



# MÉTHODES DE MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ET CIBLES DE QUALITÉ DE TENSION

Rapport No IREQ-99-220

Révision #1

Préparé par :   
Roger Bergeron, ing.  
Appareillage électrique  
Technologies de transport et de  
distribution  
DPRD, IREQ

Révisé par :   
Gaétan Ethier, ing.  
Appareillage électrique  
Technologies de transport et de  
distribution  
DPRD, IREQ

Approuvé par :   
Yvan Chatigny, ing. 2001.12.10.4  
Chef  
Appareillage électrique  
Technologies de transport et de  
distribution  
DPRD, IREQ

Le 1<sup>er</sup> décembre 2000



# MÉTHODES DE MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ET CIBLES DE QUALITÉ DE TENSION

## Sommaire de la révision

Cette révision vise à préciser les modifications à la méthode de mesure du chapitre 8 touchant l'évaluation des variations rapides de tension. De plus, la référence au document « Caractéristiques et cibles de qualité de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension » a également été ajoutée.

## Sommaire

Ce document traite des méthodes de mesure et de l'interprétation des résultats pour les paramètres qui caractérisent la qualité de la tension fournie par le réseau d'Hydro-Québec. Il présente des méthodes approximatives qui utilisent l'instrumentation analogique et des méthodes plus précises qui nécessitent des instruments de mesure spécialisés de fabrication récente.

## Préambule

Les méthodes de mesure présentées dans ce document sont fondées sur les normes de la Commission Électrotechnique Internationale (CEI), notamment la norme CEI 61000-4-7 [3] pour les harmoniques, la norme CEI 61000-4-15 [4] pour le papillotement, ainsi que sur les recommandations du guide ACÉ 220D711 [2] pour les campagnes de mesure de la qualité de l'onde.

Par ailleurs, signalons que le groupe de travail CEI 77A GT9 prépare actuellement une nouvelle norme, la future CEI 61000-4-30, « Mesures des paramètres de la qualité de la tension. » qui devrait être approuvée dans quelques années. Les techniques décrites dans cette norme permettront d'avoir des résultats comparables peu importe le modèle et le fabricant de l'instrument de mesure ou les conditions environnementales dans lesquelles les instruments doivent opérer.

Les normes en cours d'élaboration, notamment la future norme CEI 61000-4-30, compléteront ou remplaceront éventuellement les méthodes décrites dans ce document. Entre temps, le présent document fournit l'information nécessaire pour permettre une transition entre les instruments présentement disponibles ou installés sur le réseau et les instruments modernes nécessaires pour rencontrer les exigences de la normalisation.

## Objet

Ce document concerne la mesure des caractéristiques et cibles de qualité de tension décrites à la référence [1] et [5].



## TABLE DES MATIÈRES

Sommaire.....	i
Préambule.....	i
Objet.....	i
1.0 Tension en régime permanent.....	1
2.0 Tensions harmoniques.....	3
3.0 Déséquilibre de tension.....	4
4.0 Papillotement.....	6
5.0 Coupures brèves et creux de tension.....	10
6.0 Surtensions temporaires.....	10
7.0 Variations de fréquence.....	10
8.0 Variations rapides de tension.....	11
9.0 Surtensions transitoires.....	12
10.0 Liste des symboles utilisés.....	12
Références.....	13



## 1.0 TENSION EN RÉGIME PERMANENT

### 1.1 Méthode de mesure analogique

La tension en régime permanent peut se mesurer à l'aide d'un convertisseur analogique de valeur efficace "True rms" qui fournit un signal temporel en courant continu proportionnel à la tension efficace du réseau. Le signal du convertisseur doit être intégré avec un filtre RC du premier ordre présentant une constante de temps de 5 minutes. Les valeurs maximale et minimale à chaque intervalle de 10 minutes du signal intégré par le filtre doivent être enregistrées si elles sont supérieures à 50 % de la tension nominale  $V_d$ . Ces valeurs servent à déterminer l'écart de la surtension  $IRO$  et de la sous-tension  $IRU$  par rapport à la tension nominale  $V_d$ , (voir les équations 1.3, 1.4 et 1.5). On se fonde ensuite sur les enregistrements hebdomadaires pour procéder au calcul statistique des écarts correspondant à l'ordre centile 95 %, 99 % ou 99,9 % des enregistrements. Ainsi, les écarts de la tension du réseau peuvent être excédés dans 5 %, ou 1 % des cas, selon que l'ordre centile considéré est de 95% ou 99% (voir l'article 1.4 pour la méthode d'analyse statistique).

