

C.22-03 Novembre 2008

Exigences techniques relatives au raccordement des charges fluctuantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec

&

C.22-03A-1 Juin 2013

Addenda n° 1 à la norme C.22-03

numéro	C.22-03A-1		
en vigueur le	2013-06		
page	1	de	4
préparé par	date	validé par	date
Jean-Benoît Mahieux, ing.	13/01/13	Maud Gauthier, ing., chargée d'équipe	13/01/13
Stratégie réseau		Stratégie réseau	
approuvé par	date		
Bruno Houle, ing., chef	13/01/13		
Stratégie réseau			

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent addenda vient modifier la norme C.22-03 *Exigences techniques relatives au raccordement des charges fluctuantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec*, pour y ajouter les interharmoniques.

Lors de la prochaine mise à jour de la norme, les modifications contenues dans cet addenda y seront intégrées.

2 DESCRIPTION DES MODIFICATIONS

2.1 Modifications apportées à la section 1.4 *Références*

Les deux références suivantes sont ajoutées à la liste :

- Association canadienne de normalisation, CAN/CSA-C61000-2-2:04, *Compatibilité électromagnétique (CEM) –Partie 2-2: Environnement – Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites à basse fréquence et la transmission des signaux sur les réseaux publics d'alimentation basse tension;*
- Addenda n°1 à la norme C.25-01 *"Exigences techniques relatives à l'émission d'harmoniques par les installations de clients raccordés au réseau de distribution d'Hydro-Québec"*.

2.2 Modifications apportées à la section 2.1 *Origine du phénomène*

L'article 2.1 est modifié par l'ajout, à la fin, après la figure 1, du paragraphe suivant :

Les interharmoniques de basse fréquence (inférieurs à 120 Hz) produisent un phénomène de battement qui se traduit par du papillotement. La fréquence du battement est égale à la différence entre les fréquences des deux tensions coexistantes, c'est-à-dire la fréquence fondamentale (60 Hz) et la fréquence interharmonique.

2.3 Modifications apportées à la section 3.1 *Étapes à suivre pour évaluer le niveau d'émission du papillotement*

La figure 4 est remplacée par la figure 4 ci-dessous qui inclut l'exigence pour les interharmoniques de basse fréquence.

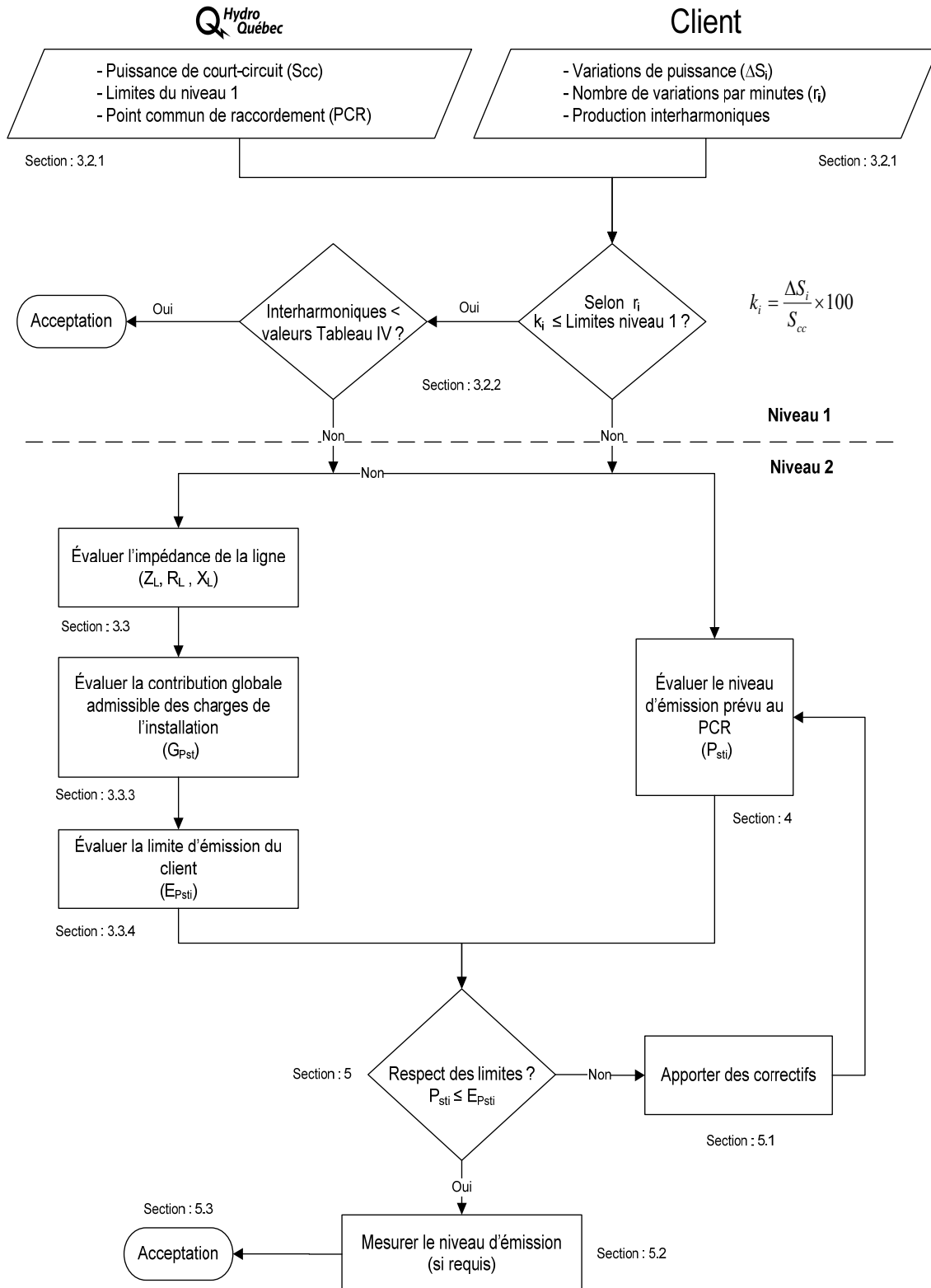


Figure 4 – Processus d'évaluation du papillotement

2.4 Modifications apportées à la section 3.2.1 *Données requises à la réalisation du niveau 1 (Hydro-Québec Distribution et le client)*

Cette section est modifiée par le texte suivant, ajouté dans la liste des informations qui accompagnent les résultats de l'évaluation faite par le client :

- La liste des équipements qui génèrent, intentionnellement, des tensions interharmoniques basse fréquence (inférieures à 120 Hz) pour la transmission de signaux par le réseau électrique.

2.5 Modifications apportées à la section 3.2.2 *Respect des limites du niveau 1 (Hydro-Québec et client)*

L'avant-dernière ligne de la section est supprimée (~~Si les limites sont dépassées par l'une des charges perturbatrices, une analyse plus approfondie (niveau 2) est nécessaire~~) et est remplacée par le paragraphe suivant, le tableau IV et la note :

- Si les équipements du client génèrent, intentionnellement, des interharmoniques pour la transmission de signaux par le réseau électrique, le niveau des interharmoniques, V_m , ne doit pas dépasser les valeurs maximales de tension interharmonique indiquées dans le tableau IV, où V_m est indiquée en pourcentage de la tension nominale.

Tableau IV – Valeurs maximales de la tension interharmonique

Interharmonique		Interharmonique	
Fréquence - f_m (Hz)	Tension - V_m (%)	Fréquence - f_m (Hz)	Tension - V_m (%)
$12 < f_m \leq 36$	0,44	$62,4 < f_m \leq 64,8$	0,16
$36 < f_m \leq 38,4$	0,36	$64,8 < f_m \leq 67,2$	0,10
$38,4 < f_m \leq 40,8$	0,29	$67,2 < f_m \leq 69,6$	0,10
$40,8 < f_m \leq 43,2$	0,23	$69,6 < f_m \leq 74,4$	0,11
$43,2 < f_m \leq 45,6$	0,18	$74,4 < f_m \leq 76,8$	0,18
$45,6 < f_m \leq 50,4$	0,11	$76,8 < f_m \leq 79,2$	0,23
$50,4 < f_m \leq 52,8$	0,10	$79,2 < f_m \leq 81,6$	0,29
$52,8 < f_m \leq 55,2$	0,10	$81,6 < f_m \leq 84$	0,36
$55,2 < f_m \leq 57,6$	0,16	$84 < f_m \leq 108$	0,44
$57,6 < f_m \leq 62,4$	0,18		

Note : Les valeurs de ce tableau sont basées sur les valeurs du tableau B.1 de la norme CAN/CSA-C61000-2-2:04 corrigées par le facteur $1/\sqrt[3]{10} = 0,46$

numéro	C.22-03A-1	
en vigueur le	2013-06	
page	4	de 4

Si les limites des tableaux II ou IV sont dépassées, une analyse plus approfondie (niveau 2) est nécessaire.

2.6 Modifications apportées à la section 3.3 Niveau 2 – Évaluation détaillée du niveau d'émission de papillotement

La première phrase est complétée par l'ajout des mots "incluant les interharmoniques de basse fréquence" pour se lire :

Lorsque les limites du niveau 1 ne peuvent être respectées, le client doit alors procéder à une évaluation détaillée du niveau d'émission des perturbations, incluant les interharmoniques de basse fréquence, causées par son installation sur le réseau de distribution.

2.7 Modifications apportées à la section 3.3.1 Données requises à la réalisation du niveau 2 (Hydro-Québec et client)

Cette section est modifiée par le texte suivant, ajouté dans la liste des informations qui accompagnent les résultats de l'évaluation faite par le client :

- La liste des équipements générant des interharmoniques de basse fréquence (inférieurs à 120 Hz) ainsi que leurs caractéristiques, incluant les équipements qui génèrent, intentionnellement, des tensions interharmoniques pour la transmission de signaux par le réseau électrique.

directive norme méthode

corporative sectorielle

		numéro C.22-03	
		page 1	de 59
titre Exigences techniques relatives au raccordement des charges fluctuantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec		révision de la version de C.22.1, C.22.2 et A.41.2	
		date d'entrée en vigueur 2008/11	
préparé par <i>Guy Légaré ing.</i> Guy Légaré ing. Planification, ingénierie Développement des compétences	vérifié par <i>[Signature]</i> Révision linguistique	validé par <i>[Signature]</i> Jean-Bertin-Mahieux, ing. Orientations du réseau	date 2-12-08 recommandé par <i>[Signature]</i> Denis Chartrand, chef Orientations du réseau
unités intéressées Toutes les unités de la vice-présidence Réseau	sceau d'ingénieur 	approuvé par <i>[Signature]</i> Jean Bouchard, directeur, Gestion de l'actif	date 08/12/09

SOMMAIRE

	Titre	Page
	AVANT-PROPOS	4
1	GÉNÉRALITÉS	5
1.1	Objet	5
1.2	Domaine d'application	5
1.3	Portée	5
1.4	Références	5
1.5	Définitions	6
2	CONCEPTS DE BASE	9
2.1	Origine du phénomène	9
2.2	Quantification du papillotement	10
2.3	Limites et niveaux de papillotement	11
2.4	Évaluation du papillotement à court et à long terme	13
2.5	Loi de sommation pour le papillotement à court (P_{st}) et à long terme (P_{lt})	14

numéro	C.22-03		
page	2	de	59

3	LIMITATION DU NIVEAU D'ÉMISSION DE PAPILLOTEMENT	15
3.1	Étapes à suivre pour évaluer le niveau d'émission de papillotement.....	15
3.2	Niveau 1 - Évaluation simplifiée du niveau d'émission de papillotement.....	17
3.2.1	Données requises à la réalisation du niveau 1 (Hydro-Québec Distribution et client).....	17
3.2.2	Respect des limites du niveau 1 (Hydro-Québec et client)	18
3.3	Niveau 2 - Évaluation détaillée du niveau d'émission de papillotement.....	19
3.3.1	Données requises à la réalisation du niveau 2 (Hydro-Québec et client)	19
3.3.2	Impédance de la ligne de distribution (Hydro-Québec).....	20
3.3.3	Contribution globale des charges d'un même réseau MT (Hydro-Québec).....	20
3.3.4	Limites d'émission individuelle (Hydro-Québec)	21
4	NIVEAU D'ÉMISSION DE PAPILLOTEMENT PRÉVU AU PCR (CLIENT).....	22
4.1	Méthodes de prévision du niveau de papillotement.....	22
4.1.1	Méthode 1 : Charge existante similaire.....	24
4.1.2	Méthode 2 : Simulation logicielle	24
4.1.3	Méthode 3 : Évaluation à l'aide de formules de base	25
4.1.4	Méthode 4 : Évaluation analytique.....	27
4.2	Prévision du niveau de papillotement hebdomadaire à court et à long terme (P _{st} , P _{lt}).....	33
5	RESPECT DES LIMITES D'ÉMISSION DE PAPILLOTEMENT, NIVEAU 2 (HYDRO-QUÉBEC ET CLIENT).....	36
5.1	Moyen de mitigation (Client).....	36
5.2	Mesure du niveau d'émission (Client).....	37
5.3	Acceptation (Hydro-Québec)	38
6	LIMITATION DU NIVEAU D'ÉMISSION DE VARIATIONS RAPIDES DE TENSION.....	38
6.1	Évaluation du niveau d'émission des variations rapides de tension (RVC).....	38
6.2	Évaluation des variations rapides de tension.....	39
6.2.1	Données requises à la réalisation de l'évaluation	39
6.2.2	Respect des limites d'émission de variations rapides de tension.....	40
6.3	Mesure du niveau d'émission (Client).....	41
6.4	Moyen de mitigation (Client).....	41
6.5	Acceptation (Hydro-Québec).....	41

numéro	C.22-03		
page	3	de	59

7 **RESPONSABLE DE L'IMPLANTATION41**

8 **RESPONSABLES DE L'APPLICATION41**

ANNEXES

A – **Exemple d'analyse de niveau 1.....42**

B – **Courbes pour les facteurs de forme.....45**

C – **Exemple d'analyse de niveau 2 - Prévion du niveau de papillotement.....49**

AVANT-PROPOS

La présente norme décrit les exigences de raccordement des charges fluctuantes alimentées à partir du réseau de distribution d'Hydro-Québec. Celle-ci remplace les trois encadrements d'Hydro-Québec suivants :

- Norme C.22.1 (1981/05), *Limites de papillotement sur le réseau de distribution moyenne et basse tension*;
- Norme C.22.2 (1981/05), *Limites de papillotement applicables à l'abonné*;
- Guide technique A.41.2 (1981/05), *Notions et règles du phénomène de papillotement*.

Cette norme s'appuie principalement sur les normes nationales du Canada ainsi que sur les normes et les rapports techniques de la Commission Électrotechnique Internationale (CEI).

L'approche préconisée dans cette norme repose sur des hypothèses simplificatrices, elle ne peut donc garantir l'obtention de la solution optimale à tous les problèmes de fluctuations de tension. Son application exige donc souplesse et discernement.

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 Objet

Cette norme a pour objet d'énoncer les exigences techniques relatives au raccordement de charges fluctuantes au réseau de distribution d'Hydro-Québec. Ces exigences visent à contrôler les phénomènes de papillotement et de variations rapides de tension. Elle permet d'établir une ligne de conduite uniforme et cohérente relative aux demandes de raccordement de charges fluctuantes pour tous les clients.

1.2 Domaine d'application

Les exigences techniques relatives à l'émission de papillotement et de variations rapides de tension ainsi que les méthodes d'évaluation contenues dans ce document s'appliquent aux installations électriques raccordées au réseau de distribution d'Hydro-Québec à une tension jusqu'à 35 kV. Plus spécifiquement, elles s'appliquent :

- aux projets de raccordement de nouvelles installations électriques de clients au réseau de distribution et à la remise en service d'installations électriques désaffectées ou fermées ;
- aux projets d'ajout d'équipements perturbateurs ou de modification des caractéristiques des équipements déjà raccordés ;
- aux installations existantes qui perturbent la qualité du produit électrique.

Ces exigences techniques ne s'appliquent pas aux installations électriques raccordées directement au réseau de transport d'Hydro-Québec. Le document intitulé *Exigences techniques pour les installations de clients raccordées au réseau de transport d'Hydro-Québec* couvre ce domaine d'application.

Le raccordement de charges fluctuantes au réseau de distribution doit toujours être autorisé par Hydro-Québec.

1.3 Portée

Cette norme s'adresse à toute personne appelée à traiter le raccordement de charges fluctuantes au réseau de distribution moyenne tension et basse tension. Les clients doivent se conformer aux exigences de raccordement qu'elle contient.

1.4 Références

La présente norme s'appuie principalement sur les normes et documents énumérés ci-dessous ainsi que sur les versions subséquentes des mêmes documents en élaboration :

- Hydro-Québec, *Conditions de service d'électricité* ;
- Hydro-Québec, *Caractéristiques et cibles de qualité de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro-Québec*;
- Hydro-Québec, *Limites d'émission des installations de clients raccordées au réseau de transport d'Hydro-Québec*;
- Association canadienne de normalisation, CAN/CSA-C61000-3-3:06, *Compatibilité électromagnétique (CEM) Partie 3-3 : Limites - Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension, pour les matériels ayant un courant assigné ≤ 16 A par phase et non soumis à un raccordement conditionnel*;
- Commission Électrotechnique Internationale, CEI-61000-3-5, *Compatibilité électromagnétique (CEM) Partie 3 – Limites - Section 3 : Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant appelé supérieur à 16 A*;
- Association canadienne de normalisation, CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-30:04, *Compatibilité électromagnétique (CEM) Partie 4-30 – Techniques d'essai et de mesure- Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation*;
- Association canadienne de normalisation, CAN/CSA-C61000-3-7:04, *Compatibilité électromagnétique (CEM) Partie 3 – Limites - Section 7 : Évaluation des limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT - Publication fondamentale en CEM*;

- Association canadienne de normalisation, CAN/CSA-C61000-3-11:06, *Compatibilité électromagnétique (CEM) Partie 3-11: Limites - Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension - Équipements ayant un courant appelé $\leq 75 A$ et soumis à un raccordement conditionnel;*
- Association Canadienne de normalisation, CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-15:03, *Compatibilité électromagnétique (CEM) Partie 4: Techniques d'essai et de mesure- Section 15: Flickermètre - Spécifications fonctionnelles et de conception.*

1.5 Définitions

Basse tension (BT) : Aux fins de ce document, parties du réseau dont la tension nominale entre phases se situe jusqu'à 1000 V inclusivement.

Charge fluctuante : Appareil, équipement ou installation dont les fluctuations ou appels de puissance lors de démarrages ou de manœuvres causent du papillotement et/ou des variations rapides de tension. (ex. : fours à arc ou à induction, postes de soudure, moteurs au démarrage ou fonctionnant par à-coups, etc.).

Client : Personne, société, corporation ou organisme titulaire d'un ou de plusieurs abonnements d'électricité.

Compatibilité électromagnétique (CEM) : Aptitude d'un appareil, d'un équipement ou d'un système électrique à fonctionner de manière satisfaisante dans son environnement sans produire lui-même de perturbations intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

Conditions courantes d'exploitation : Régimes habituels d'exploitation où le réseau et les équipements des clients sont en opération normale. Les variations de charge active et réactive, les travaux de maintenance et de construction et le fonctionnement en contingence pour lequel le système a été prévu font partie des conditions courantes d'exploitation.

