

Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec

Juillet 2016

Révision

Le présent document, *Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec, 2016*, est une version révisée du rapport :

Caractéristiques et cibles de qualité de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec – Hydro-Québec, février 2001.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE	4
1. OBJET	5
1.1 DOMAINE D'APPLICATION	5
1.2 GÉNÉRALITÉS	5
2. TERMES ET DÉFINITIONS	6
3. MÉTHODES GÉNÉRALES DE MESURE	8
3.1 VALEURS ENREGISTRÉES EN CONTINU	8
3.2 VALEURS ENREGISTRÉES SUR DÉCLENCHEUR	9
4. CARACTÉRISTIQUES DE LA TENSION D'ALIMENTATION	10
4.1 FRÉQUENCE DE LA TENSION D'ALIMENTATION	11
4.2 AMPLITUDE DE LA TENSION D'ALIMENTATION	12
4.3 TENSION DE NEUTRE (TENSION NEUTRE-TERRE).....	14
4.4 TENSIONS HARMONIQUES	15
4.5 TENSIONS INTERHARMONIQUES	17
4.6 DÉSÉQUILIBRE DE TENSION.....	19
4.7 PAPILLOTEMENT.....	21
4.8 VARIATIONS RAPIDES DE TENSION (VRT)	22
4.9 CREUX DE TENSION.....	23
4.10 SURTENSIONS TEMPORAIRES.....	24
4.11 COUPURES DE LA TENSION D'ALIMENTATION	25
4.12 SURTENSIONS TRANSITOIRES – BASSE TENSION	27
4.13 SURTENSIONS TRANSITOIRES – MOYENNE TENSION	29
5. RÉFÉRENCES :	30
ANNEXE A (INFORMATIVE) : MÉTHODE D'ÉVALUATION D'UNE VARIATION RAPIDE DE TENSION	31
ANNEXE B (INFORMATIVE) : STATISTIQUES DE VARIATIONS DE FRÉQUENCE	32
ANNEXE C (INFORMATIVE) : CREUX DE TENSION ET COUPURES BRÈVES SUR LE RÉSEAU MOYENNE TENSION	33
ANNEXE D (INFORMATIVE) : COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE DES ÉQUIPEMENTS AVEC L'ALIMENTATION	35
ANNEXE E (INFORMATIVE) : REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES DIFFÉRENTES CARACTÉRISTIQUES	36

PRÉAMBULE

Ce 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).

La publication des *Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension 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 ;
- rappeler qu'il est normal que l'électricité livrée puisse faire l'objet de pertes de tension ou de perturbations de l'onde électrique ;
- inciter les utilisateurs à tenir compte des informations fournies afin de protéger adéquatement leurs équipements et d'organiser leur utilisation de l'électricité de manière à minimiser les impacts possibles des différents phénomènes si cela est nécessaire ;
- inciter les fournisseurs d'équipements à offrir les options requises pour assurer la compatibilité de leurs équipements avec l'alimentation électrique normale.

Les *caractéristiques de la tension* définies dans ce 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.

L'utilisateur doit 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.

Les *caractéristiques de la tension* présentées constituent des indications de ce qui peut être prévu; rien ne saurait garantir que les valeurs ou le nombre d'événements indiqués ne puissent être dépassés à un point de raccordement donné ou dans une zone particulière.

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 D.

1. OBJET

Ce document décrit les principales *caractéristiques de la tension* fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec.

1.1 DOMAINE D'APPLICATION

Les *caractéristiques de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec*, définies dans ce document, s'appliquent généralement au *point de raccordement au réseau* dans les *conditions normales d'exploitation*.

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

- un réseau îloté, c'est-à-dire un réseau électrique comprenant à la fois une charge et des installations de production temporairement détaché du *réseau intégré d'Hydro-Québec* à la suite d'un événement ou d'une manœuvre ;
- un réseau de production et de distribution d'électricité détaché en permanence du *réseau intégré d'Hydro-Québec*, par exemple : réseau des Îles-de-la-Madeleine, réseau de la Basse-Côte-Nord desservi par la centrale du Lac-Robertson, réseaux alimentés par des groupes électrogènes ou par d'autres types de centrales autonomes dans les communautés nordiques.
- un réseau de tiers qui alimente des 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 non reliée au *réseau intégré d'Hydro-Québec* mais 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 ce 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. Ce document ne constitue pas une obligation ni une garantie de quelque nature que ce soit de la part d'Hydro-Québec.

En aucun temps, les *caractéristiques de la tension* ne peuvent avoir pour effet de rendre inapplicables les dispositions des *Conditions de service d'électricité* [1] ni servir à interpréter le sens ou la portée dudit document.