### 1.2 Méthode de mesure numérique

La tension  $U(t)$  doit d'abord être échantillonnée sur des fenêtres de durée supérieure ou égale à 8 cycles, mais de préférence égale à 12 cycles. Le temps entre le front montant de la première impulsion d'échantillonnage de la fenêtre et le front montant de la première impulsion de la fenêtre suivante doit correspondre à la durée réelle du nombre requis de cycles à la fréquence du réseau (voir figure 1). La différence entre cette durée et la largeur de chaque fenêtre échantillonnée doit être mesurée. Cette différence ne doit pas excéder 0,03% de la durée réelle du nombre de cycles désirés

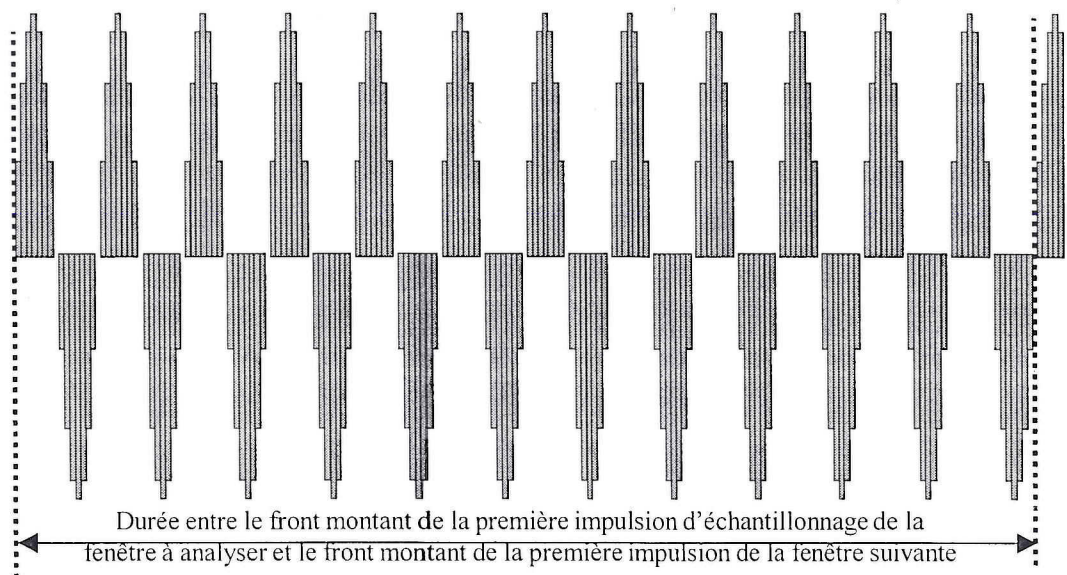


Figure 1: Illustration des impulsions d'échantillonnage pour une fenêtre de 12 cycles

par fenêtre sur une plage de fréquence pouvant varier de  $\pm 5\%$  de 60 Hz. En pratique, plusieurs phénomènes de réseau peuvent produire des variations angulaires qui ponctuellement réduisent ou augmentent significativement la durée de la fenêtre à analyser. Les tensions évaluées durant ces périodes doivent être étiquetées et exclues de l'évaluation si la différence entre la largeur de la fenêtre et le nombre de cycles excède 0,03%.

On se sert ensuite de ces échantillons pour calculer la tension efficace instantanée  $ISV$ , suivant l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes :

- moyenne quadratique des échantillons de  $U(t)$  :

$$ISV = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{t=NB} U(t)^2}{NB}} \quad (1.1)$$

où NB = nombre d'échantillons prélevés par fenêtre supérieure ou égale à 8 cycles (12 cycles de préférence). Ce nombre doit être égal ou supérieur à 512.

- ou bien, sommation quadratique de la composante de la tension efficace à la fréquence fondamentale  $IVH_1$  et de celle de chaque rang harmonique et inter harmonique  $IVH_n$  de  $U(t)$  :

$$ISV = \sqrt{\sum_{n=1}^{n \geq 16} IVH_n^2} \quad (1.2)$$

où n = rang des composantes (harmoniques et inter harmoniques) obtenues par une transformé de Fourier.

La tension efficace instantanée  $ISV$  ainsi obtenue est utilisée pour le calcul des écarts en plus ou en moins pourvu que la valeur efficace soit supérieure à 50 % de la tension nominale  $V_d$ . Une fois validée, elle sert à déterminer l'écart de la sur-tension  $IRO$  et de la sous-tension  $IRU$  par rapport à la tension nominale  $V_d$ , comme suit :

$$ISV_d = \frac{ISV - V_d}{V_d} \times 100\% ; \quad (1.3)$$

$$IRU = - ISV_d \text{ si } ISV_d < 0 \quad \text{et} \quad IRU = 0 \text{ si } ISV_d \geq 0 ; \quad (1.4)$$

$$IRO = ISV_d \text{ si } ISV_d > 0 \quad \text{et} \quad IRO = 0 \text{ si } ISV_d \leq 0. \quad (1.5)$$

