

Programme général des essais de validation et de performance des centrales éoliennes raccordées au réseau de distribution d'Hydro-Québec

Rédige par :

Unités mobiles d'essais spéciaux (TransÉnergie)

Pour :

Direction Encadrement Réseau et Planification (HQP)

Juillet 2014

TABLE DES MATIÈRES

1	MODALITÉS DES ESSAIS DE VALIDATION ET DE PERFORMANCE	3
1.1	BUT DES ESSAIS.....	3
1.2	MODULES DES ESSAIS DE VALIDATION	3
1.3	MODULES DES ESSAIS DE PERFORMANCE	4
1.4	RÔLE DU PRODUCTEUR ET DU DISTRIBUTEUR.....	4
1.5	CERTIFICATION	5
1.6	VÉRIFICATIONS PÉRIODIQUES.....	5
2	DESCRIPTION DES ESSAIS DE VALIDATION	6
2.1	MODULE A – AUTOMATISMES ET PROTECTION	6
2.2	MODULE B – MISE SOUS TENSION DES ÉOLIENNES	7
2.3	MODULE C - LA QUALITÉ DE L’ONDE	8
2.4	MODULE D – LA PROTECTION ANTI-ÎLOTAGE.....	10
2.5	MODULE E - LA RÉGULATION DE TENSION PRIMAIRE	12
2.6	MODULE F - LE COMPORTEMENT LORS DE SOUS-TENSION (LOW VOLTAGE RIDE THROUGH)	14
2.7	MODULE G - LA RÉGULATION DE FRÉQUENCE	16
3	DESCRIPTION DES ESSAIS DE PERFORMANCE.....	19
3.1	MODULE H - LA RÉGULATION DE TENSION SECONDAIRE.....	19
3.2	MODULE I - LE FACTEUR DE PUISSANCE.....	22
3.3	MODULE J - LES TAUX MAXIMAUX DE RAMPE.....	24

PRÉAMBULE

La norme E.12-01 « *Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec* » contient une section spécifique pour les exigences associées à la production éolienne. Afin de démontrer que ces exigences sont respectées, le propriétaire d'une centrale éolienne doit réaliser à ses installations des essais dits de validation et de performance. Deux documents émis par le Distributeur encadrent le contenu de ces essais :

- 1) *Le programme général des essais de validation et de performance* (le présent document) qui est commun à toutes les centrales éoliennes raccordées à 44 kV ou moins. Il décrit les essais de validation et de performance à réaliser aux centrales éoliennes sans tenir compte des spécificités des installations. Ce document est disponible sur le site internet contenant les exigences techniques, normes et codes de raccordement au réseau du Distributeur¹. À noter qu'un programme général des essais de validation existe aussi pour le Transporteur (dans le cas où la centrale éolienne est raccordée à plus de 44 kV).
- 2) *La procédure détaillée des essais de validation et de performance* qui est particulière à chaque centrale éolienne et qui contient la séquence complète et spécifique des essais pour cette centrale. Cette procédure tient compte notamment du type de technologie éolienne utilisée, du point de raccordement et des exigences en vigueur à cette centrale. Pour les besoins du réseau local, le Distributeur pourrait y inclure des essais complémentaires pour vérifier certains aspects non spécifiés dans le programme général des essais. Elle est remise au Producteur au moins quatre semaines avant la date prévue pour la mise sous tension initiale de la centrale.

La première section du présent document décrit les modalités des essais. À la deuxième et troisième section, on retrouve la description des essais lesquels sont séparés en dix modules.

¹ http://www.hydroquebec.com/transenergie/fr/commerce/raccordement_distribution.html

DÉFINITIONS

Centre de téléconduite

Centre d'exploitation régionale du Transporteur.

Centre d'Exploitation de Distribution

Centre de contrôle du Distributeur

Low Voltage Ride Through

Capacité des éoliennes à demeurer en service lors d'une baisse de tension due à un défaut.

P_{nom}

Puissance active nominale d'une centrale ou d'une unité de production.

Tension terminale

Tension à la sortie de l'éolienne, c'est-à-dire aux bornes moyenne tension du transformateur de l'éolienne (typiquement, niveau de tension 25 kV).

NORMES ASSOCIÉES

- C.22-03 Exigences techniques relatives au raccordement des charges fluctuantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec
- C.25-01 Exigences techniques relatives au raccordement de charges déformantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec
- E.12-01 Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec
- E.12-03 Exigences de maintenance périodique des équipements utilisés pour l'intégration d'un Producteur/Client-producteur au réseau d'Hydro-Québec Distribution

1 Modalités des essais de validation et de performance

1.1 But des essais

Les essais demandés par le Distributeur poursuivent deux buts :

1. Démontrer que la centrale éolienne réponde aux exigences techniques du Distributeur relatives à la production éolienne ;
2. Valider les modèles numériques et les paramètres associés de la centrale, notamment ceux fournis par le Producteur au Distributeur. À cette fin, la réponse des modèles sera comparée aux enregistrements pris lors des essais ;

La réussite des essais de validation et de performance constitue un des éléments requis pour l'acceptation finale du raccordement par le Distributeur.

