



Qualité de l'énergie électrique et conditions de raccordement des parcs éoliens au réseau électrique

Dr SAHEB KOUSSA Djohra
Maitre de recherche A
Division Energie Eolienne - CDER
E-mail : d.saheb@cder.dz

Les aérogénérateurs sont actionnés par des forces de pression dynamique du vent, qui sont variables. De ce fait, lors de leur connexion au réseau électrique, ils constituent une charge fluctuante qui peut conduire à des variations de tensions responsables des phénomènes de Flicker et harmoniques et aussi à des variations de la puissance réactive. A ces problèmes dus aux variations aléatoires de la source éolienne, viennent se rajouter les problèmes liés aux incidents inattendus tels que les creux de tension ainsi que les coupures brèves.

Qualité de l'énergie électrique

1- Les variations de tension

Les variations lentes

Les variations lentes naissent dès la mise sous tension du transformateur assurant la connexion du système éolien au réseau. Ce qui peut se produire aussi lors de variation de la puissance produite par le système éolien. Il en résulte des fluctuations de tension dans le circuit. Ce phénomène reste acceptable lorsqu'il est ponctuel et devient gênant lorsqu'il est fréquent par le fait qu'il provoque un papillotement.

Les variations rapides (Flikers)

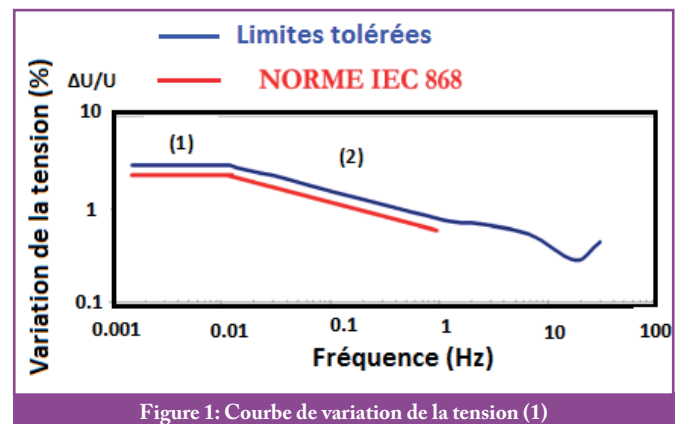
Le terme Flicker (ou papillotement) est utilisé pour désigner les variations rapides de puissance qui apparaissent dans le réseau électrique et risquent de provoquer des effets néfastes sur les équipements électriques tel que le scintillement des ampoules d'éclairage domestique. Les phénomènes de Flicker engendrés par les fermes éoliennes sont dus aux causes suivantes :

- L'ombre du mât dans le cas des éoliennes 'sous le vent' (downwind). Le mât affecte la puissance de l'éolienne par une diminution de la tension chaque fois qu'une pale passe devant le mât. La fréquence de variation correspondante est égale à 2 ou 3 fois la fréquence de rotation selon le nombre de pales (2 ou 3) ;
- L'effet de la couche limite terrestre qui provoque un cisaillement du profil du vent et par conséquent affecte aussi la puissance produite par le système ;
- Les variations brusques des rafales de vent qui perturbent le bon fonctionnement de la turbine et perturbent des variations brusques de la puissance produite.

A cet effet, la variation maximale permise de la tension dans un réseau est traitée et définie par la commission électrotechnique internationale IEC 868 (1). La méthode utilisée se base sur la courbe de variation de la tension (voir Figure 1) tout en respectant les deux conditions suivantes :

- La partie 1 montre que les variations lentes de la tension sont acceptables si elles sont inférieures à 3% de la tension nominale du réseau. Pour des raisons de sécurité, certaines directives européennes sont plus sévères et imposent que les variations lentes de la tension sont acceptables si elles sont inférieures à 2.5 % de la tension nominale du réseau (1)

- La partie 2 montre la limite acceptable du phénomène de Flicker.



2- La puissance réactive

Lors du raccordement d'une installation de production éolienne à un réseau électrique, il faut tenir compte du fait que selon sa puissance, l'installation doit produire ou absorber une puissance réactive. A cet effet, deux catégories de méthodes de compensation se présentent selon le type de la génératrice de l'éolienne

Cas des éoliennes à vitesse fixe et machine asynchrone à cage

Cette catégorie d'éoliennes n'a pas la capacité de participer au réglage de tension. Ainsi, dans les réseaux contenant ce type de machines, le réglage doit se faire à l'aide d'éléments de compensation de puissance réactive. Des critères dictés par la norme européenne sont alors imposée (voir le Tableau ci-dessous) :

Puissance nominale	$P_n < 1 \text{ MW}$	$1 \text{ MW} < P_n < 10 \text{ MW}$	$P_n > 10 \text{ MW}$
Puissance réactive à fournir	$0.4 P_n$	$0.1 P_n$	$> 0.6 P_n$
Puissance réactive à absorber	0	0	$1.2 P_n$

Cas des éoliennes à machine à double alimentation (MADA)

Pour les éoliennes à MADA, les convertisseurs électroniques associés sont caractérisés par des spécificités qui leur permettent de fonctionner en régime capacitif ou inductif de façon à fournir ou absorber de la puissance réactive.