Au moins une valeur  $IRU$  et une valeur  $IRO$  doivent être enregistrées par seconde pour pouvoir calculer le niveau efficace des écarts en sous-tension  $U_{10min-bas}$  et en surtension  $U_{10min-haut}$  caractérisant chaque intervalle de 10 minutes pendant la période de mesure (équations 1.6 et 1.7).

$$U_{10\text{min-bas}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=N} \frac{IRU_i^2}{N}} \quad (1.6)$$

$$U_{10\text{min-haut}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=N} \frac{IR}{N}} \quad (1.7)$$

où  $N \geq 600$  = nombre d'enregistrements *IRO* ou *IRU* réalisés à chaque intervalle de 10 minutes.

### 1.3 Méthode de mesure précise

La méthode précise de mesure de la tension tient compte des surtensions et des sous-tensions qui précèdent l'intervalle de 10 minutes évalué. Quand la tension fluctue de plus de 5% pendant chaque intervalle de 10 minutes, ou que les écarts mesurés s'approchent des valeurs cibles à moins de 2% de la tension nominale, la méthode des intervalles synchronisés décrite dans le guide ACÉ [réf. 2] devrait être utilisée.

### 1.4 Méthode d'analyse statistique

On se fonde sur les enregistrements hebdomadaires des  $U_{10\text{min-bas}}$  ou  $U_{10\text{min-haut}}$  pour procéder aux calculs statistiques nécessaires à l'évaluation des niveaux hebdomadaires des écarts en surtension et en sous-tension. La méthode pour déterminer les intervalles de 10 minutes, décrite dans le guide ACÉ [réf. 2], doit être utilisée. Les valeurs absolues des enregistrements sont classées par ordre croissant. Chaque valeur de la série est ensuite liée à un ordre centile <sup>note 1</sup>. La valeur des niveaux  $U_{10\text{min-bas}}$  et celle des niveaux  $U_{10\text{min-haut}}$  qui se classent à l'ordre centile demandé (95, 99 ou 99,9 percentile <sup>note 2</sup>) est comparée à la valeur cible de la caractéristique de la tension [1] et [5].

## 2.0 TENSIONS HARMONIQUES

### 2.1 Méthode de mesure des tensions harmoniques

L'évaluation de chaque rang harmonique demande un enregistrement de la tension dans des fenêtres dont la largeur doit continuellement s'ajuster pour être à l'intérieur de la tolérance de  $\pm 0,03\%$  de la durée de 12 cycles à la fréquence réelle du réseau

---

Note 1: « ordre centile » : Chacune des valeurs d'un caractère quantitatif qui partagent l'étendue des valeurs en cent sous-ensembles d'effectifs égaux. (Le premier centile est tel qu'un centième des valeurs lui soient inférieures, etc. )

Note 2 : « percentile » : Grandeur de l'élément qui partage une série de données en cent groupes également nombreux ou en intervalles égaux: on compte 99 percentiles la grandeur dont 99% des données lui sont inférieures.

conformément à la norme CEI-61000-4-7 [réf. 3 - clause 1.2]. L'analyse spectrale de ces fenêtres est recommandée pour chaque période consécutive de moins de 500 ms. Les enregistrements doivent se faire à un taux d'échantillonnage excédant 2047 échantillons par fenêtre. Chaque échantillon d'un cycle de l'onde de la fenêtre est comparé avec l'échantillon du cycle précédent pour s'assurer que des transitoires, des creux ou des surtensions temporaires de la tension n'apparaissent pas dans les données. La procédure pour réaliser cette comparaison est expliquée à la référence [2]. Les résultats de la fenêtre de mesure sont valides si l'amplitude de la tension fondamentale de chaque phase mesurée est supérieure à 50 % de la tension nominale.

L'évaluation de chaque rang harmonique  $IVH_n$  doit être conforme au guide ACÉ [réf. 2]. Ce protocole décrit la méthode de calcul utilisée pour établir le niveau efficace de l'amplitude de la tension à la fréquence de rang harmonique  $n$  sur l'intervalle de 10 minutes  $IVH_{n(10\ min)}$ .

## 2.2 Méthode d'analyse statistique

On se fonde sur les moyennes quadratiques de l'amplitude de la tension à chaque rang harmonique  $IVH_{n(10\ min)}$ , calculées à chaque intervalle de 10 minutes durant 7 jours consécutifs, pour procéder aux calculs statistiques nécessaires à l'évaluation du niveau hebdomadaire d'harmoniques qui n'excède pas 95% des cas. La méthode pour déterminer les intervalles de 10 minutes, décrite dans le guide ACÉ [réf. 2], doit être utilisée. Pour ce faire, les enregistrements hebdomadaires sont classés par ordre croissant. Chaque valeur de la série est ensuite liée à un ordre centile, de la valeur minimale à la valeur maximale. La valeur de  $IVH_{n(10\ min)}$  qui se classe à l'ordre centile 95 est comparée à la valeur cible de la caractéristique de la tension [1] et [5].