Le présent document est séparé en deux parties : les essais de validation (section 2), qui doivent être réalisés avant la mise en service commerciale et les essais de performance (section 3), réalisés après la mise en service commerciale mais requis notamment pour déclarer l'acceptation finale. Pour connaître davantage sur l'ordre chronologique du raccordement, s'adresser au délégué commercial.

Notez que le Distributeur ou un représentant doit assister en tant que témoin à tous les essais incluant aussi les essais hors-réseau et les essais en-réseau tel que défini dans le document « Étude de raccordement » aux sections 5.1, 5.2 et 5.3.

Tous les essais doivent être coordonnés avec le Distributeur dans les semaines et les jours précédant les essais, et avec le CED (Centre d'exploitation de distribution) concerné le jour des essais.

1.2 Modules des essais de validation

Les essais de validation sont séparés en six modules qui visent à vérifier :

- **Module A** **Les automatismes et protection**
- **Module B** **La mise sous tension des éoliennes**
- **Module C** **La qualité de l'onde**
- **Module D** **La protection anti-îlotage**
- **Module E** **La régulation de tension primaire**
- **Module F** **Le comportement lors de sous-tension (Low Voltage Ride Through)**
- **Module G** **La réponse en fréquence**

Les essais des modules A, B et C sont réalisés systématiquement sur toutes les centrales. Les essais des modules D, E, F et G peuvent être faits avant la mise sous tension initiale. Le module D peut être effectué sur une ou plusieurs éoliennes, cependant, les modules E, F et G doivent être réalisés sur une seule éolienne.

Les essais de validation doivent être faits, sans délai excessif, après la première synchronisation de la centrale.

Dix jours ouvrables sont réservés pour la rédaction du rapport d'essais de validation.

1.3 Modules des essais de performance

Les essais de performance sont séparés en quatre modules qui visent à vérifier :

- **Module H La régulation de tension secondaire**
- **Module I Le facteur de puissance**
- **Module J Les taux maximums de rampe**

Les essais des modules H, I et J sont faits sur l'ensemble de la centrale et doivent être préférablement réalisés une fois que toutes les éoliennes sont en service et sans restriction de production. Afin de valider la régulation de tension secondaire (module H), le contrôleur de tension doit être en service.

Vingt jours ouvrables sont réservés pour la rédaction du rapport d'essais de performance.

1.4 Rôle du Producteur et du *Distributeur*

Le Producteur a l'obligation de réaliser des essais de validation et de performance afin de démontrer que ses installations satisfont les exigences du Distributeur. Il doit, au moins trois mois d'avance, informer le Distributeur de la fenêtre de temps où il prévoit faire les essais. Le Producteur devra par la suite, et ce dans les meilleurs délais, aviser le Distributeur de tout déplacement de cette fenêtre de temps.

Le Producteur doit permettre au Distributeur d'installer, dans les installations du Producteur, l'instrumentation pour effectuer les essais et analyser les résultats tels que l'installation d'un système de surveillance au point de raccordement ou à la barre moyenne tension du poste de départ, ainsi qu'à une unité de production par artère. Le système de surveillance pourra enregistrer des signaux de façon continue ou sur détection de dépassement de seuils associés à des perturbations. Ces signaux sont principalement des tensions et courants électriques, mais pourraient aussi être des variables mécaniques ou d'autres signaux. Le Producteur doit aussi fournir et installer des câbles de fibres optiques et des liens de communication de réserve que le Distributeur pourra utiliser pour les essais ou pour la surveillance continue (voir les sections 2 et 3, les enregistrements requis pour chaque module d'essais). Le Producteur doit réaliser les mises hors tension nécessaires pour l'installation et le débranchement de l'instrumentation et ce, sans frais pour le Distributeur. La surveillance sera faite tout au long de l'exploitation de la centrale éolienne.

1.5 Certification

Si les résultats des essais sont jugés concluants par le Distributeur, la centrale éolienne sera considérée comme répondant aux exigences du Distributeur en regard de la version du logiciel (des contrôleurs de l'éolienne et de la centrale) vérifiée au moment des essais. Pendant toute la durée de l'exploitation de la centrale éolienne, le Producteur devra aviser le Distributeur si une nouvelle version des logiciels est implantée et documenter les modifications apportées dans cette nouvelle version. Le Producteur doit aussi aviser le Distributeur de tout changement dans la régulation de tension de ses installations. Le Distributeur pourra, dans l'un ou l'autre de ces cas, exiger que soit repris une partie ou la totalité des essais de validation et ce, aux frais du Producteur.