De même, les caractéristiques de la tension ne doivent pas être interprétées comme des niveaux de perturbations de l'onde électrique que les installations seraient autorisées à émettre dans le réseau d'Hydro-Québec.

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.

Les principaux paramètres des caractéristiques de la tension sont la fréquence, l'amplitude de la tension d'alimentation, la tension de neutre, les harmoniques et interharmoniques, le déséquilibre de tension, le papillotement, les variations rapides de tension, les creux et coupures 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 notamment les circonstances suivantes :

- situations exceptionnelles généralement liées à des influences ou à des événements externes (p. ex., conditions climatiques extrêmes, catastrophes naturelles, orages géomagnétiques, cas de force majeure, coupures 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.

NOTE : Cette définition diffère du sens donné aux termes «conditions normales d'exploitation» dans la norme CAN3-C235-83 [2].

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 millisecondes.

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

Période de mesure

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

Réseau intégré d'Hydro-Québec

Le plus grand ensemble de réseaux électriques d'Hydro-Québec interconnectés entre eux.

Tension

Les termes *basse tension*, *moyenne tension* et *haute tension* sont définis à l'article 3.1 des *Conditions de service d'électricité* [1].

1° basse tension : la tension nominale entre phases n'excédant pas 750 V ;

2° moyenne tension : la tension nominale entre phases de plus de 750 V et de moins de 44 000 V. Le terme 25 kV est utilisé pour désigner la tension triphasée à 14,4/24,94 kV, étoile, neutre mis à la terre ;

3° haute tension : la tension nominale entre phases de 44 000 V et plus.

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, mais 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 pages de valeurs.

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 [3].

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, à la tension de neutre, 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 [4]. L'intervalle de temps d'agrégation appliqué dans ce 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 utilisé pour fins de comparaison aux valeurs indicatives est généralement le 95^e centile¹ 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.

¹ 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 suivants : 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.

Des valeurs sont enregistrées 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 4.12 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 ce 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 exercée sur ces *caractéristiques de la tension d'alimentation*.

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

CARACTÉRISTIQUES	SECTION	DURÉE TYPIQUE DU PHÉNOMÈNE	EFFETS POSSIBLES	MESURE	TYPE DE CONTRÔLE
Amplitude de la tension d'alimentation	4.2	Continue	Échauffement de l'électronique, des moteurs et des transformateurs	Valeur efficace sur 10 minutes	Contrôlée en temps réel
Tensions harmoniques	4.4				Contrôlée à la conception
Tensions interharmoniques	4.5				
Déséquilibre de tension	4.6		Production de tensions parasites	Moyenne cubique pondérée sur 2 heures	Contrôlée à la conception
Tension de neutre	4.3				
Papillotement	4.7		Inconvénients physiologiques		
Fréquence de la tension d'alimentation	4.1	Transitoire longue (> 8,33 ms ≤1 minute)	Arrêt des procédés industriels ou mauvais fonctionnement des équipements	Moyenne sur quelques secondes	Contrôlée en temps réel
Variations rapides de tension	4.8			Moyenne de 3 valeurs efficaces (sur 1 seconde chacune)	Contrôlée à la conception
Creux de tension	4.9			Valeur efficace sur 1 période (1/60 s)	Reliée à des événements aléatoires
Surtensions temporaires	4.10				
Coupures brèves	4.11.1		Arrêt des équipements		
Coupures de longue durée	4.11.2	Variable			
Surtensions transitoires	4.12 & 4.13	Transitoire courte (≤ 8,33 ms)	Arrêt des procédés industriels, claquage des isolants	Valeur crête instantanée	

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 pouvant s'évaluer selon la technique présentée dans la norme CAN/CSA-C61000-4-30 [3]. Les valeurs marquées sont exclues du calcul [3].

Quant aux variations temporaires de la fréquence causées principalement par des perturbations (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 intégré d'Hydro-Québec*² est maintenue dans la plage définie entre 59,4 Hz et 60,6 Hz (c.-à-d. 60 Hz \pm 1 %). L'écart limite de 1 % est inspiré de la norme CENELEC EN50160 [9].

Quant aux variations temporaires de fréquence, l'annexe B présente, à titre informatif, des statistiques de variations maximales de fréquence en régime perturbé relevées dans le *réseau intégré d'Hydro-Québec*. Ces données statistiques fournies par Hydro-Québec ont été évaluées par une technique de mesure très précise de la fréquence.

² 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 îlotées à la suite d'événements majeurs ou de pannes.

