

### IV.1 Introduction

L'épuisement des ressources fossiles à plus ou moins long terme et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgente la maîtrise des consommations et les diversifications des sources d'énergie. Le développement des réseaux et leur orientation vers les smart grids font qu'une production décentralisée est de plus en plus présente dans nos systèmes. Le terme de production distribuée ou dispersée est aussi utilisé. Dans ce chapitre, nous examinons l'impact d'une production décentralisée matérialisée par une ferme éolienne sur la stabilité de la tension [18,19].

### IV.2 Description et Principe de fonctionnement d'une éolienne

Les systèmes éoliens transforment l'énergie cinétique du vent en énergie électrique à travers des aérogénérateurs. Les générateurs éoliens peuvent être connectés au réseau individuellement ou ils peuvent être groupés pour former des parcs éoliens. La plage de puissances des systèmes éoliens varie entre quelques kW (systèmes mini éoliens) jusqu'aux installations de quelques MW (grands systèmes éoliens). La conversion de l'énergie cinétique en énergie électrique 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 puis au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique. En fonction de la génératrice, il existe actuellement trois principaux types de systèmes éoliens :

- système éolien à vitesse fixe avec machine asynchrone à cage (Figure IV.1.a).
- système éolien à vitesse variable avec machine asynchrone à double alimentation (Figure IV.1.b).
- système éolien à vitesse variable avec machine synchrone à inducteur bobiné ou à aimants (Figure IV.1.c).

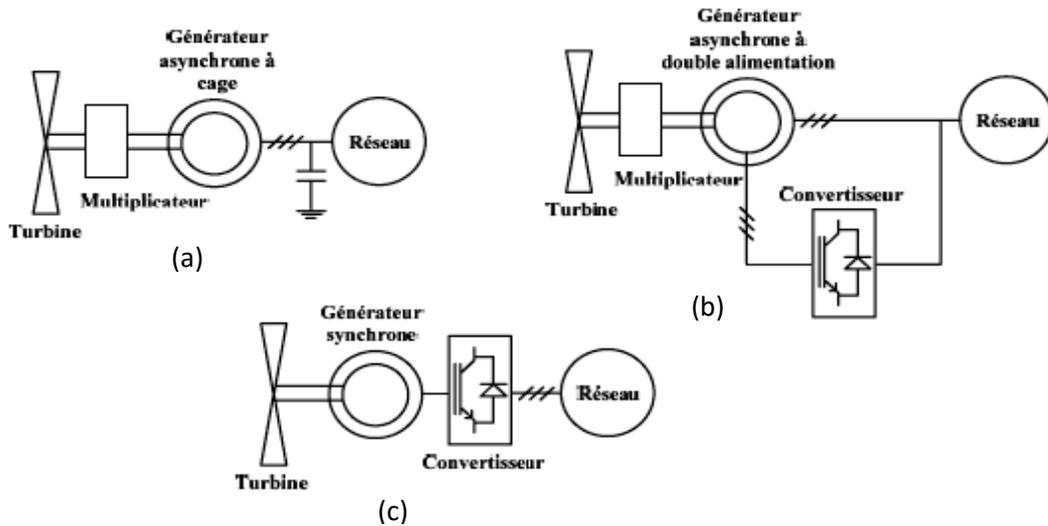


Figure IV.1 : Différents types de systèmes éoliens.

Indépendamment de la technologie de génération, la puissance mécanique extraite du vent est calculée par l'équation suivante [21].

$$P_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_v^3 C_p(\lambda, \theta)$$

avec :

$P_t$  : puissance extraite du vent [W]

$\rho$  : Densité de l'air [kg/m<sup>3</sup>]

$R$  : rayon de la turbine éolienne [m]

$C_p$  : coefficient de puissance

$\lambda$  : Rapport de vitesse (le rapport entre la vitesse de rotation des pales) [m/s]

$V_v$  : vitesse du vent [m/s]

$\theta$  : Angle de calage des pales [°]

