pu. Au départ, l'angle calage des pales de turbine est égal à zéro degré. Lorsque la puissance de sortie supérieure à 3 MW, l'angle de calage est passé de 0^0 à 8^0 afin de mettre la puissance de sortie à sa valeur nominale.

La puissance réactive absorbée augmente et la puissance active générée augmente. À la puissance nominale, le parc éolien 2 absorbe 1,47 Mvar et le parc éolien 1 et 3 absorbe 0.735Mvar. Pour une vitesse du vent de 11 m / s,

En ce qui concerne le nœud de connexion B25 la simulation nous donne les résultats suivant :

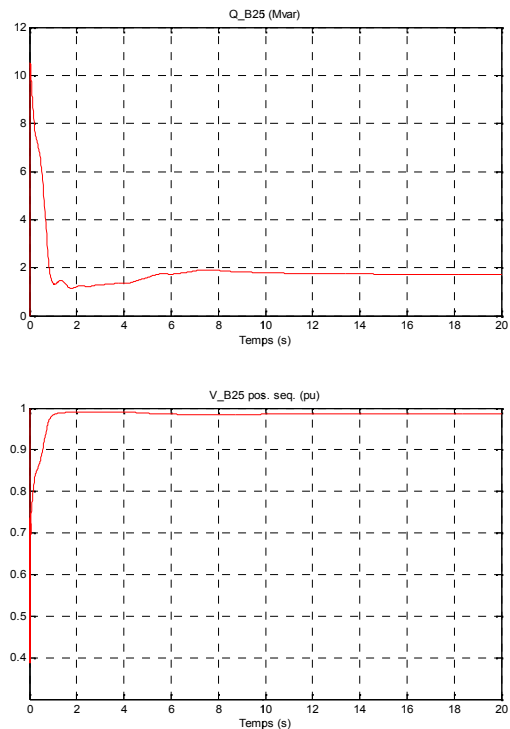
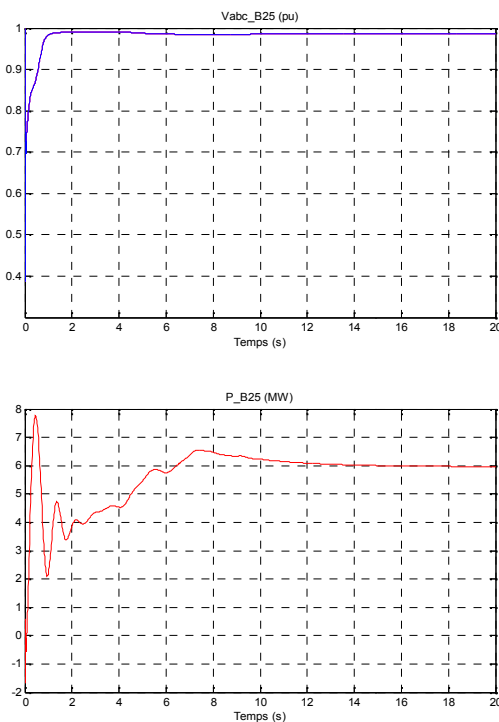


Fig.6 .Résultats de simulation avec compensation STATCOM au niveau du nœud de connexion B25

Interprétation des résultats

La puissance totale mesurée sur le nœud de connexion B25 est de 6 MW, le STATCOM maintient la tension du nœud B25 à 0.984 pu en générant une puissance réactive de 1,88 Mvar.

On peut conclure que la STATCOM à améliorer le système mais la tension au nœud de connexion B25 n'est pas très proche de la tension nominal 1 pu elle est aux alentours de 0.984 pu. Pour cela on doit ajouter des bancs de condensateur.

VI Etude d'un système de parc éolien avec une compensation STATCOM et banc de condensateurs

Etant donné que la tension au nœud de connexion n'a pas été complètement améliorée, on va ajouter des bancs de condensateur au parc éolien de 6MW pour pouvoir l'exploiter au maximum. La figure 7 montre le schéma bloc du parc éolien 6 MW avec compensation STATCOM et bancs de condensateurs.

