

Caractéristiques de la tension fournie par le réseau de transport d'Hydro-Québec

Table des matières

Préambule	iii
1 Objet	1
1.1 Domaine d'application	1
1.2 Généralités	1
2 Termes et définitions	3
3 Méthodes générales de mesure	5
3.1 Valeurs enregistrées en continu.....	5
3.2 Valeurs enregistrées sur déclencheur.....	6
4 Caractéristiques de la tension d'alimentation	7
4.1 Fréquence de la tension d'alimentation	8
4.2 Amplitude de la tension d'alimentation.....	10
4.3 Tensions harmoniques	12
4.4 Tensions interharmoniques	14
4.5 Déséquilibre de tension.....	16
4.6 Papillotement.....	18
4.7 Variations rapides de tension (VRT)	19
4.8 Creux de tension	20
4.9 Surtensions temporaires	21
4.10 Coupures brèves	22
4.11 Surtensions transitoires.....	23
5 Références	24
Annexe A (informative) : Compatibilité électromagnétique des équipements avec l'alimentation.....	26
Annexe B (informative) : Représentation graphique de différentes caractéristiques.....	28
Annexe C (informative) : Statistiques de variations de fréquence.....	30
Annexe D (informative) : Méthode d'évaluation d'une variation rapide de tension.....	31
Annexe E (informative) : Indice de continuité – Transport	32

Préambule

La publication des *Caractéristiques de la tension fournie par le réseau de transport d'Hydro-Québec* a pour but :

- de faire connaître les balises généralement acceptées par la communauté internationale ou définies par Hydro-Québec pour différents phénomènes affectant la qualité de l'onde électrique ;
- de rappeler qu'il est normal que l'électricité livrée puisse faire l'objet de pertes de tension ou de perturbations de l'onde électrique ;
- d'inciter à tenir compte des informations fournies afin que, dans l'installation de client¹ et dans la centrale², les équipements soient adéquatement protégés et que l'utilisation de l'électricité soit organisée de manière à minimiser les impacts possibles des différents phénomènes si cela est nécessaire ;
- d'inciter les fournisseurs d'équipements à offrir les options requises pour assurer la compatibilité de leurs équipements avec l'alimentation électrique normale.

Le présent document est fondé sur les pratiques que proposent les normes nationales et internationales en matière d'alimentation électrique et tient compte également de caractéristiques propres au réseau d'Hydro-Québec. Parmi les normes sur la qualité de l'onde et la compatibilité entre les charges et leur alimentation électrique, la prépondérance a été accordée aux normes de l'Association canadienne de normalisation (Groupe CSA) et aux recommandations de la Commission électrotechnique internationale (IEC).

Les *caractéristiques de la tension* définies dans le présent document sont de nature générale ; elles ne doivent pas être interprétées comme étant complètes ou suffisantes pour assurer le bon fonctionnement d'une installation ou d'un équipement donné.

Il importe de prendre en considération l'ensemble des phénomènes ou caractéristiques pour assurer l'intégration adéquate d'une installation ou d'un équipement dans son environnement particulier, le tout selon les normes applicables et les règles de l'art en la matière.

¹ Au sens des *Exigences techniques de raccordement d'installations de client au réseau de transport d'Hydro-Québec* [1].

² Au sens des *Exigences techniques de raccordement de centrales au réseau de transport d'Hydro-Québec* [2].

1 OBJET

Le présent document décrit les principales *caractéristiques de la tension* fournie par le réseau de transport d'Hydro-Québec.

1.1 DOMAINE D'APPLICATION

Les *caractéristiques de la tension* définies dans le présent document s'appliquent, dans les *conditions normales d'exploitation*, aux *tensions nominales* se situant entre 44 kV et 345 kV inclusivement, et ce généralement au point de raccordement au réseau de transport d'Hydro-Québec.

Elles ne s'appliquent pas à la tension fournie par les réseaux suivants :

- un réseau électrique dans le cas d'*îlotage*³ ;
- un réseau de tiers qui alimente des installations de clients ou des postes d'Hydro-Québec de même que les parties du réseau d'Hydro-Québec alimentées par ces postes (p. ex., le réseau de Rio Tinto Alcan, la partie du réseau du Témiscamingue interconnectée avec l'Ontario, le réseau de la Société en commandite Hydroélectrique Manicouagan, la centrale Bryson synchronisée avec l'Ontario).

1.2 GÉNÉRALITÉS

Les *caractéristiques de la tension* présentées dans le présent document sont de nature générale et ne sont fournies qu'à titre indicatif. Elles donnent des indications de ce qui peut être prévu, sans que rien ne garantisse que les valeurs ou le nombre d'événements indiqués ne puissent être dépassés à un point de raccordement donné ou dans une zone particulière. Le présent document ne constitue pas une obligation ni une garantie de quelque nature que ce soit de la part d'Hydro-Québec TransÉnergie.

Par ailleurs, une électricité parfaitement conforme aux *caractéristiques de la tension* définies ne saurait garantir le fonctionnement satisfaisant des équipements ou procédés, qui ne peut être obtenu que si ceux-ci sont compatibles avec l'alimentation fournie. Des explications sur la compatibilité électromagnétique des équipements avec l'alimentation sont fournies à l'annexe A.

En aucun temps, les *caractéristiques de la tension* ne peuvent avoir pour effet de rendre inapplicables les dispositions des *Conditions de service d'électricité* [3] ni servir à interpréter le sens ou la portée de ces dernières.

³ L'*îlotage* au sens des *Exigences techniques de raccordement de centrales au réseau de transport d'Hydro-Québec* [2].

De même, les *caractéristiques de la tension* ne doivent pas être interprétées comme des valeurs d'émission de perturbations de l'onde électrique autorisées dans le réseau de transport d'Hydro-Québec [4].

2 TERMES ET DÉFINITIONS

Dans le présent document, on entend par :

Caractéristiques de la tension

Paramètres, indices et valeurs caractérisant la *tension d'alimentation* quant à sa fréquence, son amplitude, sa forme d'onde et la symétrie du système triphasé (tous sujets à des variations).

Les principaux paramètres des *caractéristiques de la tension* sont la fréquence, l'amplitude et les coupures (ou pertes) de la *tension d'alimentation*; les harmoniques et interharmoniques; le déséquilibre de tension; le papillotement; les variations rapides de tension; les creux de tension ainsi que les surtensions temporaires et transitoires.