Le Distributeur peut renoncer à exiger la réalisation de certaines parties des essais de validation pour les centrales dont la conception, le type d'éoliennes et la version du logiciel des contrôleurs ont déjà subi avec succès le programme d'essais à une centrale intégrée à son réseau (ou le réseau du Transporteur). Si tel est le cas, le Producteur doit produire un rapport complet portant sur des essais réalisés démontrant qu'elle réponde aux exigences du Distributeur.

1.6 Vérifications périodiques

Des vérifications périodiques (Approximativement aux cinq ans) feront l'objet de demandes spécifiques de la part du Distributeur. Le Producteur devra, à ses propres frais, réaliser ces essais et fournir les conditions appropriées, notamment pour l'installation de l'instrumentation nécessaire. Le Distributeur fournira la procédure d'essais et pourra témoigner aux essais s'il le désire. La procédure pour ces essais sera similaire à celle des essais initiaux et ce afin de pouvoir comparer les résultats.

Ne pas confondre les vérifications périodiques mentionnées dans la présente section avec les exigences de la norme E.12-03 intitulée « Exigences de maintenance périodique des équipements utilisés pour l'intégration d'un Producteur/Client-producteur au réseau d'Hydro-Québec Distribution » stipulant que les essais fonctionnels de maintenance doivent être effectués une fois par année. La norme E.12-03 demeure pleinement en vigueur.

2 Description des essais de validation

Les essais de validation sont requis pour autoriser la production continue.

2.1 Module A – Automatismes et protection

But

Le but de cet essai est de vérifier le bon fonctionnement des automatismes et appareils de protection.

Exigences

Démontrer que chacun des systèmes de protection peut produire une séquence complète de déclenchement initiant l'ouverture du disjoncteur principal. De plus, vérifier le fonctionnement du verrouillage du disjoncteur principal de la centrale.

Description des essais

La lecture des courants et des tensions devra être validée par les relais de protection en amplitude et en phase.

Le déclenchement du disjoncteur principal doit être initié par chacun des systèmes de protection. À cette fin, forcer le ou les contacts de sortie des relais de protection afin de simuler le fonctionnement du relais de protection pour provoquer un déclenchement du disjoncteur principal. Durant cet (ces) essai(s), la ou les génératrices doit (doivent) fonctionner en synchronisation avec le réseau HQD, à puissance réduite.

La temporisation de 5 minutes du mécanisme de verrouillage du disjoncteur principal de la centrale doit être aussi validée. Cette temporisation doit être activée seulement quand la tension sur les trois phases est présente au poste de départ. Une fois le délai terminé, le disjoncteur principal a la possibilité d'enclencher.

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés au poste de départ :

- Courants des trois phases
- Tensions des trois phases
- États de relais de protection

2.2 Module B – Mise sous tension des éoliennes

But

Valider que la mise sous tension des éoliennes respecte les limites de variations rapides de tension.

Exigences

Les résultats de ces essais doivent montrer que la centrale éolienne répond aux spécifications décrites dans la norme C.22-03 « *Exigences techniques relatives au raccordement des charges fluctuantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec* ».

Description des essais

Les essais consistent à valider que le courant d'appel des transformateurs lors de la mise sous tension des éoliennes ne provoque pas une chute de tension supérieure à la valeur prescrite dans le tableau IV de la norme C.22-03.

Les essais doivent être faits avec au moins 80 % des éoliennes de la centrale en service. Dans le cas où le poste est scindé en deux parties (deux artères), le minimum de 80 % doit être considéré pour chaque partie. Lors des essais, aucune éolienne ne doit être indisponible de façon volontaire.

Essais du module B

Suivre la procédure normale établie par le producteur pour faire la mise sous tension du parc des éoliennes.

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés au poste de départ :

- Tensions des trois phases
- Courants des trois phases

2.3 Module C - La qualité de l'onde

But

Le but de ces essais est de démontrer que la centrale respecte les limites de papillotement, variations rapides de tension, harmoniques et injection de courant continu.

Exigence

Les exigences des normes C.22-03 « *Exigences techniques relatives au raccordement des charges fluctuantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec* », C.25-01 « *Exigences techniques relatives au raccordement de charges déformantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec* » et E.12-01 « *Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec* » devront être respectés.

Description des essais

Les essais doivent être faits avec au moins 80 % des éoliennes de la centrale en service. La production des éoliennes en service doit être supérieure à 50 % de leur puissance nominale. Dans le cas où le poste est scindé en deux parties (deux artères), le minimum de 80 % doit être considéré pour chaque partie. Lors des essais, aucune éolienne ne doit être indisponible de façon volontaire.

Pendant 60 minutes, les mesures suivantes au point de raccordement doivent être effectuées.