4.2 AMPLITUDE DE LA TENSION D'ALIMENTATION³

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 [3].

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, 1^{er} ou 0,1^e 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, 99^e ou 99,9^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

Valeurs indicatives en basse tension

Pour chaque période d'une semaine, dans les conditions normales d'exploitation et à l'exclusion des interruptions et des coupures brèves, 95 % des valeurs efficaces évaluées sur 10 minutes varient de - 11,7 % à + 5,8 % par rapport à la tension nominale. La tension fournie se situe dans les plages recommandées par l'Association canadienne de normalisation (norme CSA CAN3-C235-83⁴ [2]) incluant les conditions marginales, comme suit :

- pour la tension nominale 120/240 V, de 106/212 V à 127/254 V ;

³ L'expression « amplitude de la tension d'alimentation » correspond à la « *tension en régime permanent* » définie dans les *Conditions de service d'électricité* [1].

⁴ La norme ANSI C84.1, généralement utilisée aux États-Unis d'Amérique, contient des prescriptions semblables à celles de la norme CSA CAN3-C235-83

- pour la tension nominale 347/600 V, de 306/530 V à 367/635 V.

Enfin, 99,9 % des valeurs efficaces évaluées sur 10 minutes se situent dans l'intervalle allant de -15 % à + 10 % de la tension nominale [9], pour s'établir comme suit :

- pour la tension nominale 120/240 V : 102/204 V et 132/264 V ;
- pour la tension nominale 347/600 V : 295/510 V et 382/660 V.

Valeurs indicatives en moyenne tension

Pour chaque période d'une semaine, dans les conditions normales d'exploitation et à l'exclusion des interruptions et des coupures brèves, 95 % des valeurs efficaces évaluées sur 10 minutes se situent dans une plage de plus ou moins 6 % par rapport à la tension nominale.

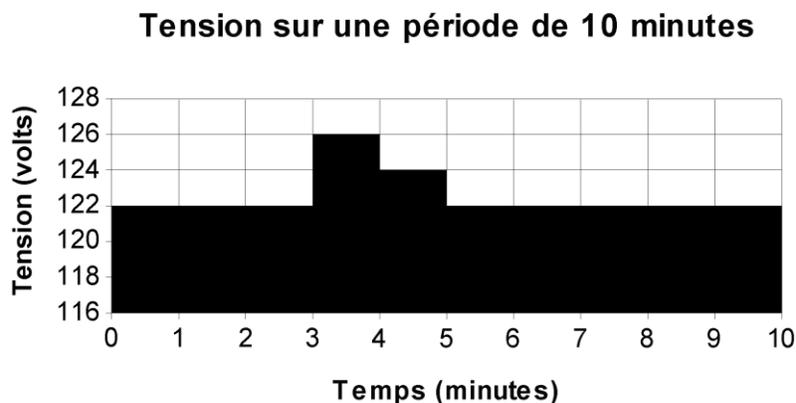
Enfin, 99 % des valeurs efficaces évaluées sur 10 minutes se situent dans l'intervalle allant de - 10 % à + 10 % de la tension nominale [9].

Par exemple pour la tension nominale 25 kV (14 400/24 940 V)⁵, pour chaque période d'une semaine;

- 95 % des valeurs efficaces évaluées sur 10 minutes se situent entre 13,54/23,44 kV et 15,26/26,44 kV
- 99 % des valeurs efficaces évaluées sur 10 minutes se situent entre 12,96/22,45 kV et 15,84/27,43 kV

Exemple :

Pour le profil de tension donné à la figure suivante, l'agrégation des valeurs efficaces calculée sur 10 minutes donne une valeur de tension de 122,6 V, même si on constate des fluctuations allant jusqu'à 126 V pendant 1 minute.



⁵ La tension 25 kV (14 400/24 940 V) est la tension la plus fréquente des réseaux MT mais il existe aussi des réseaux à 12,4 kV (7 200/12 470 V) et 34,5 kV (20 000/34 500 V)

4.3 TENSION DE NEUTRE (TENSION NEUTRE-TERRE)

4.3.1 Description

La tension de neutre est la tension qui existe entre une électrode de mise à la terre reliée au neutre et une électrode de référence, plantée dans le sol, distante de 10 mètres à la fois de l'électrode de mise à la terre et de toute autre masse métallique qui pourrait altérer le gradient de potentiel du sol. Il est important de ne pas confondre *tension de neutre* et *tension parasite*⁶. Cette dernière se mesure de façon complètement différente (à 2 points de contact de l'animal). La *tension parasite* peut incommoder certains animaux et avoir des conséquences sur la production de la ferme.