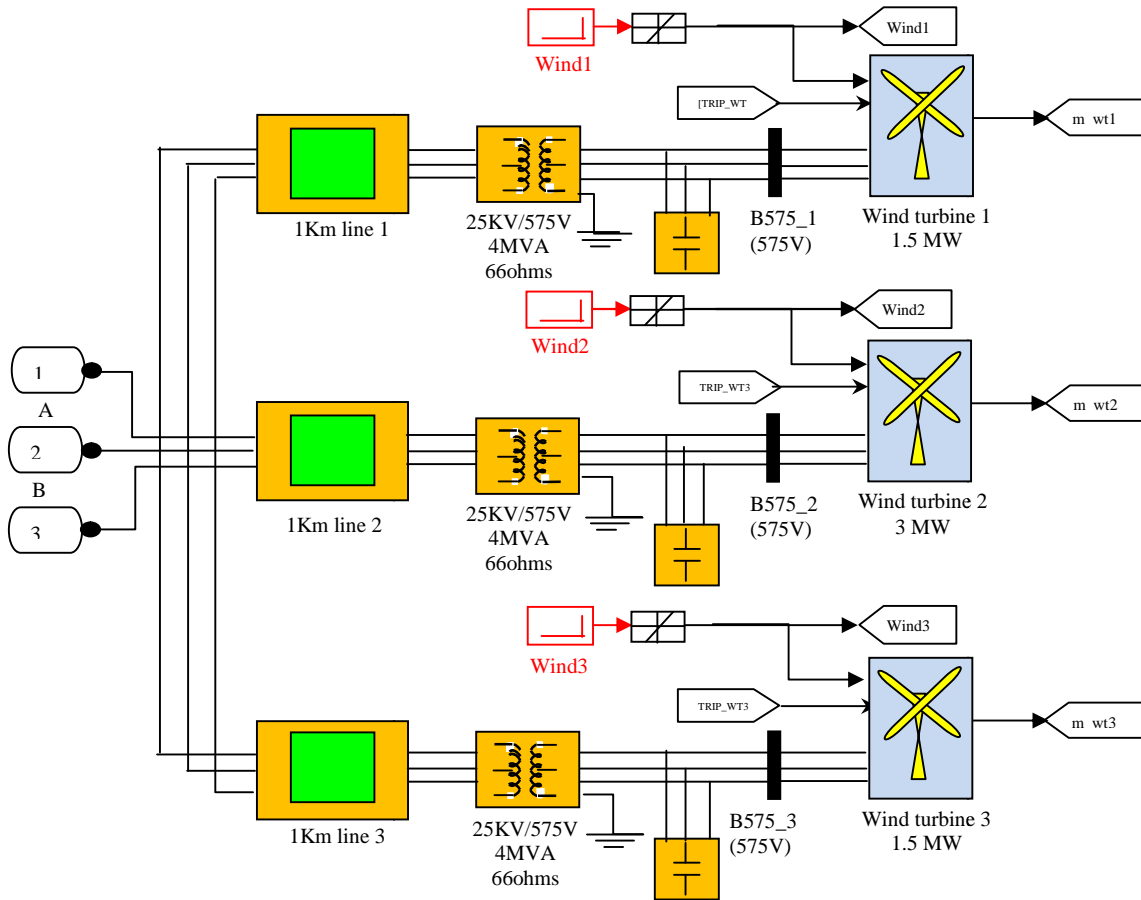
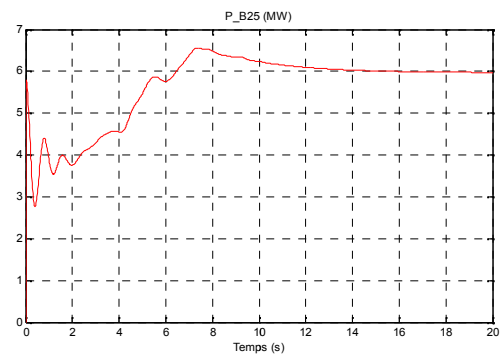
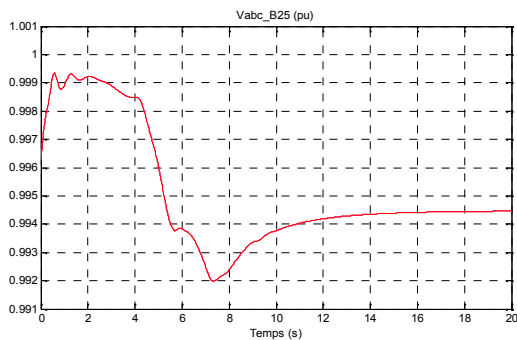