Conditions normales d'exploitation

Conditions d'exploitation d'un réseau électrique permettant de répondre à la demande de la charge, comprenant généralement toutes les variations du niveau de charge et de production d'électricité et les manœuvres d'équipements que cela implique, ainsi que les retraits planifiés et les indisponibilités normales d'équipements selon lesquelles le réseau a été conçu.

Les *conditions normales d'exploitation* du réseau électrique excluent les circonstances suivantes :

- situations exceptionnelles généralement liées à des influences ou à des évènements externes (p. ex., conditions climatiques extrêmes, catastrophes naturelles, orages géomagnétiques, cas de force majeure, coupures de *tension d'alimentation* dues à des causes externes ou si la sécurité publique l'exige);
- non-conformité des installations de charge ou de production aux codes, normes ou règlements applicables, aux exigences techniques de raccordement ou aux limites d'émission de perturbations dans le réseau d'Hydro-Québec;
- conditions d'exploitation faisant suite à une panne ou prévalant dans des conditions provisoires d'alimentation durant des travaux d'entretien ou de construction ou ayant comme objectif de limiter l'étendue et la durée d'une coupure d'alimentation.

Période

Durée d'un cycle de l'onde fondamentale de la tension alternative du réseau. Pour une fréquence de 60 Hz, une période correspond à un soixantième de seconde, c'est-à-dire à une valeur d'environ 16,67 millisecondes⁴.

Période de mesure

Période de référence utilisée pour le relevé des mesures et l'établissement des classements statistiques.

Tension d'alimentation

Tension fournie par le réseau au point de raccordement au réseau.

Tension nominale

Tension efficace entre phases servant à désigner un réseau.

Valeurs indicatives

Valeurs quantifiant les paramètres et indices des *caractéristiques de la tension*.

Ces valeurs se traduisent généralement par des valeurs maximales ou des plages de valeurs qui ne devraient pas être dépassées pendant un pourcentage et un intervalle de temps définis.

Pour certaines *caractéristiques de la tension*, des valeurs sont plutôt données pour simplement faire état de statistiques ou d'informations existant sur le sujet, lorsque l'état actuel des connaissances ou de la normalisation, ou encore la nature aléatoire, imprévisible ou externe des phénomènes, ne permettent pas d'établir des plages de valeurs.

⁴ La valeur d'une demi-période est d'environ 8,33 millisecondes.

3 MÉTHODES GÉNÉRALES DE MESURE

Les méthodes utilisées pour mesurer les paramètres des *caractéristiques de la tension d'alimentation* sont généralement celles de la classe A de la norme CAN/CSA-C61000-4-30 [5].

Ces paramètres caractéristiques sont regroupés en deux catégories selon le type d'enregistrement des valeurs : valeurs enregistrées en continu ou valeurs enregistrées sur déclencheur.

3.1 VALEURS ENREGISTRÉES EN CONTINU

Les valeurs enregistrées en continu se rapportent en particulier à la fréquence et à l'amplitude de la *tension d'alimentation*, aux harmoniques, aux interharmoniques, au déséquilibre et au papillotement.

En général, l'intervalle d'agrégation privilégié est de 10 minutes pour permettre de refléter les phénomènes de durée continue résultant de la régulation de la tension par exemple. Les valeurs agrégées s'obtiennent en calculant la racine carrée de la moyenne arithmétique du carré des valeurs calculées sur chaque intervalle de 12 périodes consécutives dans un intervalle de 10 minutes considéré.

Pour le papillotement, l'algorithme d'agrégation des valeurs est précisé dans la norme canadienne CAN/CSA-IEC 61000-4-15 [6]. L'intervalle de temps d'agrégation appliqué dans le présent document est de 2 heures, car l'effet de gêne pouvant être ressenti résulte généralement d'une longue durée d'exposition au papillotement.

L'indice statistique utilisé pour fins de comparaison aux *valeurs indicatives* est généralement le 95^e centile⁵ des valeurs enregistrées sur une *période de mesure* d'une semaine. Les mesures peuvent toutefois s'étendre sur plus d'une semaine, au besoin.

Une valeur enregistrée est marquée lorsque se produit un creux de tension, une surtension temporaire ou une coupure de tension. Sauf pour l'amplitude de la *tension d'alimentation*, les valeurs marquées sont exclues de l'évaluation de l'indice statistique. Ceci a pour but notamment d'éviter de comptabiliser un événement plusieurs fois dans différents paramètres caractéristiques.

⁵ Le 95^e centile des valeurs enregistrées est la valeur telle que 95 % de ces valeurs lui sont inférieures ou égales, ou encore, telle que 5 % de ces valeurs lui sont supérieures.

3.2 VALEURS ENREGISTRÉES SUR DÉCLENCHEUR

Les valeurs enregistrées sur déclencheur se rapportent aux phénomènes transitoires de longue ou de courte durée, principalement liés à des événements en réseau. Ces valeurs concernent les paramètres des caractéristiques suivantes : les variations rapides de tension, les creux de tension, les surtensions temporaires, les coupures de tension, les surtensions transitoires ainsi que les variations de fréquence temporaires.

Une valeur est enregistrée lorsque le seuil fixé pour le paramètre correspondant est franchi.

Pour les creux de tension, les surtensions temporaires et les coupures de tension, la valeur de tension résiduelle est comparée au seuil fixé. Celle-ci est évaluée par la valeur efficace de la tension mesurée sur une *période* et rafraîchie à chaque demi-période. La valeur de tension résiduelle s'exprime en pourcentage de la *tension nominale*.

Pour les variations de fréquence temporaires, les variations rapides de tension et les surtensions transitoires, la méthode de mesure est spécifique et présentée aux sections 4.1, 4.7 et 4.11 respectivement.

De façon générale, pour les caractéristiques liées aux événements dont le nombre et la sévérité sont aléatoires, des valeurs sont données pour simplement faire état de statistiques ou d'informations existant sur le sujet.

En outre, la valeur maximale (et non centile) de ces caractéristiques est considérée dans la compilation statistique des événements étant donné notamment le nombre limité de ceux-ci.

L'évaluation statistique de ces caractéristiques s'effectue avec des données généralement relevées sur une *période de mesure* variant de quelques mois à plusieurs années, selon le niveau de fiabilité souhaité des *valeurs indicatives*.

4 CARACTÉRISTIQUES DE LA TENSION D'ALIMENTATION

Le tableau 1 établit, à titre indicatif, un classement général de différents aspects des *caractéristiques de la tension d'alimentation* décrites dans le présent document. On peut y distinguer la durée typique des phénomènes, leurs effets possibles sur les équipements, les différentes méthodes de mesure préconisées ainsi que le type de contrôle général pouvant être exercé sur ces *caractéristiques de la tension d'alimentation*.

