



**Prescriptions Power Quality pour les utilisateurs
raccordés aux réseaux publics haute et moyenne
tension**

(C10/17- révision 8 mai 2009)

Table des matières

1.	INTRODUCTION	5
2.	DOMAINE D'APPLICATION.....	5
3.	CONCEPT DE BASE DE LA NORMALISATION CEM ET MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE	5
3.1.	NIVEAUX DE COMPATIBILITÉ	5
3.2.	CARACTERISTIQUES DE LA TENSION	5
3.3.	NIVEAUX DE PLANIFICATION.....	6
3.4.	NIVEAUX D'ÉMISSION ADMIS	6
3.5.	MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION	6
4.	PUISSANCE DE COURT-CIRCUIT ET IMPÉDANCE HARMONIQUE DE RÉFÉRENCE, UTILISÉES POUR L'ÉVALUATION DES LIMITES D'ÉMISSION	8
4.1.	PUISSANCE DE COURT-CIRCUIT DE RÉFÉRENCE AU POINT DE RACCORDEMENT	8
4.1.1.	<i>Procédure Stade 1 et 2.....</i>	<i>8</i>
4.1.2.	<i>Procédure Stade 3</i>	<i>9</i>
4.2.	IMPÉDANCE HARMONIQUE DE RÉFÉRENCE.....	9
4.2.1.	<i>Procédure Stade 1</i>	<i>9</i>
4.2.2.	<i>Procédure Stade 2 et 3.....</i>	<i>10</i>
5.	PROCÉDURE D'ÉVALUATION	10
5.1.	CONDITIONS GÉNÉRALES – PROCÉDURE AVANT LE RACCORDEMENT	10
5.2.	CONDITIONS GÉNÉRALES – PROCÉDURE APRÈS LE RACCORDEMENT	11
5.3.	FLUCTUATIONS DE TENSION.....	13
5.3.1.	<i>Flicker</i>	<i>13</i>
5.3.2.	<i>Variations sporadiques de tension.....</i>	<i>14</i>
5.3.3.	<i>Pointes de courants (réseaux < 30 kV).....</i>	<i>14</i>
5.4.	DISTORSION DE LA TENSION	14
5.4.1.	<i>Evaluation des niveaux d'émission par une mesure de courant.....</i>	<i>14</i>
5.4.2.	<i>Evaluation des niveaux d'émission en Stade 3</i>	<i>16</i>
5.4.3.	<i>Interharmoniques</i>	<i>16</i>
5.4.4.	<i>Influence de l'impédance harmonique.....</i>	<i>16</i>
5.4.5.	<i>Signal TCC</i>	<i>17</i>
5.5.	DÉSÉQUILIBRE DE TENSION.....	17
ANNEXE 1: NIVEAUX DE PLANNING, LIMITES D'ÉMISSION POUR LES UTILISATEURS DE RÉSEAU RACCORDÉS AUX RÉSEAUX MOYENNE ET HAUTE TENSION ET PUISSANCE DE COURT-CIRCUIT DE RÉFÉRENCE		18

ANNEXE 2: DÉFINITIONS.....	20
ANNEXE 3: LISTE DE SYMBOLES.....	23
ANNEXE 4: RÉFÉRENCES	24

Préambule

Les gestionnaires de réseau de transport et de distribution ont la mission de garantir la qualité de la tension livrée. Il est dans les prérogatives des gestionnaires de réseau de veiller à ce que l'impact des installations perturbatrices sur la qualité de la tension reste acceptable.

Le document « Prescriptions Power Quality pour les utilisateurs raccordés aux réseaux haute tension » a été réalisé dans le but de définir les limites d'émission acceptables.

Les valeurs des différents niveaux, indiquées dans ce document sont fondées d'une part sur les travaux effectués en normalisation internationale et d'autre part sur l'expérience acquise en la matière.

La révision 2009 prend en compte les modifications récentes dans la normalisation internationale, notamment la révision des rapports techniques IEC/TR 61000-3-6 concernant les émissions harmoniques et IEC/TR 61000-3-7 concernant les fluctuations de tension et le flicker, ainsi que le nouveau rapport technique IEC/TR 61000-3-13 concernant le déséquilibre de tension.

1. **Introduction**

Idéalement, l'alimentation des réseaux électriques publics se fait par un système sinusoïdal triphasé et symétrique, constant en fréquence et en amplitude. Toute déviation est considérée comme une perturbation de la tension d'alimentation et fait partie de la problématique de la Power Quality. A l'exception des creux de tension et interruptions, les perturbations sont la plupart du temps occasionnées par les *utilisateurs de réseau*: lorsqu'ils consomment ou produisent un courant qui n'est pas parfaitement symétrique, sinusoïdal et constant, alors – par interaction avec l'impédance du réseau – la qualité de la tension au *point de raccordement* va être détériorée. Pour pouvoir livrer à tous les *utilisateurs du réseau* une tension de qualité satisfaisante et ceci à tous les niveaux de tension, de la haute à la basse tension, les prescriptions de Power Quality en vigueur sont d'application pour les *utilisateurs de réseau* individuels.

2. **Domaine d'application**

Les prescriptions Power Quality ci-après sont applicables pour tous les *utilisateurs de réseau* raccordés aux réseaux électriques publics haute et moyenne tension. Ce document constitue le fil conducteur recommandé pour le raccordement d'installations perturbatrices sur le réseau électrique. Il contient les prescriptions concernant les niveaux de perturbations permis (*harmoniques, flicker, variations de tension* et *déséquilibre*) pouvant être occasionnés par un utilisateur du réseau et précise comment s'effectuent l'évaluation et le contrôle des niveaux de perturbation.