Fig.7 Schéma de simulation d'un parc éolien de 6 MW avec compensation STACOM et banc de condensateur

Les résultats de simulation au nœud de connexion B25 nous donnent :



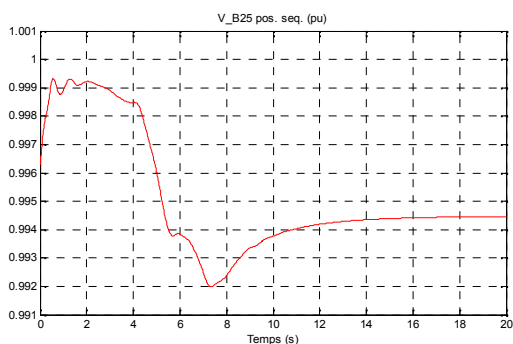
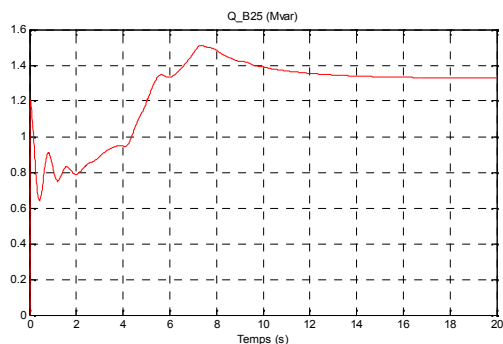


Fig.8 Résultats de simulation avec compensation STATCOM et bancs de condensateurs au niveau du nœud de connexion B25

Interprétation des résultats

On remarque qu'on introduit des bancs de condensateurs la tension au niveau du nœud de connexion B25 a considérablement augmenter elle atteint presque la valeur nominal de 1 pu elle est aux alentours de 0.995 pu. La puissance active est de l'ordre de 6 MW, la puissance réactive est de 1.38 MVAR

VII Etude du parc avec un compensateur statcom et un banc de condensateur avec un défaut de court circuit au parc éolien 2

Dans cette partie on va simuler un défaut de court-circuit au parc éolien 2 comme le montre la figure 9 et en déduire si le parc éolien peut encore fonctionner après l'arrêt de la turbine 2.