Note : Les conditions courantes d'exploitation excluent tous les événements fortuits tels que les conditions extrêmes, les cas de force majeure, les défauts et les conditions météo exceptionnelles.

Coupure brève (DSI) : Affaïssement complet de la tension d'alimentation sur toutes les phases pour une durée n'excédant pas cinq minutes.

Creux de tension (DIP) : Brusque réduction de plus de 10 % de la tension nominale sur une ou plusieurs phases pour un court laps de temps.

Cycle : Durée d'une période de l'onde fondamentale de la tension alternative du réseau. Pour une fréquence de 60 Hz, cette durée est de $1/60^{\circ}$ de seconde, soit 16,67 millisecondes.

Équipement perturbateur : Équipement, appareil, système, dispositif ou procédé pouvant générer des harmoniques, du déséquilibre de tension, des variations rapides de tension, du papillotement, ou toute combinaison de ces perturbations.

Gonflement de tension (SWELL) : Augmentation soudaine de la valeur efficace de la tension sur une ou plusieurs phases (plus de 110 % de la tension nominale) pour un court laps de temps.

Impédance du réseau (Z_L) : Valeur équivalente de la résistance (R_L) et de l'inductance (X_L) de la source, calculée à partir d'un point du réseau.

Installation électrique : Tout équipement électrique alimenté ou à être alimenté par Hydro-Québec, en aval du point de raccordement.

Limite d'émission (E_{Psti}) : Valeur maximale, spécifiée par Hydro-Québec Distribution, du niveau d'émission d'une installation électrique.

Moyenne tension (MT) : Aux fins de ce document, parties du réseau dont la tension nominale entre phases se situe entre plus de 1 000 V et 35 kV inclusivement.

Niveau de compatibilité : Niveau maximal acceptable d'une perturbation donnée sur le réseau. Ce niveau est défini par un organisme de normalisation tel que la CEI.

Niveau d'émission (P_{sti}) : Niveau d'une perturbation donnée, émise par un dispositif, un appareil ou un système particulier, et mesuré ou calculé selon une méthode reconnue.

Niveau de planification (L_{PstMT}) : Niveau acceptable spécifié par Hydro-Québec Distribution d'une perturbation sur le réseau. Ce niveau est utilisé à des fins d'exploitation pour maintenir une qualité d'alimentation qui respecte les normes en vigueur (niveau de compatibilité).

Papillotement (flicker) : Impression d'instabilité de la sensation visuelle due à un stimulus lumineux dont la luminance ou la répartition spectrale fluctuent dans le temps (Vocabulaire Électrotechnique International, 50-161-08-13).

Papillotement à court terme (P_{st}) : Paramètre qui exprime la sévérité du papillotement. Celui-ci est évalué sur une fenêtre de 10 minutes (« st » pour « short term »).

Papillotement à long terme (P_{lt}) : Paramètre qui exprime la sévérité du papillotement. Celui-ci est évalué sur une fenêtre de 2 heures (« lt » pour « long term »).

Point commun de raccordement (PCR) : Point situé sur le réseau, le plus proche électriquement de l'installation du client, auquel les installations d'autres clients sont ou peuvent être raccordées.

Point de raccordement (PR) : Point où l'installation électrique à alimenter est reliée au réseau d'Hydro-Québec.

Puissance de court-circuit (S_{cc}) : Valeur exprimée en MVA de la puissance de court-circuit triphasé du réseau de distribution au point commun de raccordement de l'installation électrique d'un client. Cette puissance est évaluée par Hydro-Québec Distribution aux fins de l'application des présentes limites d'émission de perturbations.

Puissance de référence (S_r) : Puissance de l'installation électrique du client au moment d'établir les limites d'émission applicables. Cette puissance exprimée en MVA est utilisée pour calculer les limites d'émission de perturbations d'une installation électrique.

Puissance du réseau MT (S_{MT}) : Puissance du réseau moyenne tension à l'étape ultime de son évolution (MVA).

Puissance des charges BT (S_{BT}) : Puissance des charges raccordées au réseau basse tension. Il s'agit des charges actuelles et futures déjà soumises à d'autres normes canadiennes ou internationales (CAN/CSA-C61000-3-3, CEI-61000-3-5, CAN/CSA-C61000-3-11).

Surtension temporaire : Voir Gonflement de tension (SWELL).

Tension nominale : Tension efficace entre phases servant à désigner un réseau.

Tension nominale du réseau basse tension : Tension efficace entre phases servant à désigner un réseau électrique basse tension. Les tensions nominales basse tension s'établissent comme suit :

- 120/240 V, dans le cas d'un réseau monophasé ;
- 120/208 V et 347/600 V, dans le cas d'un réseau triphasé, en étoile avec neutre mis à la terre ;
- 240 V et 600 V, dans le cas d'un réseau triphasé en triangle.

Les tensions nominales pour les nouvelles installations électriques en basse tension sont de 120/240 V ou de 347/600 V.

Tension nominale du réseau moyenne tension (V_N) : Tension efficace entre phases servant à désigner un réseau électrique moyenne tension. Aux fins de ce document, les tensions nominales s'établissent comme suit : 4,16 kV, 12,47 kV, 13,2 kV, 13,8 kV, 24,94 kV et 34,5 kV. La tension nominale pour les nouvelles installations électriques moyenne tension est de 24,94 kV.

Valeur définie à 95 % : Valeur qui s'applique à une période de mesure d'une semaine : une valeur définie à 95 % signifie que pendant 159,6 heures des 168 heures d'une semaine, les valeurs mesurées sont en deçà des limites allouées. Pour chaque période d'une semaine, les valeurs mesurées pourraient donc excéder les limites allouées durant 8,4 heures. La même logique s'applique pour les valeurs définies à tout autre pourcentage (99 %, 99,9 %).

Variations rapides de tension (RVC, Rapid Voltage Change) : Variations soudaines ou cycliques de la valeur efficace de la tension entre deux niveaux consécutifs, généralement attribuables à des variations de charges ou à des manœuvres en réseau.

2 CONCEPTS DE BASE

Les phénomènes de papillotement et de variations rapides de tension sont très similaires. Dans les faits, seul l'aspect répétitif des variations permet de les distinguer. Les sections 2 à 5 traitent du papillotement et la section 6, des variations rapides.

Le papillotement quantifie le dérangement physiologique causé par la fluctuation de la lumière produite par une lampe incandescente alimentée par une tension fluctuante. À certaines fréquences, les fluctuations provoquent une fatigue physique et psychique pour les personnes exposées à ces variations lumineuses. Ce phénomène résulte généralement de faibles fluctuations de tension provoquées par le fonctionnement de charges perturbatrices importantes telles que les fours à arc, les machines à souder, les moteurs à charges variables, un groupe d'ascenseurs, etc. Le phénomène de variations rapides de tension est très similaire au papillotement; seul l'aspect répétitif est absent.

2.1 Origine du phénomène

La figure suivante illustre l'origine d'une fluctuation de tension produite par une variation soudaine de la charge (Z_c). Dans ce modèle simple, la source qui correspond au poste de distribution d'Hydro-Québec est représentée par une source de tension idéale avec une impédance interne nulle. La ligne de distribution est, quant à elle, représentée par son impédance Z_L et la charge du client par son impédance Z_c . Lorsque la charge Z_c varie brusquement, par exemple lors du démarrage d'un moteur puissant, l'appel de courant (ΔI_1) circule dans l'impédance de la ligne (Z_L) et produit une variation brusque de tension (ΔV_L) qui s'ajoute à la chute de tension de la ligne (V_L). Cette fluctuation de tension se reflète instantanément sur tout le réseau (aval et amont) de la charge perturbatrice (V_c).

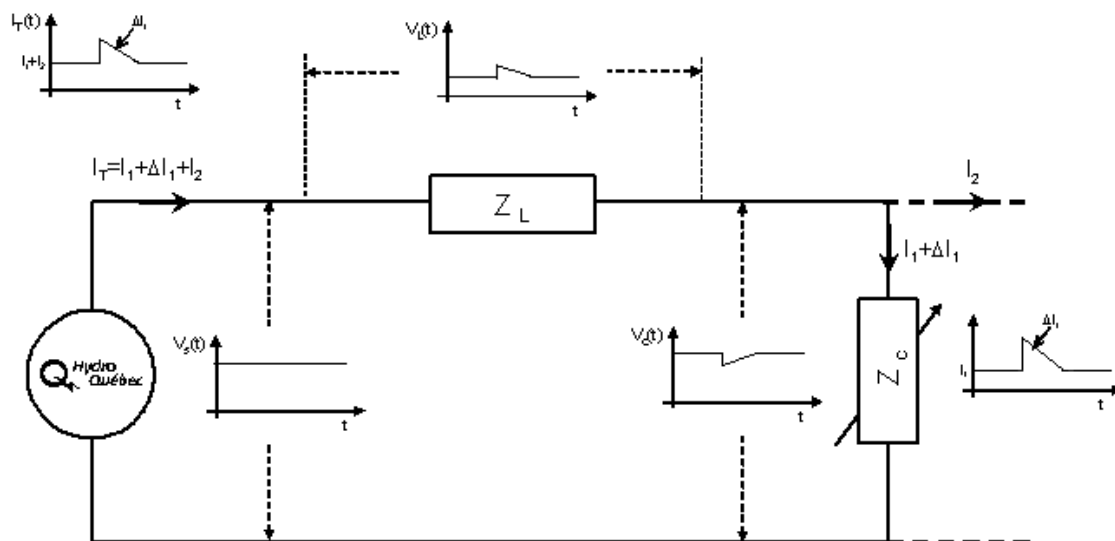


Figure 1 – Origine des fluctuations de tension

2.2 Quantification du papillotement

Pour être en mesure de pondérer l'effet physiologique provoqué par ces fluctuations de tension, deux paramètres ont été élaborés, soit :

- le P_{st} , paramètre à court terme (st pour « short term ») qui exprime la sévérité du papillotement évalué sur une fenêtre de 10 minutes ;
- le P_{lt} , paramètre à long terme (lt pour « long term ») qui exprime la sévérité du papillotement évalué sur une fenêtre de 2 heures.

Les paramètres P_{st} et P_{lt} sont des valeurs sans unité. Le P_{st} a été élaboré de façon à obtenir un $P_{st} = 1$ lorsque le seuil de probabilité de plaintes des personnes exposées à ce niveau de papillotement est atteint. Par exemple, un niveau de papillotement inférieur à 1 ($P_{st} = 0,6$) devrait présenter une faible probabilité de plaintes de la part des clients alors qu'un niveau supérieur à 1 ($P_{st} = 1,8$) présente une forte probabilité de plaintes.

C'est principalement par l'expérimentation sur des sujets que ces paramètres ainsi que la courbe d'égale sévérité ci-après ont été développés. Tous les points de la courbe d'égale sévérité représentent un niveau de papillotement correspondant à un $P_{st} = 1$. Lorsqu'on est sous cette courbe, le P_{st} est inférieur à 1 et au-dessus, le P_{st} est supérieur à 1. Par exemple, une charge fluctuante causant une variation de tension d'amplitude de 2 %, au rythme de 1 variation par minute, produit un P_{st} inférieur à 1. La même charge produira un P_{st} supérieur à 1 si le nombre de variations de tension par minute augmente à 10. Il faut noter que cette courbe est valide pour une lampe incandescente 120 V, 60 W soumise à des variations de tension en forme d'échelon.

La référence : Association Canadienne de normalisation ; CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-15:03, *Compatibilité électromagnétique (CEM) Partie 4: Techniques d'essai et de mesure- Section 15: Flickermètre - Spécifications fonctionnelles et de conception* décrit le processus d'évaluation des paramètres P_{st} et P_{lt} par le flickermètre.

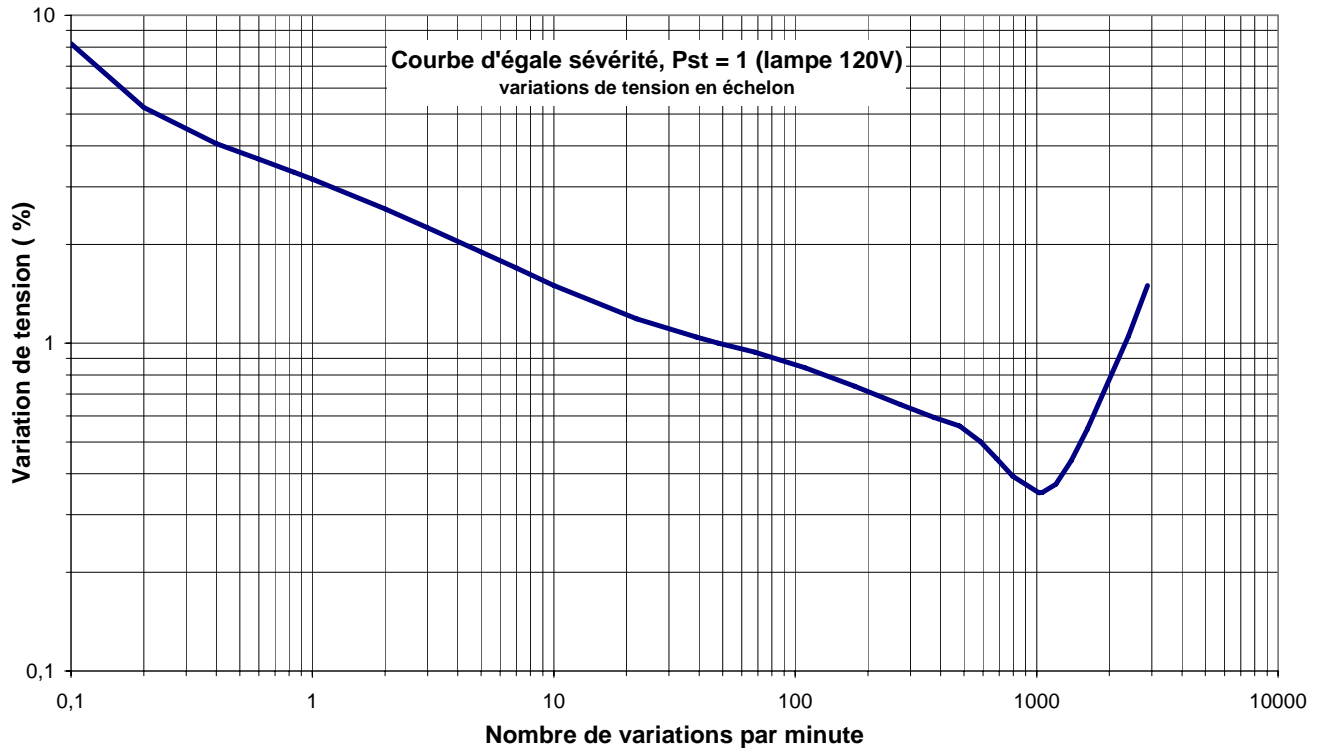


Figure 2 - Courbe d'égalité sévérité, Pst = 1 d'une lampe 120 V

2.3 Limites et niveaux de papillotement

Une fois que l'on dispose de facteurs (P_{st} et P_{lt}) pour quantifier le papillotement, on doit fixer des limites acceptables pour ces derniers. C'est le principe de compatibilité électromagnétique (CEM) qui doit guider dans cette démarche. La CEM vise à assurer le bon fonctionnement de l'ensemble des charges raccordées à un réseau. Pour y arriver, la CEI propose des niveaux et limites à respecter. La figure 3 illustre les concepts utilisés dans le domaine de la CEM. À titre d'exemple, la courbe normale représente le niveau de papillotement pour l'ensemble du réseau de distribution (courbe fictive) dans le temps et l'espace. C'est-à-dire qu'à certains moments de la journée ou de la semaine ou encore à certains points de raccordement, le niveau de papillotement est élevé ($P_{st} = 0,8$ dans cet exemple). À d'autres périodes de la journée ou à d'autres endroits sur le réseau, le niveau de papillotement est relativement faible ($P_{st} \approx 0$). Le reste du temps ou pour les autres PCR, on se situe entre ces deux limites.

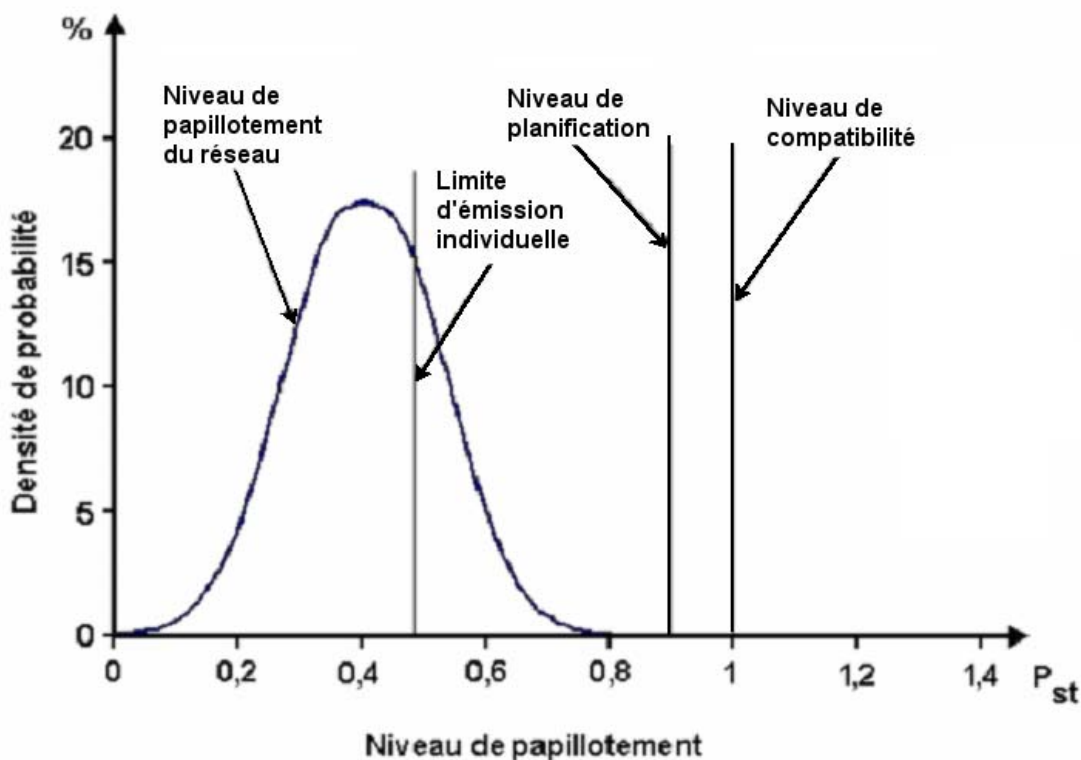


Figure 3 – Niveau de papillotement obtenu après une semaine à un PCR

Les premières valeurs dont on dispose pour les paramètres « P_{st} » et « P_{lt} » sont les niveaux de compatibilité qui sont des valeurs définies à 95 % et spécifiés par l'Association Canadienne de normalisation. Ces niveaux sont des valeurs de référence que doivent respecter les distributeurs (Hydro-Québec ou autres) et s'appliquent à un réseau dans son ensemble.

Pour être en mesure de respecter le niveau de compatibilité, Hydro-Québec fixe à son tour le niveau de planification à une valeur légèrement inférieure au niveau de compatibilité. Le niveau de planification est pour sa part une valeur définie à 99 %. Le tableau I présente les valeurs spécifiées pour les niveaux de compatibilité et de planification des paramètres à court terme « P_{st} » et à long terme « P_{lt} ».