- production de la centrale (puissance active, réactive, facteur de puissance) moyenne de 10 minutes ;
- papillotement court-terme (Pst 10 minutes) à l'aide d'un appareil de mesure conforme à la norme CEI 61000-4-30 ;
- harmonique de courant (individuels du rang 2 à 50, distorsion totale) intégré sur 10 minutes à l'aide d'un appareil de mesure conforme à la norme CEI 61000-4-30 ;
- injection de courant continu (installation munie d'onduleurs).

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés à la moyenne tension du poste de départ :

- Tensions des trois phases
- Courants des trois phases

Les signaux suivants seront enregistrés à l'éolienne :

- Tensions des trois phases du côté basse tension
- Courants des trois phases du côté basse tension

2.4 Module D – La protection anti-îlotage

L'exigence en matière d'anti-îlotage requiert qu'une protection soit activée dans l'installation du producteur dans le cas où le disjoncteur de départ de ligne du poste satellite ouvre intempestivement dans le but d'éviter la formation d'un îlot entre la centrale et les charges sur l'artère moyenne tension. Il suppose donc que chaque éolienne satisfait de façon indépendante à ces exigences.

But

Le but de ces essais est de vérifier que les éoliennes respectent l'exigence d'anti-îlotage et de mesurer le délai entre la formation d'un îlot et l'ouverture du disjoncteur principal de la centrale. Cet aspect sera validé alors que la régulation est en mode tension et en mode facteur de puissance.

Exigence

Les résultats de ces essais doivent montrer que l'îlot est éliminé à l'intérieur d'un délai de 2 secondes.

Description des essais

Les essais peuvent être effectués sur une ou plusieurs éoliennes. Les essais sont effectués avec une production correspondant à 50 % ou plus de la puissance nominale d'une éolienne.

Pour effectuer les essais, un dispositif capable d'interrompre le courant de charge doit être installé entre le mesurage d'Hydro-Québec et le disjoncteur principal à l'entrée du poste de départ afin d'isoler la centrale des charges de l'artère.

On doit disposer d'un banc d'essai raccordé en amont du disjoncteur du poste de départ. Ce banc d'essai doit être dimensionné de manière à permettre d'atteindre un ratio charge/puissance de 90%, 100% et 110%. Le facteur de puissance doit être approximativement 0.95 inductif.

Alors que la centrale produit l'équivalent de plus de 50 % de la puissance nominale d'une éolienne, le dispositif d'interruption doit ouvrir afin de simuler l'ouverture du disjoncteur d'artère au poste satellite. Ainsi, la protection dans le poste de départ doit détecter l'îlot et faire provoquer l'ouverture du disjoncteur du poste de départ.

Essais du module D

Partie 1 – La régulation est ajustée en mode tension

Essai D1.1 Ratio charge / puissance équivalent à 90% avec un facteur de puissance d'approximativement 0.95 inductif.

Essai D1.2 Ratio charge / puissance équivalent à 100% avec un facteur de puissance d'approximativement 0.95 inductif.

Essai D1.3 Ratio charge/ puissance équivalent à 110% avec un facteur de puissance d'approximativement 0.95 inductif.

Partie 2 – La régulation est ajustée en mode facteur de puissance

Essai D2.1 Ratio charge / puissance équivalent à 90% avec un facteur de puissance d'approximativement 0.95 inductif.

Essai D2.2 Ratio charge / puissance équivalent à 100% avec un facteur de puissance d'approximativement 0.95 inductif.

Essai D2.3 Ratio charge / puissance équivalent à 110% avec un facteur de puissance d'approximativement 0.95 inductif.

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés à une éolienne :

- Tensions des trois phases du côté basse tension
- Courants des trois phases du côté basse tension

Les signaux suivants seront enregistrés à la moyenne tension du poste de départ :

- Tensions des trois phases
- Courants des trois phases
- Signal de commande d'ouverture du dispositif capable d'interrompre le courant (ex. interrupteur)
- États de relais de protection d'anti-îlotage

2.5 Module E - La régulation de tension primaire

La régulation de tension primaire est réalisée par une boucle de régulation locale à l'éolienne. Généralement, c'est la réponse dynamique de cette boucle de régulation qui caractérise la régulation de tension instantanée (transitoire) de la centrale éolienne. Le programme suivant s'applique à cette situation générale où la puissance réactive nécessaire à la régulation provient uniquement des éoliennes.

But

Le but de ces essais est de mesurer la réponse locale dynamique d'une éolienne à une variation rapide de tension et de valider que cette réponse satisfait aux exigences en matière de régulation de tension.

Exigence

Les résultats de ces essais doivent montrer que la centrale éolienne répond aux spécifications décrites à la section *Régulation de tension* de la norme E.12-01 « *Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec* ».

Description des essais

Les essais sont effectués sur une éolienne. L'éolienne doit être isolée de tout système de régulation secondaire de tension. Pour chaque essai, la production de l'éolienne doit être supérieure à 50 % de sa puissance nominale.