A basses vitesses, le vent contient très peu d'énergie et la puissance générée par la turbine éolienne est nulle. La vitesse du vent à partir de laquelle la turbine éolienne commence à générer de la puissance active est autour de 2-4 m/s. La vitesse du vent pour laquelle la puissance nominale de la génératrice est atteinte se situe entre 12 et 16 m/s. Entre la vitesse minimale et la vitesse nominale, la puissance générée par la turbine éolienne dépend

directement de la vitesse du vent. Quand la vitesse du vent dépasse la vitesse nominale, la puissance du générateur doit être limitée de façon à ne pas surcharger le générateur et/ou le convertisseur (s'il est présent). Le rendement aérodynamique de la turbine doit donc être diminué pour limiter la puissance extraite du vent à la puissance nominale du système de génération. La courbe de puissance convertie d'une turbine en fonction de la vitesse du vent est généralement fournie par les constructeurs de la machine. La figure IV.2 montre les courbes typiques d'une turbine à vitesse constante contrôlée par décrochage aérodynamique et d'une turbine à vitesse variable contrôlée par angle de calage variable [21].

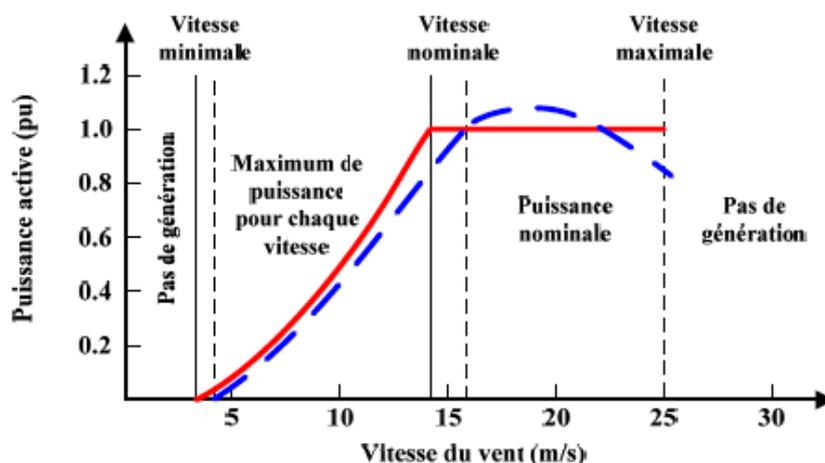


Figure IV.2 : Courbes puissance/vitesse du vent typiques pour une turbine à vitesse constant contrôlé par décrochage aérodynamique (bleu et à tiret) et pour une turbine à vitesse variable contrôlé par angle de calage variable (rouge et continue).

Actuellement, les éoliennes les plus fréquemment utilisées ont un axe horizontal et sont constituées de:

- \_ Un mat représentant un support permettant d'installer les pales que le vent peut tourner à une vitesse dominante.
- \_ Trois pales permettant d'accueillir le vent pour le transformer en énergie via le système de conversion.
- \_ Eventuellement, selon le type, d'un réducteur de vitesse permettant de fixer la vitesse de vent reçue par les pales.
- \_ Une génératrice électrique permettant de produire de l'énergie électrique.
- \_ Une interface, génératrice-réseau électrique, qui diffère selon les modèles permettant d'interconnecter l'éolienne au réseau électrique [22].
- \_