Dans un réseau électrique, l'amplitude de la tension neutre-terre dépend de plusieurs facteurs : l'amplitude du courant homopolaire qui provient de la répartition de la charge entre les trois phases du réseau pour un réseau triphasé, le courant de retour dans un réseau monophasé et la diffusion de ce courant entre le fil de neutre et le sol. Cette diffusion est fonction des impédances de mises à la terre, de la nature du sol, de son taux d'humidité, etc.

4.3.2 Méthode d'évaluation

L'amplitude de la tension de neutre s'évalue comme l'amplitude de la tension d'alimentation par la valeur efficace sur des intervalles d'agrégation de 10 minutes [3].

La valeur indicative doit être comparée à l'indice statistique 95^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.

4.3.3 Valeur indicative

Pour chaque période d'une semaine, dans les conditions normales d'exploitation, 95 % des valeurs efficaces évaluées sur 10 minutes n'excèdent pas 10 volts⁷.

⁶ Tension parasite : Toute différence de tension (volt) enregistrée entre deux points susceptibles d'être touchés par un animal et qui peut occasionner une circulation de courant qui affecterait son comportement (Guide pratique – *Les tensions parasites à la ferme* – UPA-MAPAQ-HQ (2005))

⁷ La tension neutre-terre peut atteindre momentanément des valeurs plus élevées (quelques kilovolts dans les pires conditions), dans un mode perturbé (Ex: court-circuit à la terre, manœuvres monophasées, foudre...)

4.4 TENSIONS HARMONIQUES

4.4.1 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 convertisseurs électroniques de puissance des entraînements de moteurs, les fours à induction et les ballasts électroniques.

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

4.4.2 Méthode d'évaluation

L'amplitude des tensions harmoniques s'évalue par leur valeur efficace sur des intervalles de temps d'agrégation de 10 minutes [3].

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 :

Taux d'harmonique individuel de tension de rang n :

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

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 fondamentale (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 [3].

4.4.3 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 **8 %**;
- les taux d'harmoniques individuels de tension ($u_{h,n}$) sont généralement inférieurs ou égaux aux valeurs du tableau 2.

Tableau 2
Valeurs indicatives des taux d'harmoniques individuels de tension ($u_{h,n}$)
dans le réseau à basse et moyenne tension

Harmoniques impairs		Harmoniques pairs	
Rang (n)	$u_{h,n}$ (%)	Rang (n)	$u_{h,n}$ (%)
3	6	2	2,0
5	6	4	1,5
7	5	6	0,75
9	3,5	8	0,6
11	3,5	10	0,6
13	3	12 à 50	0,5
15	2		
$17 \leq n \leq 49$	$2,27 \cdot (17/n) - 0,27$		

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.

Les valeurs indicatives des taux d'harmoniques individuels de tension dans le réseau sont principalement basées sur les valeurs des niveaux de compatibilité proposées au plan national et international [5].

4.5 TENSIONS INTERHARMONIQUES

4.5.1 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 entier de la fréquence fondamentale (60 Hz). Il peut s'agir d'une fréquence isolée ou d'un spectre dans une bande de fréquences. Dans la présente définition, on 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 ce document varient de 90 Hz à 2970 Hz.

4.5.2 Méthode d'évaluation

L'amplitude des tensions interharmoniques s'évalue par leur valeur efficace sur des intervalles de temps d'agrégation de 10 minutes [3].

Dans ce 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 [6].

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 [3].

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 d'interharmoniques individuels de tension ($u_{ih,n}$) devraient être inférieurs à **0,5 %** dans le réseau 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.

4.6 DÉSÉQUILIBRE DE TENSION

4.6.1 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 à moyenne ou basse tension, les équipements des utilisateurs ne sont, généralement, affectés que par le déséquilibre de tension inverse. Il est donc question uniquement de cette composante dans ce document.

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

4.6.2 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 [3].

Le taux de déséquilibre de tension inverse (u_2) se calcule selon la relation suivante⁸ :

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

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 [3].

Note: La mesure des tensions de composante directe et inverse fait appel à un appareil de mesure triphasé. Cependant, à l'aide d'un simple voltmètre, une estimation du niveau de déséquilibre peut être obtenue en mesurant les trois tensions phase-phase et en calculant le plus grand écart à la moyenne entre les trois valeurs et en divisant par la moyenne des trois valeurs:

$$u_2 \approx \frac{\max(\min(|U_{ab} - U_{pp} \text{ moyenne}|; |U_{bc} - U_{pp} \text{ moyenne}|; |U_{ca} - U_{pp} \text{ moyenne}|))}{U_{pp} \text{ moyenne}}$$

$$\text{où } U_{pp} \text{ moyenne} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}$$

Cette méthode, préconisée par les fabricants d'équipements [5], permet d'obtenir une valeur de déséquilibre de composante inverse avec un niveau d'incertitude d'environ 15 %.