Tableau I
Niveaux de compatibilité et de planification dans les réseaux MT et BT

	Niveau de compatibilité Réseau BT	Niveau de planification Réseaux BT et MT
Paramètre à court terme (P_{st})	$P_{st-95\%} = 1$	$L_{Pst-99\%} = 0,9$
Paramètre à long terme (P_{lt})	$P_{lt-95\%} = 0,8$	$L_{Plt-95\%} = 0,7$

Pour être en mesure de respecter le niveau de planification, Hydro-Québec détermine la limite d'émission qui sera allouée à un client (figure 3). Les limites d'émission fixées par Hydro-Québec Distribution à chacun des clients permet de respecter en tout temps le niveau de planification et, par le fait même, le niveau de compatibilité. En effet, le calcul des limites d'émission individuelles, présenté à la section 3, permet d'assurer que, lorsque le réseau de distribution sera à pleine capacité, le niveau de planification sera atteint mais non dépassé ; ceci à condition que les limites d'émission de chacun des clients de ce même réseau soient respectées.

2.4 Évaluation du papillotement à court et à long terme

On évalue le paramètre à court terme (10 minutes) en utilisant l'une des approches présentées à la section 4 du présent document. Selon le contexte, la prévision du papillotement à court terme sera obtenue par :

- l'adaptation de mesures directes à l'aide d'un « flickermètre » sur un équipement similaire ;
- l'utilisation d'un logiciel spécialisé ;
- la méthode analytique utilisant la courbe d'égalité sévérité ($P_{st} = 1$), et les courbes de facteur de forme ;
- les formules de base.

Pour sa part, le paramètre à long terme (2 heures) découle directement du paramètre à court terme. On le calcule grâce à la formule suivante. D'abord, on élève au cube 12 valeurs consécutives de P_{st} que l'on somme. On trouve ensuite la moyenne de ces 12 valeurs, puis on termine par la racine cubique du résultat.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{j=1}^{12} P_{stj}^3}{12}} \quad (\text{Équation 2.1})$$

où :

P_{lt} : Niveau de papillotement à long terme ;

P_{stj} : Niveaux de papillotement à court terme ;

j : Identifie les 12 niveaux de P_{st} consécutifs à utiliser.

Pour l'évaluation du papillotement sur une longue période (1 semaine), chaque nouvelle valeur de P_{st} entraîne le calcul d'une nouvelle valeur de P_{lt} (fenêtre glissante). Ainsi, après une semaine, on se retrouve avec une valeur théorique de 1 008 valeurs de P_{st} et de P_{lt} .

2.5 Loi de sommation pour le papillotement à court (P_{st}) et à long terme (P_{lt})

Conformément aux normes nationales du Canada, les formules pour combiner le papillotement de charges diverses sont les suivantes.

Pour le papillotement à court terme de 10 minutes (P_{st}):

$$P_{st} = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^n P_{sti}^m} \quad (\text{Équation 2.2})$$

Et pour le papillotement à long terme de 2 heures (P_{lt}):

$$P_{lt} = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^n P_{lti}^m} \quad (\text{Équation 2.3})$$

où :

P_{st} , P_{lt} : Niveaux de papillotement à court et à long terme provoqués par l'ensemble des « n » charges à totaliser ;

P_{sti} , P_{lti} : Niveaux de papillotement individuel à court et à long terme de chacune des charges « i » ;

n : Représente le nombre de charges à totaliser ;

m : Coefficient de la loi de sommation.

Les valeurs à utiliser pour le coefficient « m » varient selon les caractéristiques de la principale source de papillotement à totaliser.

La liste suivante présente les quatre catégories proposées par la norme Canadienne CAN/CSA-C61000-3-7:04 :

- m = 1 : À utiliser lorsque les charges fluctuantes à totaliser présentent une forte occurrence de variations de tensions coïncidentes ;
- m = 2 : À utiliser lorsqu'un bruit stochastique coïncident est possible (exemple : fusions simultanées sur des fours à arc) ;
- m = 3 : Valeur utilisée de façon générale, cette valeur est recommandée lorsque le risque de variations de tension simultanées est faible.
- m = 4 : À utiliser pour la sommation des variations de tension dues à des fours à arc exploités principalement pour éviter des fusions simultanées.

Tel qu'il est indiqué, c'est le coefficient « m = 3 » qui est généralement utilisé. Il reflète le cas le plus fréquent.

3 LIMITATION DU NIVEAU D'ÉMISSION DE PAPILLOTEMENT

Tel qu'il est mentionné précédemment, pour être en mesure de respecter le niveau de planification et, par le fait même, le niveau de compatibilité, il faut limiter l'émission de papillotement sur le réseau. Pour atteindre cet objectif, seule une partie de l'émission globale admissible sera allouée à chaque client raccordé à ce réseau de distribution. Cette limite d'émission (E_{Psti}) est établie au prorata de la puissance de référence (S_r) du client par rapport à la puissance totale multipliée par la capacité d'absorption (G_{PstMT}) du réseau MT en cause (équation 3.4).

3.1 Étapes à suivre pour évaluer le niveau d'émission de papillotement

Pour chaque client souhaitant raccorder des charges fluctuantes, *deux niveaux* d'évaluation sont définis :

- Le *niveau 1 d'évaluation* consiste en une évaluation simplifiée du niveau d'émission de papillotement. Il permet l'approbation d'une installation ayant des charges perturbatrices, sans évaluation détaillée.
- Le *niveau 2 d'évaluation*, si requis, nécessite une évaluation détaillée. Il s'applique normalement à des charges fluctuantes importantes.

La figure suivante illustre le processus à suivre pour réaliser ces deux niveaux d'évaluation. Chacune des étapes est par la suite reprise en détail dans les sections indiquées.

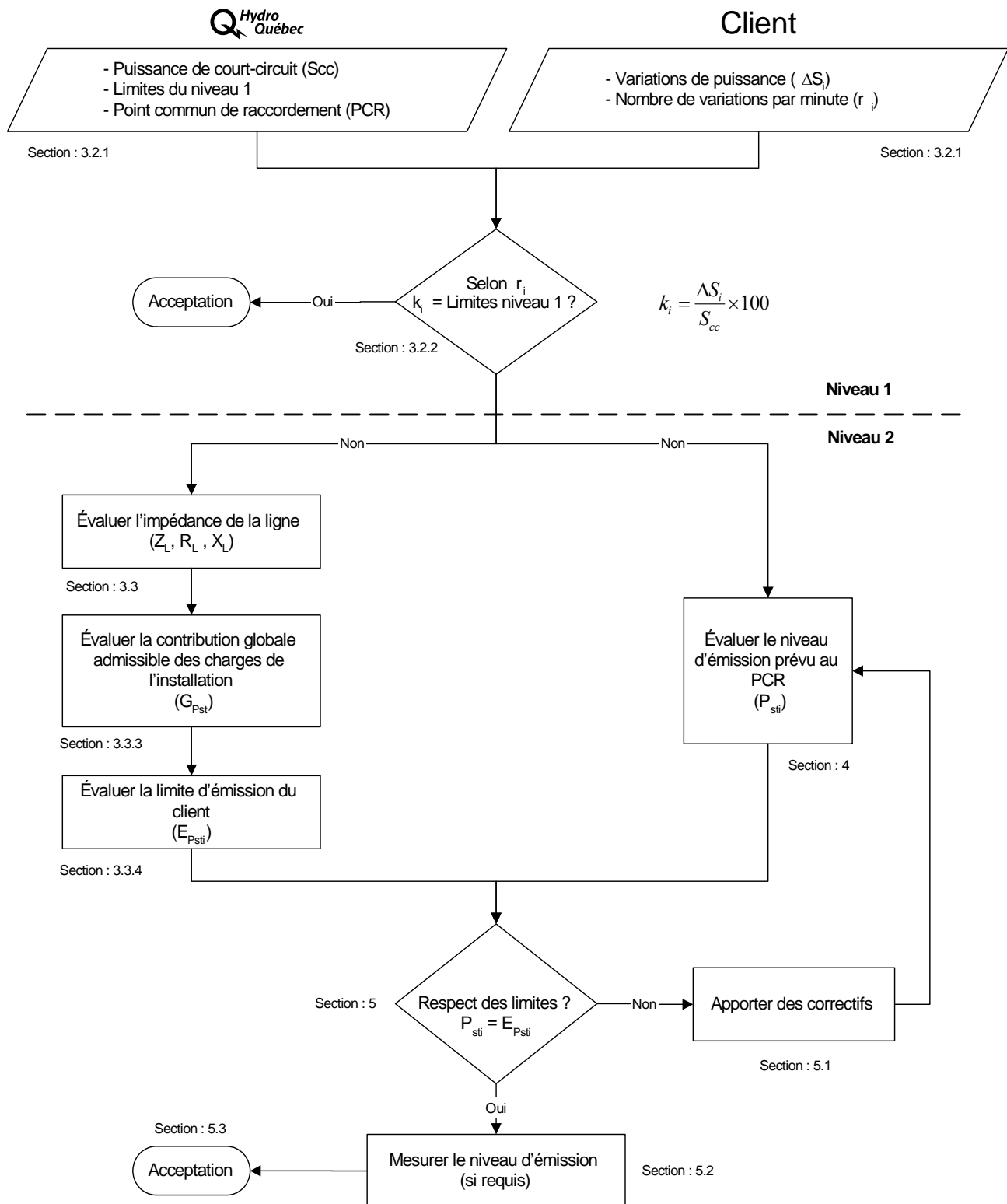


Figure 4 – Processus d'évaluation du papillotement

3.2 Niveau 1 - Évaluation simplifiée du niveau d'émission de papillotement

3.2.1 Données requises à la réalisation du niveau 1 (Hydro-Québec Distribution et client)

Suite à la demande du client, Hydro-Québec Distribution doit :

- déterminer le point commun de raccordement (PCR) ;
- évaluer la puissance de court-circuit au PCR (S_{cc}) ;
- fournir les limites acceptables du niveau 1 (Tableau II).

Pour sa part, le client doit fournir à Hydro-Québec Distribution les résultats de son évaluation simplifiée accompagnés des renseignements et documents suivants :

- le schéma unifilaire de l'installation électrique ;
- la liste de toutes les charges fluctuantes ainsi que leurs caractéristiques, entre autres :
 - la tension et puissance nominale (V_{Ni} , S_i) ;
 - les variations maximales de puissance des charges fluctuantes (ΔS_i) ;
 - le nombre de variations par minute provoquées par les charges fluctuantes (r_i) ;
- toute autre information requise par Hydro-Québec Distribution pour le traitement de la demande.

Il est important de noter que :

- La variation maximale de puissance (ΔS_i) peut être supérieure à la puissance nominale de l'appareil. Par exemple, au démarrage, la variation maximale de puissance (ΔS_i) d'un moteur varie généralement entre 3 et 8 fois la puissance nominale du moteur.
- Pour le niveau 1 d'analyse, il y a simultanété lorsque le temps entre deux variations est inférieur à la seconde. À ce moment-là, on doit cumuler les appels de puissance des charges fluctuantes simultanées. Exemple : Démarrage simultané de deux moteurs.
- Le nombre de variations par minute (r_i) d'une charge, correspond à la valeur la plus sévère pour cette charge, c'est-à-dire la valeur qui se rapproche le plus du nombre de variations par minute critique (1 050 variations par minute).

À titre d'exemple, si un moteur démarre de façon aléatoire environ 50 fois par jour et que sa plage de fonctionnement est de 8 heures (durée de la journée de travail), le nombre de variations par minute à utiliser sera $r_i = 0,2$. Un démarrage de moteur étant approximé à deux variations de tension.

3.2.2 Respect des limites du niveau 1 (Hydro-Québec et client)

Le client doit ensuite évaluer l'amplitude des variations de tension (k_i) qui seront produites au PCR. À cette fin, la formule approximative suivante ou toute autre formule plus précise peut être utilisée :

$$k_i = \frac{\Delta S_i}{S_{cc}} \times 100 \quad (\text{Équation 3.1})$$

où :

k_i : Variation de tension provoquée par l'appel de puissance de la charge i (%) ;

ΔS_i : Variation maximale de puissance de la charge fluctuante i (MVA) ;

S_{cc} : Puissance de court-circuit triphasé au PCR (MVA).

Si les limites du niveau 1 sont respectées pour l'ensemble des charges fluctuantes, le raccordement au réseau de distribution des charges est alors accepté. Le tableau II présente les limites applicables du niveau 1. Il est à noter que l'analyse de niveau 1 est limitée à un maximum de 6 charges fluctuantes.

Tableau II
Limites du niveau 1 pour les variations de tension
en fonction du nombre de variations par minute et du nombre de charges fluctuantes

r_i (min ⁻¹)	k_i (%)		
	$n = 1$	$n = 2$ et 3	$n = 4$ à 6
$r \leq 0,1$	2,25 %	2 %	1,8 %
$0,1 < r \leq 0,3$	1,2 %	1,2 %	0,9 %
$0,3 < r \leq 1$	0,8 %	0,8 %	0,6 %
$1 < r \leq 19$	0,4 %	0,4 %	0,3 %
$19 < r \leq 200$	0,2 %	0,2 %	0,15 %
$r > 200$	0,1 %	0,1 %	0,07 %

où :

k_i : Variation de tension relative de la charge i (%) ;

r_i : Nombre de variations de tension par minute de la charge i (variations par minute) ;

n : Nombre de charges fluctuantes à évaluer (maximum de 6 charges).

Notes :

1. Une baisse suivie d'une hausse de tension représente deux variations de tension ;
2. Lorsque le nombre de variations par minute (r_i) des charges fluctuantes est égal ou inférieur à 0,1, on doit aussi s'assurer que les limites attribuables aux variations rapides de tension soient respectées (section 6 du présent document).

Si les limites sont dépassées par l'une des charges perturbatrices, une analyse plus approfondie (niveau 2) est nécessaire.

L'annexe A présente un exemple d'analyse se limitant au niveau 1.

3.3 Niveau 2 - Évaluation détaillée du niveau d'émission de papillotement

Lorsque les limites du niveau 1 ne peuvent être respectées, le client doit alors procéder à une évaluation détaillée du niveau d'émission de perturbations causées par son installation sur le réseau de distribution. Cette évaluation vise à démontrer que l'installation du client est conçue de façon à respecter sa limite d'émission individuelle.

La marche à suivre est illustrée à la figure 4 et chaque étape est reprise en détail dans les sections suivantes.

3.3.1 Données requises à la réalisation du niveau 2 (Hydro-Québec et client)

Pour la réalisation du niveau 2, Hydro-Québec Distribution fournit au client les données suivantes :

- le point commun de raccordement (PCR) ;
- la puissance de court-circuit au PCR (S_{cc}) ;
- la valeur de l'impédance de ligne (Z_L) ;
- la limite d'émission individuelle allouée au client (E_{Psti}).

Pour sa part, le client doit fournir à Hydro-Québec Distribution les résultats de son évaluation détaillée accompagnés des renseignements et documents suivants :

- le schéma unifilaire de l'installation électrique ;
- la liste de toutes les charges fluctuantes ainsi que leurs caractéristiques, entre autres :
 - la tension et puissance nominale (V_{Ni} , S_i) ;
 - les variations maximales de puissance des charges fluctuantes (ΔS_i) ;
 - le nombre de variations par minute provoquées par les charges fluctuantes (r_i) ;
- la liste et les caractéristiques des transformateurs, des condensateurs et des moyens de mitigation, s'il y a lieu ;

- un rapport d'analyse du papillotement basé sur les données fournies par Hydro-Québec Distribution. Ce rapport doit indiquer le niveau d'émission prévu de papillotement au point commun de raccordement (PCR) ainsi que la méthode d'évaluation utilisée ;
- toute autre information requise par Hydro-Québec Distribution pour le traitement de la demande.

3.3.2 Impédance de la ligne de distribution (Hydro-Québec)

Pour être en mesure d'évaluer le niveau d'émission de papillotement au point commun de raccordement (PCR), Hydro-Québec fournit au client l'impédance de la source vue du PCR. Cette impédance (Z_L) est donnée par ses valeurs de résistance (R_L) et de réactance inductive de la source (X_L). Hydro-Québec calcule les valeurs R_L et X_L à l'aide d'un logiciel spécialisé qui prend en compte la configuration du réseau.

3.3.3 Contribution globale des charges d'un même réseau MT (Hydro-Québec)

La contribution globale de l'ensemble des charges d'un même réseau MT représente les niveaux de papillotement à partager entre les clients.

Les contributions globales des charges pour les paramètres à court et à long terme (G_{PstMT} , G_{PltMT}) sont calculées à partir des équations suivantes :

$$G_{PstMT} = \sqrt[3]{L_{PstMT}^3 - T_{PstHT}^3 \times L_{PstHT}^3} \quad (\text{Équation 3.2})$$

$$G_{PltMT} = \sqrt[3]{L_{PltMT}^3 - T_{PltHT}^3 \times L_{PltHT}^3} \quad (\text{Équation 3.3})$$

où :

G_{PstMT} : Contribution globale de papillotement à court terme pour le réseau moyenne tension ;

L_{PstMT} : Niveau de planification de papillotement à court terme pour le réseau moyenne tension ;

T_{PstHT} : Coefficient de transfert du papillotement à court terme du réseau haute tension vers le réseau moyenne tension ;

L_{PstHT} : Niveau de planification de papillotement à court terme pour le réseau haute tension ;

G_{PltMT} : Contribution globale de papillotement à long terme pour le réseau moyenne tension ;

L_{PltMT} : Niveau de planification de papillotement à long terme pour le réseau moyenne tension ;

T_{PltHT} : Coefficient de transfert du papillotement à long terme du réseau haute tension vers le réseau moyenne tension ;

L_{PltHT} : Niveau de planification de papillotement à long terme pour le réseau haute tension.

Les valeurs retenues pour le calcul de la contribution globale sont :

- L_{PstMT} : 0,9 (Valeur issue du tableau I);
- T_{PstHT} : 0,8 (Valeur typique suggérée par l'Association canadienne de normalisation);
- L_{PstHT} : 0,8 (Valeur issue du document *Limites d'émission des installations de clients raccordées au réseau de transport d'Hydro-Québec*);
- L_{PhMT} : 0,7 (Valeur issue du tableau I);
- T_{PhHT} : 0,8 (Valeur typique suggérée par l'Association canadienne de normalisation);
- L_{PhHT} : 0,6 (Valeur typique suggérée par l'Association canadienne de normalisation).

En appliquant ces valeurs aux équations 3.2 et 3.3, on obtient, comme contribution globale à partager entre les charges d'un même réseau MT, les valeurs suivantes :

G_{PstMT} : 0,78 pour le paramètre à court terme ;

G_{PhMT} : 0,61 pour le paramètre à long terme.

3.3.4 Limites d'émission individuelle (Hydro-Québec)

Le calcul des limites d'émission individuelle consiste à déterminer la portion de la contribution globale (G_{PstMT}) qui sera allouée à un client. Pour ce faire, Hydro-Québec utilise la puissance de référence (S_r) du client et la puissance du réseau MT à saturation (installation d'Hydro-Québec à l'étape ultime). La puissance de référence (S_r) est retenue comme critère, car elle reflète bien l'importance du client par rapport à la capacité du réseau MT. Quant à la puissance des charges BT (S_{BT}), on la soustrait de cet exercice d'allocation, car ces charges sont déjà assujetties à d'autres normes en matière de papillotement.