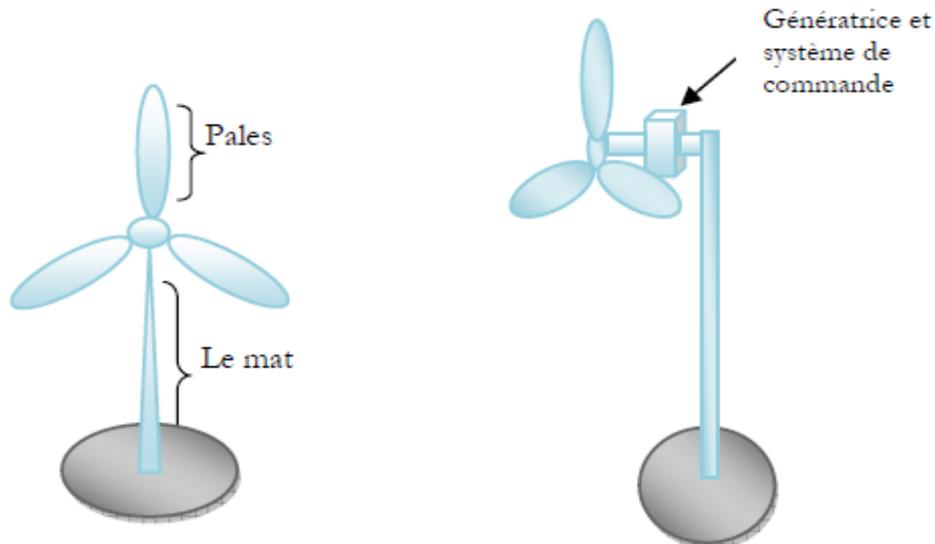


Figure IV.3 : Schéma d'une éolienne

#### IV.2.1 Intégration des aérogénérateurs (éoliens) aux réseaux électriques

L'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux électriques pose plusieurs problèmes.

Une forte intégration de la production décentralisée comme l'éolien peut engendrer l'apparition de deux phénomènes sur les réseaux à savoir :

Une variation du sens des flux de puissance, possibilité qui n'a pas été prise en compte lors de la conception des réseaux de distribution. Ces derniers ont été conçus pour alimenter des installations de consommation à faible coût et donc avec peu de possibilités de bouclage pour évacuer une puissance éolienne importante dans une zone à faible densité de charges. Typiquement, sur un réseau de distribution radial, l'énergie circule traditionnellement de point de production via le réseau de transport vers les charges. La connexion d'un groupe de production sur un départ peut inverser le sens du flux de puissance, entraînant un dysfonctionnement des protections [22]. Les fluctuations rapides de faibles amplitudes de la tension sont appelées flickers. Dans le cas des éoliennes, ces variations sont dues aux fluctuations de la vitesse du vent, aux limites mécaniques de l'éolienne et à l'effet d'ombre causé par le passage des pales devant le mat. Ce sont les éoliennes à vitesse fixe qui sont les plus défavorables du point de vue de ces phénomènes. La technologie d'éolienne la mieux adaptée pour limiter l'impact sur le réseau de ces variations est celle complètement interfacée avec le réseau via de l'électronique de puissance permettant ainsi un certain découplage entre l'éolienne et le réseau. Les éoliennes, interfacées au réseau via des convertisseurs d'électronique de puissance.

Les systèmes de génération via les fermes éoliens, tout comme la majorité des générateurs décentralisés, sont très sensibles aux perturbations du réseau et ont tendance à se déconnecter rapidement lors d'un creux de tension (dès que la valeur de la tension devient inférieure à 80% de la tension nominale) ou lors d'une variation de la fréquence.

Les variations rapides de la puissance générée par les éoliennes (pouvant atteindre quelques centaines de KW en quelques dizaines de secondes) tout comme les variations de charge, peuvent donc provoquer des fluctuations de la fréquence du réseau et activer le réglage primaire des groupes tournants. Cependant, lorsque le taux de pénétration de l'éolien reste faible, on peut négliger cette influence [22].

### IV.3 Impact de l'éolienne

Nous examinons l'impact de l'injection d'une éolienne dans le réseau sur les tensions aux bornes des machines 1, 2 et 3 et ce en l'absence de toutes autres perturbations que l'injection de la production décentralisée. Les conditions d'exploitation du réseau avant injection des productions décentralisées sont données dans la figure IV.4



Le schéma de connexion de l'éolienne à un nœud du réseau est donné par la figure IV.5 et que l'éolienne utilisée comprend une machine asynchrone de type <MADA>, la figure suivante montre l'éolienne utilisé successivement aux nœuds 4, 5 et 6 du réseau.

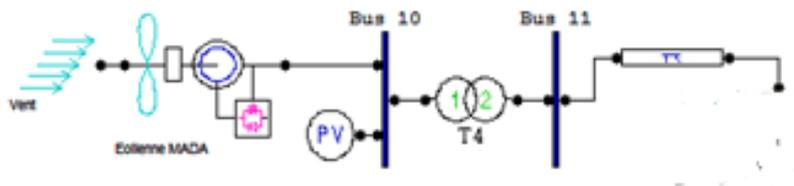


Figure IV.5 : l'éolienne à interconnecté

La figure suivante représente le réseau simulé par Matlab sur l'interface de Psat. Cette partie est consacré à traité le réseau en présence d'une éolienne connecté au réseau, l'objectif est de voir l'influence de l'éolienne sur le comportement des trois génératrice, déterminer le taux de pénétration et la position optimale pour installer l'éolienne sur ce réseau. La figure suivante montre un exemple du couplage de l'éolienne au nœud 5 et il sera de même pour les deux autres nœuds.