3- Les harmoniques

Les limites des harmoniques de courant injecté dans le réseau électrique sont fixées par la norme internationale IEC TR 61000-3-6.

4- Les creux de tensions et les coupures brèves

Les causes

Les creux de tension sont produits par des courts circuits survenant dans le réseau où les installations raccordées, suivi de son rétablisse-



ment après une courte durée allant de 0.1-0.2 s en HT et de 0.2 s à quelques secondes en MT.

La coupure brève est la perte complète ou la disparition totale de la tension d'alimentation qui peut s'étaler pendant 10ms (une demi période de 50 Hz) jusqu'à 3 s. Elle se produit quand la tension d'alimentation ou le courant de charge diminue à moins de 0.1 pu (2).

Les effets

Les creux de tension et les coupures brèves conduisent à :

- Une perturbation du fonctionnement de l'installation éolienne telle que l'élévation de la tension provenant des creux de tension. Ce qui peut provoquer une surintensité dans les machines tournantes et par conséquent des sur-échauffements et des efforts aérodynamiques de brèves durées. Toutes ces contraintes engendrent une fatigue du matériel préjudiciable à terme.

- Une augmentation des pertes ou une altération de la production, une détérioration de l'outil de production aussi bien qu'une perte de temps pour la remise en état et la remise en route de l'outil de production (2).

Pour y remédier

Parmi les solutions qui peuvent être apportées à ces problèmes citons :

- L'augmentation du niveau de puissance de court-circuit disponible au point de raccordement des aérogénérateurs ;

- L'amélioration de l'efficacité de l'installation par l'utilisation de :

- Machine à vitesse variable (telles que la MADA) ;
- Dispositifs de compensation à réserve d'énergie pour assurer une fourniture de l'énergie électrique même pendant les creux de tension ou les coupures brèves (2).

Les appareils de vérification de la qualité de l'énergie

Les appareils numériques RMS

Les appareils numériques RMS sont des appareils qui mesurent la valeur efficace vraie d'un signal alternatif quel que soit sa forme sinusoïdale où déformée. Ainsi, à partir de la valeur efficace du courant mesuré, Le facteur de crête sera calculé ce qui permettra de juger s'il y a présence d'harmoniques ou pas.

L'analyseur de puissance et d'harmonique

L'analyseur de puissance électrique permet de mesurer la puissance en watts ou mesurer et analyser les harmoniques.

Le flickmètre

Cet appareil mesure selon la norme CEI 61000-4-15 (précédemment CEI 868). L'appareil de mesure de référence est défini dans la norme, ainsi que la méthode de calibration.

Conditions de raccordement des aérogénérateurs au réseau

Pour le raccordement des aérogénérateurs au réseau les caractéristiques suivantes doivent être définies (3) :

Pour le réseau

- La puissance de production décentralisée, hors éolienne, déjà raccordée sur le poste concerné ;

- La puissance éolienne déjà raccordée sur le poste concerné ;

- La puissance du plus petit transformateur dans laquelle les éoliennes à raccorder doivent pouvoir fonctionner ;

- Le point de couplage commun Pcc ;

- La puissance de court-circuit à l'endroit du Pcc ;

- L'angle de l'impédance du réseau.

Pour le système éolien

- La puissance apparente d'une éolienne ;

- Le nombre d'éoliennes à raccorder ;

- Le facteur de puissance minimum ;

- Le coefficient de Flicker en régime continu (variations rapides) ;

- Le coefficient de Flicker des opérations d'enclenchements et déclenchements (variations lentes) ;

- Le coefficient de variation de la tension ;

- Le nombre d'opérations d'enclenchement ou de déclenchement attendus respectivement pendant 10 minutes et 2 heures

Les caractéristiques techniques requises et applicables aux aérogénérateurs raccordés au réseau sont spécifiées par les normes de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) complétées par des normes allemandes DIN VDE, des normes spécifiques aux équipements et autres protocoles d'exploitation. Les principales normes applicables sont (3) :

- DS/EN 50160 'Caractéristique de la tension fournie par les réseaux publics de distribution'.

- IEC 60038 : Cette norme spécifie les plages de tensions normalisées.

- Normes internationales sur la limitation des harmoniques sur le réseau HT et MT (IEC TR 61000-3-6 : EMC limites).

- Normes internationales sur la limitation des variations de tension sur les réseaux HT et MT (IEC TR 61000-3-7 : EMC-limites).

- Normes internationales de limitation du Flicker (CEI 61000-4-15).

- Norme VDE DIN 0126 : pour les onduleurs permettant le déclenchement de l'équipement en cas de défaut ou de pertes de réseau.

- Norme IEC 61400-1et 2 Spécifications techniques des aérogénérateurs (grandes et petites puissances).

Références

1. A. Arbaoui, «Aide à la décision pour la définition d'un système éolien adéquat au site et à un réseau faible». Thèse de doctorat de l'école nationale supérieure d'arts et métiers, Centre de Bordeaux, France, 2006

2. Saheb - Djohra, Mourad Haddadi, and Maiouf Belhamel. Systèmes décentralisés connectés au réseau électrique : Etude technique, économique et environnementale des systèmes décentralisés connectés au réseau électrique. Éditions universitaires européennes, 2014.

3. http://www.ecreee.org/sites/default/files/event-att/3._iii_regulatory_conditions_in_law.technical_specifications.pdf.