La formule utilisée pour le calcul de la limite d'émission individuelle pour le paramètre à court terme (P_{st}) est la suivante :

$$E_{Psti} = G_{PstMT} \sqrt[3]{\frac{S_r}{S_{MT} - S_{BT}}} \quad (\text{Équation 3.4})$$

où :

E_{Psti} : Limite d'émission individuelle du client i pour le P_{st} ;

G_{PstMT} : Contribution globale de papillotement à court terme pour le réseau moyenne tension à partager ;

S_r : Puissance de référence du client (MVA) ;

S_{MT} : Puissance du réseau MT à l'étape ultime (MVA) ;

S_{BT} : Puissance des charges BT raccordées au réseau (MVA).

De plus, pour considérer l'effet combiné de plusieurs sources perturbatrices fonctionnant de manière aléatoire (postes de soudure, moteurs, etc.) ou ayant des cycles de fonctionnement longs et variables (four à arc, etc.), on doit considérer le paramètre à long terme. La limite d'émission individuelle pour le paramètre à long terme (P_{lt}) est fixée à l'aide de la formule suivante :

$$E_{P_{lti}} = G_{P_{ltMT}} \sqrt[3]{\frac{S_r}{S_{MT} - S_{BT}}} \quad (\text{Équation 3.5})$$

où :

$E_{P_{lti}}$: Limite d'émission individuelle du client i pour le P_{lt} ;

$G_{P_{ltMT}}$: Contribution globale de papillotement à long terme pour le réseau moyenne tension à partager ;

S_r : Puissance de référence du client (MVA) ;

S_{MT} : Puissance du réseau MT à l'étape ultime (MVA) ;

S_{BT} : Puissance des charges BT raccordées au réseau (MVA).

Niveau d'émission de base ($E_{P_{sti}}$)

Dans la situation où la puissance de référence (S_r) d'un client est faible par rapport à la puissance disponible ($S_{MT} - S_{BT}$), les limites d'émission calculées précédemment peuvent s'avérer trop restrictives. Pour contourner ce problème, des niveaux d'émission de base ont été fixés.

Niveau d'émission de base pour le paramètre à court et à long terme :

$$E_{P_{sti}} = 0,35$$

$$E_{P_{lti}} = 0,25$$

où :

$E_{P_{sti}}$: Limite d'émission individuelle de base du client i pour le P_{st} ;

$E_{P_{lti}}$: Limite d'émission individuelle de base du client i pour le P_{lt} .

4 NIVEAU D'ÉMISSION DE PAPILOTTEMENT PRÉVU AU PCR (CLIENT)

Le client doit prévoir le niveau d'émission de papillotement au PCR pour ses principales charges fluctuantes (actuelles et futures). Cette prévision, sur une semaine, doit être effectuée pour des conditions maximales de fonctionnement (du point de vue papillotement).

4.1 Méthodes de prévision du niveau de papillotement

Pour la prévision du niveau de papillotement, il importe d'anticiper le pire cas susceptible de se produire dans des conditions normales d'exploitation. C'est-à-dire, la représentation où toutes les charges fluctuantes fonctionnent dans les conditions maximales (du point de vue papillotement).

La figure suivante illustre les principales approches pouvant être utilisées pour la prévision du niveau d'émission de papillotement. Selon les données disponibles et le type de charge fluctuante, certaines méthodes sont plus appropriées que d'autres. Chacune de ces méthodes est décrite sommairement dans les sections suivantes et quelques exemples sont donnés en annexe.

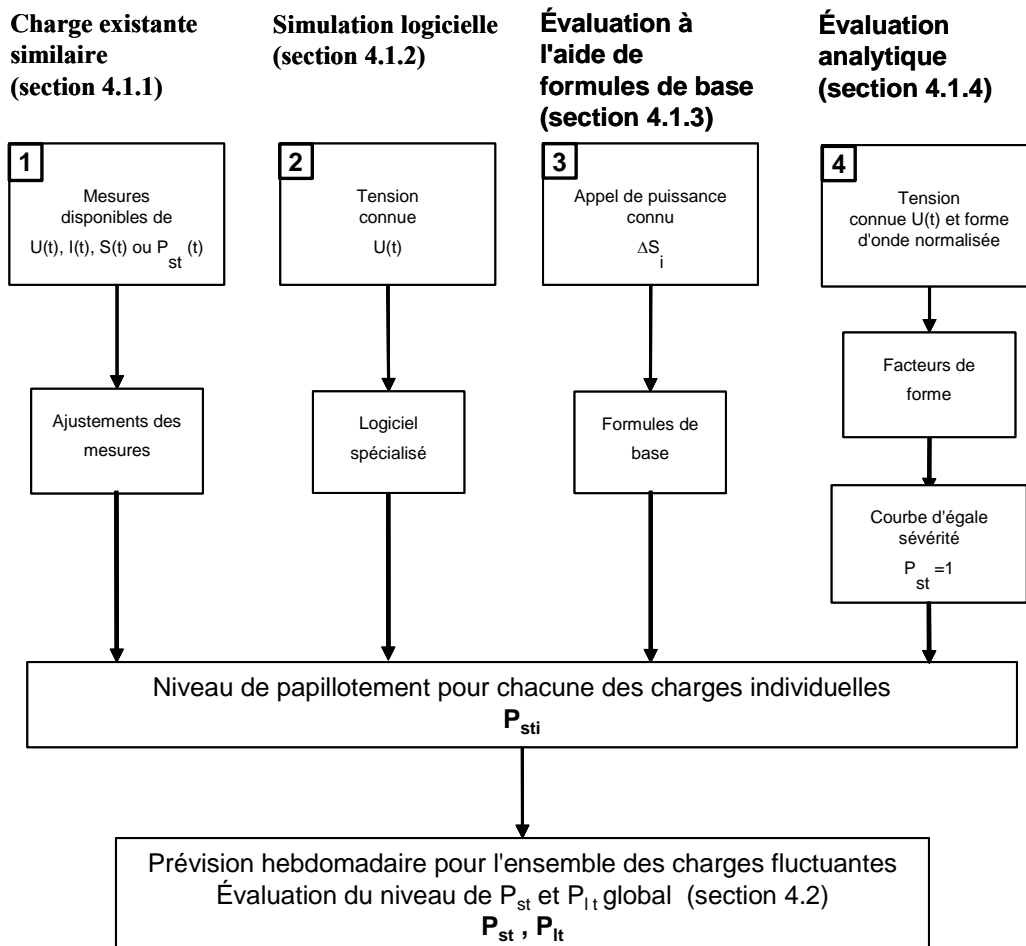


Figure 5 – Méthodes de prévision du niveau de papillotement

4.1.1 Méthode 1 : Charge existante similaire

Cette méthode est souhaitable dans les situations où l'on dispose de mesures effectuées sur une installation identique ou similaire; elle s'applique à tous les types de charges fluctuantes. La technique consiste à appliquer les ajustements nécessaires aux mesures obtenues sur l'installation de référence afin de tenir compte des différences entre l'installation de référence et le scénario analysé. Ces ajustements sont appliqués aux lectures de tension $U(t)$ et/ou de papillotement (P_{st}) enregistrées.

Parmi les ajustements à considérer on retrouve :

- caractéristiques différentes de la nouvelle charge fluctuante par rapport à l'installation de référence ;
- cycles de fonctionnement différents de la nouvelle charge fluctuante par rapport à l'installation de référence ;
- caractéristiques du réseau de distribution différentes du réseau de l'installation de référence ;
- caractéristiques du réseau du client différentes du réseau de l'installation de référence ;
- autres caractéristiques pertinentes.

Exemple d'application :

Un client désire ajouter un four à arc à son installation. Puisque ce client exploite déjà un four semblable, le niveau d'émission prévu au PCR peut être calculé à partir de mesures effectuées sur le four existant.

On applique ensuite les ajustements nécessaires pour tenir compte des caractéristiques différentes du nouveau four (puissance différente, cycle de fonctionnement différent, etc.) et du réseau d'alimentation, s'il y a lieu (impédance du transformateur d'alimentation, etc.).

Après ces manipulations, on obtient le niveau de papillotement prévu pour cette nouvelle charge (P_{sti}).

La dernière étape consiste à effectuer la prévision hebdomadaire (voir la figure 5) des paramètres P_{st} et P_{lt} pour l'ensemble des charges fluctuantes. La réalisation de cette étape est décrite à la section 4.2 du présent document.

4.1.2 Méthode 2 : Simulation logicielle

Lorsque les variations de tension prévues $U(t)$ sont disponibles, on peut, à l'aide de logiciels spécialisés, évaluer le niveau de papillotement correspondant (P_{sti}). Cette approche est valable pour tous les types de charges fluctuantes.

L'utilisation de plus en plus répandue des normes nationales du Canada et CEI en matière de papillotement devrait favoriser, dans un avenir rapproché, le développement d'outils et de logiciels de simulation.

4.1.3 Méthode 3 : Évaluation à l'aide de formules de base

Pour certaines charges connues, nous disposons de formules approximatives nous permettant de calculer directement le niveau de papillotement (P_{st}) sans passer par la courbe d'égalité sévérité. Voici les principales formules ainsi que leurs limites d'application.

Charges triphasées produisant des variations de tension en créneau :

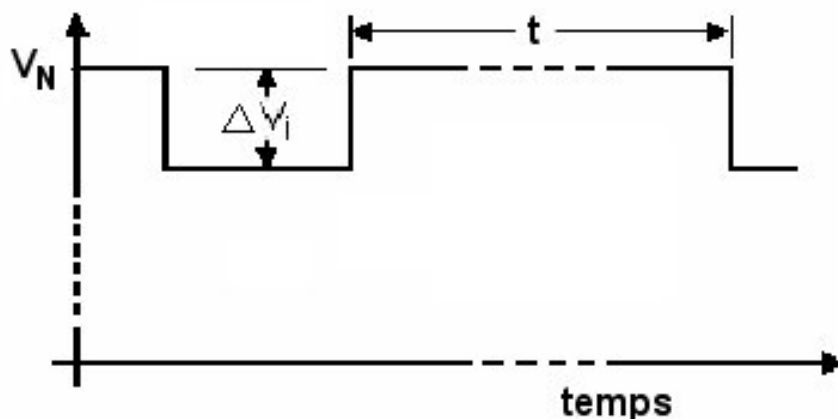


Figure 6 – Variations de tension en forme de créneaux

$$P_{st} = 2,9 \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\Delta V_i}{V_N} \times 19,17 \right)^{2,9}} \quad (\text{Équation 4.1})$$

où :

P_{st} = Niveau de papillotement de l'ensemble des charges i ;

ΔV_i = Amplitude de la variation de tension provoquée par la charge i (V) ;

V_N = Amplitude de la tension nominale (V) ;

n = Nombre total de créneaux à considérer dans l'intervalle de 10 minutes.

Limites d'application de cette formule :

- les variations de la tension s'apparentent à un créneau ;
- les variations de tension sont dans le même intervalle de 10 minutes ;
- un intervalle minimal entre deux créneaux de 0,5 s ($t > 0,5$ s).

Charges triphasées produisant des variations de tension en échelon suivi d'une rampe :

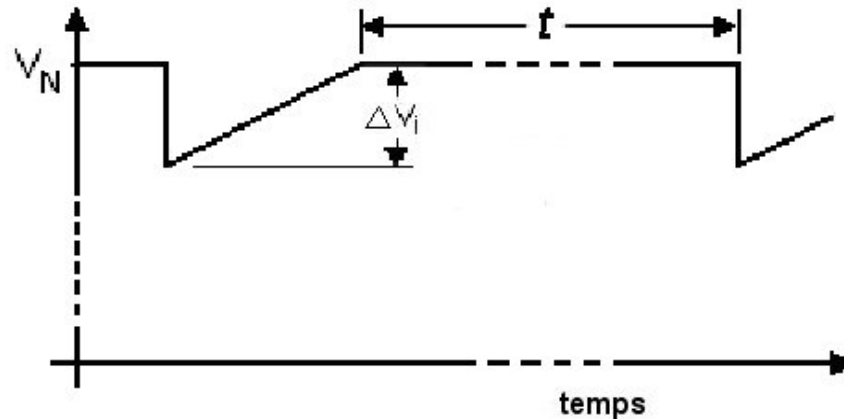


Figure 7 – Variations de tension en forme d'échelon et rampe

$$P_{st} = 2,9 \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\Delta V_i}{V_N} \times 12,15 \right)^{2,9}} \quad (\text{Équation 4.2})$$

où :

P_{st} = Niveau de papillotement pour l'ensemble des charges i ;

ΔV_i = Amplitude de la variation de tension provoquée par la charge i ;

V_N = Amplitude de la tension nominale ;

n = Nombre total de charges i à considérer dans l'intervalle de 10 minutes.

Limites d'application de cette formule :

- la variation de la tension s'apparente à un échelon suivi d'une rampe ;
- les variations de tension sont dans le même intervalle de 10 minutes ;
- un intervalle minimal entre deux variations de 0,5 s ($t > 0,5$ s).

Four à arc c.a. non compensé :

$$P_{st} = k_{st} \frac{\Delta V}{V_N} \quad (\text{Équation 4.3})$$

où :

P_{st} = Niveau de papillotement à court terme du four à arc ;

k_{st} = Facteur variant de 38 à 68 selon le type de four à arc, typiquement $k_{st} = 48$;

ΔV = Amplitude de la variation de tension provoquée par le four ;

V_N = Amplitude de la tension nominale.

$$\frac{\Delta V}{V_N} = \frac{R_l \times P_f + X_l \times Q_f}{V_N^2} \cong \frac{X_l \times Q_f}{V_N^2} \cong \frac{Q_f}{S_{cc}} \quad (\text{Équation 4.4})$$

où :

ΔV = Amplitude de la variation de tension provoquée par le four ;

V_N = Amplitude de la tension nominale ;

R_l = Résistance du réseau d'alimentation du four ;

P_f = Appel de puissance active maximal du four ;

X_l = Réactance du réseau d'alimentation du four ;

Q_f = Appel de puissance réactive maximal du four ;

S_{cc} = Puissance de court-circuit triphasée évaluée au PCR ;

4.1.4 Méthode 4 : Évaluation analytique

Quoique moins précise, cette méthode peut être utilisée lorsque les charges fluctuantes produisent des variations de tension s'apparentant à celles présentées aux figures 8 à 10. Dans ce cas-là, le niveau de papillotement peut alors être calculé en appliquant la méthode utilisant la notion de facteur de forme (F_i) et la courbe d'égalité sévérité présentée précédemment (voir la figure 2).

Il est important de noter que pour utiliser cette méthode, les variations non périodiques (figures 9 et 10) doivent avoir un intervalle de temps minimum de 1 seconde entre la fin d'une variation et le début d'une autre.

numéro	C.22-03		
page	28	de	59

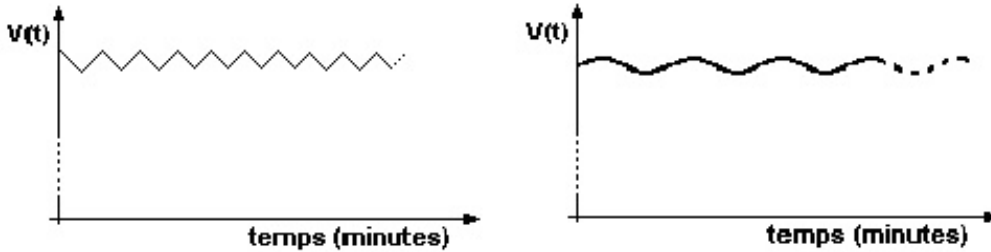


Figure 8 - Variations périodiques de forme triangulaire et sinusoïdale

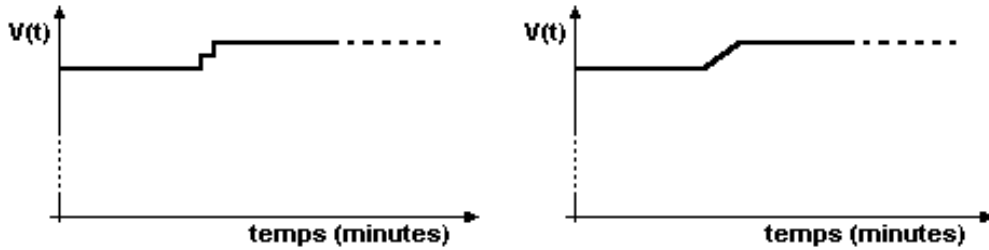


Figure 9 – Variations de tension en doubles échelons et en rampes

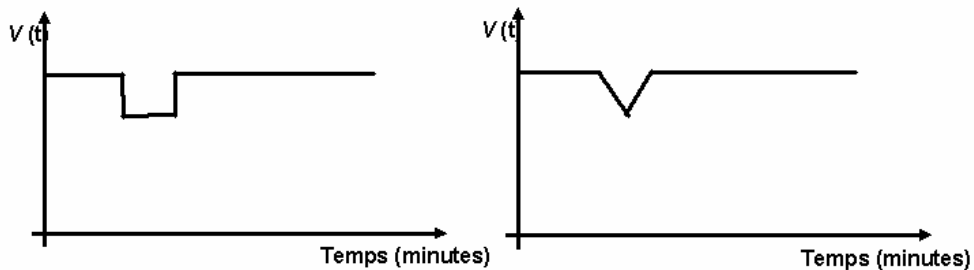


Figure 10 – Variations de tension en créneau et en doubles rampes

Voici une brève description des étapes à franchir dans la méthode d'évaluation analytique.

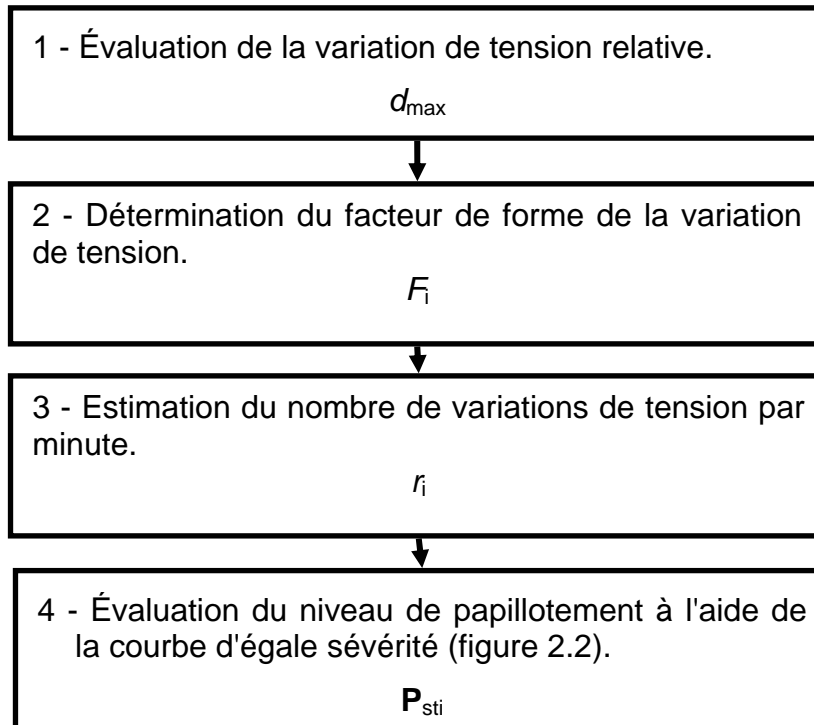


Figure 11 – Prévission du papillotement par la méthode analytique

Première étape : Évaluation de la variation de tension relative (d_{\max})

Le calcul de la variation maximale de tension peut se faire à l'aide de la formule 3.1 utilisée précédemment ou tout autre moyen acceptable. Lorsque l'appel de puissance active et réactive de la charge fluctuante est connu, il est possible d'utiliser la formule suivante :

$$d_{\max} = \frac{R_L \times \Delta P_i + X_L \times \Delta Q_i}{V_N^2} \times 100 \quad (\text{Équation 4.5})$$

où :

d_{\max} : Amplitude de la variation de tension maximale (%);

R_L : Résistance de la ligne (Ω);

X_L : Réactance inductive de la ligne (Ω);

ΔP_i : Appel de puissance active maximal de la charge fluctuante i (W);

ΔQ_i : Appel de puissance réactive maximal de la charge fluctuante i (var);

V_N : Tension nominale du réseau MT (V).