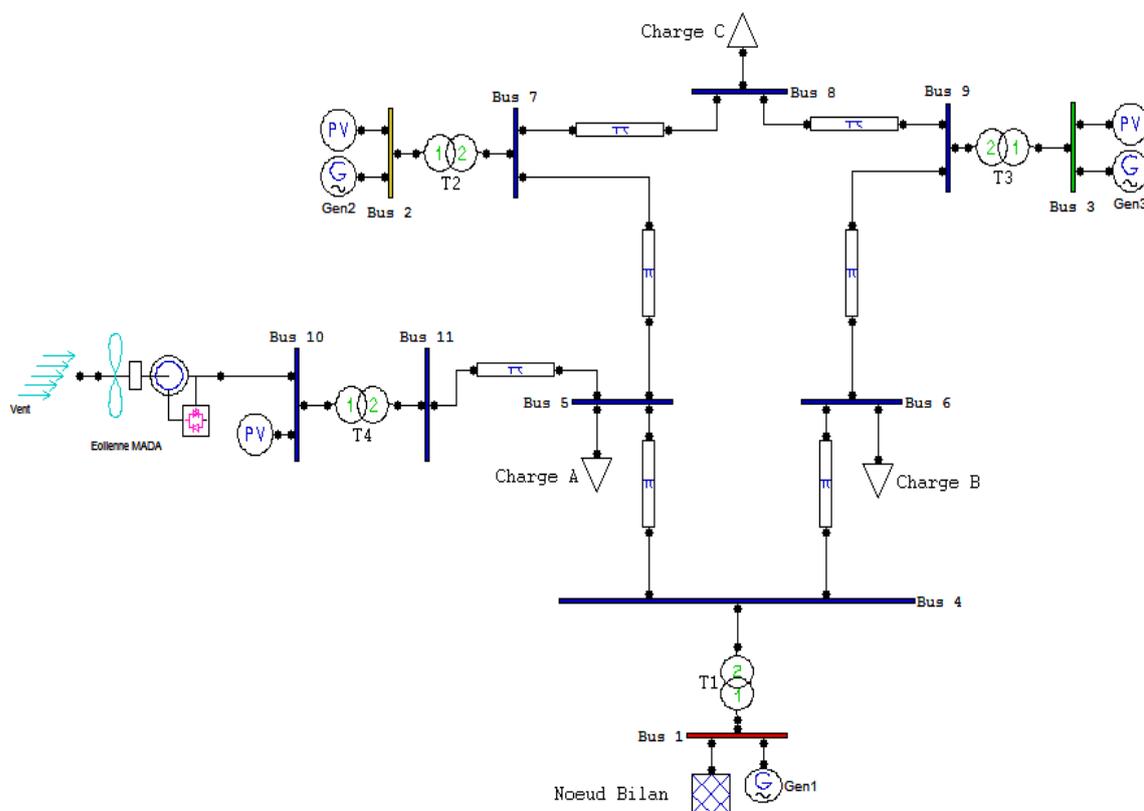
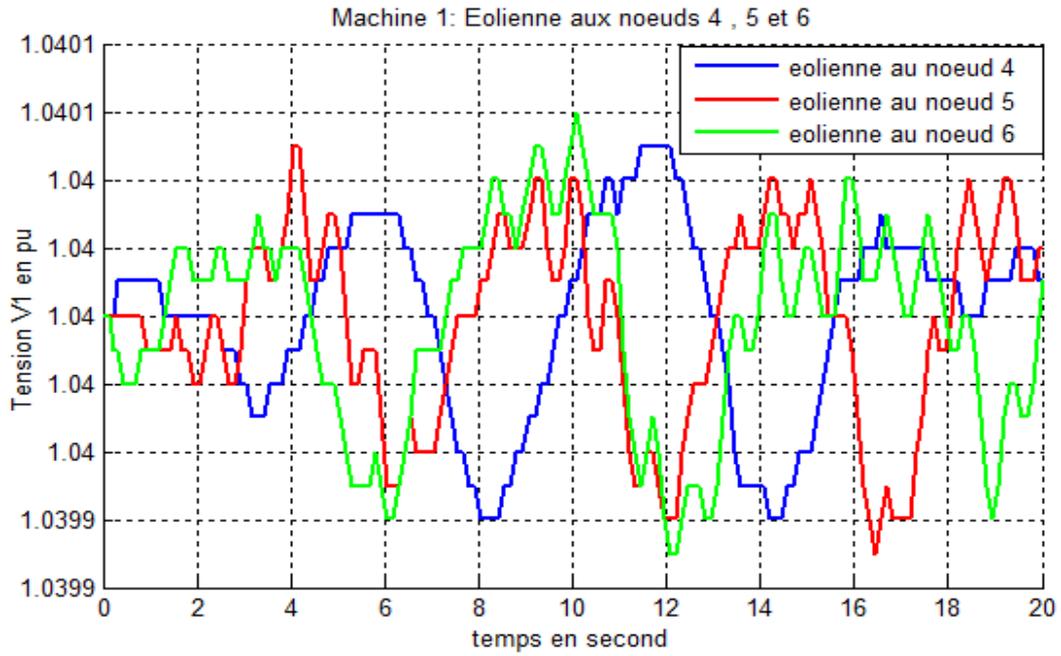