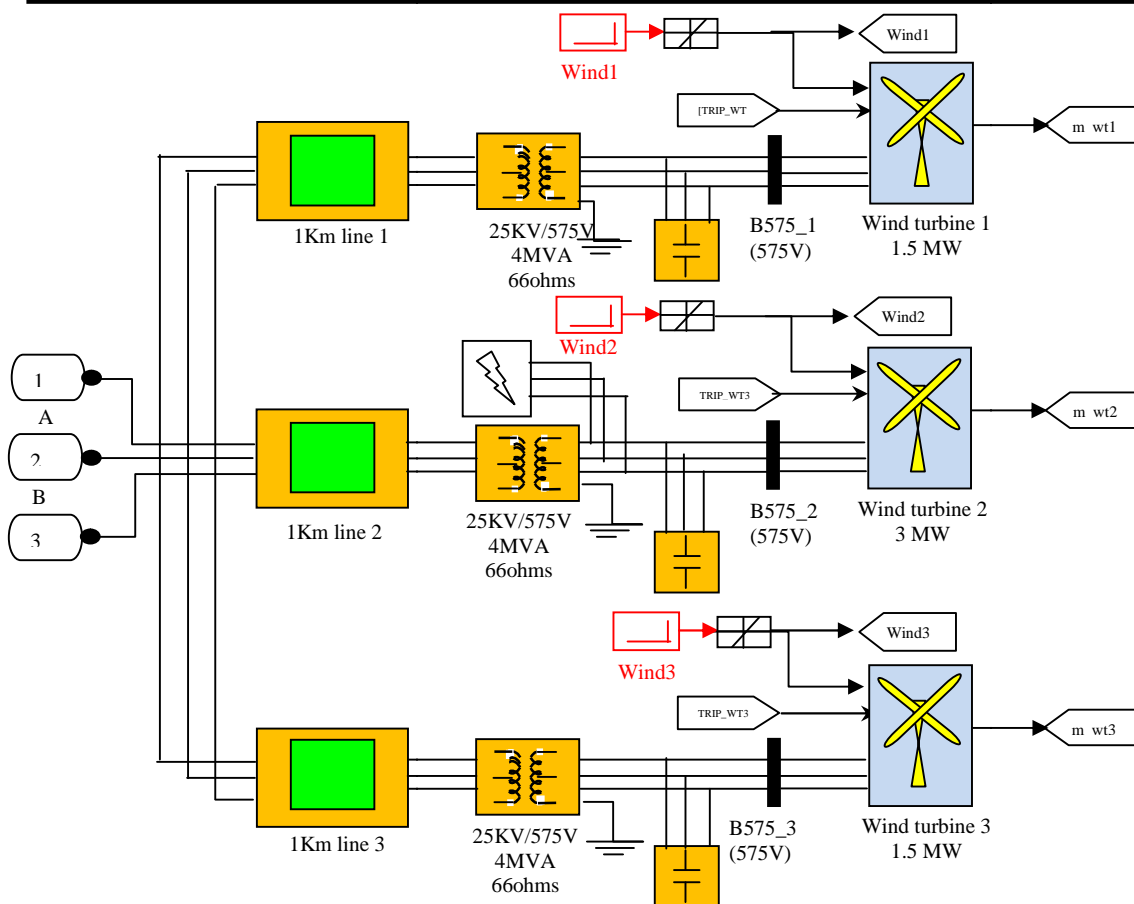


Fig.9 Schéma de simulation d'un parc éolien de 6 MW avec un défaut de court-circuit au parc 2

La simulation de cet essai nous donne les résultats au nœud de connexion B25 comme suit :

