



Les codes de réseau de raccordement des parcs éoliens au réseau électrique

MAKHOULFI Saida

Attachée de Recherche

Division Energie Eolienne - CDER

E-mail: saida.makhloufi@cder.dz

L'intégration à grande échelle des parcs éoliens pose aux réseaux d'énergie électrique de nouvelles contraintes par rapport aux sources d'énergies conventionnelles dont le comportement est bien maîtrisé.

Afin de relever le défi de coordination d'une production d'électricité basée sur l'exploitation de l'énergie éolienne avec le reste du système électrique, de nombreux pays ont imposé dans leur code de réseau de nouvelles exigences relatives au raccordement et au fonctionnement des aérogénérateurs et parcs éoliens.

L'objectif des codes de réseau est de fixer des règles techniques de raccordement au réseau de transport de l'électricité, de conduite et de fonctionnement du système électrique (1) afin de garantir un niveau adéquat de sécurité et de fiabilité.

Pourquoi faut-il que le code de réseau tienne compte de l'éolien ?

La contrainte essentielle de l'intégration des parcs éoliens dans les systèmes électriques est liée au caractère de variabilité (intermittent, aléatoire et imprévisible) du vent. La puissance électrique produite par les éoliennes est fluctuante. Elle varie avec la variation de la vitesse du vent. Ceci peut être considéré comme une perturbation de puissance injectée dans le système électrique et peut mettre en danger la stabilité du système. De plus, les éoliennes modifient la structure du réseau; cette modification change les comportements dynamiques des machines lors d'une perturbation. D'où l'intérêt d'élaborer de nouvelles exigences de raccordement et de fonctionnement des parcs éoliens afin de garder au maximum les éoliennes connectées au réseau. Le système électrique doit résister aux différentes perturbations et avoir la capacité de contribuer à la stabilité et à la sécurité du réseau.

Comparaison entre différents codes de réseau

Trois codes de réseaux sont sélectionnés pour la comparaison :

- Le code de réseau d'EON (German transmission system Operator), un des deux opérateurs d'électricité Allemand
- Le code de réseau Danois, caractérisé par une forte pénétration de l'énergie éolienne.
- Le code de réseau Irlandais, un réseau isolé.

Les principales exigences dans un code de réseau sont liées aux contrôles (i) de la fréquence, (ii) de la tension et (iii) à la baisse de la tension en cas de défaut.

Contrôle de la fréquence

Dans un système électrique, il est important de maintenir la fréquence autour de sa valeur nominale (50 Hz). Le respect strict de cette valeur est non seulement nécessaire au bon fonctionnement des charges, mais également reste un indicateur d'équilibre entre les puissances actives produites et celles consommées. En effet, la fréquence diminue si la consommation est supérieure à la production. Inversement, la fréquence augmente lorsque la consommation est inférieure à la production.

Dans les premières installations des parcs éoliens, lors de la baisse de fréquence, les éoliennes étaient déconnectées du réseau, ce qui rendait difficile le rétablissement du système.

Dans les récents codes de réseaux, les éoliennes restent connectées au système et peuvent fonctionner dans une gamme de fréquence proche de la valeur nominale pendant une certaine période qui varie avec la déviation. Les exigences pour la fréquence changent selon le pays. Le tableau 1 montre que les limites les plus extrêmes sont fixées par le code de réseau Allemand.

Tableau 1. Les exigences sur les limites de la fréquence (2).

Pays	Limite de fréquence (Hz)	Durée maximale
Danemark	$48.5 < f < 51$	Continu
	$f < 48.0$ ou $f > 51.0$	25 min
	$f < 47.5$ ou $f > 52.0$	5 min
	$f < 47.0$ ou $f > 52.0$	10 sec
Allemagne	$49.0 < f < 50.5$	Continu
	$f < 48.5$ ou $f > 51.5$	30 min
	$f < 47.5$ ou $f > 51.5$ $f < 46.5$ ou $f > 53.5$	10 min 10 sec
Irlande	$49.5 < f < 50.5$	Continu
	$f < 47.5$ ou $f > 52.0$	60 min
	$f < 47.0$ ou $f > 52.0$	20 sec

La figure 1 illustre les limites de contrôle de la puissance active en fonction de la fréquence, données dans le code de réseau Irlandais.