La partie 1 des essais consiste à provoquer des variations de tension instantanées et de faible amplitude du côté moyenne tension de l'éolienne (tension terminale). Si l'on dispose d'un banc d'essai isolant l'éolienne via une impédance et qui permet de contrôler sa tension terminale, les variations de tension seront faites par ce système. Dans le cas contraire, les variations de tension seront générées par des manœuvres sur le réseau (manœuvres de batteries de condensateurs, d'inductances, etc.), en changeant la position des prises au(x) transformateur(s) de puissance du poste satellite ou au régulateur en ligne.

La partie 2 des essais consiste à injecter de faibles échelons de tension de durée limitée, directement au système de régulation de tension de l'éolienne. Ces essais ne sont possibles que si l'éolienne possède un système de régulation de tension accessible.

Essais du module E

Partie 1

Essai E1.1 Hausse instantanée de la tension terminale de l'ordre de 1 % à 2 %

Essai E1.2 Baisse instantanée de la tension terminale de l'ordre de 1 % à 2 %

Essai E1.3 Hausse instantanée de la tension terminale de l'ordre de 3 % à 5 %

Essai E1.4 Baisse instantanée de la tension terminale de l'ordre de 3 % à 5 %

Partie 2

Essai E2.1 Échelon positif de tension de l'ordre de 2 % et d'une durée de 1/2 à quelques secondes

Essai E2.2 Échelon négatif de tension de l'ordre de 2 % et d'une durée de 1/2 à quelques secondes

Essai E2.3 Échelon positif de tension de l'ordre de 5 % et d'une durée de 1/2 à quelques secondes

Essai E2.4 Échelon négatif de tension de l'ordre de 5 % et d'une durée de 1/2 à quelques secondes

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés à l'éolienne :

- Tensions des trois phases du côté basse tension
- Courants des trois phases du côté basse tension

2.6 Module F - Le comportement lors de sous-tension (Low Voltage Ride Through)

L'exigence en matière de sous-tension (Low Voltage Ride Through) requiert que les éoliennes demeurent en service lors de perturbations de la tension. Le programme d'essai suivant est réalisé sur une éolienne. Il suppose donc que chaque éolienne satisfait de façon indépendante à ces exigences.

But

Le but de ces essais est de vérifier que les éoliennes respectent l'exigence lors de sous-tension (Low Voltage Ride Through) et de mesurer la réponse d'une éolienne lors de perturbations sévères de la tension. De plus, ces essais pourront vérifier si une seule éolienne fournie suffisamment de courant lors de l'atteinte de la limite du LVRT pour faire déclencher le disjoncteur principal par surintensité à tension retenue.

Exigence

Les résultats de ces essais doivent montrer que la centrale éolienne répond aux spécifications décrites à la section *Exigence lors de sous-tension (Low Voltage Ride Through)* de la norme E.12-01 « *Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec* ».

Description des essais

Les essais sont effectués sur une éolienne. Une première série d'essais est faite avec une production correspondant à la puissance nominale de l'éolienne. Une deuxième série est faite avec un niveau de production correspondant à environ 20% de la puissance nominale de l'éolienne. Les durées de creux de tension spécifiées en cycles sont basées sur un réseau de fréquence 60 Hz. Par exemple, "9 cycles" équivaut à 0.15 secondes. Les amplitudes de tension représentent toutes des tensions phase-terre. Les amplitudes indiquées sur la courbe LVRT et dans la description des essais du module correspondent à la tension la plus basse.

On doit disposer d'un banc d'essai isolant l'éolienne du réseau via une impédance et permettant d'appliquer différentes valeurs de creux de tension aux bornes moyenne tension du transformateur de l'éolienne (tel que montré dans la norme CEI 61400-21).

Essais du module F

- Essai F1** Creux de tension sur trois phases d'amplitude 0,95 p.u., pendant 1 heure.
- Essai F2** Creux de tension sur une phase d'amplitude 0,90 p.u., pendant 10 minutes.
- Essai F3** Creux de tension sur trois phases d'amplitude 0,90 p.u., pendant 10 minutes.
- Essai F4** Creux de tension sur une phase d'amplitude 0,85 p.u., pendant 30 secondes.
- Essai F5** Creux de tension sur trois phases d'amplitude 0,85 p.u., pendant 30 secondes.
- Essai F6** Creux de tension sur une phase d'amplitude 0,75 p.u., pendant 2 secondes.
- Essai F7** Creux de tension sur trois phases d'amplitude 0,75 p.u., pendant 2 secondes.
- Essai F8** Défaut monophasé franc à la terre, d'une durée de 9 cycles.
- Essai F9** Défaut triphasé franc à la terre, d'une durée de 9 cycles.
- Essai F10** Défaut monophasé à la terre avec impédance d'amplitude 0,25 p.u., d'une durée de 60 cycles.
- Essai F11** Défaut triphasé à la terre avec impédance d'amplitude 0,25 p.u., d'une durée de 60 cycles.
- Essai F12** Défaut monophasé à la terre avec impédance d'amplitude 0,12 p.u., d'une durée de 30 cycles.
- Essai F12** Défaut triphasé à la terre avec impédance d'amplitude 0,12 p.u., d'une durée de 30 cycles.