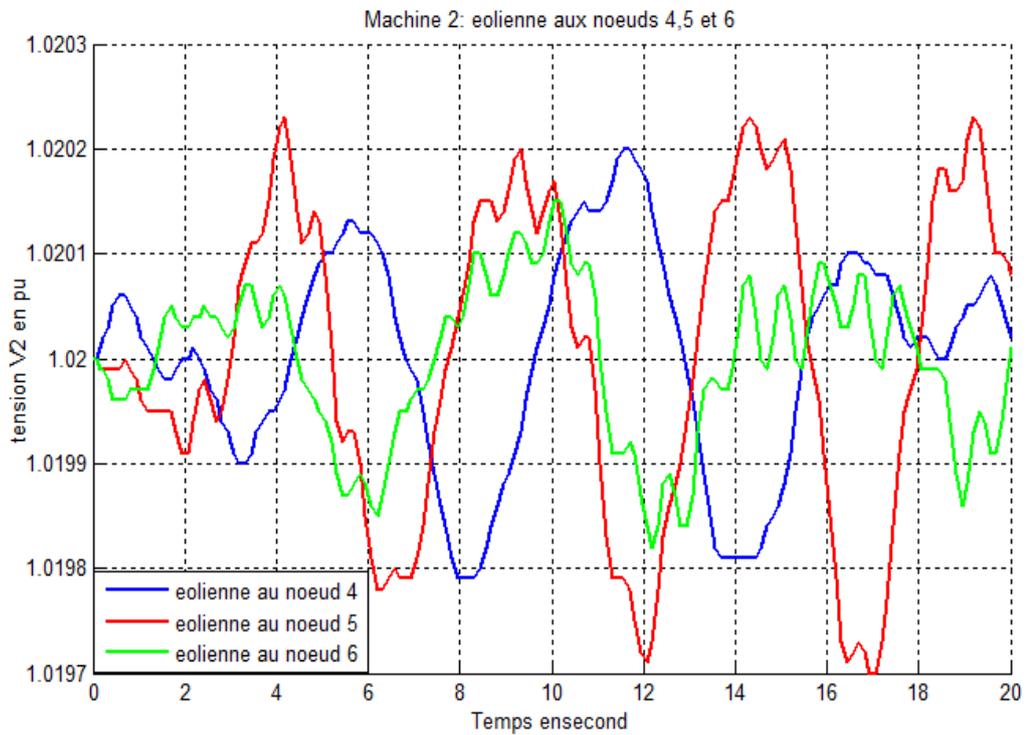