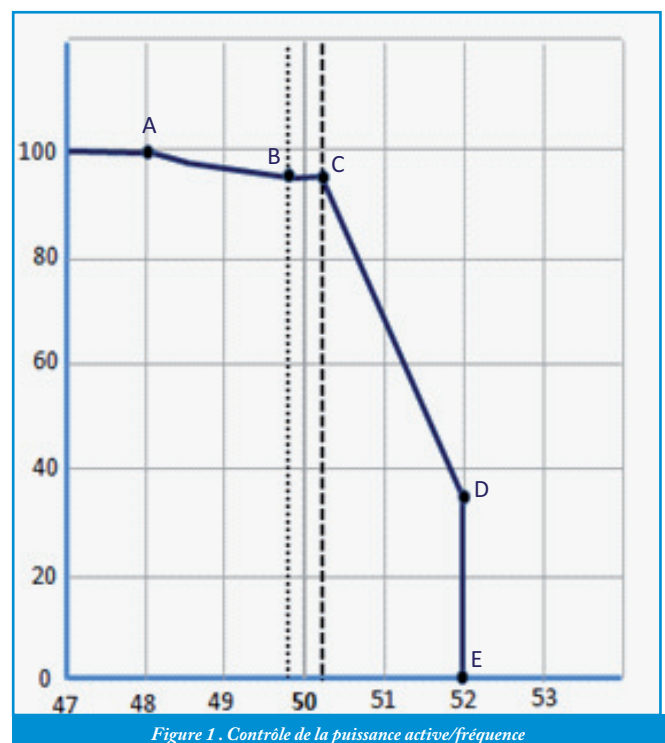


Figure 1. Contrôle de la puissance active/fréquence



La plage de fonctionnement normal des aérogénérateurs, dont la fréquence et la puissance active générée sont très proches de leurs valeurs nominales, est délimitée par les fréquences comprises entre les points B et C.

Si la fréquence est inférieure à celle du point « B », le système de contrôle agit, pour permettre la remontée de la fréquence et de la puissance active à leurs valeurs nominales situées sur le tronçon « B-C ».

Par contre, si la fréquence du système s'élève à une valeur supérieure à celle du point « C », le Système de contrôle agit pour diminuer progressivement les puissances actives produites par les aérogénérateurs. Dans le cas, où la fréquence du système est supérieure ou égale à 52 Hz correspondante à celles de la droite (D - E), le système de contrôle doit déconnecter les aérogénérateurs du réseau.

Contrôle de la puissance réactive et la régulation de la tension

Afin d'assurer un comportement correct des équipements électriques et respecter les engagements contractuels vis-à-vis des clients, la tension en tout point du réseau doit être maintenue dans une plage autorisée.

Les codes de réseaux exigent que la tension à la sortie des éoliennes soit maintenue à une valeur constante au moyen d'un régulateur de tension. Ce régulateur protège l'éolienne contre toute absorption ou production excessive de l'énergie réactive.

Les exigences sur les limites de la tension varient entre les trois pays (voir tableau 2). Pour ce qui concerne le facteur de puissance toléré, il est de 0,95 pour les charges capacitatives et inductives, à l'exception de l'Allemagne qui tolère un facteur de puissance inductif de 0.925 (2).

Tableau 2 . Les exigences sur les limites de la tension (3).

	Danemark		Allemagne		Irlande	
Fonctionnement en Continu	-10% 5%	400kV	-8% 10%	400kV	-13% 5%	400kV
	-3% 13%	150kV	-13% 12%	220kV	-9% 12%	220kV
	-5% 10%	132kV	-13% 12%	110kV	-10% 12%	110kV
Temps limité*	-20% 10%	400kV				
	-10% 20%	150kV	X		X	
	-10% 18%	132kV				

* Danemark (1 heure)

Baisse de tension en cas de défaut

Afin de garder les éoliennes connectées au réseau pendant et après l'élimination d'un défaut, de nouvelles exigences de fonctionnement ont été élaborées. Ces dernières permettent aux éoliennes de continuer à produire de la puissance malgré un défaut et permettent aussi la restauration rapide de puissance active et réactive aux valeurs pré-défaut.

Dans le tableau 3 sont données les baisses de tension admises en cas de défaut (low voltage ride-through LVRT) dans les 3 pays. Le parc éolien est déconnecté temporairement du système si la tension au point de connexion, pendant ou après une perturbation, est en dessous des niveaux fixés.