Tableau 1
Classement général des caractéristiques de la tension d'alimentation

CARACTÉRISTIQUES	SECTION	DURÉE TIPIQUE DU PHÉNOMÈNE	EFFETS POSSIBLES	MESURE	TYPE DE CONTROLE	
Amplitude de la tension d'alimentation	4.2	Continue	Échauffement de l'électronique, des moteurs et des transformateurs	Valeur efficace sur 10 minutes	Contrôle en temps réel	
Tensions harmoniques	4.3				Contrôle à la conception	
Tensions interharmoniques	4.4		Inconvénients physiologiques	Moyenne cubique pondérée sur 2 heures		
Déséquilibre de tension	4.5					
Papillotement	4.6			Contrôle en temps réel		
Fréquence de la tension d'alimentation	4.1		Arrêt des procédés industriels ou mauvais fonctionnement des équipements		Moyenne sur quelques secondes	
Variations rapides de tension	4.7	Transitoire longue ($> 8,33 \text{ ms}$ $\leq 1 \text{ minute}$)		Moyenne de 3 valeurs efficaces (sur 1 seconde chacune)	Contrôle à la conception	
Creux de tension	4.8			Valeur efficace sur 1 période (1/60 s)	Contrôle relié à des événements aléatoires	
Surtensions temporaires	4.9					
Coupures brèves	4.10	Arrêt des équipements				
Surtensions transitoires	4.11	Transitoire courte ($\leq 8,33 \text{ ms}$)	Arrêt des procédés industriels, claquage des isolants	Valeur crête instantanée		

Une représentation graphique de ces caractéristiques est fournie à l'annexe B.

4.1 FRÉQUENCE DE LA TENSION D'ALIMENTATION

4.1.1 Description

La fréquence nominale de la tension alternative fournie par le réseau d'Hydro-Québec est de 60 Hz.

Le maintien de la fréquence de la tension en réseau dépend de l'équilibre établi entre la charge et la puissance des centrales. Comme cet équilibre évolue dans le temps, il en résulte de petits écarts de fréquence qui dépendent des particularités de la charge et de la réponse de la production.

Par ailleurs, le réseau peut être soumis à des variations plus importantes dues à des courts-circuits ou des variations importantes de charge ou de production qui causent des variations de fréquence temporaires dont l'amplitude et la durée dépendent de la sévérité de l'événement.

4.1.2 Méthode d'évaluation

L'évaluation est fondée sur la mesure de la valeur moyenne de la fréquence fondamentale de la tension en réseau, selon la technique présentée dans la norme CAN/CSA-C61000-4-30 [5]. Les valeurs marquées sont exclues du calcul [5].

Quant aux variations temporaires de la fréquence causées principalement par des *perturbations*⁶ (événements) en réseau, l'évaluation requiert une plus grande précision, basée sur des intervalles de temps d'agrégation de valeurs plus courts.

4.1.3 Valeurs indicatives

Dans les *conditions normales d'exploitation*, pendant 99,9 % du temps sur une *période de mesure* d'une année, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale de la tension du réseau de transport d'Hydro-Québec⁷ est maintenue dans la plage définie entre 59,4 Hz et 60,6 Hz (c.-à-d. $60 \text{ Hz} \pm 1\%$). L'écart limite de 1 % est inspiré de la norme CENELEC EN50160 [7].

⁶ La perturbation au sens du *Glossaire des termes et des acronymes relatifs aux normes de fiabilité*, tel qu'il est approuvé de temps à autre par la Régie de l'énergie.

⁷ Des variations de fréquence plus élevées, par exemple de plus ou moins 4 Hz par rapport à la fréquence fondamentale de 60 Hz (c.-à-d. 56 Hz à 64 Hz), peuvent se produire temporairement sur des parties de réseau qui se retrouveraient isolées à la suite d'événements majeurs ou de pannes.

Quant aux variations temporaires de fréquence, l'annexe C présente, à titre informatif, des statistiques de variations maximales de fréquence en régime perturbé relevées dans le réseau de transport d'Hydro-Québec.

4.2 AMPLITUDE DE LA TENSION D'ALIMENTATION⁸

4.2.1 Description

L'amplitude de la *tension d'alimentation* correspond à la valeur efficace de tension de durée continue de l'alimentation électrique. Elle est une caractéristique de base pour le fonctionnement des appareils électriques.

Dans un réseau électrique, l'amplitude de la *tension d'alimentation* dépend des caractéristiques de conception du réseau, des variations de charge et des changements d'état auxquels il est soumis. En pratique, il est d'usage de corriger l'amplitude de la tension à différents points du réseau, par exemple, au moyen des changeurs de prises automatiques dans les postes de transformation, ou par l'utilisation d'équipements de compensation réactive (p. ex. condensateurs shunt).

4.2.2 Méthode d'évaluation

L'amplitude de la *tension d'alimentation* s'évalue par la valeur efficace sur des intervalles d'agrégation de 10 minutes [5].

L'amplitude des tensions phase-neutre et des tensions phase-phase s'évalue également pour refléter les différents branchements des équipements raccordés au réseau.

La limite inférieure des *valeurs indicatives* se compare, selon le cas, à l'indice statistique 5^e ou 1^{er} centile des valeurs enregistrées sur une *période de mesure* d'une semaine.

La limite supérieure des *valeurs indicatives* se compare, selon le cas, à l'indice statistique 95^e ou 99^e centile des valeurs enregistrées sur une *période de mesure* d'une semaine.

Les valeurs calculées pendant une coupure de la *tension d'alimentation* sont exclues de l'évaluation de l'indice statistique.

4.2.3 Valeurs indicatives

Dans les *conditions normales d'exploitation*, il convient que les valeurs d'amplitude de la *tension d'alimentation* se situent à l'intérieur des limites :

- établies à l'article 4.1 des *Conditions de service d'électricité* [3] ; et
- définies selon la norme CAN3-C235-83 [8] pour les niveaux de *tension nominale* 44 kV et 49,2 kV.

Le tableau 2 indique les limites supérieures et inférieures des plages de valeurs d'amplitude de la *tension d'alimentation* selon la *tension nominale* (U_{nom}) du réseau.

⁸ L'amplitude de la *tension d'alimentation* correspond à la « *tension en régime permanent* » définie dans les *Conditions de service d'électricité* [3].