⁸ La norme CAN/CSA-C61000-4-30 [3] fournit également une équation permettant de calculer le taux de déséquilibre de tension inverse en considérant uniquement les tensions fondamentales entre phases d'un système triphasé.

4.6.3 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 à 2 %⁹.

⁹ 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*.

4.7 PAPILOTEMENT

4.7.1 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).

4.7.2 Méthode d'évaluation

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

Dans ce 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 [4].

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 [3].

4.7.3 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 $P_{lt}=1,0$.

4.8 VARIATIONS RAPIDES DE TENSION (VRT)

4.8.1 Description

Une variation rapide de tension (VRT) est une variation soudaine du niveau de tension d'alimentation, c'est-à-dire une variation 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.

4.8.2 Méthode d'évaluation

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

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 [3] 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.

4.8.3 Valeurs indicatives

Dans les *conditions normales d'exploitation*, l'indice des variations rapides de tension ne devrait pas, de façon générale, excéder 8 %.

Occasionnellement, l'indice des VRT peut atteindre 10 %.

4.9 CREUX DE TENSION

4.9.1 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 ou dans les installations des clients ou de production. Il s'agit d'événements aléatoires qui sont, pour la plupart, imprévisibles. La fréquence annuelle de ces événements dépend largement du type de réseau et du point d'observation. De plus, leur répartition sur une année peut être très irrégulière.

4.9.2 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 [3].

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 pour un creux de tension sont la tension résiduelle et la durée du creux de tension.

Pour un même événement¹⁰, 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.

4.9.3 Valeurs indicatives

Le nombre annuel de creux de tension est imprévisible et varie énormément d'un endroit à l'autre. En zone urbaine, là où le réseau de distribution est majoritairement souterrain, on observe en moyenne de 1 à 4 creux de tension par mois. Dans les zones rurales, ce nombre est plus important. Les creux de tension durent généralement moins d'une (1) seconde et leur valeur de tension résiduelle est supérieure à 40 %.

¹⁰ Voir l'Annexe C et la référence [11] qui donne des statistiques de coupures brèves et de creux de tension.

4.10 SURTENSIONS TEMPORAIRES

4.10.1 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.

4.10.2 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 [3].

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 pour une surtension temporaire sont la tension résiduelle et la durée de la surtension temporaire.

4.10.3 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 % et ont une durée typique de quelques dizaines de millisecondes à 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 %^{*11} et peuvent durer plusieurs secondes.

¹¹ 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.

4.11 COUPURES DE LA TENSION D'ALIMENTATION

Généralités

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

4.11.1 COUPURES BRÈVES

4.11.1.1 Description

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 aériennes, en moyenne tension, il est pratique courante d'effectuer de un à trois réenclenchements automatiques dans le but de réalimenter le plus rapidement possible une ligne perturbée par un court-circuit fugitif. Ainsi, au lieu d'une coupure de longue durée, les utilisateurs alimentés par la ligne perturbée ne subissent qu'une à trois coupures brèves dont la durée respective peut varier de 1 à 60 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 longues durées lors de courts-circuits fugitifs. En contrepartie, lorsque le court-circuit est permanent, le nombre de creux de tension que subissent les utilisateurs alimentés par les autres lignes augmente quelque peu.

4.11.1.2 Méthode d'évaluation

Les coupures brèves de la tension d'alimentation sont détectées selon les techniques de mesure de la classe A de la norme CAN/CSA-C61000-4-30 [3].

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 pour une coupure brève sont la tension résiduelle et la durée de la coupure brève.

4.11.1.3 Valeurs indicatives

Le nombre annuel de coupures brèves est imprévisible et varie énormément d'un endroit à l'autre. Ce nombre peut atteindre quelques dizaines voire une centaine, selon la longueur des réseaux¹². La durée d'environ 50 % des coupures brèves est de 7 secondes ou moins et la durée d'environ 70 % des coupures brèves ne dépasse pas 20 secondes.

¹² Voir l'Annexe C et la référence [11] qui donne des statistiques de coupures brèves et de creux de tension.