Il est important de noter que le calcul de la variation de tension maximale (d_{\max}) doit prendre en compte la possibilité de fluctuations simultanées. Par exemple, si un contrôle de procédé démarre simultanément deux moteurs, il faut alors sommer la puissance appelée des deux moteurs au démarrage pour le calcul de d_{\max} . Pour ce type d'évaluation, on considère qu'il y a simultanité lorsque l'intervalle de temps entre deux variations de tension est inférieur à 10 ms ($\Delta t < 10$ ms).

Deuxième étape : Détermination du facteur de forme de la variation de tension (F_1)

Il existe pour les formes de variations s'apparentant à celles illustrées aux figures 8 à 10 des nomogrammes (annexe B) qui permettent de convertir par exemple une variation de tension en double échelons en son échelon équivalent. Cette conversion permet par la suite d'utiliser la courbe d'égalité sévérité qui est valide seulement pour les variations en forme d'échelon (quatrième étape).

Prenons comme exemple, le cas de la figure 12, la première variation de tension d'amplitude « d_1 » est déjà en forme d'échelon alors que la seconde variation d'amplitude « d_2 » peut être approximée à une rampe.

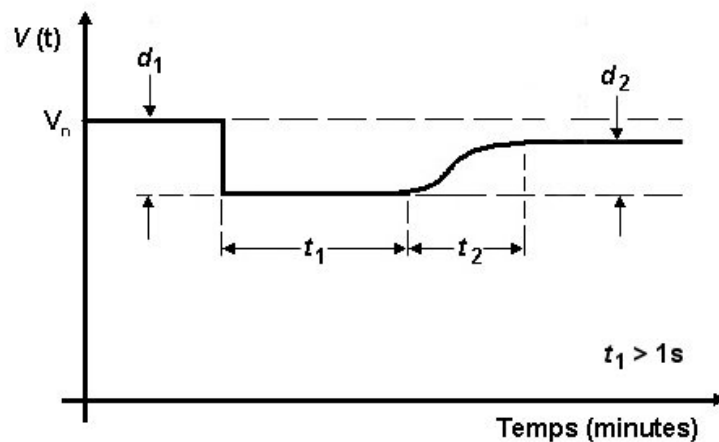


Figure 12 – Variations de tension en échelon et en rampe

La première variation n'a pas à être convertie puisque sa forme est un échelon. La valeur attribuée au facteur de forme dans ce cas est 1 ($F_1 = 1$).

$$d_{E1} = F_1 \times d_1 = d_1 \quad (\text{Équation 4.6})$$

où :

d_{E1} : Amplitude de la variation de tension équivalente échelon (%) ;

d_1 : Amplitude maximale de la variation de tension (%) ;

F_1 : Facteur de forme.

La deuxième variation peut être approximée par une rampe. Si on prend comme exemple une durée pour la rampe t_2 de 500 ms, l'utilisation de la courbe B-1 de l'annexe B nous permet de trouver le facteur de forme à utiliser.

Dans ce cas, la valeur attribuée au facteur de forme est égale à 0,3 ($F_2 = 0,3$). Si l'amplitude de la variation d_2 est de 2 %, alors cette variation en rampe équivaut à une variation en échelon de :

$$d_{E2} = F_2 \times d_2 = 0,3 \times 2 \% = 0,6 \% \quad (\text{Équation 4.7})$$

Ces deux variations, échelons équivalents, « d_{E1} » et « d_{E2} » sont par la suite utilisées à la quatrième étape.

Troisième étape : Estimation du nombre de variations de tension par minute (r_i)

Comme cette méthode utilise la courbe d'égalé sévérité nous permettant d'évaluer le niveau de P_{st} , nous devons utiliser un intervalle de 10 minutes pour déterminer le nombre de variations par minute (r_i). Pour chacune des charges fluctuantes, il s'agit, comme il est mentionné à la section 3.2, d'évaluer le nombre de variations par minute le plus sévère. C'est-à-dire la situation où l'on se rapproche le plus du nombre de variations critiques de 1 050 variations par minute (se référer à la figure 2).

Prenons comme exemple une charge fluctuante qui produit les variations de tension illustrées à la figure 13, et ce, de façon aléatoire plusieurs fois par jour.

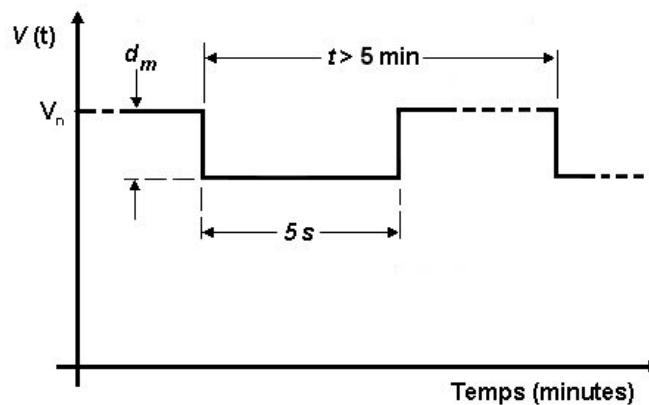


Figure 13– Évaluation du nombre de variations r_i

L'estimation du nombre de variations r_i pourrait ressembler à ceci (dans cet exemple on a différentes valeurs possibles pour un intervalle de 10 minutes) :

1. Aucune variation de tension à l'intérieur d'un intervalle de 10 minutes, ceci implique que $r_i = 0$;
2. Un créneau (2 variations espacées de 5 secondes) de tension à l'intérieur de l'intervalle de 10 minutes, le facteur r_i est alors égal à 0,2 ;
3. Deux créneaux de tension à l'intérieur de l'intervalle de 10 minutes, alors $r_i = 0,4$.

Dans cet exemple, puisque le temps minimal entre deux perturbations est de 5 minutes, on ne peut avoir plus de 2 créneaux dans un même intervalle de 10 minutes ce qui nous donne un taux critique de $r_i = 0,4$.

Quatrième étape : Évaluation du niveau de papillotement (P_{sti}) à l'aide de la courbe d'égalité sévérité

À partir des données obtenues au cours des étapes précédentes, on trouve, à l'aide de la courbe d'égalité sévérité, le niveau de papillotement à court terme (P_{sti}) correspondant à chacune des variations de tension.

À titre d'exemple, les niveaux de papillotement correspondant aux perturbations de la figure 13 sont déduits de la courbe d'égalité sévérité de la façon suivante.

Pour une fluctuation de tension d'amplitude de 3 % et la situation où l'on a un créneau par intervalle de 10 minutes, on a donc $d_m = 3 \%$ et le nombre de variations de tension par minute est de $r_i = 0,2$.

Selon la courbe d'égalité sévérité (figure 14) on sait qu'à 0,2 variation par minute, une variation d'amplitude de 5,5 % produit un $P_{st} = 1$. Par simple règle de trois, une variation d'amplitude de 3 % produira donc un P_{st} de 0,55 soit :

$$P_{st} = \frac{3\%}{5,5\%} = 0,55$$

En appliquant la même méthode pour l'intervalle de 10 minutes qui compte deux créneaux de tension soit ($r_i = 0,4$), le P_{st} correspondant est alors de 0,71.

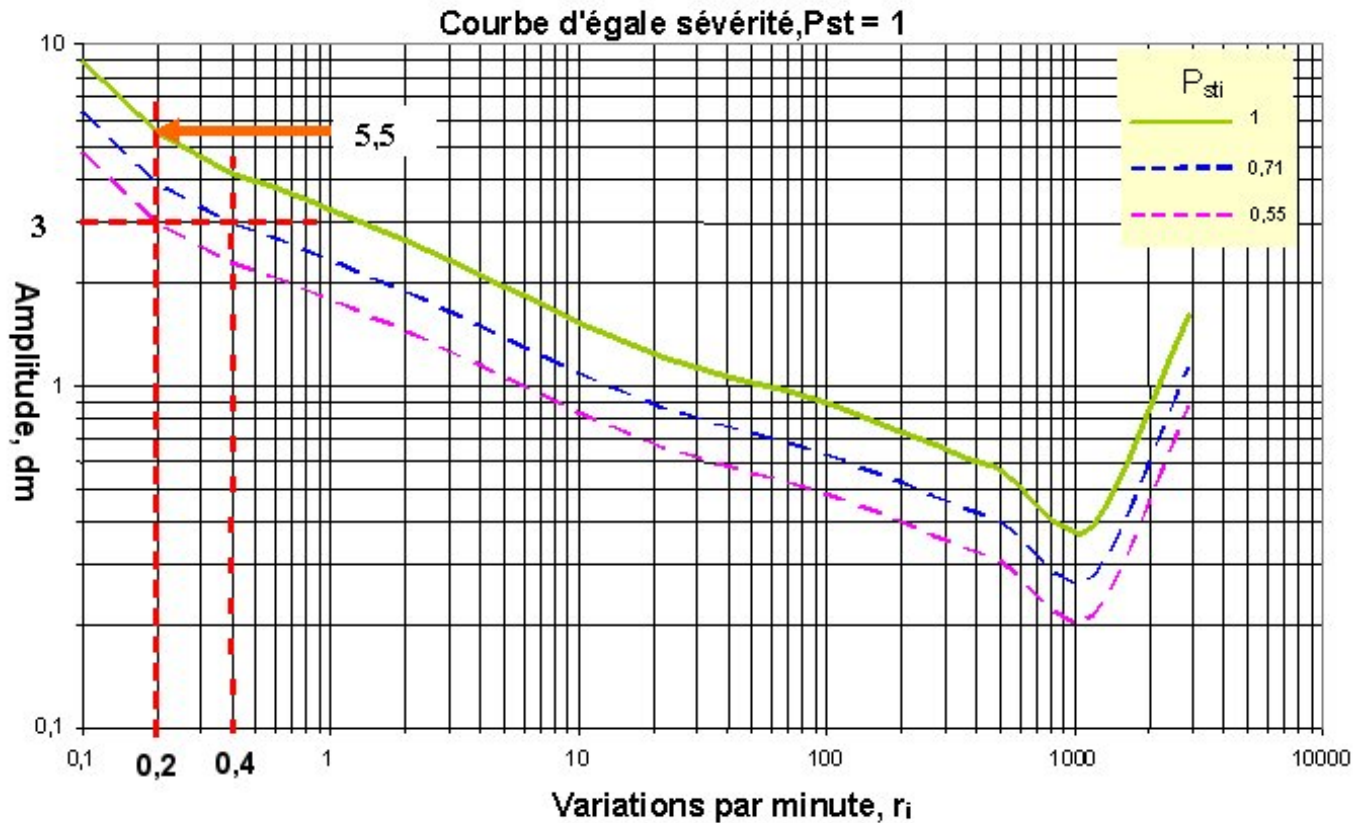


Figure 14 – Évaluation du niveau de P_{st}

4.2 Prévision du niveau de papillotement hebdomadaire à court et à long terme (P_{st} , P_{lt})

À partir des P_{sti} prévus pour chacune des charges fluctuantes, il faut maintenant évaluer le niveau d'émission pour l'ensemble des charges, et ce, pour une semaine de fonctionnement dans les conditions courantes d'exploitation. L'utilisation d'un tableur peut s'avérer très utile à cette étape. L'exercice consiste à simuler une semaine de fonctionnement de l'installation. Une semaine correspond à 1 008 intervalles de 10 minutes. En plaçant dans le temps (dans les 1 008 intervalles) les différentes valeurs de P_{st} correspondant au fonctionnement des charges fluctuantes, on peut par la suite évaluer le niveau de papillotement à court terme P_{st} , et ce, à 95 %, 99 % ou 100 % du temps de la semaine.

Dans cette prévision, il importe de considérer les charges fluctuantes susceptibles de se manifester dans un même intervalle de 10 minutes.

Le tableau III est un exemple de prévision hebdomadaire où l'on y présente la journée du lundi. Voici une brève description du tableau :

- L'intervalle correspond au numéro séquentiel de la période de 10 minutes soit 144 intervalles par jour et 1 008 intervalles par semaine.

- Les niveaux de papillotement correspondent aux charges fluctuantes P_{st1} , P_{st2} et P_{st3} .
- Les niveaux de papillotement total à court terme sont représentés par P_{st} et les niveaux de papillotement à long terme, par P_{lt} .
- Les trois charges fluctuantes opèrent dans les intervalles de 6 h à 12 h et de 13 h à 18 h.
- La charge fluctuante n° 1 produit un $P_{st1} = 0,45$ constant.
- La charge fluctuante n° 2 démarre 8 fois par jour de façon aléatoire. Cette charge produit un $P_{st2} = 0,57$.
- La charge fluctuante n° 3 produit un niveau de papillotement de 0,72 suivi d'un papillotement de 0,22 espacé d'un intervalle de 10 minutes. Ce scénario se produit de façon aléatoire quatre fois par jour.
- Le niveau de papillotement total P_{st} est évalué à l'aide de la formule suivante :

$$P_{st} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^3 P_{sti}^3}$$

où la lettre « i » représente les charges perturbatrices à sommer. Dans cet exemple, le coefficient de la loi de sommation « m » retenu est de 3 (voir la section 2.5).

- Le niveau de papillotement à long terme P_{lt} est obtenu avec la formule :

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{j=1}^{12} P_{stj}^3}{12}}$$

où la lettre « j » représente les 12 valeurs de P_{st} consécutives à totaliser.

Chaque nouvelle valeur de P_{st} entraîne une nouvelle valeur de P_{lt} (fenêtre glissante).

Dans le cas où le procédé est stable et qu'une journée de fonctionnement est représentative des autres journées de la semaine, l'utilisation du « Copier → Coller » peut-être utilisé pour compléter le tableau. L'important étant de simuler la situation la plus critique en termes de papillotement.

Tableau III
Extrait de la prévision hebdomadaire
des niveaux de papillotement à court et à long terme

Jour	Heure	Intervalle	Charges fluctuantes				
			P _{st1}	P _{st2}	P _{st3}	P _{st-T}	P _{lt-Glis}
L u n d i	00h:00m	1					
	00h:10m	2					
	00h:20m	3					
	05h:40m	35					
	05h:50m	36					
	06h:00m	37	0,45			0,45	
	06h:10m	38	0,45			0,45	
	06h:20m	39	0,45			0,45	
	06h:30m	40	0,45			0,45	
	06h:40m	41	0,45			0,45	
	06h:50m	42	0,45			0,45	
	07h:00m	43	0,45	0,57		0,65	
	07h:10m	44	0,45		0,72	0,77	
	07h:20m	45	0,45			0,45	
	07h:30m	46	0,45		0,22	0,47	
	07h:40m	47	0,45			0,45	
	07h:50m	48	0,45			0,45	
	08h:00m	49	0,45	0,57		0,65	0,52
	08h:10m	50	0,45			0,45	0,54
	08h:20m	51	0,45			0,45	0,54
	08h:30m	52	0,45			0,45	0,54
	08h:40m	53	0,45	0,57		0,65	0,54
	08h:50m	54	0,45			0,45	0,55
	09h:00m	55	0,45	0,57		0,65	0,55
	09h:10m	56	0,45			0,45	0,55
	09h:20m	57	0,45			0,45	0,52
	09h:30m	58	0,45		0,72	0,77	0,52
	09h:40m	59	0,45	0,57		0,65	0,55
	09h:50m	60	0,45		0,22	0,47	0,57

Jour	Heure	Intervalle	Charges fluctuantes				
			P _{st1}	P _{st2}	P _{st3}	P _{st-T}	P _{lt-Glis}
L u n d i	10h:00m	61	0,45			0,45	0,57
	10h:10m	62	0,45			0,45	0,55
	10h:20m	63	0,45			0,45	0,55
	10h:30m	64	0,45	0,57	0,72	0,87	0,55
	10h:40m	65	0,45			0,45	0,60
	10h:50m	66	0,45	0,57	0,22	0,66	0,59
	11h:00m	67	0,45			0,45	0,60
	11h:10m	68	0,45			0,45	0,59
	11h:20m	69	0,45			0,45	0,59
	11h:30m	70	0,45			0,45	0,59
	11h:40m	71	0,45			0,45	0,55
	11h:50m	72	0,45			0,45	0,54
	12h:00m	73					0,54
	12h:10m	74					0,53
	12h:20m	75					0,52
	12h:30m	76					0,51
	12h:40m	77					0,43
	12h:50m	78					0,41
	13h:00m	79	0,45			0,45	0,36
	13h:10m	80	0,45		0,72	0,77	0,36
	13h:20m	81	0,45	0,57		0,65	0,42
	13h:30m	82	0,45		0,22	0,47	0,45
	16h:50m	102	0,45			0,45	0,57
	17h:00m	103	0,45			0,45	0,57
17h:10m	104	0,45			0,45	0,57	
17h:20m	105	0,45			0,45	0,54	
17h:30m	106	0,45			0,45	0,54	
17h:40m	107	0,45			0,45	0,52	
17h:50m	108	0,45			0,45	0,52	
18h:00m	109					0,52	
23h:30m	142						
23h:40m	143						
23h:50m	144						

À partir de cette simulation d'une semaine de fonctionnement, on calcule les valeurs de P_{st-99%} et P_{lt-95%} à l'aide de formules statistiques. Ces valeurs sont nécessaires à la réalisation de l'étape suivante.

5 RESPECT DES LIMITES D'ÉMISSION DE PAPILLOTEMENT, NIVEAU 2 (HYDRO-QUÉBEC ET CLIENT)

Le respect des limites d'émission se fait en comparant les niveaux d'émission prévus au PCR (section 4) et les limites d'émission allouées (section 3.3.4). Il faut prendre en compte les valeurs de P_{st} et P_{lt} prévues sur 1 semaine en considérant la phase la plus élevée (pour les cas de charges fluctuantes monophasées).

Le niveau de papillotement à court terme (P_{st}) prévu sur une semaine doit être égal ou inférieur à la limite allouée, et ce, pendant 99 % du temps de la semaine. La limite allouée peut donc être dépassée pour une période maximale de 101 minutes par semaine soit 10 valeurs de P_{st} .

$$P_{st-99\%} \leq E_{Pst}$$

où :

$P_{st-99\%}$: Valeur définie à 99 % du niveau d'émission du client pour le paramètre à court terme « P_{st} » ;

E_{Pst} : Limite d'émission individuelle du client pour le paramètre à court terme « P_{st} ».

De plus, le niveau de papillotement à long terme (P_{lt}) prévu sur une semaine doit être égal ou inférieur à la limite à long terme allouée, et ce, pendant 95 % du temps de la semaine.

$$P_{lt-95\%} \leq E_{Plt}$$

où :

$P_{lt-95\%}$: Valeur définie à 95 % du niveau d'émission du client pour le paramètre à long terme « P_{lt} » ;

E_{Plt} : Limite d'émission individuelle du client pour le paramètre à long terme « P_{lt} ».