Tableau 2
Limites des plages de valeurs d'amplitude de la tension d'alimentation

Niveaux de <i>tension nominale</i> U_{nom}	Limites inférieures	Limites supérieures
44 kV et 49,2 kV *	$U_{\text{nom}} - 6 \%$	$U_{\text{nom}} + 6 \%$
Supérieurs à 50 kV **	$U_{\text{nom}} - 10 \%$	$U_{\text{nom}} + 10 \%$

*Note * :* Pour les niveaux de *tension nominale* 44 kV et 49,2 kV, les limites inférieure et supérieure se comparent aux indices statistiques 5^e et 95^e centiles respectivement.

*Note ** :* Pour les niveaux de *tension nominale* 69 kV, 120 kV, 161 kV, 230 kV, 315 kV et 345 kV, les limites inférieure et supérieure se comparent aux indices statistiques 1^{er} et 99^e centiles respectivement.

4.3 TENSIONS HARMONIQUES

4.3.1 Description

Une tension harmonique est une tension sinusoïdale dont la fréquence correspond à un multiple entier de la fréquence fondamentale (60 Hz). Dans la présente définition, on considère les harmoniques de longue durée, excluant les phénomènes transitoires isolés.

Les harmoniques sont créés par des appareils dont la caractéristique tension/courant n'est pas linéaire, comme c'est le cas notamment avec les fours à arc ou à induction, les redresseurs pour l'électrolyse, les entraînements de moteurs, les convertisseurs de fréquence et les contrôleurs de charge en courant alternatif.

Les fréquences des tensions harmoniques prises en compte dans le présent document varient de 120 Hz à 3000 Hz.

4.3.2 Méthode d'évaluation

L'amplitude des tensions harmoniques s'évalue par leur valeur efficace sur des intervalles de temps d'agrégation de 10 minutes [5].

Le taux d'harmonique individuel de tension ($u_{h,n}$) et le taux de distorsion harmonique de tension (THD_u) se calculent selon les relations suivantes :

$$\text{Taux d'harmonique individuel de tension de rang } n : \quad u_{h,n} = \frac{U_{h,n}}{U_{h,1}} \times 100 \%$$

Taux de distorsion harmonique de tension :

$$THD_u = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{U_{h,n}}{U_{h,1}} \right)^2} \times 100\%$$

Où : n = rang harmonique variant de 2 à 50.

$U_{h,n}$ = amplitude de la tension harmonique de rang n.

$U_{h,1}$ = amplitude de la tension fondamentale⁹ (aussi notée U_{60Hz}).

N = 50 (habituellement), à moins de conditions particulières.

L'indice statistique à comparer aux *valeurs indicatives* correspond au 95^e centile des valeurs enregistrées sur une *période de mesure* d'une semaine, excluant les valeurs marquées [5].

⁹ Tension à la fréquence fondamentale de 60 Hz.

4.3.3 Valeurs indicatives

Dans les *conditions normales d'exploitation*, pendant 95 % du temps sur une *période de mesure* d'une semaine,

- le taux de distorsion harmonique de tension (THD_u) est généralement inférieur ou égal à 3 % ;
- les taux d'harmoniques individuels de tension ($u_{h,n}$) sont généralement inférieurs ou égaux aux valeurs du tableau 3.

Tableau 3
Valeurs indicatives des taux d'harmoniques individuels de tension ($u_{h,n}$)
dans le réseau de transport d'Hydro-Québec

Harmoniques impairs		Harmoniques pairs	
Rang (n)	$u_{h,n}$ (%)	Rang (n)	$u_{h,n}$ (%)
3	2	2	1,5
5	2	4	1
7	2	$6 \leq n \leq 50$	0,5
9	1,5		
11	1,5		
13	1,5		
15	1		
$17 \leq n \leq 49$	$1,2 \times 17/n$		

Note : Des taux d'harmoniques individuels de tension supérieurs à ceux indiqués ci-dessus peuvent notamment être relevés à la suite d'événements exceptionnels tels que des orages géomagnétiques.

Ces *valeurs indicatives* tiennent principalement compte de la norme CAN/CSA-C61000-3-6 [9]. Elles ont été établies à des fins de coordination des niveaux d'harmoniques entre les différents niveaux de tension d'un réseau.

Par conséquent, un taux de distorsion harmonique de tension plus élevé ou des taux d'harmoniques individuels de tension plus élevés peuvent occasionnellement être présents dans le réseau de transport d'Hydro-Québec sous réserve du respect des niveaux de compatibilité indiqués au tableau 1 (page CSA/5) de la norme CAN/CSA-C61000-3-6 [9] ou des valeurs indiquées dans les *Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux moyen et basse tension d'Hydro-Québec* [10].

4.4 TENSIONS INTERHARMONIQUES

4.4.1 Description

Une tension interharmonique est une tension sinusoïdale dont la fréquence est comprise entre deux fréquences harmoniques consécutives. Sa fréquence ne correspond donc pas à un multiple de la fréquence fondamentale (60 Hz). Il peut s'agir d'une fréquence isolée ou d'un spectre dans une bande de fréquences. La présente définition considère les interharmoniques de longue durée, excluant les phénomènes transitoires isolés.

Présents depuis toujours dans le réseau, les interharmoniques suscitent aujourd'hui un intérêt plus important au niveau de la qualité de l'onde en raison du développement des technologies d'électronique de puissance qui viennent augmenter l'amplitude de ces perturbations électromagnétiques. Les sources principales des interharmoniques sont les charges produisant des arcs, les systèmes de contrôle électrique des charges variables et les convertisseurs statiques de fréquence, dont ceux à modulation de largeur d'impulsions.

Les fréquences moyennes des tensions interharmoniques prises en compte dans le présent document varient de 90 Hz à 2970 Hz.

4.4.2 Méthode d'évaluation

L'amplitude des tensions interharmoniques s'évalue par leur valeur efficace sur des intervalles de temps d'agrégation de 10 minutes [5].

Dans le présent document, l'amplitude d'une tension interharmonique correspond à la valeur efficace du sous-groupe interharmonique centré tel que défini par la norme CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-7 [11].

Le taux d'interharmonique individuel de tension de rang n se calcule selon la relation suivante :

$$u_{ih,n} = \frac{U_{ih,n}}{U_{h,1}} \times 100 \%$$

Où : n = rang interharmonique variant de 1 à 49, c.-à-d. correspondant aux fréquences moyennes de 90 Hz, 150 Hz, 210 Hz, ..., 2910 Hz et 2970 Hz.