## 3.0 DÉSÉQUILIBRE DE TENSION

### 3.1 Méthode de mesure du déséquilibre

L'évaluation du taux de déséquilibre de tension  $VUF$  demande des enregistrements simultanés de la tension de chacune des trois phases. Ce taux,  $VUF$ , se calcule à partir de la composante fondamentale des tensions  $\overline{U_a}$ ,  $\overline{U_b}$  et  $\overline{U_c}$  du réseau triphasé mis à la terre. Si le réseau est exploité en mode flottant, ce sont alors les tensions entre phases  $\overline{U_{a-b}}$ ,  $\overline{U_{b-c}}$  et  $\overline{U_{c-a}}$  qui sont mesurées. Selon les tensions mesurées, on se servira de l'une ou l'autre des deux équations suivantes pour évaluer le  $VUF$  du réseau :

$$VUF = \left| \frac{\left( \overline{U_{a-b}} + \overline{h^2} \overline{U_{b-c}} + \overline{h} \overline{U_{c-a}} \right)}{\left( \overline{U_{a-b}} + \overline{h} \overline{U_{b-c}} + \overline{h^2} \overline{U_{c-a}} \right)} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

$$VUF = \frac{|\bar{U}_{a-b} - \bar{h}\bar{U}_{b-c}|}{|\bar{U}_{a-b} - \bar{h}^2\bar{U}_{b-c}|} \quad (3.2)$$

$$\bar{h} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j \text{ et } j = \sqrt{-1}$$

Les équations 3.1 et 3.2 s'appliquent aux vecteurs de tensions, mais la mesure peut aussi se faire avec le module des tensions entre phases à l'aide des équations suivantes:

$$VUF = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \times 100\% \quad (3.3)$$

$$\beta = \frac{U_{a-b}^4 + U_{b-c}^4 + U_{c-a}^4}{(U_{a-b}^2 + U_{b-c}^2 + U_{c-a}^2)^2} \quad (3.4)$$

On procède au calcul du déséquilibre de tension si l'amplitude de chaque tension est supérieure à 50% de la tension nominale. L'enregistrement des tensions peut se faire avec un convertisseur analogique-numérique, à un taux d'échantillonnage excédant 32 échantillons par cycle. L'amplitude et l'angle de la tension fondamentale peuvent se calculer avec une transformée de Fourier sur une fenêtre de 8 cycles ou plus; de préférence 12 cycles.

Les précisions relatives de l'amplitude et de l'angle de décalage entre les canaux de l'enregistreur influent directement sur la précision de la mesure du déséquilibre de tension et doivent, par conséquent, être vérifiées. Cette vérification se fait en reliant les trois canaux de l'enregistreur à une même phase. La différence maximale de l'amplitude et de l'angle entre deux des trois tensions enregistrées ne doit pas excéder 0,07 % de la moyenne des trois tensions et 0,05° (degré). L'instrument doit être étalonné si l'un des deux critères n'est pas respecté (0,07% d'erreur en amplitude ou 0,05° degré d'incertitude).

On peut utiliser trois transformateurs de mesure d'une classe de précision d'au moins 0,6 % dans la chaîne de mesure s'ils sont identiques (même fabricant et même modèle) et que chacun alimente le même nombre d'instruments du même modèle. Les systèmes de mesure à deux éléments, composés de deux transformateurs de tension connectés en configuration triangle ouvert, peuvent fournir une précision acceptable si les conditions suivantes sont toutes respectées :

- les deux transformateurs sont parfaitement identiques (même modèle et même fabricant);
- ils alimentent le même nombre d'instruments du même modèle ;
- leurs enroulements primaires sont reliés entre phases ;
- ils n'alimentent aucune charge sur le côté ouvert du triangle.

La connexion des transformateurs en configuration triangle ouvert pour les unités de mesure à deux éléments et demi fournit normalement la tension phase-terre de deux phases du réseau. Ce type de connexion ne peut pas servir pour évaluer les déséquilibres de tension.

Une attention particulière doit être apportée à la connexion des transformateurs de mesure à cause du déphasage qui est introduit par les connexions étoile-triangle ou triangle étoile. On doit donc s'assurer que les tensions phase-neutre ou phase-phase mesurées au secondaire des transformateurs de mesure reflètent bien celles du réseau que l'on veut mesurer.

L'évaluation des intervalles liés aux déséquilibres de tension doit être conforme au guide ACÉ [réf. 2]. Ce protocole décrit la méthode de calcul utilisée pour établir le niveau efficace de déséquilibre de tension sur l'intervalle de 2 heures  $VUF_{2h}$ .