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés à l'éolienne :

- Tensions des trois phases du côté moyenne tension
- Courants des trois phases du côté moyenne tension
- Tensions des trois phases du côté basse tension
- Courants des trois phases du côté basse tension
- Vitesse du rotor

2.7 Module G - La régulation de fréquence

But

Le but de ces essais est de vérifier que les éoliennes respectent les exigences en matière de régulation de fréquence.

Exigence

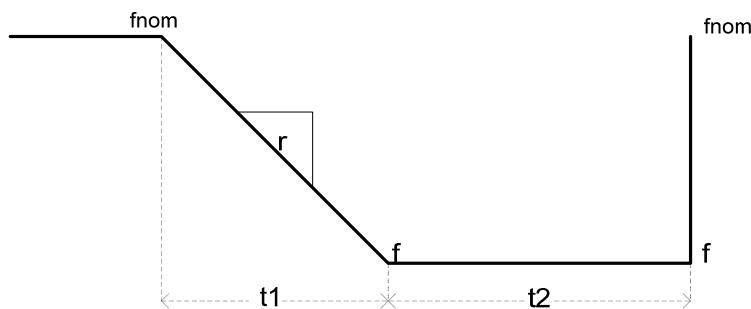
Les résultats de ces essais doivent montrer que la centrale éolienne répond aux spécifications décrites à la section *Régulation de fréquence (réponse inertielle)* de la norme E.12-01 « *Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec* ».

Description des essais

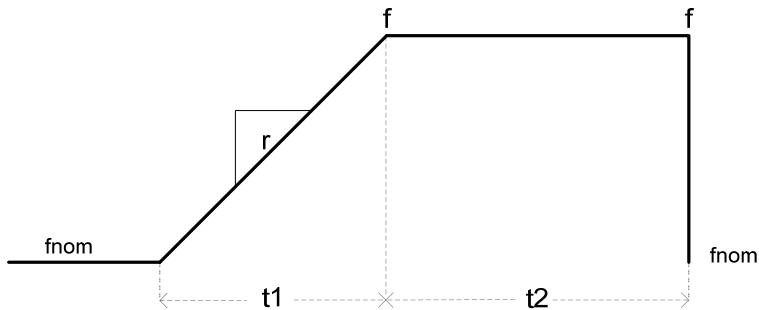
Les essais sont effectués sur une éolienne. La production de l'éolienne devra être entre 5% et 100% de sa puissance nominale, selon l'essai. Le niveau de production lors des essais devra refléter les conditions de vent c'est-à-dire que l'éolienne ne doit faire l'objet d'aucune limitation (curtailment) ou restriction de puissance.

Les essais consistent à appliquer des signaux de fréquence de durée limitée, directement au système de régulation de fréquence de l'éolienne. Ces signaux ont le profil suivant :

Pour les essais de la partie 1



Pour les essais de la partie 2



La valeur des paramètres f , t_1 , t_2 et r est définie pour chaque essai. Dans la section qui suit, ces valeurs sont données de manière approximative. Elles seront précisées dans les procédures d'essais où elles seront adaptées aux réglages et aux technologies des systèmes de régulation testés.

Dans le but de constater l'effet du contrôleur de pas des pales sur la réponse inertielle (phase de récupération), l'essai G1.8 est fait avec des conditions de vent où le pas des pales est au dessus de son minimum.

Essais du module G

Partie 1

Test G1.1 $f = 59$ Hz, $t_1 = 20$ secondes, $t_2 = 15$ secondes, $r = 0.05$ Hz/seconde
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G1.2 $f = 59.6$ Hz, $t_1 = 4$ secondes, $t_2 = 2$ secondes, $r = 0.10$ Hz/seconde
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G1.3 $f = 59$ Hz, $t_1 = 10$ secondes, $t_2 = 10$ secondes, $r = 0.10$ Hz/seconde
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G1.4 $f = 58.5$ Hz, $t_1 = 10$ secondes, $t_2 = 10$ secondes, $r = 0.15$ Hz/seconde
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G1.5 $f = 59$ Hz, $t_1 = 10$ secondes, $t_2 = 35$ secondes, $r = 0.10$ Hz/seconde
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G1.6 $f = 59$ Hz, $t_1 = 10$ secondes, $t_2 = 35$ secondes, $r = 0.10$ Hz/seconde
Production entre 5% et 10 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G1.7 $f = 59$ Hz, $t_1 = 10$ secondes, $t_2 = 35$ secondes, $r = 0.10$ Hz/seconde
Production à 100 % de la puissance nominale de l'éolienne.
Pas des pales à son minimum.