Il s'agit ici de comparer les résultats théoriques obtenus par l'une des méthodes présentées à la section 4. Tous les éléments fortuits (creux et gonflement de tension, etc.), sont donc exclus de cet exercice. Lorsqu'un des critères ne peut être respecté, le client doit apporter des correctifs.

On retrouve à l'annexe C un exemple d'analyse de niveau 2.

5.1 Moyen de mitigation (client)

Lorsque les limites ne peuvent être respectées, le client a la responsabilité de trouver un moyen de mitigation. Le client peut, par exemple :

- opter pour un appareil moins pollueur ;
- modifier le cycle de fonctionnement de la charge de façon à réduire le niveau de papillotement ;
- installer un moyen de mitigation, etc.

5.2 Mesure du niveau d'émission (client)

Au besoin, Hydro-Québec demande au client de vérifier, par des mesures, que les limites de papillotement allouées sont respectées. La mesure permet de confirmer le respect des limites allouées lorsque l'étude démontre certains risques de dépassement. Il ne faut pas perdre de vue que toutes les approches de prévision sont basées sur des hypothèses simplificatrices.

La mesure du niveau de papillotement se fait à l'aide d'un *flickermètre* conformément à la norme de l'Association canadienne de normalisation CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-15:03, *Compatibilité électromagnétique (CEM) Partie 4: Techniques d'essai et de mesure- Section 15: Flickermètre - Spécifications fonctionnelles et de conception*.

Le *flickermètre* utilisé doit être adapté pour une lampe incandescente de 60 W à 120 V. La mesure se fait en conditions courantes d'exploitation et dure 1 semaine (représentative).

La vérification de conformité se fait en comparant les niveaux d'émission mesurés avec les limites allouées (se référer à la section 3).

$$P_{st-99\%} \leq E_{Pst}$$

$$P_{lt-95\%} \leq E_{Plt}$$

où :

$P_{st-99\%}$: Valeur définie à 99 % du niveau d'émission du client pour le paramètre à court terme « P_{st} » ;

E_{Pst} : Limite d'émission individuelle du client pour le paramètre à court terme « P_{st} » ;

$P_{lt-95\%}$: Valeur définie à 95 % du niveau d'émission du client pour le paramètre à long terme « P_{lt} » ;

E_{Plt} : Limite d'émission individuelle du client pour le paramètre à long terme « P_{lt} ».

Pour vérifier le respect des limites d'émission, il importe de considérer les aspects suivants :

- Tous les événements fortuits tels que les creux et gonflements de tension provoqués par des court-circuits sur le réseau d'Hydro-Québec ou sur l'installation du client doivent être exclus ;
- La phase la plus élevée doit être utilisée pour la vérification de conformité ;
- Le niveau de papillotement de la ligne (généralement inférieur à 0,25) doit être soustrait en appliquant les principes de la loi de sommation.

L'exclusion des événements fortuits se fait en remplaçant la lecture de P_{st} correspondant à l'événement par la valeur moyenne des niveaux de P_{st} précédent et suivant. On calcule ensuite la valeur du paramètre à long terme « P_{lt} » à partir des valeurs normalisées de « P_{st} ».

Au moins 15 jours avant de faire les mesures, le client présente à Hydro-Québec, pour approbation, le protocole de mesure qu'il va utiliser ainsi que la date à laquelle il prévoit faire les mesures afin qu'Hydro-Québec puisse être présente et, au besoin, faire ses propres mesures en parallèle. Par la suite, le client devra présenter le rapport des mesures effectuées.

5.3 Acceptation (Hydro-Québec)

Lorsque les résultats obtenus lors de la vérification du respect des limites prescrites au niveau 1 ou 2 sont concluants et que le rapport de mesures (si applicable) confirme les hypothèses de calculs, le raccordement au réseau de distribution des charges fluctuantes est alors accepté.

6 LIMITATION DU NIVEAU D'ÉMISSION DE VARIATIONS RAPIDES DE TENSION

Les variations rapides de tension sont des variations soudaines dont l'amplitude se situe généralement à l'intérieur des plages définies pour la tension en régime permanent. Les limites suivantes s'appliquent aux variations rapides de la tension efficace pouvant se répéter moins de 6 fois par heure et qui sont causées par **une charge fluctuante** provenant d'une installation électrique de client. Les variations de tension plus fréquentes sont soumises aux limites d'émission de papillotement.

6.1 Évaluation du niveau d'émission des variations rapides de tension (RVC)

Ce type de perturbation étant généralement simple à évaluer, il n'est pas nécessaire dans ce cas-ci de prévoir d'évaluation détaillée. La figure suivante illustre le processus à suivre pour réaliser cet exercice.

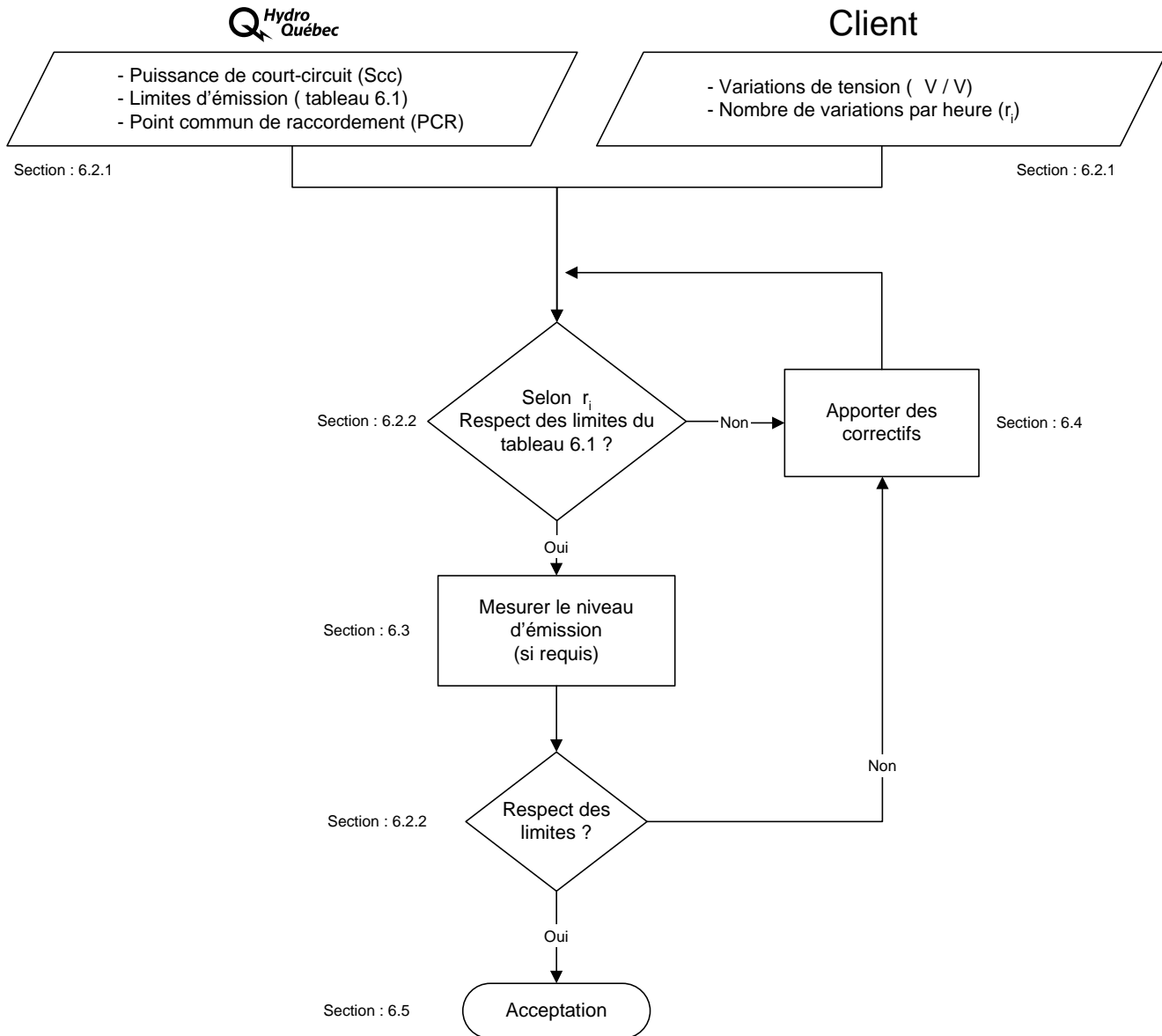


Figure 15 – Processus d'évaluation des variations rapides de tension (RVC)

6.2 Évaluation des variations rapides de tension

6.2.1 Données requises à la réalisation de l'évaluation

À la suite de la réception de la demande de raccordement du client, Hydro-Québec Distribution doit :

- déterminer le point commun de raccordement (PCR) ;
- évaluer la puissance de court-circuit au PCR (Scc) ;

- fournir les limites à respecter (tableau IV du présent document).

Pour sa part, le client doit fournir à Hydro-Québec Distribution les résultats de son évaluation accompagnés des renseignements et documents suivants :

- le schéma unifilaire de l'installation électrique ;
- la liste de toutes les charges fluctuantes ainsi que leurs caractéristiques, entre autres :
 - la tension et puissance nominale (V_{Ni} , S_i) ;
 - les variations maximales de puissance des charges fluctuantes (ΔS_i) ;
 - le nombre de variations par heure provoqué par les charges fluctuantes (r_i) ;
 - les caractéristiques électriques telles que : démarreurs, inductances série, etc.
- toute autre information requise par Hydro-Québec Distribution pour le traitement de la demande.

Il est important de noter que la variation maximale de puissance (ΔS_i) peut être supérieure à la puissance nominale de l'appareil. Par exemple, au démarrage, la variation maximale de puissance (ΔS_i) d'un moteur varie généralement entre 3 et 8 fois la puissance nominale du moteur.

6.2.2 Respect des limites d'émission de variations rapides de tension

Dans des conditions courantes d'exploitation, le client doit évaluer l'amplitude et le taux de répétition des variations rapides de tension produites au PCR. À cette fin, la formule présentée à la section 3 ou toute autre formule plus précise peut être utilisée.

Le client doit ainsi démontrer que son installation respecte les limites de variations de tension qui s'appliquent au point commun de raccordement dans les conditions courantes d'exploitation ou de fonctionnement.

Tableau IV
Limites d'émission de variations rapides de tension

Taux de répétition (r_i) (variations par heure)	Variations de tension $\Delta V/V$ (%)
$\leq 0,04$ (1 variation par jour)	4,75
$> 0,04$ et $\leq 0,5$	4,50
$> 0,5$ et ≤ 1	4,25
> 1 et ≤ 2	4,00
> 2 et ≤ 4	3,25
> 4 et ≤ 6	2,25

Note : Une baisse de tension suivie d'une montée, ou vice-versa, constitue deux variations de tension.

Note : Concrètement, la coïncidence des variations rapides de tension présente une très faible probabilité. C'est la raison pour laquelle on ne prend pas en compte une loi de sommation. La variation rapide de tension est évaluée pour chacune des charges fluctuantes.

6.3 Mesure du niveau d'émission (client)

La mesure du niveau d'émission des variations rapides de tension peut être requise lorsqu'il y a risque de dépassement des limites présentées au tableau IV. Cette mesure est réalisée en respectant les paramètres énoncés dans la norme CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-30.

Tous les cas de creux et de gonflement de tension non causés par l'équipement à l'étude sont exclus du niveau d'émission de variations rapides de tension.

6.4 Moyen de mitigation (client)

Lorsque les limites ne peuvent être respectées, le client doit apporter les correctifs nécessaires. Le client peut, par exemple :

- alimenter les charges de façon progressive (séquence de démarrage) ;
- installer un démarreur sur un moteur.

6.5 Acceptation (Hydro-Québec)

Lorsque les résultats obtenus lors de la vérification du respect des limites prescrites sont concluants et que le rapport de mesure (si applicable) confirme les hypothèses de calculs, le raccordement au réseau de distribution des charges fluctuantes est alors accepté.

7 RESPONSABLE DE L'IMPLANTATION

Le chef Orientations du réseau est responsable de l'implantation de la présente norme.

8 RESPONSABLES DE L'APPLICATION

Le chef Plan de réseau et les chefs Stratégies opérationnelles des territoires sont responsables de l'application de la présente norme.

directive norme méthode

corporative sectorielle

numéro	C.22-03		
page	42	de	59

ANNEXE A

Exemple d'analyse de niveau 1

1- Contexte

Un client désire ajouter à ses charges existantes une nouvelle pompe pour répondre au besoin accru de son procédé. L'alimentation des charges (347/600 V) est assurée par un transformateur de 750 kVA raccordé au réseau 25 kV. Le client est seul sur ce transformateur.

2- Information de base

- Puisque le client utilise seul ce transformateur et qu'on ne prévoit pas en ajouter d'autres, le point commun de raccordement PCR est fixé au primaire du transformateur de 750 kVA.
- La puissance de court-circuit triphasé au PCR est évaluée à $S_{cc} = 105$ MVA.

Caractéristiques des charges fluctuantes actuelles et futures :

1. Pompe existante

- a. Moteur à induction de 100 HP, 600 V
- b. Courant nominal de : $I_n = 98$ A
- c. Démarrage à pleine tension
- d. Fréquence de démarrage révisée en tenant compte de la nouvelle pompe : 1 fois toutes les 10 minutes
- e. Catégorie de moteur : Type B ayant un courant au démarrage de $I_d = 6 \times I_n$

2. Pompe future

- a. Moteur à induction de 200 HP, 600 V
- b. Courant nominal de : $I_n = 192$ A
- c. Démarrage à pleine tension
- d. Fréquence de démarrage prévue : 1 fois toutes les 30 minutes
- e. Catégorie de moteur : Type B ayant un courant au démarrage de $I_d = 6 \times I_n$

3- Calculs

Les calculs doivent permettre de vérifier le respect des limites du niveau 1 pour chacune des charges fluctuantes actuelles et futures.

Charge n° 1 : Pompe existante de 100 HP

La puissance apparente au démarrage de cette pompe est égale à :

$$\Delta S_i = \frac{\sqrt{3} \times E_l \times I_d}{10^6} = \frac{\sqrt{3} \times 600 \text{ V} \times (6 \times 98 \text{ A})}{10^6} = 0,61 \text{ MVA}$$

Si on applique ce résultat à la formule 3.1 on obtient une variation de tension au démarrage de :

$$k_i = \frac{\Delta S_i}{S_{cc}} \times 100 = \frac{0,61 \text{ MVA}}{105 \text{ MVA}} \times 100 = 0,58 \%$$

Le nombre de démarrages prévu étant de 1 par 10 minutes (ou encore 0,1 par minute), les variations de tension seront donc de 0,2 variation par minute (approximation de 2 variations de tension par démarrage) soit :

$$r_i = 0,2 \text{ min}^{-1}$$

En comparant les résultats obtenus avec les limites du niveau 1 (voir tableau II), on remarque que la pompe actuelle respecte les limites. En effet, pour deux charges fluctuantes ($n=2$) et un nombre de variations de tension par minute égal à 0,2 ($r_i=0,2 \text{ min}^{-1}$), la limite pour l'amplitude des variations de tension est fixée à 1,2 %. La variation de tension prévue étant de 0,58 %, la limite est donc respectée.

Charge n° 2 : Nouvelle pompe de 200 HP

La puissance apparente au démarrage de cette pompe est égale à :

$$\Delta S_i = \frac{\sqrt{3} \times E_l \times I_d}{10^6} = \frac{\sqrt{3} \times 600 \text{ V} \times (6 \times 192 \text{ A})}{10^6} = 1,2 \text{ MVA}$$

L'amplitude des variations de tension est de :

$$k_i = \frac{\Delta S_i}{S_{cc}} \times 100 = \frac{1,2 \text{ MVA}}{105 \text{ MVA}} \times 100 = 1,14 \%$$

Le nombre de variations de tension prévues pour cette pompe étant de $r_i = 0,07$, la limite à respecter est, selon le tableau II, de 2 %. Cette nouvelle pompe respecte donc la limite du niveau 1.

4- Conclusion

Puisque les deux charges fluctuantes du client respectent les limites du niveau 1, le raccordement au réseau de la nouvelle pompe de 200 HP est accepté.