### **3.2 Méthode d'analyse statistique**

On se fonde sur les moyennes quadratiques d'au moins 200 valeurs de déséquilibre de tension  $VUF_{2h}$ , échantillonnées à chaque intervalle de 2 heures durant 7 jours consécutifs, pour procéder aux calculs statistiques nécessaires à l'évaluation du niveau hebdomadaire de déséquilibre qui n'est pas dépassé dans 95 % des cas. La méthode pour déterminer les intervalles de 2 heures, décrite dans le guide ACÉ [réf. 2], doit être utilisée. Pour ce faire, les enregistrements hebdomadaires sont classés par ordre croissant. Chaque valeur de la série est ensuite liée à un ordre centile, de la valeur minimale à la valeur maximale. La valeur du niveau  $VUF_{2h}$  qui se classe à l'ordre centile 95% est comparée à valeur indicative de la caractéristique de la tension [1] et [5].

## **4.0 PAPILLOTEMENT**

### **4.1 Méthode de mesure du papillotement**

À l'origine, le flickermètre a été conçu pour évaluer le papillotement produit par une lampe incandescente de 60W à 230V. En 1986, après plus de 10 ans d'essais, la CEI l'a normalisé (norme révisée en 1997 : CEI 61000-4-15 ) [4]. Le papillotement produit par une lampe incandescente à 120V est cependant inférieur à celui d'une lampe à 230V. Les récentes recherches réalisées par l'Union Internationale d'Électrothermie (UIÉ) ont permis d'apporter au flickermètre les modifications nécessaires pour évaluer le papillotement d'une lampe à 120V. Ces modifications tiennent aux valeurs des coefficients de la fonction de transfert  $F(s)$  liant la fluctuation de la tension et le niveau de papillotement en régime permanent. La fonction de transfert correspond au filtre de pondération du papillotement qui s'exprime par l'équation suivante :

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)} \quad (4.1)$$

Une comparaison analytique du papillotement produit par une lampe à 230V et une lampe à 120V est présentée à la figure 2 et aux tableaux 1 et 2.

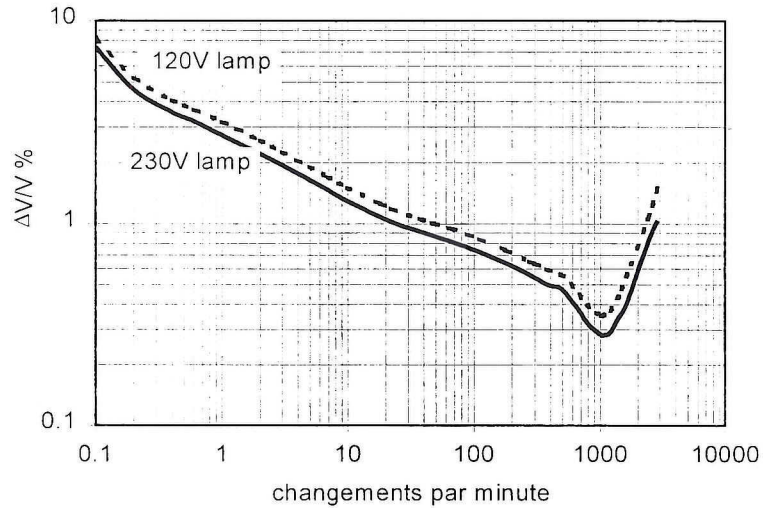


Figure 2 : Modulation rectangulaire pour un  $P_{st} = 1$  p.u.

Tableau 1 : Coefficients du filtre de pondération du papillotement

Coefficients	Tension	
	230 V	120 V
k	1,74802	1,6357
$\lambda$	$2 \cdot \pi \cdot 4,05981$	$2 \cdot \pi \cdot 4,167375$
$\omega_1$	$2 \cdot \pi \cdot 9,15494$	$2 \cdot \pi \cdot 9,077169$
$\omega_2$	$2 \cdot \pi \cdot 2,27979$	$2 \cdot \pi \cdot 2,939902$
$\omega_3$	$2 \cdot \pi \cdot 1,22535$	$2 \cdot \pi \cdot 1,394468$
$\omega_4$	$2 \cdot \pi \cdot 21,9$	$2 \cdot \pi \cdot 17,31512$

Tableau 2 : Comparaison des amplitudes des variations de la tension d'alimentation sur différentes lampes incandescentes pour un niveau de sévérité de papillotement  $P_{st} = 1$