$U_{ih,n}$ = amplitude de la tension interharmonique de rang n.

$U_{h,1}$ = amplitude de la tension fondamentale (aussi notée $U_{60\text{Hz}}$).

L'indice statistique à comparer aux *valeurs indicatives* correspond au 95^e centile des valeurs enregistrées sur une *période de mesure* d'une semaine, excluant les valeurs marquées [5].

4.4.3 Valeurs indicatives

Dans les *conditions normales d'exploitation*, pendant 95 % du temps sur une *période de mesure* d'une semaine, les taux d'interharmoniques individuels de tension ($u_{ih,n}$) devraient être inférieurs à **0,5 %** dans le réseau de transport d'Hydro-Québec.

Les taux d'interharmoniques individuels de tension restent à l'étude sur le plan international.

Cette *valeur indicative* est toutefois suggérée en raison de l'augmentation du nombre de convertisseurs de fréquence et autres équipements similaires de contrôle-commande.

4.5 DÉSÉQUILIBRE DE TENSION

4.5.1 Description

Le déséquilibre de tension sert à caractériser les asymétries d'amplitude et de déphasage des tensions d'alimentation triphasées.

Le taux de déséquilibre de tension est défini suivant la méthode des composantes symétriques de Fortescue.

Dans le réseau de transport d'Hydro-Québec, le déséquilibre de tension est presque exclusivement formé de la composante symétrique inverse de tension. Il est donc question uniquement de cette composante symétrique dans le présent document¹⁰.

Le déséquilibre de tension qui s'applique aux tensions triphasées a deux causes principales, soit les asymétries d'impédance de réseau et les déséquilibres de charge (ou de courant).

4.5.2 Méthode d'évaluation

L'amplitude d'une tension de composante symétrique s'évalue par sa valeur efficace sur des intervalles de temps d'agrégation de 10 minutes [5].

Le taux de déséquilibre de tension inverse (u_2) se calcule selon la relation suivante :

$$u_2 = \frac{U_2}{U_1} \times 100 \text{ \%}$$

Où : U_2 = amplitude de la tension fondamentale de composante inverse.

U_1 = amplitude de la tension fondamentale de composante directe.

L'indice statistique à comparer aux *valeurs indicatives* correspond au 95^e centile des valeurs enregistrées sur une *période de mesure* d'une semaine, excluant les valeurs marquées [5].

¹⁰ En raison d'une connexion en triangle des enroulements des transformateurs de puissance des postes satellites ou des installations de clients, la composante homopolaire de tension, causée par le déséquilibre des charges et mesurée du côté secondaire des transformateurs de puissance (abaisseurs de tension), n'est pas transférée dans le réseau de transport.

4.5.3 Valeurs indicatives

Dans les *conditions normales d'exploitation*, pendant 95 % du temps sur une période de mesure d'une semaine, les taux de déséquilibre de tension inverse sont généralement inférieurs ou égaux aux valeurs suivantes :

- 1,5 % pour les niveaux de *tension nominale* 230 kV, 315 kV et 345 kV ;
- 2,0 % pour les niveaux de *tension nominale* 69 kV, 120 kV et 161 kV ;
- 2,0 % pour les niveaux de *tension nominale* 44 kV et 49,2 kV¹¹.

Le réseau de transport a généralement été conçu en fonction de ces valeurs, comparables à celles préconisées sur le plan international [12]. Elles fournissent donc des indications des caractéristiques pouvant être mesurées dans le réseau de transport d'Hydro-Québec.

Depuis quelques années, les nouvelles installations du réseau de transport sont conçues en fonction de valeurs plus faibles que celles indiquées ci-dessus, visant une meilleure coordination des taux de déséquilibre de tension entre les différents niveaux de tension dans le réseau, en considérant les niveaux de compatibilité indiqués au tableau 1 de la norme CAN/CSA-C61000-3-13 [13] ou les valeurs indiquées dans les *Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec* [10].

¹¹ Cependant, là où les caractéristiques des lignes et des charges ne permettent pas de répartir la charge de façon optimale entre les phases (lignes triphasées comportant de longs embranchements biphasés ou monophasés), certains déséquilibres de tension peuvent atteindre 3 % aux points de livraison triphasés, dans les *conditions normales d'exploitation*.

4.6 PAPILLOTEMENT

4.6.1 Description

Le papillotement traduit l'inconfort physiologique éprouvé au niveau de la vision à la suite de changements répétitifs de luminosité de l'éclairage. À certaines fréquences, l'œil peut percevoir, sur l'éclairage, l'effet de très faibles variations de tension. La plupart des appareils ne sont toutefois pas perturbés par ce phénomène.

Le papillotement est dû aux variations répétitives de tension causées par certaines charges industrielles (p. ex., les machines à souder, les laminoirs, les gros moteurs à charge variable et les fours à arc).

4.6.2 Méthode d'évaluation

Le papillotement est mesuré avec un flickermètre selon la norme CAN/CSA-IEC 61000-4-15 [6] avec adaptation pour les lampes incandescentes à 120 V.

Dans le présent document, le papillotement s'évalue par l'indice de sévérité de longue durée P_{lt} , c'est-à-dire sur des intervalles de temps d'agrégation de 2 heures [6].

L'indice statistique à comparer aux *valeurs indicatives* correspond au 95^e centile des valeurs enregistrées sur une *période de mesure* d'une semaine, excluant les valeurs marquées [5].

4.6.3 Valeurs indicatives

Dans les *conditions normales d'exploitation*, pendant 95 % du temps sur une *période de mesure* d'une semaine, le niveau de papillotement est généralement inférieur à l'indice de papillotement de longue durée $P_{lt}=0,8$.

Une valeur plus élevée peut être présente à certains endroits dans le réseau de transport sous réserve du respect des niveaux de compatibilité (des niveaux de tension inférieurs) indiqués au tableau 1 de la norme CAN/CSA-C61000-3-7 [14].

4.7 VARIATIONS RAPIDES DE TENSION (VRT)

4.7.1 Description

Une variation rapide de tension (VRT) est une variation soudaine du niveau de *tension d'alimentation*, considérablement plus rapide que celle reflétée par l'amplitude de la *tension d'alimentation* décrite à la section 4.2. La VRT peut durer quelques secondes.

L'amplitude des VRT est relativement faible, car elles se produisent à l'intérieur des plages définies pour l'amplitude de la *tension d'alimentation*.

Les VRT résultent généralement de variations de la charge ou de manœuvres d'équipements dans le réseau. Elles peuvent être uniques ou répétitives.