directive norme méthode

corporative sectorielle

numéro	C.22-03		
page	45	de	59

ANNEXE B

Courbes pour les facteurs de forme

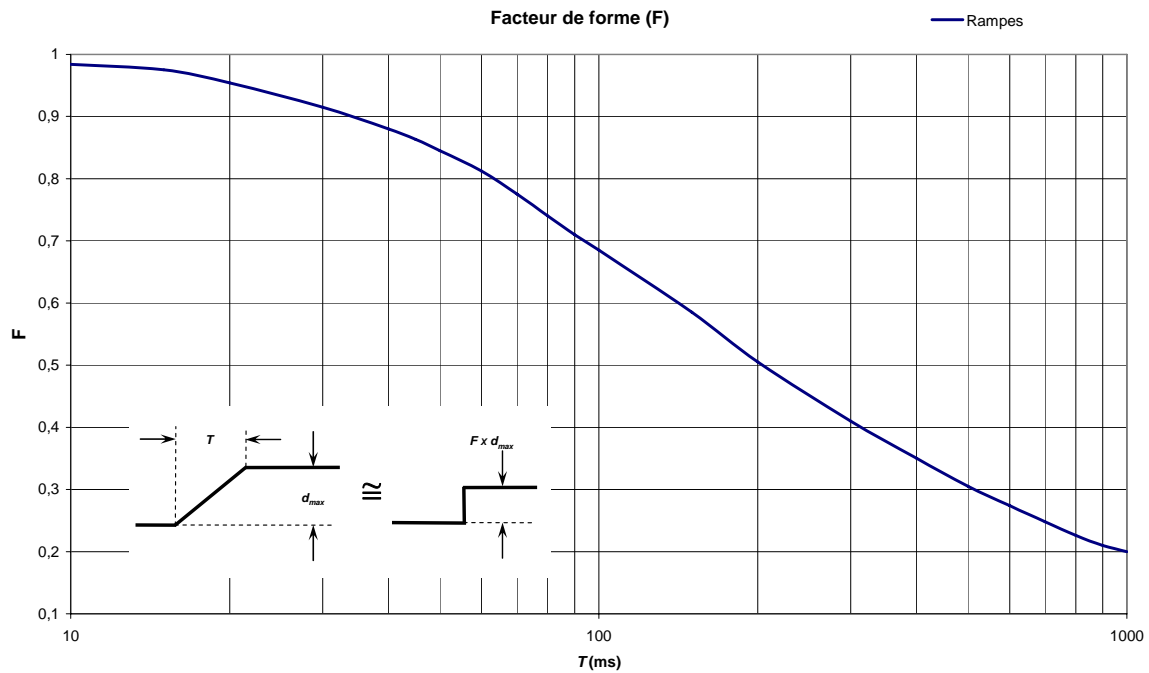


Figure B1 - Facteur de forme rampe à échelon

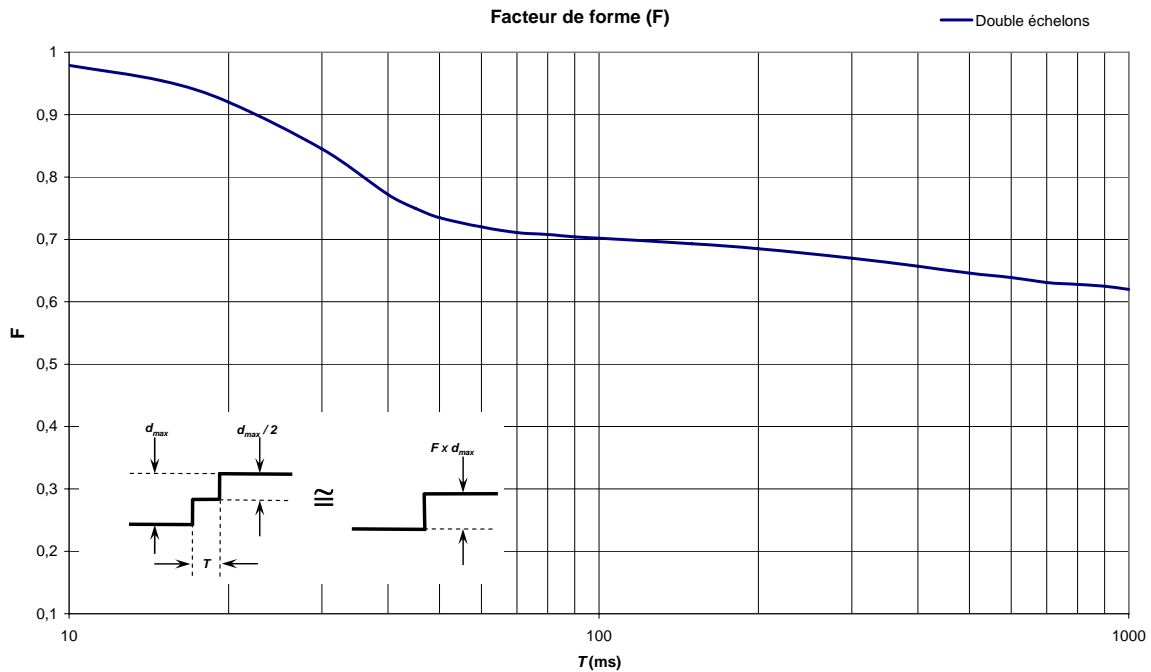


Figure B2 - Facteur de forme double échelons à échelon équivalent

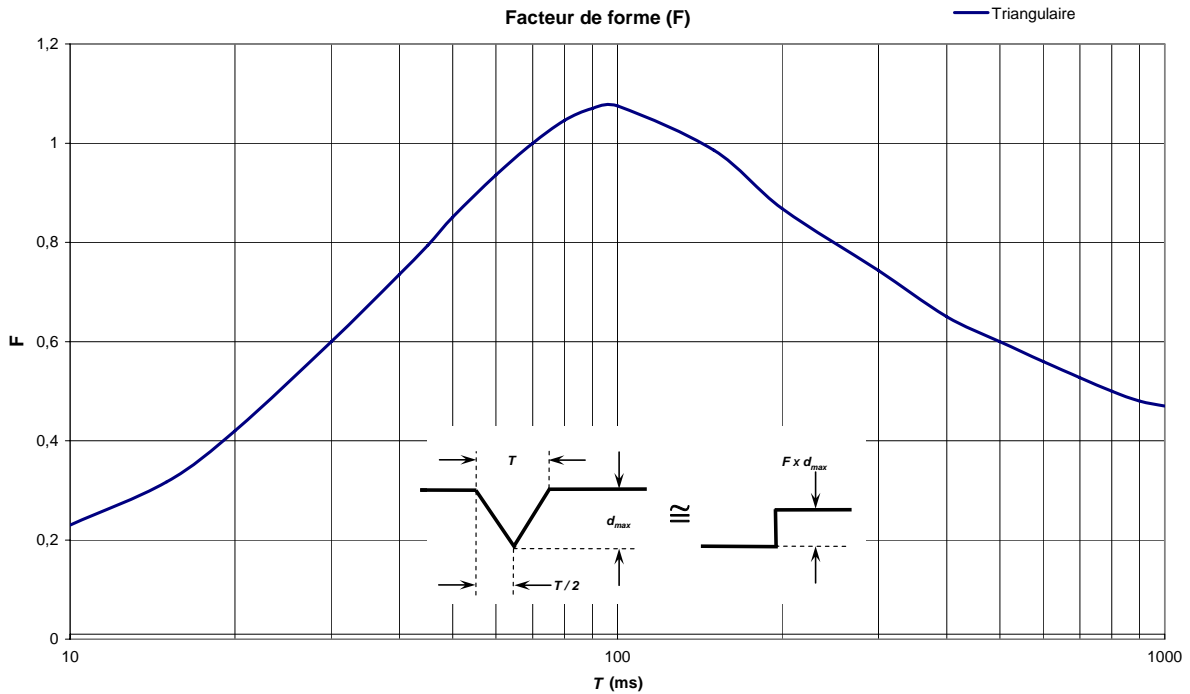


Figure B3 - Facteur de forme variations double rampes à échelon équivalent

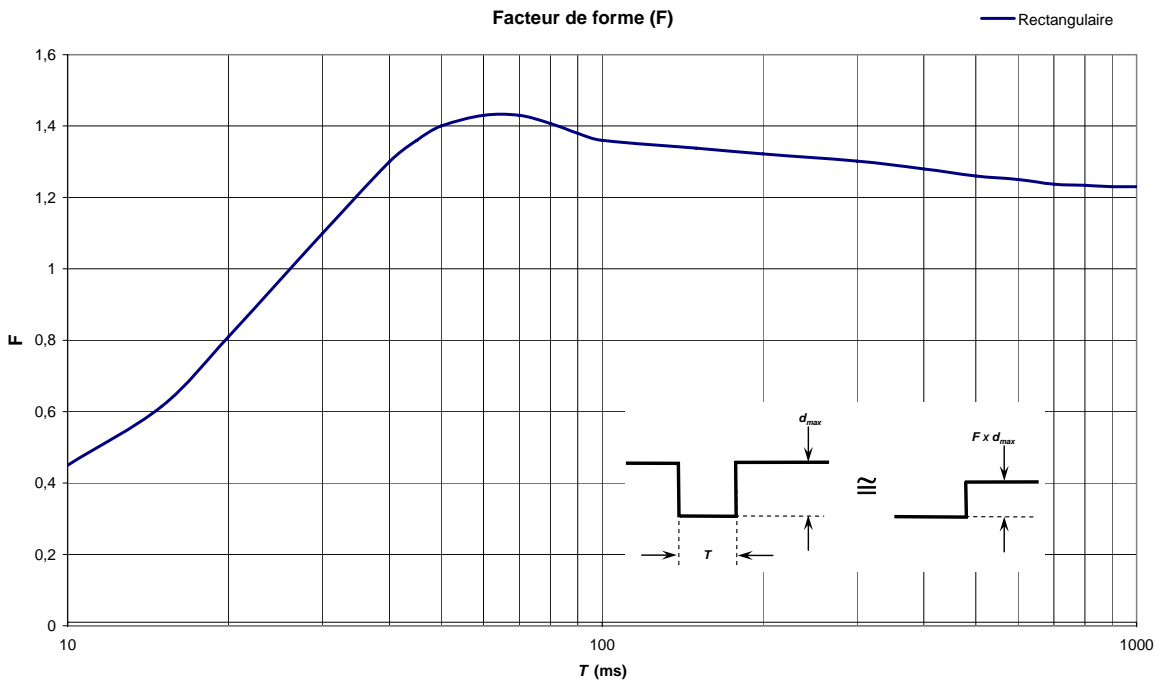


Figure B4 - Facteur de forme variations créneaux à échelon

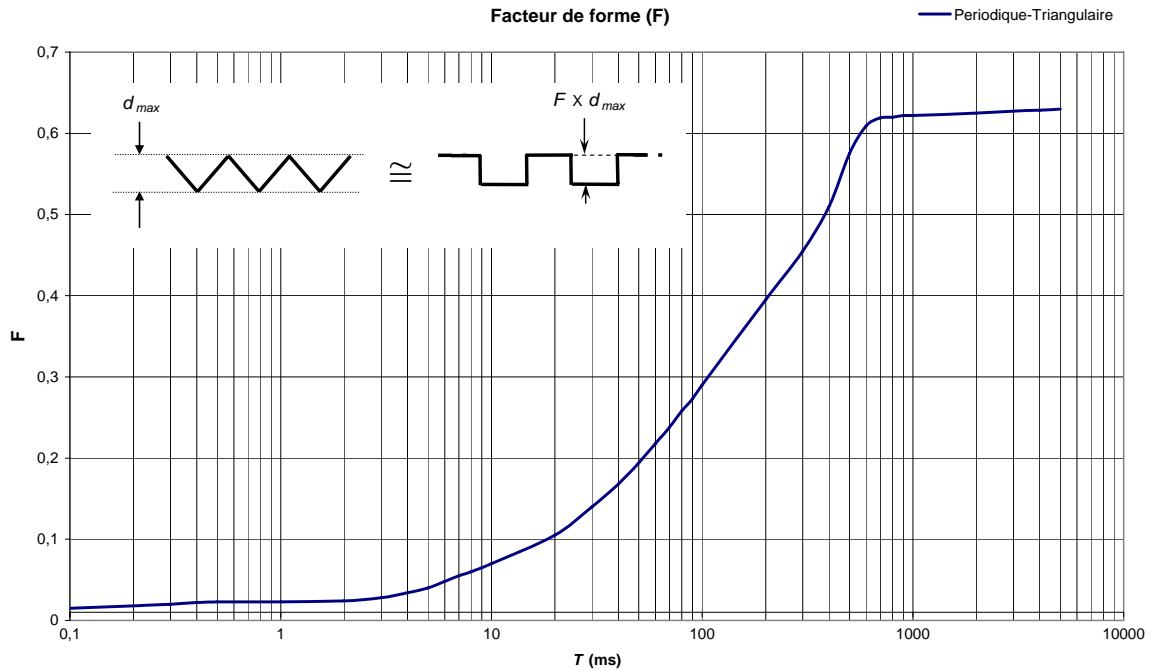


Figure B5 - Facteur de forme variations triangulaires à créneaux

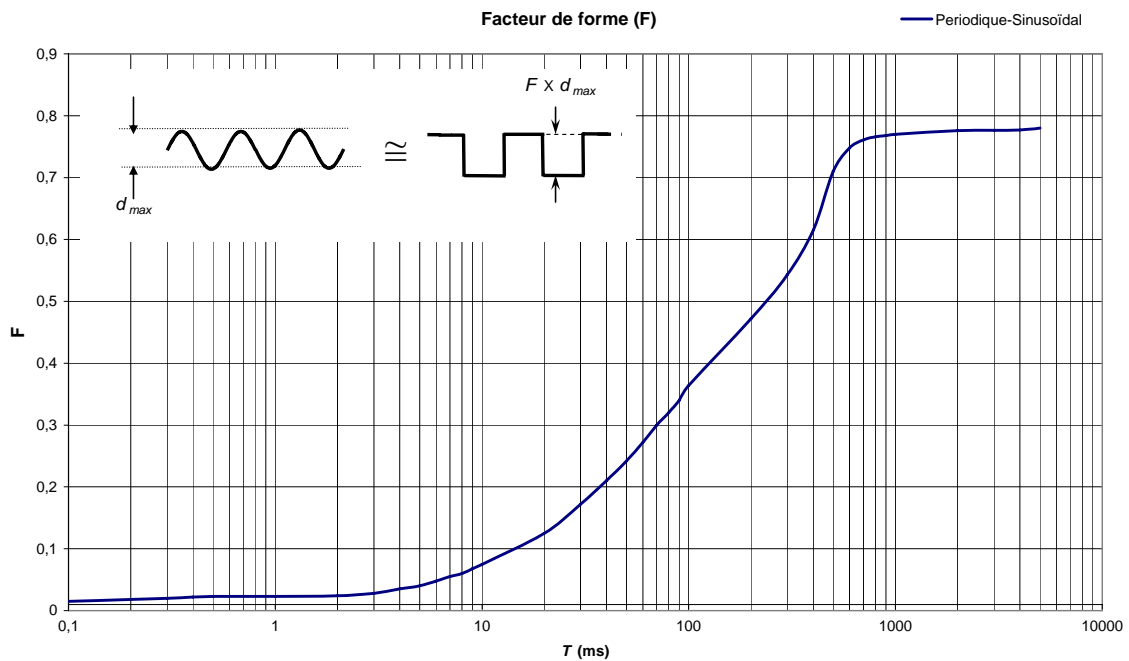


Figure B6 - Facteur de forme variations sinusoïdales à créneaux

directive norme méthode

corporative sectorielle

numéro	C.22-03		
page	49	de	59

ANNEXE C

Exemple d'analyse de niveau 2

Prévision du niveau de papillotement

Cas : Centre de ski

1. Contexte

Un client qui exploite un centre de ski désire ajouter une nouvelle remontée mécanique à ses charges existantes.

Connaissant la puissance de court-circuit ($S_{cc} = 70 \text{ MVA}$) au point commun de raccordement (PCR) et les appels de puissance ($\Delta S_{MAX} = 1,5 \text{ MVA}$) des remontées mécaniques, on constate que les limites du niveau 1 (section 3.1) ne peuvent-êtré respectées, et ce, peu importe le nombre de variations produites. On doit passer au niveau 2 d'analyse.

Ayant installé une remontée semblable deux ans auparavant, il a été décidé d'évaluer le niveau de papillotement futur à partir de mesures effectuées sur la remontée mécanique existante. C'est donc la méthode 1, « Charge existante similaire » décrite à la section 4.1.1, qui sera appliquée.

2. Données de base

Voici un schéma simplifié de la ligne de distribution alimentant le centre de ski.

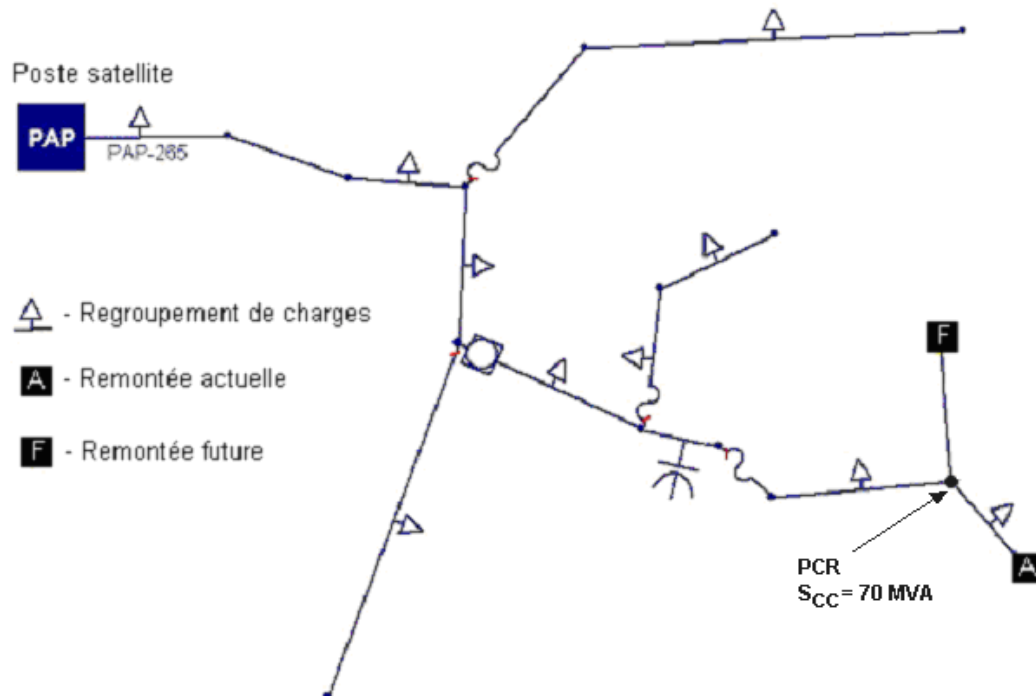


Figure C1 - Schéma de ligne

numéro	C.22-03		
page	51	de	59

Les limites d'émission allouées au client sont :

$$E_{Psti} : 0,56$$

$$E_{Plti} : 0,44$$

Ces valeurs découlent des équations 3.4 et 3.5 en utilisant les caractéristiques suivantes :

$$G_{PstMT} : 0,78$$

$$G_{PltMT} : 0,61$$

$$S_r : 6 \text{ MVA}$$

$$S_{MT} : 32,4 \text{ MVA}$$

$$S_{BT} : 16,2 \text{ MVA}$$

La charge future sera alimentée de la même façon que la charge existante. Le schéma simplifié de l'installation est le suivant (actuelle et future).

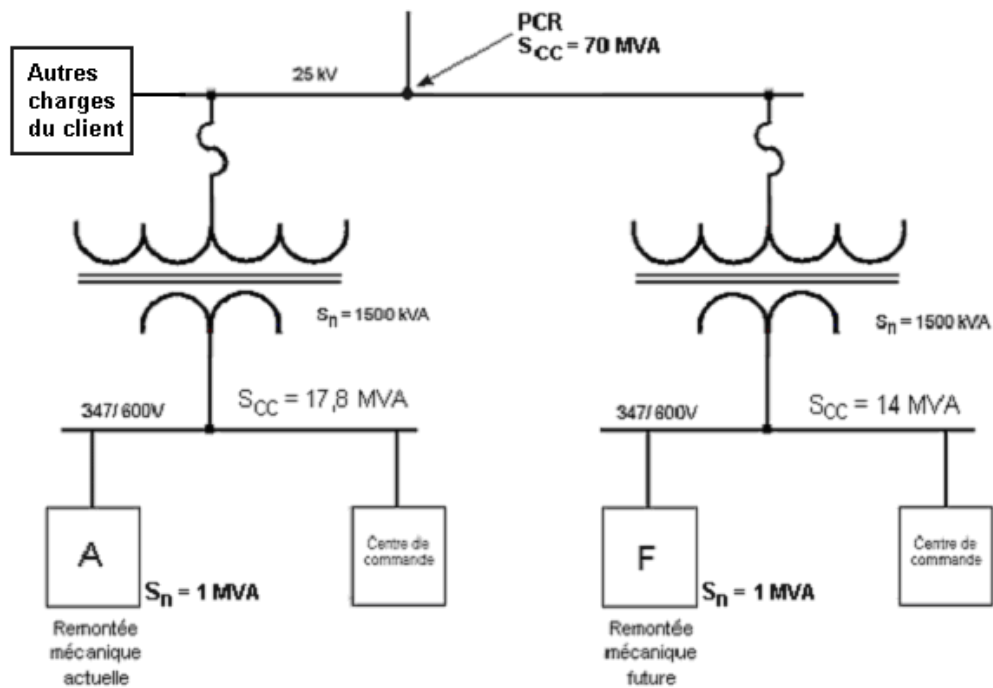


Figure C2 - Schéma des installations actuelle et future

Le graphique du « P_{st} » qui suit est le résultat de la mesure d'une semaine effectuée sur la remontée existante (A). Ces mesures ont été obtenues du côté basse tension (347/600 V) du poste client.