Variations par minute	Fréquence de la fluctuation (Hz)	Variation relative de la tension $\Delta V/V$ (%) pour un niveau de sévérité de papillotement $P_{st} = 1$	
		produit par une lampe à 230V	produit par une lampe à 120V
0,1	0,000833	7,4	8,202
0,2	0,001667	4,58	5,232
0,4	0,003333	3,54	4,062
0,6	0,00500	3,2	3,645
<b>1</b>	<b>0,00833</b>	<b>2,724</b>	<b>3,166</b>
2	0,01667	<b>2,211</b>	<b>2,568</b>
3	0,02500	1,95	2,250
5	0,04167	1,64	1,899
7	0,05833	1,459	1,695
10	0,0833	1,29	1,499
22	0,1833	1,02	1,186
<b>39</b>	<b>0,3250</b>	<b>0,906</b>	<b>1,044</b>
48	0,4000	0,87	1,0
68	0,5667	0,81	0,939
<b>110</b>	<b>0,9167</b>	<b>0,725</b>	<b>0,841</b>
176	1,4667	0,64	0,739
273	2,2750	0,56	0,650
375	3,1250	0,5	0,594
480	4,0000	0,48	0,559
585	4,8750	0,42	0,501
682	5,6833	0,37	0,445
796	6,6333	0,32	0,393
1020	8,5000	0,28	0,350
1055	8,7917	0,28	0,351
1200	10,000	0,29	0,371
1390	11,583	0,34	0,438
<b>1620</b>	<b>13,500</b>	<b>0,402</b>	<b>0,547</b>
2400	20,000	0,77	1,051
2875	23,9583	1,04	1,498

Les tableaux 3 et 4 suivants, tirés de la norme CEI 61000-4-15 [4] et adaptés pour la lampe à 120V, sont utilisés pour valider la réponse d'un flickermètre à la sortie du bloc 4 pour des fluctuations sinusoïdales et rectangulaires de la tension.

**Tableau 3 : Réponse normale du flickermètre pour des fluctuations sinusoïdales de la tension à 120 V**

Fréquence Hz	Fluctuation de la tension, (%)	Fréquence (Hz)	Fluctuation de la tension (%)	Fréquence (Hz)	Fluctuation de la tension (%)
0,5	2,45694	6,5	0,36626	14	0,5297
1	1,46312	7	0,34555	15	0,59274
1,5	1,12419	7,5	0,33154	16	0,66247
2	0,94005	8	0,32294	17	0,73722
2,5	0,81391	8,8	0,32103	18	0,8147
3	0,71585	9,5	0,32954	19	0,89681
3,5	0,63609	10	0,33899	20	0,98109
4	0,56918	10,5	0,35451	21	1,07106
4,5	0,51372	11	0,37357	22	1,16351
5	0,46505	11,5	0,39432	23	1,26174
5,5	0,42578	12	0,41976	24	1,36529
6	0,39325	13	0,46958	25	1,47241

**Tableau 4 : Réponse normale du flickermètre pour des fluctuations rectangulaires de la tension à 120 V**

Fréquence Hz	Fluctuation de la tension, (%)	Fréquence (Hz)	Fluctuation de la tension (%)	Fréquence (Hz)	Fluctuation de la tension (%)
0,5	0,600	6,5	0,281	14	0,411
1	0,546	7	0,269	15	0,459
1,5	0,503	7,5	0,258	16	0,512
2	0,471	8	0,255	17	0,579
2,5	0,440	8,8	0,253	18	0,632
3	0,420	9,5	0,258	19	0,691
3,5	0,409	10	0,264	20	0,752
4	0,393	10,5	0,280	21	0,815
4,5	0,371	11	0,296	22	0,853
5	0,349	11,5	0,309	23	0,945
5,5	0,323	12	0,322	24	1,070
6	0,303	13	0,370		

## 4.2 Méthode d'analyse statistique

On se fonde sur les enregistrements  $P_{1t}$  effectués aux deux heures durant 7 jours consécutifs, pour procéder aux calculs statistiques nécessaires à l'évaluation du niveau hebdomadaire du papillotement qui n'est pas dépassé dans 95% des cas. Pour ce faire, les enregistrements hebdomadaires sont classés par ordre croissant. Chaque valeur de la série est ensuite liée à un ordre centile, de la valeur minimale à la valeur maximale. La valeur de  $P_{1t}$  qui se classe à l'ordre centile 95% est comparée à la valeur cible de la caractéristique de la tension [1] et [5].

## 5.0 COUPURES BRÈVES ET CREUX DE TENSION

La méthode de mesure et de classification des résultats pour les coupures brèves et les creux de tension est décrite à l'article 5.6 du guide de l'ACÉ [2], à l'exception toutefois de l'évaluation des valeurs efficaces des tensions qui devraient dorénavant être effectuée sur un cycle au lieu d'un demi-cycle, tel que stipulé à la référence [1] et [5]. Ces différences affecteront surtout les résultats des perturbations de durée inférieure à 1 cycle, qu'il donc convient d'interpréter en conséquence.