Une VRT unique peut provoquer une fluctuation perceptible de luminosité de l'éclairage ou déranger le fonctionnement de certains équipements électriques. La VRT unique est par conséquent limitée en amplitude, à l'aide de critères de conception des équipements de compensation réactive ou de démarrage de moteurs par exemple.

4.7.2 Méthode d'évaluation

L'indice de la VRT s'évalue selon la méthode précisée à l'annexe D.

L'indice de la VRT correspond à la différence entre deux niveaux de tension, chacun évalué par la moyenne arithmétique de trois valeurs consécutives de tension efficace (évaluées chacune sur un intervalle d'agrégation de 1 seconde).

Aucune donnée marquée [5] ne doit être prise en compte dans l'évaluation de l'indice de la VRT, car l'événement considéré serait alors un creux de tension, une surtension temporaire ou une coupure de la *tension d'alimentation*, et non une VRT.

4.7.3 Valeurs indicatives

Dans les *conditions normales d'exploitation*, l'indice des VRT ne devrait pas, de façon générale, excéder 3 %.

L'indice des VRT peut cependant atteindre 6 %.

4.8 CREUX DE TENSION

4.8.1 Description

Les creux de tension sont des réductions soudaines de la valeur efficace de la tension en dessous du seuil de 90 % de la *tension nominale* pendant une courte durée variant généralement entre 8 millisecondes et 1 minute.

Les creux de tension sont généralement attribuables à de forts appels de courant dus à des courts-circuits qui surviennent en réseau, dans les installations de client ou dans les centrales. Il s'agit d'événements aléatoires qui sont, pour la plupart, imprévisibles.

4.8.2 Méthode d'évaluation

Les creux de tension sont détectés selon les techniques de mesure de la classe A de la norme CAN/CSA-C61000-4-30 [5].

Un creux de tension est enregistré lorsque, sur l'une des phases, la tension résiduelle aux bornes des appareils tombe en dessous du seuil de 90 % de la *tension nominale*.

Pour les fins d'évaluation statistique, les paramètres enregistrés sont la tension résiduelle et la durée du creux de tension.

Pour un même événement, les valeurs de tension résiduelle mesurées en phase-neutre et en phase-phase diffèrent. Celles mesurées en phase-phase sont généralement plus représentatives de l'effet des creux de tension sur les charges industrielles.

4.8.3 Valeurs indicatives

Le nombre annuel de creux de tension est imprévisible et varie énormément d'un endroit à l'autre. Ce nombre peut être de seulement quelques cas par année à certains endroits, alors qu'il peut atteindre quelques dizaines de cas par année à d'autres endroits. Leur répartition sur une année peut également être très irrégulière.

Les creux de tension durent généralement moins de 600 millisecondes, mais peuvent durer quelques secondes, suivant la rapidité des dispositifs de protection utilisés pour éliminer le court-circuit.

La valeur de tension résiduelle des creux de tension est généralement supérieure à 40 %.

4.9 SURTENSIONS TEMPORAIRES

4.9.1 Description

Les surtensions temporaires sont des hausses soudaines de la valeur efficace de la tension au-dessus du seuil de 110 % de la *tension nominale* pendant une courte durée variant généralement entre 8 millisecondes et 1 minute.

Les surtensions temporaires peuvent être attribuables à des courts-circuits, à des délestages de charge ou à des phénomènes de résonance et de ferrorésonance. Le plus souvent, elles résultent des surtensions qui se produisent sur les phases saines lors de courts-circuits monophasés à la terre, par exemple.

4.9.2 Méthode d'évaluation

Les surtensions temporaires sont détectées selon les techniques de mesure de la classe A de la norme CAN/CSA-C61000-4-30 [5].

Une surtension temporaire est enregistrée lorsque, sur l'une des phases, la tension résiduelle aux bornes des appareils dépasse le seuil de 110 % de la *tension nominale*.

Pour les fins d'évaluation statistique, les paramètres enregistrés sont la tension résiduelle et la durée de la surtension temporaire.

4.9.3 Valeurs indicatives

L'importance des surtensions qui se manifestent lors de courts-circuits monophasés à la terre varie en fonction de l'endroit du court-circuit, de l'impédance du réseau et du régime de mise à la terre du neutre, comme suit :

- lorsque le neutre du réseau est effectivement mis à la terre, les surtensions phase-terre survenant sur les phases saines sont généralement inférieures à 140 %. Ces surtensions temporaires durent généralement moins de 600 millisecondes, mais peuvent durer quelques secondes, suivant la rapidité des dispositifs de protection utilisés pour éliminer le court-circuit ;
- lorsque le neutre du réseau est non effectivement mis à la terre, les surtensions phase-terre survenant sur les phases saines peuvent atteindre 180 %¹² et peuvent durer plusieurs secondes.

¹² Des surtensions plus élevées peuvent se manifester en cas de défaut d'arc à la terre quand la mise à la terre est de type capacitif, mais cette situation est anormale.

4.10 COUPURES BRÈVES

4.10.1 Description

Les coupures de la *tension d'alimentation* correspondent à la perte de tension sur toutes les phases. On y distingue la coupure brève et la coupure de longue durée¹³.

On entend par coupure brève, la perte momentanée de tension pour une durée généralement inférieure à 1 minute.

La plupart du temps, les coupures brèves sont dues à l'action des dispositifs de protection des réseaux en vue d'éliminer les courts-circuits. Sur les lignes de transport, il est pratique courante d'effectuer un réenclenchement automatique dans le but de réalimenter le plus rapidement possible une ligne perturbée par un court-circuit fugitif. Ainsi, au lieu d'une coupure de tension de longue durée, les installations alimentées par la ligne perturbée ne subissent qu'une coupure brève dont la durée typique est de l'ordre de quelques secondes.

Il importe de souligner que le réenclenchement automatique est utilisé pour assurer une meilleure continuité de service, puisqu'il permet d'éviter les coupures de tension de longue durée lors de courts-circuits fugitifs. En contrepartie, lorsque le défaut est permanent, le nombre de creux de tension que subissent les installations alimentées par les autres lignes augmente quelque peu.

4.10.2 Méthode d'évaluation

Les coupures de la *tension d'alimentation* sont détectées selon les techniques de mesure de la classe A de la norme CAN/CSA-C61000-4-30 [5].

Une coupure de tension est enregistrée lorsque, sur chaque phase, la tension résiduelle aux bornes des appareils tombe en dessous du seuil de 10 % de la *tension nominale*.