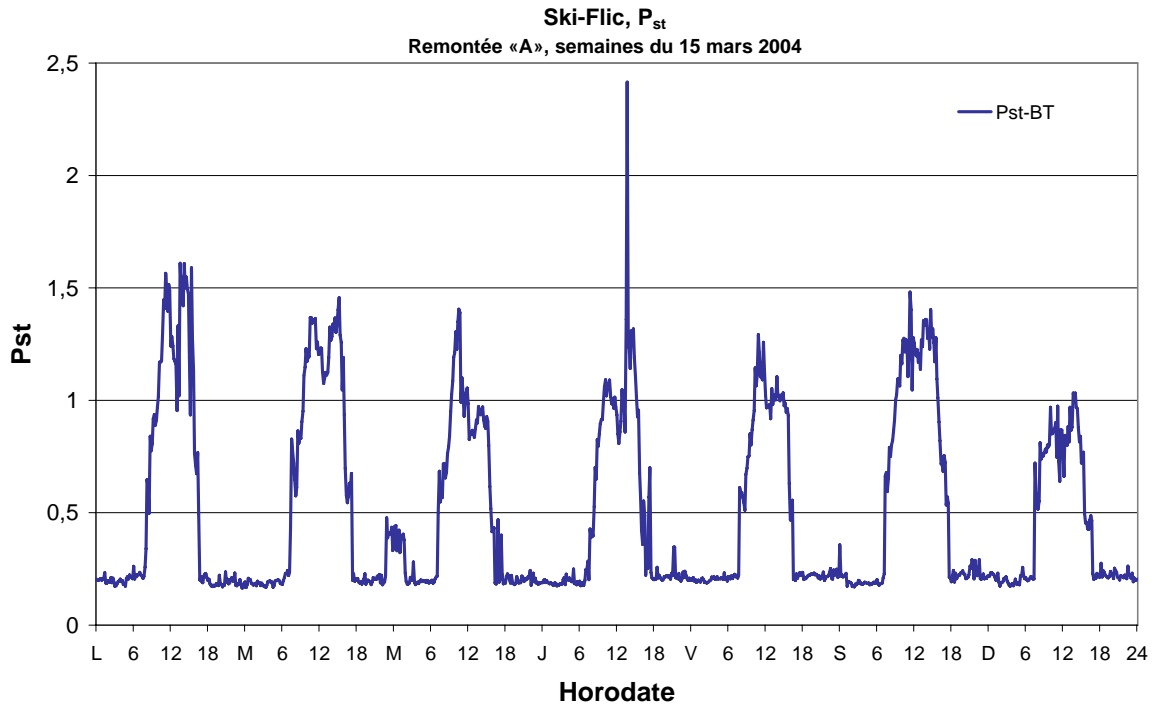


Figure C3 - Papillotement à court terme de la remontée actuelle (BT)

3. Calculs

Voici les étapes à réaliser pour adapter les mesures effectuées sur la remontée actuelle (A) à la remontée future (F) :

1. Enlever les événements fortuits des mesures disponibles (si requis) ;
2. Isoler le papillotement attribuable à la remontée actuelle (A) en soustrayant le niveau de papillotement de la ligne ;
3. Ajuster le P_{st} de la remontée actuelle (A) à la nouvelle remontée (F) ;
4. Sommer le P_{st} des remontées actuelle (A) et future (F) au nouveau point commun de raccordement (PCR) ;
5. Évaluer le niveau de papillotement à long terme correspondant (P_{lt}) ;
6. Évaluer les valeurs de papillotement à court terme à 99 % du temps de la semaine ($P_{st\ 99\%}$) et de papillotement à long terme à 95% du temps de la semaine ($P_{lt-95\%}$).

3.1— Éléments fortuits

Nous devons d'abord éliminer les événements fortuits des mesures prises sur la charge actuelle. Dans cet exemple, on remarque que le jeudi après-midi, un papillotement avoisinant les 2,5 a été enregistré (figure C3). Après analyse, on conclut qu'il s'agit d'un creux de tension accidentel. Il faut donc exclure cet événement de l'analyse.

Ceci se fait en remplaçant le niveau de papillotement correspondant au creux de tension par la valeur moyenne des P_{st} précédent et suivant le creux de tension. La figure C4 nous montre le graphique résultant de cet exercice.

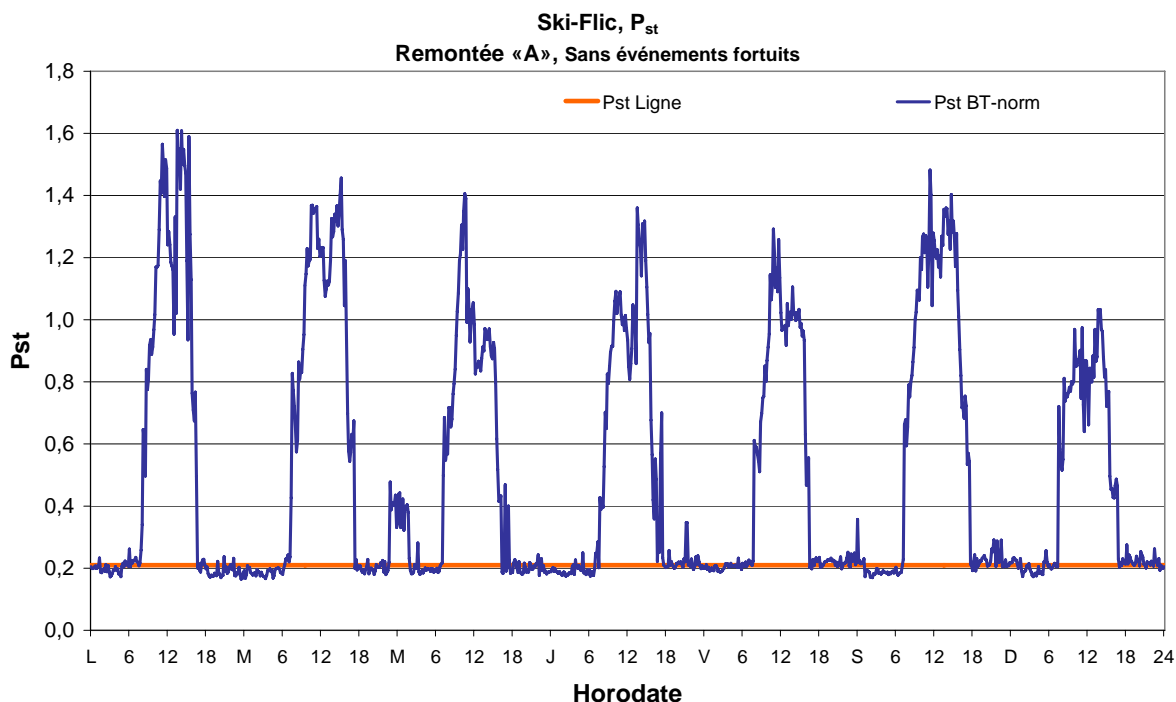


Figure C4 - Papillotement court terme normalisé

3.2– Papillotement attribuable à la remontée actuelle

En confrontant le niveau de papillotement avec le courant appelé par la remontée mécanique, on peut facilement conclure que les niveaux élevés de papillotement (tous les jours entre 8 h et 17 h) correspondent au fonctionnement de la remontée. Quant aux niveaux faibles de P_{st} , ils correspondent au niveau de papillotement de la ligne $P_{st} \approx 0,21$ (sans la remontée).

On trouve le niveau de papillotement provoqué par la remontée actuelle en soustrayant le P_{st} de la ligne (0,21) du P_{st} mesuré. Le tableau C1 présente le niveau de papillotement recherché obtenu avec l'équation 2.2 vue précédemment.

numéro	C.22-03		
page	54	de	59

Voici quelques précisions sur le tableau C1 qui présente un extrait des 1008 lectures de P_{st} effectuées sur la remontée actuelle :

- « Mesure », valeurs de P_{st} mesurées sur la barre 347/600 V de la remontée « A » sans événements fortuits ;
- « A-BT », valeurs de P_{st} sans le papillotement ($P_{st}= 0,21$) de la ligne ;
- « F-BT », valeurs de P_{st} sur la barre 347/600 V de la remontée future ;
- « A-PCR », P_{st} produit par la remontée actuelle ramené au PCR ;
- « F-PCR », P_{st} produit par la remontée future ramené au PCR ;
- « T-PCR », P_{st} produit par les deux remontées au PCR ;
- « P_{lt} », papillotement à long terme (P_{lt}) au PCR.

3.3– Ajuster les résultats de la remontée actuelle à la nouvelle remontée

Puisque la nouvelle remontée est identique à la remontée existante, le niveau de P_{st} qui sera produit à la barre basse tension de la nouvelle remontée sera inversement proportionnel aux puissances de court-circuit.

La puissance de court-circuit de la remontée actuelle étant de 17,8 MVA et de 14 MVA pour la remontée future, le P_{st} de la remontée future sera donc plus élevé. On le calcule avec la formule suivante :

$$P_{st-F} = \frac{S_{CC-A}}{S_{CC-F}} \times P_{st-A}$$

La colonne « F-BT » du tableau C1 donne le résultat de cet exercice.

3.4– Évaluer le papillotement au PCR

Pour refléter les niveaux de papillotement P_{st-A} et P_{st-F} au PCR, on utilise une formule similaire à la précédente.

$$P_{st-A-PCR} = \frac{S_{CC-A}}{S_{CC-PCR}} \times P_{st-A} \text{ pour le papillotement de la charge actuelle ; et}$$

$$P_{st-F-PCR} = \frac{S_{CC-F}}{S_{CC-PCR}} \times P_{st-F} \text{ pour la charge future.}$$

En appliquant la loi de sommation vue précédemment (équation 2.2), on trouve ensuite la valeur de P_{st} totale qui sera produite au point commun de raccordement (PCR).

Les colonnes « A-PCR », « F-PCR » et « T-PCR » du tableau C1 sont les résultats de cet exercice.

3.5— Évaluation du niveau de papillotement à long terme (P_{lt})

Le papillotement à long terme se calcule simplement avec la formule présentée à la section 2.5. Il s'agit de la loi de sommation appliquée à 12 valeurs consécutives de P_{st} . Chaque nouvelle valeur de P_{st} entraîne une nouvelle valeur de P_{lt} . Le résultat se trouve à la colonne « P_{lt} » du tableau C1.

TABLEAU C1

Tableau synthèse des niveaux de P_{st} et de P_{ft} « Extrait »

Papillotement court terme, P_{st}							
Basse tension							
Moyenne tension au PCR							
Heure	Mesure	A-BT	F-BT	A-PCR	F-PCR	T-PCR	P_{ft}
00h:00m	0,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
00h:10m	0,199	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
07h:50m	0,258	0,199	0,253	0,051	0,051	0,064	0,00
08h:00m	0,340	0,311	0,395	0,07905	0,07905	0,09960	0,00
08h:10m	0,647	0,640	0,813	0,16263	0,16263	0,20490	0,00
08h:20m	0,614	0,606	0,770	0,15402	0,15402	0,19405	0,01
08h:30m	0,497	0,484	0,616	0,12312	0,12312	0,15512	0,01
08h:40m	0,840	0,836	1,062	0,21248	0,21248	0,26771	0,02
08h:50m	0,776	0,771	0,980	0,196	0,196	0,247	0,02
09h:00m	0,807	0,802	1,020	0,204	0,204	0,257	0,03
09h:10m	0,917	0,913	1,161	0,232	0,232	0,293	0,04
09h:20m	0,936	0,932	1,186	0,237	0,237	0,299	0,05
09h:30m	0,889	0,885	1,125	0,225	0,225	0,284	0,06
09h:40m	0,912	0,908	1,155	0,231	0,231	0,291	0,07
09h:50m	0,968	0,965	1,227	0,245	0,245	0,309	0,09
10h:00m	1,016	1,013	1,288	0,258	0,258	0,325	0,10
10h:10m	1,170	1,168	1,485	0,297	0,297	0,374	0,12
10h:20m	1,169	1,167	1,483	0,297	0,297	0,374	0,14
10h:30m	1,174	1,172	1,490	0,298	0,298	0,375	0,16
10h:40m	1,290	1,288	1,638	0,328	0,328	0,413	0,18
10h:50m	1,447	1,446	1,838	0,368	0,368	0,463	0,22
11h:00m	1,408	1,406	1,788	0,358	0,358	0,451	0,25
11h:10m	1,565	1,564	1,988	0,398	0,398	0,501	0,30
11h:20m	1,497	1,496	1,902	0,380	0,380	0,479	0,33
11h:30m	1,397	1,395	1,774	0,355	0,355	0,447	0,36
11h:40m	1,515	1,514	1,925	0,385	0,385	0,485	0,40
11h:50m	1,487	1,486	1,889	0,378	0,378	0,476	0,44
12h:00m	1,241	1,239	1,575	0,315	0,315	0,397	0,45
12h:10m	1,283	1,281	1,629	0,326	0,326	0,410	0,46
12h:20m	1,242	1,240	1,577	0,315	0,315	0,397	0,46
12h:30m	1,185	1,183	1,504	0,301	0,301	0,379	0,46
12h:40m	1,172	1,170	1,487	0,297	0,297	0,375	0,45
12h:50m	1,161	1,159	1,473	0,295	0,295	0,371	0,43

TABLEAU C1 (suite)

Tableau synthèse des niveaux de P_{st} et de P_{lt} « Extrait »

Papillotement court terme, P_{st}							
Basse tension				Moyenne tension au PCR			P_{lt}
Heure	Mesure	A-BT	F-BT	A-PCR	F-PCR	T-PCR	
13h:00m	0,954	0,951	1,209	0,242	0,242	0,305	0,41
13h:10m	1,331	1,329	1,690	0,338	0,338	0,426	0,38
13h:20m	1,020	1,017	1,293	0,259	0,259	0,326	0,35
13h:30m	1,610	1,609	2,045	0,409	0,409	0,515	0,37
13h:40m	1,493	1,492	1,896	0,379	0,379	0,478	0,37
13h:50m	1,549	1,548	1,968	0,394	0,394	0,496	0,38
14h:00m	1,420	1,418	1,803	0,361	0,361	0,454	0,39
14h:10m	1,608	1,607	2,043	0,409	0,409	0,515	0,42
14h:20m	1,500	1,499	1,905	0,381	0,381	0,480	0,44
14h:30m	1,548	1,547	1,967	0,393	0,393	0,496	0,47
14h:40m	1,496	1,495	1,900	0,380	0,380	0,479	0,49
14h:50m	1,472	1,471	1,870	0,374	0,374	0,471	0,52
15h:00m	1,190	1,188	1,510	0,302	0,302	0,381	0,53
15h:10m	0,935	0,931	1,184	0,237	0,237	0,298	0,51
15h:20m	1,590	1,589	2,020	0,404	0,404	0,509	0,55
15h:30m	1,275	1,273	1,619	0,324	0,324	0,408	0,52
15h:40m	1,129	1,127	1,432	0,286	0,286	0,361	0,49
15h:50m	0,764	0,759	0,965	0,193	0,193	0,243	0,45
16h:00m	0,710	0,704	0,895	0,179	0,179	0,225	0,41
16h:10m	0,674	0,667	0,848	0,170	0,170	0,214	0,35
16h:20m	0,767	0,762	0,968	0,194	0,194	0,244	0,31
16h:30m	0,494	0,481	0,612	0,122	0,122	0,154	0,26
16h:40m	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,21
16h:50m	0,215	0,088	0,112	0,022	0,022	0,028	0,17
17h:00m	0,193	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,14
17h:10m	0,188	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,13
17h:20m	0,218	0,103	0,131	0,026	0,026	0,033	0,07
17h:30m	0,228	0,137	0,175	0,035	0,035	0,044	0,04
17h:40m	0,229	0,140	0,178	0,036	0,036	0,045	0,02
17h:50m	0,210	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,02
23h:40m	0,166	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
23h:50m	0,186	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00

3.6— Évaluation du papillotement à 95 % et 99 % du temps de la semaine

À l'aide de formules statistiques disponibles dans les principaux tableurs sur le marché, nous devons calculer les valeurs définies à 99 % pour le paramètre à court terme « P_{st} » et la valeur à 95 % pour le paramètre à long terme « P_{lt} ».

Voici les résultats obtenus au PCR pour cet exemple :

- $P_{st-99\%}$: 0,512
- $P_{lt-95\%}$: 0,41

La valeur de $P_{st-99\%}$ correspond au niveau de papillotement à court terme qui a été respecté durant 99 % du temps de la semaine, soit 998 lectures de 10 minutes.

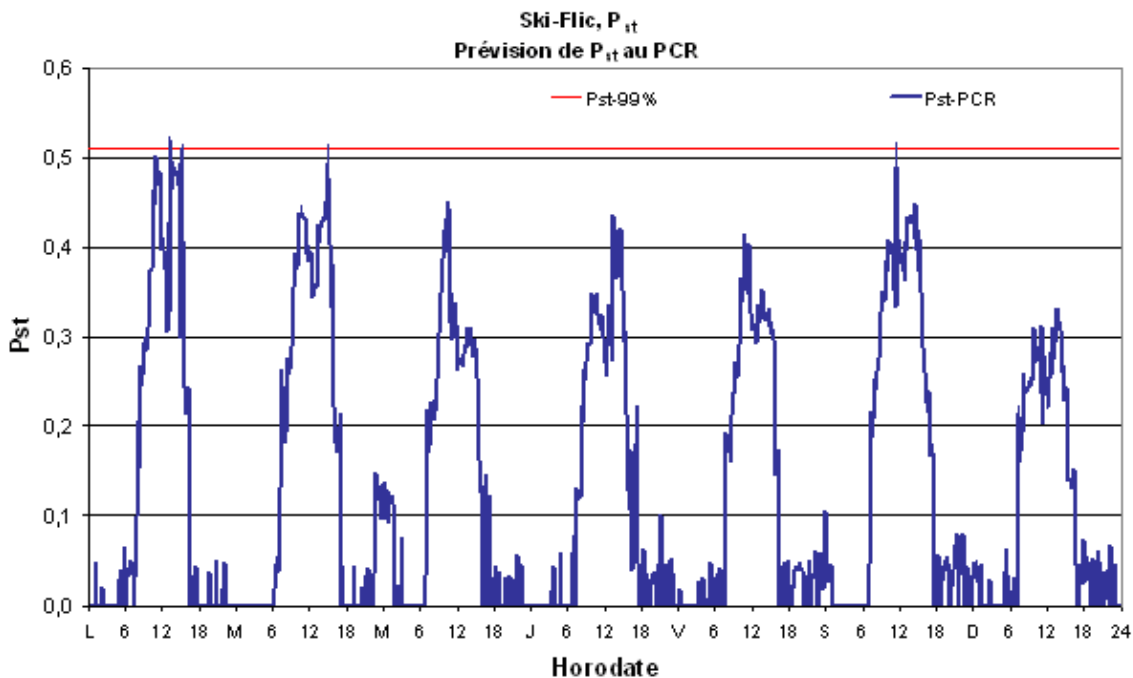


Figure C5 - Prévission du papillotement à court terme au PCR

4. Conclusion

Comme il est indiqué à la section 5, les niveaux de papillotement prévus au PCR doivent respecter les limites allouées. La vérification est effectuée grâce aux deux critères suivants :

$$P_{st-99\%} \leq E_{Pst}$$

$$P_{lt-95\%} \leq E_{Plt}$$

Les résultats de l'évaluation obtenus étant les suivants :

$$P_{st-99\%} = 0,512 \leq E_{Pst}$$

$$P_{lt-95\%} = 0,41 \leq E_{Plt}$$

Les limites allouées dans ce cas sont donc respectées et le raccordement des charges au réseau est accepté.