## 6.0 SURTENSIONS TEMPORAIRES

La méthode de mesure et de classification des résultats pour les surtensions temporaires est décrite à l'article 5.5 du guide de l'ACÉ [2], à l'exception toutefois de l'évaluation des valeurs efficaces des tensions qui devraient dorénavant être effectuée sur un cycle au lieu d'un demi-cycle, tel que stipulé à la référence [1] et [5]. Ces différences affecteront surtout les résultats des perturbations de durée inférieure à 1 cycle, qu'il donc convient d'interpréter en conséquence.

## 7.0 VARIATIONS DE FRÉQUENCE

La mesure de la fréquence peut se faire avec un compteur de fréquence numérique centré sur la composante fondamentale de la tension du réseau. Deux filtres analogiques doivent être utilisés pour réduire les perturbations du réseau qui peuvent nuire à la précision de la mesure. Le premier, un passe-haut du 2<sup>e</sup> ordre, accordé à la fréquence de 51 Hz, permet de réduire les niveaux de tension du réseau produits par des phénomènes sous-synchrones. Le deuxième, un passe-bas du 6<sup>e</sup> ordre à fréquence de coupure de 69 Hz, assure le filtrage des composantes harmoniques du réseau. Un circuit "Schmitt trigger" est également recommandé pour immuniser le compteur de fréquence contre les composantes sous-harmoniques et harmoniques à 30 Hz et à 120 Hz. L'erreur maximale de l'instrument de mesure pendant 99,99 % du temps ne peut excéder 0,05 Hz. Avec un compteur de fréquence, on procède généralement à la mesure de la période de chaque cycle, puis on effectue la moyenne des périodes de 12 cycles consécutifs. La mesure de la période de 12 cycles peut aussi fournir une très bonne évaluation de la fréquence du réseau.

### 7.1 Méthode d'analyse statistique

La méthode statistique pour analyser la fréquence consiste à compter le nombre de mesures qui excèdent la plage délimitée par les valeurs cibles de la fréquence ( $N_f$ ) et le nombre hebdomadaire d'intervalles de 12 cycles ( $N_p$ ) pendant lesquels la tension du réseau est dans la plage habituelle d'exploitation. Le pourcentage du temps ( $Fre$ ) pendant lequel la fréquence du réseau excède la plage entre les valeurs cibles s'obtient par l'équation suivante :

$$Fre = \frac{N_v - N_f}{N_v} \times 100\% \quad (7.1)$$

## 8.0 VARIATIONS RAPIDES DE TENSION

On obtient la mesure des variations rapides de tension en calculant la différence entre le minimum et le maximum des valeurs de tension efficace  $ISV_{3-s}$  sur une période d'analyse de 3 secondes. Ainsi, pour couvrir les intervalles de 3 secondes possibles, l'évaluation se fait par saut de 12 cycles. Chaque variation de tension s'exprime en pourcentage de la moyenne des tensions efficaces enregistrées pendant les 9 secondes précédant la fin de la période d'analyse de 3 secondes.

La tension efficace sur trois secondes  $ISV_{3-s}$  peut se mesurer à l'aide d'un convertisseur analogique de valeur efficace " True rms " qui fournit un signal temporel à courant continu proportionnel à la tension efficace du réseau. Le signal du convertisseur doit être intégré avec un filtre RC du premier ordre présentant une constante de temps de 1,5 seconde. Les valeurs maximales  $ISV_{\max 3-s}$  et minimale  $ISV_{\min 3-s}$  à chaque intervalle de 3 secondes du signal intégré par le filtre doivent être enregistrées si elles n'excèdent pas la plage de plus ou moins 10 % de la tension nominale  $V_d$  (les variations rapides de tension ne doivent pas inclure les creux de tension et coupures brèves).

La mesure de la tension qui se fait à l'aide d'un instrument numérique doit respecter les exigences décrites à la clause 1.2. La tension efficace instantanée  $ISV$  est obtenue en utilisant l'équation 1.1 ou 1.2. L'instrument devra calculer une seule valeur par période de 12 cycles. Donc, l'instrument qui mesure sur moins de 12 cycles devra introduire un écart suffisant entre chaque fenêtre. Par exemple, si l'instrument mesure sur 8 cycles, un écart de 4 cycles entre les fenêtres devra être ajouté entre les mesures. Si, au contraire, l'instrument mesure sur des fenêtres qui excèdent 12 cycles un chevauchement avec la fenêtre précédente devient nécessaire pour respecter les intervalles de 12 cycles par enregistrement.