4.11.2 COUPURES DE LONGUE DURÉE

4.11.2.1 Description

Les coupures de longue durée accidentelles peuvent être dues à des causes internes ou externes au réseau. Dans un grand nombre de cas, elles ont pour origine des causes externes, par exemple la foudre, ou des événements qui ne peuvent être contrôlés par Hydro-Québec. Étant donné les différences considérables que présentent l'architecture des réseaux et les effets imprévisibles des actions de tiers ou des intempéries, il est difficile d'établir des fréquences annuelles et des durées moyennes types pour les coupures de longue durée.

Des informations supplémentaires se trouvent au lien suivant: www.hydroquebec.com/pannes

4.11.2.2 Méthode d'évaluation

L'indice de continuité (I.C.), qui sert à quantifier les coupures de longues durées, est une valeur cumulative sur une année; il peut résulter de plusieurs coupures ou d'une seule coupure de plus longue durée. Il se calcule de la façon suivante et s'exprime en minutes;

$$\text{IC (minutes)} = \frac{\text{Somme des utilisateurs-minutes interrompus}}{\text{Somme des utilisateurs alimentés}}$$

On peut donc calculer l'indice de continuité pour l'ensemble des utilisateurs de la province, pour un territoire, pour un poste en particulier ou par ligne de distribution. Cet indice est inspiré de la norme IEEE Std 1366-2012 [12] qui est utilisée par plusieurs réseaux d'électricité en Amérique du Nord pour quantifier la qualité de la continuité de service de leurs réseaux.

Cet indice est calculé pour des coupures de longue durée de 5 minutes et plus.

4.11.2.3 Valeurs indicatives

L'I.C. fait partie des objectifs de l'entreprise et les valeurs cibles provinciales font partie du Plan stratégique d'Hydro-Québec, disponible à : www.hydroquebec.com

À titre d'exemple, l'IC moyen des années 2007 à 2013, excluant des événements météorologiques extrêmes, est de 156 minutes par utilisateur. Observée sur quelques années, la moyenne mobile 5 ans est constante (3 % de variation).

Toutefois, l'I.C. varie avec la localisation de chaque utilisateur.

4.11.2.4 Coupures de durée exceptionnelle

Quand les coupures de longues durées sont nombreuses, par exemple quand il se produit un événement climatique causant de multiples bris sur le réseau, les centres d'urgence des zones touchées sont activés et Hydro-Québec rappelle au travail tous les employés nécessaires afin de déployer un maximum d'effectif sur le terrain (www.hydroquebec.com/pannes).

4.12 SURTENSIONS TRANSITOIRES – BASSE TENSION

4.12.1 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 (μs) 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 présentent une fréquence généralement comprise entre 100 Hz et 9 kHz, et d'une durée de crête inférieure à $\frac{1}{2}$ cycle ;
- des commutations de charges inductives qui se traduisent par des transitoires à front raide dont le temps de montée typique varie entre 0,5 μs à 5 μs ;
- la foudre qui se traduit à l'extérieur des bâtiments par une impulsion unidirectionnelle présentant, dans les cas les plus rapides, un temps de montée de l'ordre de la microseconde et une valeur crête pouvant atteindre 10 kV, voire 20 kV;
- la foudre qui se traduit à l'intérieur des bâtiments par une onde oscillatoire amortie caractérisée par une fréquence de 5 kHz à 500 kHz, un temps de montée inférieur à une microseconde et une valeur crête typiquement limitée à 6 kV.

Les surtensions transitoires diminuent rapidement à mesure que la distance entre la source de perturbation et la charge réceptrice augmente. Pour certains équipements à éléments inductifs, le facteur dV/dt peut être important.

4.12.2 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.

4.12.3 Valeurs indicatives

Les valeurs crêtes des surtensions transitoires en circuit ouvert (pire cas) se limitent généralement à 6 kV à l'intérieur des bâtiments et à 10 kV ou 20 kV à l'extérieur. Ces valeurs ont été établies en fonction des tensions d'isolement des installations basses tension. En pratique ces valeurs seront réduites considérablement par la présence des charges raccordées et de leurs dispositifs de protection.

Dans le cas de la mise sous tension de batteries de condensateurs shunt, manœuvre fréquente sur le réseau, 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 de l'utilisateur et le réseau d'alimentation.

4.13 SURTENSIONS TRANSITOIRES – MOYENNE TENSION

4.13.1 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 (μs) 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 présentent une fréquence généralement comprise entre 100 Hz et 9 kHz, et d'une durée de crête inférieure à $\frac{1}{2}$ cycle ;
- 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.

4.13.2 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.