Test G1.8 $f = 59 \text{ Hz}$, $t1 = 10 \text{ secondes}$, $t2 = 35 \text{ secondes}$, $r = 0.10 \text{ Hz/seconde}$
Production à 100 % de la puissance nominale de l'éolienne.
Pas des pales au dessus de son minimum.

Partie 2

Test G2.1 $f = 60.35 \text{ Hz}$, $t1 = 7 \text{ secondes}$, $t2 = 20 \text{ secondes}$, $r = 0.05 \text{ Hz/seconde}$
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G2.2 $f = 60.8 \text{ Hz}$, $t1 = 16 \text{ secondes}$, $t2 = 20 \text{ secondes}$, $r = 0.05 \text{ Hz/seconde}$
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G2.3 $f = 61.0 \text{ Hz}$, $t1 = 10 \text{ secondes}$, $t2 = 20 \text{ secondes}$, $r = 0.1 \text{ Hz/seconde}$
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Test G2.4 $f = 61.2 \text{ Hz}$, $t1 = 6 \text{ secondes}$, $t2 = 20 \text{ secondes}$, $r = 0.2 \text{ Hz/seconde}$
Production entre 30% et 90 % de la puissance nominale de l'éolienne.

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés à l'éolienne :

- Tensions des trois phases du côté basse tension
- Courants des trois phases du côté basse tension
- Vitesse du rotor
- Position des pales
- Signaux d'entrée et de sortie du système de régulation de fréquence
- Vitesse du vent

3 Description des essais de performance

3.1 Module H - La régulation de tension secondaire

La régulation de tension secondaire peut, là où elle existe, être un complément judicieux à la régulation primaire. Elle peut notamment permettre de contrôler de manière continue la tension du côté moyenne tension des installations du Producteur (ou au point de raccordement). Le programme d'essais suivant s'applique lorsque la boucle de régulation secondaire est gérée par un système, que nous nommons *contrôleur de tension*, qui contrôle la production réactive des éoliennes en fonction d'une consigne de tension à la moyenne tension du poste de départ. Ce programme s'applique donc au cas général où la puissance réactive provient uniquement des éoliennes.

But

Le but de ces essais est de mesurer la réponse du système de régulation secondaire et de valider que cette réponse, en complément à la régulation primaire, permet de satisfaire aux exigences en matière de régulation de tension.

Les essais permettent aussi de vérifier, si cette option existe, le fonctionnement de la régulation avec statisme permanent.

Finalement, les essais servent également à vérifier la dynamique de la puissance réactive à la centrale lorsque le contrôleur de tension est mis en service et hors service.

Exigence

Les résultats de ces essais doivent montrer que la centrale éolienne répond aux spécifications décrites à la section *Régulation de tension* de la norme E.12-01 « *Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec* ».

Description des essais

Les essais sont faits avec au moins 80 % des éoliennes en service et la production de la centrale doit être supérieure à 50 % de la puissance nominale. Dans le cas où le poste est scindé en deux parties (deux artères), le minimum de 80 % doit être considéré pour chaque partie. Lors des essais, aucune éolienne ne doit être indisponible de façon volontaire.

La partie 1 des essais consiste à appliquer des variations de tension de faible amplitude sur le réseau. Ces variations de tension seront générées par des manœuvres sur le réseau (manœuvres de batteries de condensateurs, d'inductances, de changeurs de prises, etc.).

La partie 2 des essais consiste à appliquer des échelons de consignes au contrôleur de tension.

La partie 3 des essais, le contrôleur de tension sera mis hors service puis, une fois la puissance réactive stabilisée aux éoliennes, remis en service.

Les parties 1 et 2 des essais seront d'abord faites avec une régulation sans statisme permanent. Ces parties seront ensuite reprises avec différentes valeurs de statisme permanent allant de 2 % à 8 %. Ces essais peuvent nécessiter des changements de réglage (gains, constantes de temps, etc.) au contrôleur de tension.

La partie 3 des essais sera faite uniquement avec une régulation sans statisme permanent.

Essais du module H

Partie 1

Essai H1.1 Hausse de la tension du réseau de l'ordre de 1 %

Essai H1.2 Baisse de la tension du réseau de l'ordre de 1 %

Essai H1.3 Hausse de la tension du réseau de l'ordre de 3 %

Essai H1.4 Baisse de la tension du réseau de l'ordre de 3 %

Partie 2

Essai H2.1 Échelon de consigne de tension positif de l'ordre de 1 % à 2 %

Essai H2.2 Échelon de consigne de tension négatif de l'ordre de 1 % à 2 %

Essai H2.3 Échelon de consigne de tension positif de l'ordre de 3 % à 5 %

Essai H2.4 Échelon de consigne de tension négatif de l'ordre de 3 % à 5 %

Essai H2.5 Échelon de consigne de tension négatif de l'ordre de 3 % à 5 %, suivi d'un échelon de consigne positif de 2 % quelques secondes plus tard

Faire les parties 1 et 2 avec une régulation sans statisme permanent. Les refaire ensuite avec deux différentes valeurs de statisme permanent (entre 2 % et 8 %).