La valeur efficace sur 3 secondes se calcule à chaque incrément de 12 cycles en utilisant l'équation suivante avec les valeurs  $ISV$  des 15 fenêtres précédentes :

$$ISV_{3-s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=-15}^1 ISV_i^2}{15}} \quad (8.1)$$

À chaque période d'analyse de 3 secondes, la valeur maximale  $ISV_{\max 3-s}$  et la valeur minimale  $ISV_{\min 3-s}$  qui se situent dans la plage de plus ou moins 10% de la tension nominale  $V_d$  sont enregistrées.

Les valeurs  $ISV_i$  obtenues sur chaque intervalle de 9 secondes (jusqu'à 45 valeurs) et se situant dans la plage de plus ou moins 10% de la tension nominale  $V_d$  telles qu'utilisées pour trouver les valeurs  $ISV_{\max 3-s}$  et  $ISV_{\min 3-s}$ , servent aussi à calculer la moyenne  $ISV_{\text{moy } 9-s}$ . Finalement, les valeurs  $ISV_{\max 3-s}$ ,  $ISV_{\min 3-s}$  et  $ISV_{\text{moy } 9-s}$ , sont utilisées pour calculer les variations rapides de tension  $V_{\text{rapide}}$  selon l'équation 8.2 :

$$V_{\text{rapide}} (\%) = \left[ \frac{ISV_{\max 3-s} - ISV_{\min 3-s}}{ISV_{\text{moy } 9-s}} \right] * 100 \quad (8.2)$$

Le calcul  $V_{\text{rapide}}$  doit se faire par saut de 0,2 seconde (12 cycles) avec les enregistrements des 9 secondes précédentes.

## 9.0 SURTENSIONS TRANSITOIRES

Les surtensions transitoires rapides ou de très courte durée (typiquement moins de  $\frac{1}{2}$  cycle) seront mesurées par des méthodes spécifiques selon la nature des phénomènes présents. La mesure des transitoires rapides peut nécessiter un montage et des capteurs spéciaux pour permettre des mesures précises des hautes fréquences en haute tension. L'évaluation des surtensions transitoires consiste surtout à mesurer la forme d'onde de tension et sa valeur crête instantanée avec une chaîne de mesure dont la bande passante est adéquate par rapport à la fréquence des phénomènes considérés.

## 10.0 SYMBOLES UTILISÉS DANS CE DOCUMENT

$IRO$	Surtension par rapport à la tension nominale
$IRU$	Sous-tension par rapport à la tension nominale
$ISV$	Tension efficace instantanée
$IVH_1$	Amplitude de la tension à la fréquence fondamentale
$IVH_n$	Amplitude de la tension à la fréquence de rang harmonique $n$
$(N_v)$	Nombre d'intervalles de 12 cycles ayant une tension à l'intérieur de la plage habituelle d'exploitation
$(N_f)$	Nombre d'intervalles de 12 cycles ayant une fréquence à l'extérieure de la plage des valeurs cibles
$U(t)$	Échantillon de tension mesuré au temps $t$
$\vec{U}_{a-n}$	Tension entre la phase « a » et le neutre
$\vec{U}_{b-n}$	Tension entre la phase « b » et le neutre
$\vec{U}_{c-n}$	Tension entre la phase « c » et le neutre
$\vec{U}_{a-b}$	Tension entre la phase « a » et la phase « b »
$\vec{U}_{b-c}$	Tension entre la phase « b » et la phase « c »
$\vec{U}_{c-a}$	Tension entre la phase « c » et la phase « a »

$U_{10min-haut}$	Niveau efficace de surtension de la tension
$U_{10min-bas}$	Niveau efficace de sous-tension de la tension
$V_d$	Tension nominale (valeur phase-neutre ou phase-phase selon le cas)
$V_{rapide}$	Variation rapide de tension
$VUF_{2h}$	Niveau efficace du déséquilibre de tension sur un intervalle de 2 heures
$P_{st}$	Indice de papillotement de courte durée
$P_{lt}$	Indice de papillotement de longue durée

---

## RÉFÉRENCES :

- [1] – Caractéristiques et cibles de qualité de la tension fournie par le réseau de transport d'Hydro-Québec, Études de réseau & Critères de Performance, D.P.D.A. TransÉnergie, 15 juin 1999
- [2] – «Rapport ACÉ 220 D 711» Protocole de mesure de la qualité de l'onde – Guide pour les campagnes de mesure de la qualité de l'onde., Roger Bergeron, Association Canadienne de l'Électricité, Première édition, Mars 1996.
- [3] – CEI 61000-4-7 « Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4 : Techniques d'essai et de mesure – Section 7 : Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'inter harmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés ». CEI 1991.
- [4] - CEI 61000-4-15 « Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4 : Techniques d'essai et de mesure – Section 15 : Flickermètre – Spécifications fonctionnelles et de conception ». CEI 1997.
- [5] – Caractéristiques et cibles de qualité de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec, Orientations de réseaux, Plans et stratégies d'Affaires, VP Distribution, juin 2000
-