4.13.3 Valeurs indicatives

Les surtensions transitoires font l'objet d'une attention particulière pour la coordination de l'isolement de l'appareillage raccordé aux réseaux et elles sont traitées dans diverses normes, particulièrement celles de la série 60071 de la Commission Électrotechnique Internationale (IEC) [7] & [8].

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

5. Références :

- [1] Conditions de service d'électricité, Hydro-Québec www.hydroquebec.com
- [2] Tensions recommandées pour les réseaux à courant alternatifs de 0 à 50 000V, Norme nationale du Canada CAN3-C235-83 (R2015).
- [3] Techniques d'essai et de mesure – Section 30 : Méthodes de mesure de la qualité de fourniture, Norme nationale du Canada CAN/CSA-C61000-4-30-10.
- [4] Techniques d'essai et de mesure – Section 15 : Flickermètre – Spécifications fonctionnelles et de conception, Norme nationale du Canada CAN/CSA-IEC 61000-4-15 :12.
- [5] 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)
- [6] Techniques d'essai et de mesure – Section 7 : 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-CEI/IEC 61000-4-7 :13 .
- [7] Coordination de l'isolement - Partie 1 : Définitions, principes et règles, Norme internationale IEC 60071-1 Édition 8.1 (2011-03).
- [8] Coordination de l'isolement - Partie 2 : Guide d'application, Norme internationale IEC 60071-2 Édition 3.0 (1996-12).
- [9] Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution, Norme CENELEC EN50160 : 2010.
- [10] Limites d'émission de perturbations dans le réseau de distribution d'Hydro-Québec, en particulier C.22-03 Exigences techniques relatives au raccordement des charges fluctuantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec et C.25-01 Exigences techniques relatives au raccordement de charges déformantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec.
- [11] Environnement - Creux de tension et coupures brèves sur les réseaux d'électricité publics incluant des résultats de mesures statistiques, Norme nationale du Canada CAN/CSA-CEI/IEC 61000-2-8:04 (R2014)
- [12] IEEE Guide pour Distribution Reliability Indices IEEE Std 1366-2012

Annexe A (informative) : MÉTHODE D'ÉVALUATION D'UNE VARIATION RAPIDE DE TENSION

La variation rapide de tension (VRT) repose sur des valeurs consécutives de tension efficace calculées à chaque seconde. Chaque valeur de tension efficace équivaut à la moyenne quadratique de la tension 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 l'intervalle des 9 secondes consécutives précédentes 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 consécutives de tension efficace (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 précédant la fin de l'intervalle de détection d'une 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 dépasse le seuil de creux de tension ou de surtension temporaire, l'événement n'est pas considéré comme une VRT.

Annexe B (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 sur le *réseau intégré d'Hydro-Québec* entre janvier 2009 et décembre 2015¹³. L'occurrence moyenne est évaluée sur une base annuelle d'après les statistiques compilées sur les événements survenus pendant cette période.

Tableau 3
Statistiques de variations de fréquence

VARIATION DE FRÉQUENCE (ΔF)	CONDITIONS DU RÉSEAU	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
$\pm 0,2$ Hz	Régime permanent sans événement	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	s.o.

On peut constater 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 Hz \pm 0,2 Hz pendant plus de 99,9 % du temps en moyenne annuellement.

¹³ Les données statistiques ont été évaluées avec une technique de mesure très précise de la fréquence et relevées à toutes les secondes.

Annexe C (informative) : CREUX DE TENSION ET COUPURES BRÈVES SUR LE RÉSEAU MOYENNE TENSION

La présence de coupures brèves et de creux de tension fait partie intégrante des opérations d'un réseau électrique. Toutefois, leur nombre et leur sévérité varient beaucoup d'un point de raccordement à un autre. Le nombre de ces perturbations dépend de plusieurs facteurs, dont le type de réseau (aérien ou souterrain), la longueur des lignes, le maillage entre les sources d'un réseau et la densité de charge. Quant à la sévérité de ces perturbations, elle dépend du lieu des courts-circuits et du temps des protections. Ces courts-circuits ne peuvent être totalement évités, mais un contrôle est fait sur le réseau par l'optimisation de l'architecture du réseau, des protections et de la maintenance.

Les deux tableaux suivants positionnent les perturbations dans la grille des creux de tension qui sont normalement générés sur le réseau électrique.

Le premier identifie les événements qui génèrent les creux de tension typiquement attribuables à une installation d'utilisateur.