Figure IV.6 : Intégration de l'éolienne au réseau test.

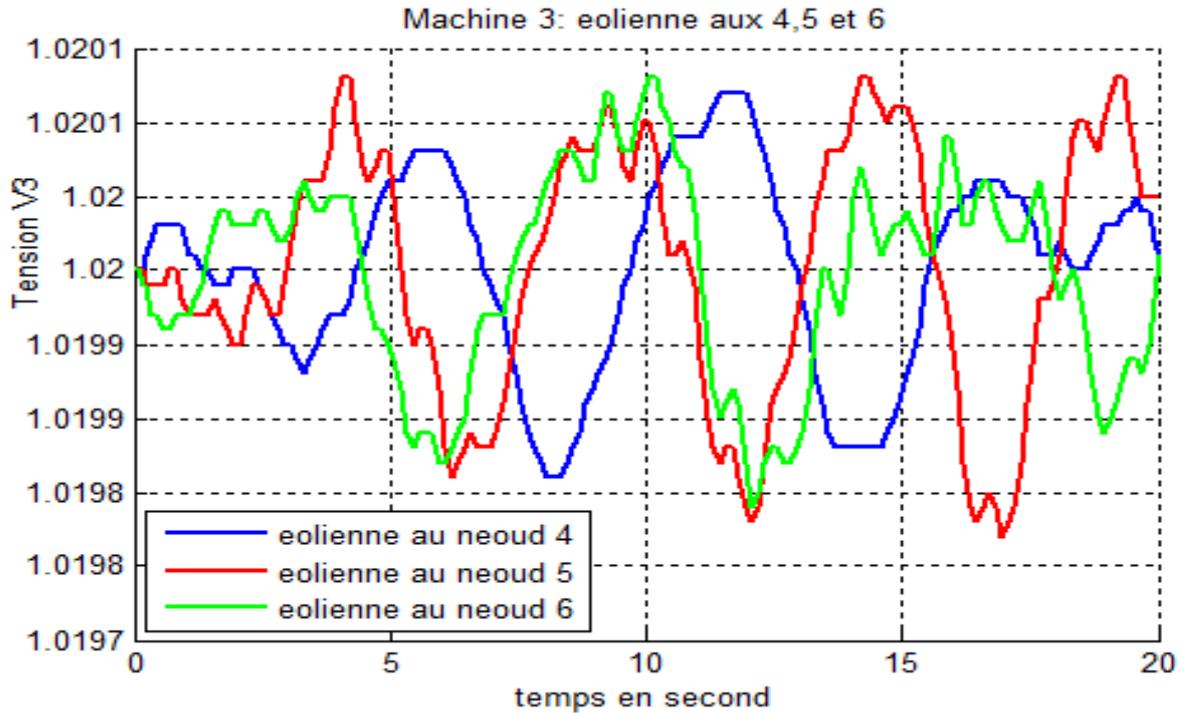
Les résultats obtenus sont dans les figures IV.7, IV.8 et IV.9



Figures IV.7 : connexion au nœud 4



Figures IV.8 : connexion au nœud 5



Figures IV.9 : connexion au nœud 6

L'intégration de l'éolienne aux nœuds 4,5 et 6 a suscité une réaction au niveau de chaque machine. Nous avons observé la tension de chaque machine. On constat des petites variations de cette dernier dans chacun de cas. Les courbes de la figure IV.7, IV.8 et IV.9 montrent clairement que lorsque l'éolienne est connecté au nœud 4 la tension au borne de chaque machine varie moins par rapport aux autres nœuds.

#### IV.4 Conclusion

Entre les deux réseaux, on remarque que l'insertion d'une éolienne au réseau peut décharger certaines lignes ceci est dû au fait que l'apport en puissance de cette éolienne change totalement la circulation de puissance du réseau, la puissance produite par l'éolienne provoque une diminution de la production dans les autres centrales et par la suite la puissance qui circule dans les lignes de ce réseau. Dans ce chapitre, nous avons montré l'impact de l'intégration d'une éolienne dans un réseau électrique à l'aide du logiciel PSAT, les résultats obtenus montrent que cette dernière a un effet bien clair sur les différents paramètres du réseau. Nous avons aussi montré l'importance de la position de raccordement de l'éolienne sur le réseau. D'après les résultats obtenus dans la simulation, nous pouvons dire que la position au nœud 4 est mieux adaptée.

Sommaire :

**Chapitre III : Production décentralisée**

IV.1 Introduction .....	61
IV.2 Description et Principe de fonctionnement d'une éolienne.....	61
IV.2.1 Intégration des aérogénérateurs (éoliens) aux réseaux électriques .....	64
IV.3 Impact de l'éolienne.....	65
IV.4 Conclusion .....	69