Pour les fins d'évaluation statistique des coupures brèves, les paramètres enregistrés sont la tension résiduelle et la durée de la coupure de tension.

4.10.3 Valeurs indicatives

Le nombre annuel de coupures brèves est imprévisible et varie énormément d'un endroit à l'autre. Ce nombre peut être de quelques cas par année à certains endroits, alors qu'il peut atteindre quelques dizaines de cas par année à d'autres endroits. La durée des coupures brèves peut généralement varier de 0,5 à 5 secondes, mais dans certains cas, elle peut atteindre quelques dizaines de secondes.

¹³ Les coupures de longue durée sont prises en compte avec l'indice de continuité – Transport, présenté à l'annexe E.

4.11 SURTENSIONS TRANSITOIRES

4.11.1 Description

On classe généralement dans cette catégorie des phénomènes de très courte durée, qui durent typiquement moins d'une demi-période, c'est-à-dire de quelques microsecondes (μ s) à plusieurs millisecondes (ms). Les surtensions transitoires peuvent être unidirectionnelles ou oscillatoires et elles peuvent causer une décharge électrique à travers les isolants de l'appareillage ou des composantes électroniques.

Les surtensions peuvent être reliées à :

- des manœuvres sur les lignes et les équipements en réseau, notamment des commutations de batteries de condensateurs qui se traduisent par une onde oscillatoire amortie superposée à l'onde fondamentale et présentant une fréquence généralement comprise entre 100 Hz et 9 kHz, et d'une durée de crête inférieure à une demi-période ;
- la foudre qui se traduit généralement par une impulsion unidirectionnelle présentant, dans les cas les plus rapides, un temps de montée de l'ordre de la microseconde.

4.11.2 Méthode d'évaluation

L'évaluation consiste à mesurer la forme d'onde de tension et sa valeur crête instantanée avec une chaîne de mesure dont la bande passante est suffisante par rapport à la fréquence des phénomènes considérés.

4.11.3 Valeurs indicatives

Les surtensions transitoires font l'objet d'une attention particulière pour la coordination de l'isolement de l'appareillage raccordé au réseau de transport et elles sont traitées dans diverses normes, particulièrement celles de la série C71 de l'Association canadienne de normalisation (Groupe CSA) [15] et [16].

Dans le cas de la mise sous tension de batteries de condensateurs shunt, manœuvre fréquente dans le réseau de transport, l'amplitude de la surtension transitoire est typiquement inférieure à 2 fois la valeur crête de la tension ligne-terre du réseau. Cette valeur peut être plus élevée en présence de réflexion d'onde ou de résonance entre les équipements des installations de client ou des centrales et le réseau de transport.

5 RÉFÉRENCES

- [1] Exigences techniques de raccordement d'installations de client au réseau de transport d'Hydro-Québec, telles qu'elles sont approuvées de temps à autre par la Régie de l'énergie (en cours d'approbation par la Régie de l'énergie R-3830-2012).
- [2] Exigences techniques de raccordement de centrales au réseau de transport d'Hydro-Québec, telles qu'elles sont approuvées de temps à autre par la Régie de l'énergie (en cours d'approbation par la Régie de l'énergie R-3830-2012).
- [3] Conditions de service d'électricité, telles qu'elles sont approuvées de temps à autre par la Régie de l'énergie, www.hydroquebec.com.
- [4] Limites d'émission de perturbations dans le réseau de transport d'Hydro-Québec, telles qu'elles sont approuvées de temps à autre par la Régie de l'énergie (en cours d'approbation par la Régie de l'énergie R-3830-2012).
- [5] Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-30 : Techniques d'essai et de mesure – Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation. Norme nationale du Canada CAN/CSA-C61000-4-30-10 (R2014).
- [6] Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-15 : Techniques d'essai et de mesure – Flickermètre – Spécifications fonctionnelles et de conception. Norme nationale du Canada CAN/CSA-IEC 61000-4-15:12 (R2016).
- [7] Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution. Norme CENELEC EN50160 : 2010.
- [8] Tensions recommandées pour les réseaux à courant alternatif de 0 à 50 000 V. Norme nationale du Canada CAN3-C235-83 (R2015).
- [9] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems. Norme nationale du Canada CAN/CSA-C61000-3-6:09 (R2014).
- [10] Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec. Hydro-Québec.
http://www.hydroquebec.com/pdf/fr/qualite_tension.pdf .
- [11] Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-7 : Techniques d'essai et de mesure – Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés. Norme nationale du Canada CAN/CSA-IEC 61000-4-7:13.
- [12] Assessment of power quality – Characteristics of electricity supplied by public networks. Spécification technique IEC TS 62479 (Edition 1.0) 2015-04.

-
- [13] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-13: Limits - Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems. Norme nationale du Canada CAN/CSA-C61000-3-13-09 (2014).
 - [14] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-7: Limits - Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems. Norme nationale du Canada CAN/CSA-C61000-3-7:09 (R2014).
 - [15] Coordination de l'isolement - Partie 1 : Définitions, principes et règles. Norme nationale du Canada CAN/CSA-C71-1-99 (R2015).
 - [16] Coordination de l'isolement - Partie 2 : Guide d'application. Norme nationale du Canada CAN/CSA-C71-2-98 (R2011).

Annexe A (informative) : Compatibilité électromagnétique des équipements avec l'alimentation

Une électricité parfaitement conforme aux caractéristiques définies dans le présent document ne saurait garantir le fonctionnement satisfaisant des équipements ou procédés, qui ne peut être obtenu que si ces équipements ou procédés sont compatibles avec l'alimentation fournie.

Au niveau international, la compatibilité électromagnétique (CÉM) est définie comme « l'aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement » (Vocabulaire électrotechnique international (VEI) 161-01-07).

Les normes internationales en matière de compatibilité électromagnétique (série IEC 61000) stipulent qu'il existe deux conditions nécessaires à la compatibilité électromagnétique :

- les appareils doivent avoir des niveaux d'immunité supérieurs aux niveaux de compatibilité spécifiés pour un phénomène donné ;
- les perturbations électromagnétiques¹⁴ émanant des installations ou d'appareils doivent se situer au-dessous des niveaux d'émission autorisés dans le réseau, lesquels visent à ce que leur effet cumulé n'entraîne pas un risque inadmissible de dépassement des niveaux de compatibilité.

Les particularités relatives à la première condition ci-dessus sont encadrées par les normes d'immunité, par exemple la norme CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-11 « Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension » ou la norme CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-28 « Essais d'immunité à la variation de la fréquence d'alimentation ».