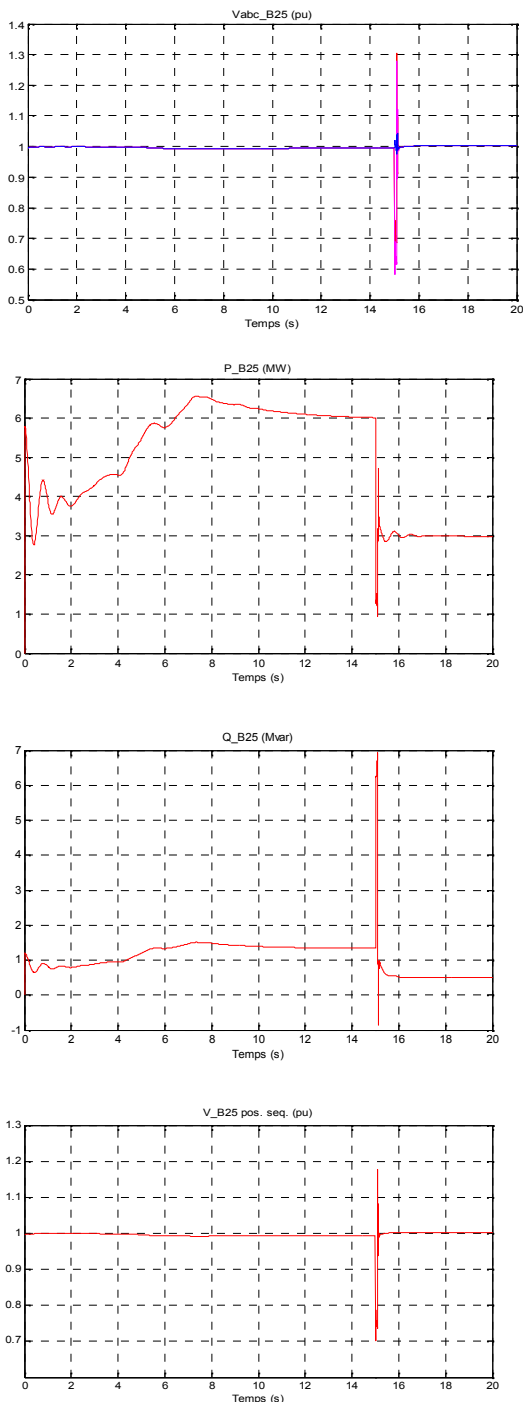


Fig.10 Résultats de simulation avec compensation STATCOM et bancs de condensateurs avec un défaut

Interprétation des résultats

À $t = 15$ s, un défaut entre phases est appliqué à la sortie de l'éolienne 2. À $t = 15.11$ s le système de protection de l'éolienne 2 est activé et le met hors service, les éoliennes 1 et 3 continuent à produire de l'énergie 1.5 MW chacune. On remarque que la tension au nœud B25 reste aux alentours de 1 pu et que la puissance active chute de 6 MW à 3 MW, la puissance réactive est au alentour de 0.73 Mvar. La simulation nous montre clairement l'intérêt capital d'un STATCOM 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 la simulation d'un défaut symétrique au côté du parc éolien ; seules les éoliennes concernées par le défaut seront déconnectées ; les autres restent connectées au réseau mais le niveau des puissances active et réactive produites seront atténuées.

VIII Conclusion

À travers cet article nous constatons que le transfert de la puissance dans le système dépend de plusieurs paramètres. Nous remarquons aussi que les chutes de tension au nœud de connexion dépendent fortement de la contribution en puissance réactive du réseau. Ainsi, un contrôle adéquat de la puissance réactive permet de stabiliser la tension au point de connexion commun, soit en injectant ou en absorbant de la puissance réactive du réseau. Nous avons montré clairement l'intérêt capital d'un STATCOM dans les réseaux de distribution d'énergie. Le STATCOM avec son apport en énergie réactive permet de stabiliser une tension à une valeur relativement constante. En sa présence aussi, il peut éviter la déconnexion, suite aux déclenchements d'équipements de protection de ou des éoliennes en défaut dans le parc éolien. Il a été montré par des résultats de simulation que la tension au point connexion entre l'éolienne à vitesse fixe et le réseau fluctuait moins en présence d'un STATCOM qu'à son absence.

REFERENCES

- [1] Modélisation et simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque Hacini née Belghitri Houda 2010
- [2] Hydro-Quebec Richard Gagnon 2006
- [3] Etude d'un compensateur statique pour éolienne à vitesse fixe à base de génératrice asynchrone à cage MAMADOU BALDE décembre 2010
- [4] Lakdja Fatiha « Contrôle des transits de puissance par dispositif facts » Mémoire de



The INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS & OIL: FROM THEORY TO APPLICATIONS

March 05-06, 2013, Ouargla, Algeria



magister en Commande des processus Oran
2005.

- [5] Contrôle des Puissances Réactives et des
Tensions par les Dispositifs FACTS dans
un Réseau Electrique
HAIMOUR Rachida 2009