Tableau 3 . Les baisses de la tension admissibles en cas de défaut (4).

Pays	Pendant le défaut		Après l'élimination de défaut	
	Vmin (%)	Tmax (sec)	Vmin (%)	Tmax (sec)
Danemark	20%	0.500	90%	1.500
Allemagne	0%	0.150	90%	1.500
Irlande	15	0.625	90%	3.000

Sur la figure 2 , sont représentés les durées et les niveaux de tension associés aux aérogénérateurs tels qu'ils sont imposés par le code de réseau irlandais.

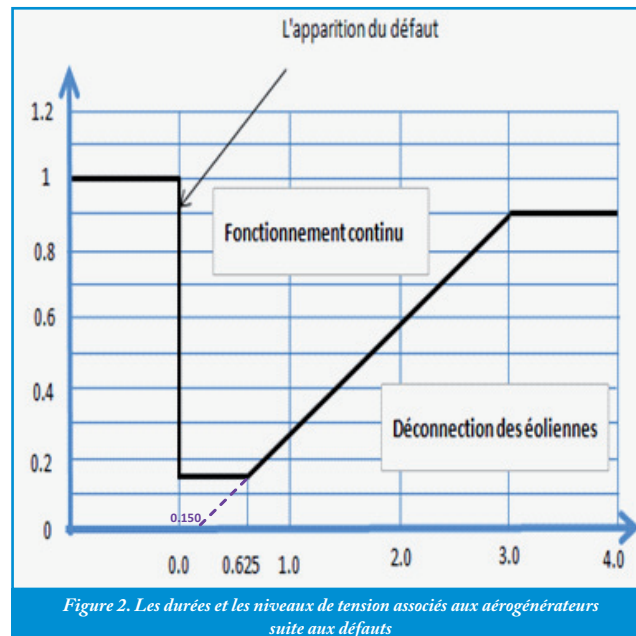


Figure 2. Les durées et les niveaux de tension associés aux aérogénérateurs suite aux défauts

Selon le code de réseau d'Irlande, le système de contrôle de la ferme éolienne doit être en mesure d'assurer le contrôle du fonctionnement du système dans les situations suivantes:

- Pendant la chute de tension, le système de contrôle doit fournir une puissance active proportionnelle à la tension de référence et maximiser le courant réactif transmis au réseau de transport sans dépasser les limites techniques caractérisant l'aérogénérateur. La maximisation du courant réactif doit se poursuivre pendant au moins 0.6 sec ou dès que la tension du réseau de transport reprend rapidement sa plage de fonctionnement normal.

- Le système de contrôle des fermes éoliennes contrôlables doit fournir au moins 90% de leurs puissance active maximale disponible aussi rapidement que la technologie le permet.

Quelle est la situation pour le code de réseau Algérien ?

Dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique, l'Algérie vise, à l'horizon 2030, un objectif de 40% d'énergie produite par les sources d'énergies renouvelables. Pour l'énergie éolienne, la puissance à installer est près de 2000 MW. Pour l'horizon 2015, il est prévu d'installer 30 MW dans le pôle Sud Adrar-Ain Salah (5). Une ferme de 10MW est en cours de réalisation à Kabertene.

Actuellement, le code de réseau Algérien ne tient pas compte des énergies renouvelables et notamment de l'énergie éolienne. Dans la région d'Adrar, le réseau n'est pas interconnecté avec le nord. C'est un réseau local (ou micro réseau). Le code de réseau à envisager pourrait être analogue à celui de l'Irlande. Des simulations doivent être effectuées avant de l'adopter.

Références

- (1) Règles techniques de raccordement au réseau de transport de l'électricité et règles de conduite du système électrique Algérien.
- (2) M. Mohsenia. Review of international grid codes for wind power integration : Diversity, technology and a case for global standard, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, No. 6, 2012, pp. 3876-3890
- (3) W.Christiansen. T. Johnsen. Analysis of requirements in selected Grid Codes. 2006
- (4) J.Schlabbach. Low voltage fault ride through criteria for grid connection of wind turbine generators. Electricity Market, 2008. EEM 2008. 5th International Conference on European.
- (5) Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. MEM. 2011.