Le degré de compatibilité désiré entre l'équipement et l'alimentation dépend de l'utilisation que l'on fait de l'équipement et des conséquences d'une incompatibilité. Par exemple, l'arrêt momentané d'un entraînement à vitesse variable et du moteur qu'il actionne peut être acceptable dans le cas d'un système de ventilation, mais problématique quand il s'agit d'une ligne de production industrielle.

Il est donc important, pour chaque utilisation, de bien considérer le degré d'immunité que doit présenter l'équipement compte tenu de l'alimentation à laquelle il est raccordé. Cette immunité peut caractériser l'équipement même, mais elle peut aussi être améliorée par

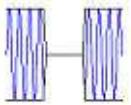
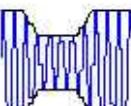
¹⁴ Aux fins du présent document, les perturbations électromagnétiques réfèrent aux perturbations de l'onde électrique.

l'ajout de dispositifs d'atténuation (p. ex., des filtres ou une alimentation autonome sans coupures).

En ce qui a trait à la deuxième condition ci-dessus, relative à l'émission de perturbations de l'onde électrique par les installations raccordées au réseau, elle est encadrée par les limites d'émission définies par Hydro-Québec [4] et il est essentiel de se conformer aux valeurs maximales autorisées présentées dans ce dernier document.

Annexe B (informative) : Représentation graphique de différentes caractéristiques

Caractéristiques	Graphes
Tension d'alimentation	
Variation de fréquence	
Tensions harmoniques	
Tensions interharmoniques	
Déséquilibre de tension	
Papillotement	
Variation rapide de tension	

Coupure de la tension d'alimentation	
Creux de tension	
Surtension temporaire	
Surtension transitoire	

Annexe C (informative) : Statistiques de variations de fréquence

Les statistiques suivantes sont fondées sur la mesure des valeurs maximales de variations de fréquence en régime perturbé relevées dans le réseau de transport d'Hydro-Québec entre janvier 2009 et décembre 2015¹⁵. L'occurrence moyenne est évaluée sur une base annuelle d'après les statistiques compilées sur les événements survenus pendant cette période.

VARIATION DE FRÉQUENCE	TYPE DE RÉGIME	OCCURRENCE MOYENNE	DURÉE TYPIQUE
+ 0,6 Hz à + 1 Hz	Régimes perturbés peu fréquents	3 fois l'an	s. o.
+ 0,2 Hz à + 0,6 Hz	Régimes perturbés fréquents	88 fois l'an	Typiquement moins de 10 s, mais peut exceptionnellement durer quelques minutes
± 0,2 Hz	Régime non perturbé	s. o.	Continue
- 0,2 Hz à - 0,6 Hz	Régimes perturbés fréquents	85 fois l'an	Typiquement moins de 10 s, mais peut exceptionnellement durer quelques minutes
- 0,6 Hz à - 1 Hz	Régimes perturbés fréquents	8 fois l'an	s. o.
- 1 Hz à - 1,5 Hz	Régimes perturbés peu fréquents	2 fois l'an	

On constate que les variations de fréquence en régime non perturbé sont à l'intérieur de l'écart limite de 1 % défini comme *valeur indicative* à la sous-section 4.1.3.

Par ailleurs, la fréquence du réseau s'est maintenue à $60 \text{ Hz} \pm 0,2 \text{ Hz}$ pendant plus de 99,9 % du temps en moyenne annuellement.

¹⁵ Les données statistiques ont été évaluées avec une technique de mesure très précise de la fréquence et relevées à toutes les secondes.

Annexe D (informative) : Méthode d'évaluation d'une variation rapide de tension

La variation rapide de tension (VRT) repose sur des valeurs efficaces consécutives de tension calculées à chaque seconde. Chaque valeur efficace de tension équivaut à la moyenne quadratique de la tension efficace sur un intervalle d'agrégation de 1 seconde.

L'indice de VRT à un instant donné, exprimé en pourcentage, est déterminé à partir de valeurs calculées dans un intervalle de 9 secondes consécutives selon l'équation suivante :

$$VRT = \left[\frac{\max_{9s}(ISV_{moy-3s}) - \min_{9s}(ISV_{moy-3s})}{moy_{9s}(ISV_{moy-3s})} \right] \times 100 \%$$

Où :

- ISV_{moy-3s} : Moyenne arithmétique de trois valeurs efficaces consécutives de tension (évaluées chacune sur un intervalle d'agrégation de 1 seconde).
- $\max_{9s}(ISV_{moy-3s})$: Valeur maximale parmi les 7 moyennes ISV_{moy-3s} calculées dans l'intervalle de 9 secondes.
- $\min_{9s}(ISV_{moy-3s})$: Valeur minimale parmi les 7 moyennes ISV_{moy-3s} calculées dans l'intervalle de 9 secondes.
- $moy_{9s}(ISV_{moy-3s})$: Moyenne arithmétique des 7 moyennes ISV_{moy-3s} calculées dans l'intervalle des 9 secondes précédent la fin de l'intervalle de détection de la VRT.

Comme la VRT est une perturbation ponctuelle de l'onde électrique, l'indice de qualité de tension considère la valeur maximale prévisible et non une valeur statistique en fonction du temps.

Si la valeur efficace de la tension au cours d'une variation franchit le seuil de creux de tension ou de surtension temporaire, l'événement n'est pas considéré comme une VRT.

Annexe E (informative) : Indice de continuité – Transport

L'indice de continuité – Transport (« IC – Transport ») mesure la durée moyenne d'interruption de service par client pour l'ensemble de la clientèle desservie par Hydro-Québec, compte tenu des pannes et des interruptions programmées dans le réseau de transport.

L'indice « IC – Transport » est exprimé en heure par client et il s'évalue comme suit :

$$\text{IC – Transport (heure/client)} = \frac{\text{La somme des Clients - Heures interrompus}}{\text{La somme des clients desservis}}$$

Le tableau suivant donne les valeurs historiques de l'IC – Transport pour la période de 2005 à 2014 :

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
IC – Transport (heure/client)	0,93	0,54	0,49	0,58	0,57	0,32	0,47	0,39	0,70	0,38

Note : Aucune correction n'est effectuée sur l'IC - Transport. Le seul événement exclu des calculs de cet indice est l'épisode de verglas survenu en janvier 1998. Pour la période de 2005 à 2014, tous les événements survenus ont été considérés dans le calcul.