**Tableau 4
Creux générés par un utilisateur**

Tension résiduelle u % de la tension de référence	Durée t			
	t < 0,5 s	0,5 ≤ t < 20 s	20 ≤ t < 60 s	t ≥ 60 s
90 ≥ u > 85	Variation de charge	Démarrage de charge motrice		Court-circuit chez l'utilisateur
85 ≥ u > 70				
70 ≥ u > 40				
40 ≥ u > 0				
0%	Court-circuit intempestif chez l'utilisateur			

Le second positionne les creux de tension générés typiquement par les événements attribuables au réseau Hydro-Québec.

Par exemple, sur le réseau aérien, Hydro-Québec utilise du réenclenchement automatique qui permet de rétablir le service en quelques secondes lors de courts-circuits temporaires.

Tableau 5
Creux provenant du réseau

Tension résiduelle u % de la tension de référence	Durée t				
	$t < 0,5$ s	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 60$ s	$t \geq 60$ s
$90 \geq u > 85$	Élément rapide de la protection	Court-circuit distant ou charge d'autre utilisateur			Baisse de tension
$85 \geq u > 70$		Élément temporisé			
$70 \geq u > 40$					
$40 \geq u > 10$					
$\leq 10\%$		Réenclenchement sur la même ligne			Perte d'alim.

Statistiques sur ces perturbations :

Plusieurs campagnes de mesure des coupures brèves et des creux de tension ont eu lieu à travers le monde et il existe plusieurs documents rapportant ces statistiques dont la norme CAN/CSA-CEI/IEC 61000-2-8:04 [11]. Le tableau suivant, extrait de cette norme, présente des statistiques typiques que l'on peut retrouver à un point de raccordement alimenté à moyenne tension par un réseau mixte (aérien et souterrain) tel que décrit dans cette norme.

Tableau 6
Réseaux mixtes : fréquence des creux de tension – 95^e percentile

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t					
	$10 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s
$90 > u \geq 70$	61	68	12	6	1	0
$70 > u \geq 40$	8	38	4	1	0	0
$40 > u \geq 0$	2	20	4	2	1	0
$u = 0$ (coupures)	0	18	26	5	4	9
95 ^e percentile de creux/site: 256						

Annexe D (informative) : COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE DES ÉQUIPEMENTS AVEC L'ALIMENTATION

Une électricité parfaitement conforme aux caractéristiques définies dans ce 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 des clients 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 des clients 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 au premier aspect sont encadrées par les normes d'immunité comme, 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 » .

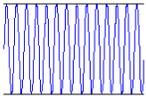
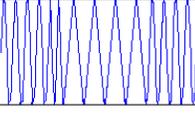
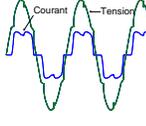
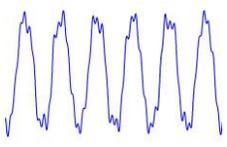
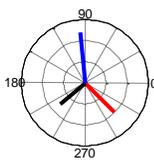
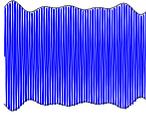
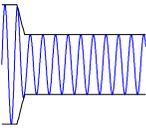
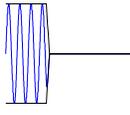
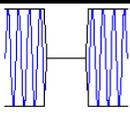
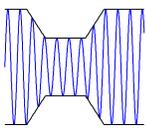
Le degré de compatibilité désiré entre l'équipement et l'alimentation dépend bien sûr de l'utilisation qu'on fait de l'équipement et des conséquences d'une incompatibilité. Par exemple, l'arrêt momentané d'un entraînement à vitesse variable et du moteur qu'il actionne peut être acceptable dans le cas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

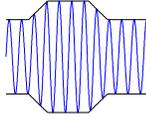
Il est donc important, pour chaque application, de bien considérer le degré d'immunité que doit présenter l'équipement compte tenu de l'alimentation à laquelle il est raccordé. Cette immunité peut caractériser l'équipement même, mais elle peut aussi être améliorée par l'ajout de dispositifs d'atténuation (p. ex. des filtres ou une alimentation autonome sans coupures).

En ce qui a trait au deuxième aspect de la compatibilité, relatif à la production de perturbations de l'onde électrique par les installations raccordées au réseau , il est encadré par les limites d'émission définies par Hydro-Québec [10] et il est essentiel que les clients s'y conforment pour que les valeurs présentées dans ce document ne soient pas dépassées.

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

Annexe E (informative) : REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES DIFFÉRENTES CARACTÉRISTIQUES

Caractéristiques	Graphes
Tension d'alimentation	
Variation de fréquence	
Tensions harmoniques	
Tensions interharmoniques	
Déséquilibre de tension	
Papillotement	
Variation rapides de tension	
Coupure de longue durée	
Coupure brève	
Creux de tension	

Surtension temporaire	
Surtension transitoire	