Partie 3

Essai H3 Mettre hors service le contrôleur de tension jusqu'à ce que la puissance des éoliennes soit stabilisée. Remettre ensuite en service le contrôleur de tension.

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés à une éolienne :

- Tensions des trois phases du côté basse tension
- Courants des trois phases du côté basse tension
- Vitesse du rotor
- Position des pales
- Vitesse du vent

Les signaux suivants seront enregistrés à la moyenne tension du poste de départ :

- Tensions des trois phases au point de raccordement
- Courants des trois phases au point de raccordement
- Tensions des trois phases au départ d'une artère
- Courants des trois phases au départ d'une artère

3.2 Module I - Le facteur de puissance

Dans ce programme d'essais, nous considérons le cas général où la puissance réactive de la centrale provient uniquement des éoliennes.

But

Le but de ces essais est de vérifier que la centrale satisfait aux exigences en matière de facteur de puissance et de mesurer la capacité maximale de puissance réactive de la centrale et d'une éolienne.

Exigence

Les résultats de ces essais doivent montrer que la centrale éolienne répond aux spécifications décrites à la section *Régulation de tension* de la norme E.12-01 « *Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec* ».

Description des essais

Idéalement, les essais doivent être réalisés avec au moins 80 % des éoliennes de la centrale en service. Dans le cas où le poste est scindé en deux parties (deux artères), le minimum de 80 % doit être considéré pour chaque partie. Selon l'essai, la production des éoliennes en service varie entre 10 % et 100 % de leur puissance nominale. Le distributeur pourrait dans certains cas accepter que les essais soient faits avec un nombre moindre d'éoliennes en service et extrapoler les résultats pour déduire la production (ou l'absorption) de puissance réactive maximale de la centrale. Des restrictions de tension sur le réseau local pourraient aussi imposer que ces essais soient faits avec un nombre restreint d'éoliennes.

Les essais consistent à produire et à absorber un maximum de puissance réactive, et ce avec différents niveaux de production et sur une plage de tension entre 0.94 pu et 1.06 pu du côté moyenne tension du poste de départ.

Ces essais peuvent nécessiter des changements de consignes au(x) système(s) de contrôle de tension.

Essais du module I

Essai I1 Éoliennes à environ 20 % de leur puissance nominale, puissance réactive capacitive maximale, pendant 1 heure

Essai I2 Éoliennes à environ 100 % de leur puissance nominale, puissance réactive inductive maximale, pendant 1 heure

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés à une éolienne :

- Tensions des trois phases du côté basse tension
- Courants des trois phases du côté basse tension

Les signaux suivants seront enregistrés à la moyenne tension du poste de départ :

- Tensions des trois phases
- Courants des trois phases

3.3 Module J - Les taux maximaux de rampe

But

Le but de ces essais est de vérifier que la centrale satisfait à l'exigence relative aux taux maximaux de rampe lorsqu'elle est démarrée ou arrêtée à l'aide d'un contrôleur de rampe.

Exigence

Les résultats de ces essais doivent montrer que la centrale éolienne répond aux spécifications décrites à la section *Taux maximaux de rampe lors des montées ou des baisses de la puissance* de la norme E.12-01 « *Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec* ».

Description des essais

Les essais doivent être faits avec au moins 80 % des éoliennes de la centrale en service. La production des éoliennes en service doit être supérieure à 50 % de leur puissance nominale. Dans le cas où le poste est scindé en deux parties (deux artères), le minimum de 80 % doit être considéré pour chaque partie. Lors des essais, aucune éolienne ne doit être indisponible de façon volontaire.

Les essais consistent à faire une séquence d'arrêt de la centrale puis une séquence de démarrage et observer si les taux appliqués pour les rampes sont respectés.

Ces essais peuvent nécessiter des changements de réglage au contrôleur de puissance de la centrale ou aux éoliennes.

Essais du module J

Essai J1 Taux de rampe ajusté à $P_{nom}/10$ minutes, arrêt complet de la centrale

Essai J2 Taux de rampe ajusté à $P_{nom}/10$ minutes, démarrage de la centrale

Essai J3 Taux de rampe ajusté à $P_{nom}/60$ minutes, arrêt complet de la centrale

Essai J4 Taux de rampe ajusté à $P_{nom}/60$ minutes, démarrage de la centrale

Enregistrements

Les signaux suivants seront enregistrés à une éolienne :

- Tensions des trois phases du côté basse tension
- Courants des trois phases du côté basse tension
- Vitesse du rotor
- Position des pales
- Vitesse du vent

Les signaux suivants seront enregistrés à la moyenne tension du poste de départ :

- Tensions des trois phases
- Courants des trois phases