3. **Concept de base de la normalisation CEM et méthodologie appliquée**

3.1. **Niveaux de compatibilité**

Les niveaux de compatibilité sont des valeurs de référence pour la coordination entre l'émission et l'immunité des équipements ou des installations qui font partie du réseau électrique ou qui sont alimentés par le réseau électrique, afin de garantir la compatibilité électromagnétique de tout le système. Les niveaux de compatibilité en moyenne tension sont donnés dans les normes IEC 61000-2-2 [3] et IEC 61000-2-12 [4].

3.2. **Caractéristiques de la tension**

Les principales caractéristiques de la tension dans les réseaux de distribution et de transmission publique sont dérivées des niveaux de compatibilité et sont décrites dans la norme européenne EN 50160 [2]. Cette norme peut être considérée comme une norme produit pour la tension d'alimentation.

3.3. Niveaux de planification

Les *niveaux de planification* sont donnés par le gestionnaire de réseau pour tous les niveaux de tension (**annexe 1, tableau 1**) et peuvent être considérés comme objectifs internes de qualité du gestionnaire de réseau. Ce ne sont en aucun cas des garanties de qualité du gestionnaire de réseau; les *niveaux de planification* pourront être localement et/ou temporairement dépassés en raison des configurations de réseaux variables ou du cumul de perturbations simultanées provenant de différents *utilisateurs de réseau*. Le *niveau de planification* ou le niveau de perturbation global est réparti entre les différents utilisateurs du réseau afin d'obtenir les niveaux de perturbation acceptables ou les *limites d'émission* pour les utilisateurs individuels. Les niveaux de planification sont normalement plus petits que les niveaux de compatibilité.

3.4. Niveaux d'émission admis

L'objectif consiste à limiter les émissions provenant des *utilisateurs du réseau* individuels raccordés aux réseaux à moyenne et à haute tension de telle sorte que le niveau de perturbation global de la tension n'excède pas le niveau de planification de **l'annexe 1, tableau 1**. La méthodologie pour déterminer et évaluer ces niveaux d'émission acceptables est décrite dans les rapports techniques CEI 61000-3-6 [5], CEI 61000-3-7 [6] et CEI 61000-3-13 [11].

3.5. Méthodologie d'évaluation

Lors du raccordement d'installations perturbatrices ou potentiellement perturbatrices, l'*utilisateur de réseau* vérifiera toujours s'il existe un risque de dépassement des *limites d'émission* du Stade 1 défini à **l'annexe 1, tableau 2 et tableau 3**. Les limites d'émission du Stade 1 sont des limites standards dépendant uniquement de la tension au *point de raccordement* et de la *puissance souscrite de l'utilisateur de réseau*; elles donnent à chaque *utilisateur de réseau* le droit d'injecter dans le réseau une quantité de perturbations de base.

Si les installations perturbatrices dépassent les *limites d'émission* du Stade 1 (**annexe 1, tableau 2 et tableau 3**), l'*utilisateur de réseau* peut alors prendre des mesures pour limiter les *niveaux d'émission* de ses installations, par exemple en installant des installations de compensation ou des filtres.

Si les limites d'émission du Stade 1 ne sont pas tenables, le raccordement des installations perturbatrices de l'utilisateur de réseau doit aussi, à la demande de celui-ci, être soumis à l'approche Stade 2 et éventuellement Stade 3. Pour plus de détails, le lecteur est renvoyé à la procédure d'évaluation décrite au paragraphe 5 et aux rapports techniques CEI/TR 61000-3-6 [5], CEI/TR 61000-3-7 [6] et CEI /TR61000-3-13 [11].

En Stade 2, une partie du *niveau de planification* est attribuée à l'*utilisateur de réseau* comme *limite d'émission*. Cette partie dépend du rapport entre sa *puissance souscrite* et la puissance totale disponible du réseau.

Lors du raccordement d'installations perturbatrices, l'*utilisateur de réseau* doit mettre en œuvre tous les moyens raisonnables pour répondre aux critères du Stade 1 ou 2.

Les installations très perturbatrices ou les installations dont les niveaux perturbateurs sont difficiles à déterminer à l'avance, peuvent être raccordées suivant l'approche du Stade 3.

Le Stade 3 peut être appliqué pour le raccordement de nouvelles installations quand à priori il est difficile de déterminer si un filtre ou une installation de compensation est nécessaire pour satisfaire aux limites imposées. Le gestionnaire de réseau effectuera dans ce cas, avant le raccordement, une étude de compatibilité et une analyse des risques dans lesquelles on examinera si les installations perturbatrices peuvent être provisoirement raccordées au réseau sans compensation ni filtres. Après la mise en service des installations, les niveaux de perturbation des installations sont déterminés à l'aide d'essais de réception et sont comparés avec les limites d'émission imposées, afin de pouvoir déterminer si des mesures supplémentaires doivent être envisagées pour limiter les niveaux de perturbations (p.ex. installation de compensation ou filtres).

Les installations perturbatrices peuvent fonctionner pour une durée indéterminée en Stade 3 sous des conditions très strictes, tant que ceci reste acceptable pour le réseau et qu'il n'y a pas de nouvelles sources perturbatrices. Le gestionnaire de réseau effectuera une étude de compatibilité avant le raccordement dans laquelle les niveaux de planification¹ du Stade 3 et les limites d'émission seront déterminés; l'impact des installations perturbatrices sur le réseau sera estimé. Dans ce cas seront pris en compte – entre autres – l'exploitation locale du réseau, les niveaux de perturbation des *utilisateurs de réseau* voisins et la proximité des installations sensibles. Le gestionnaire de réseau détermine les conditions couplées à une exploitation en Stade 3 et les mentionne dans le contrat de raccordement. Le gestionnaire de réseau décide aussi pour les *utilisateurs de réseau* de Stade 3 si un monitoring permanent de la qualité de la tension au *point de raccordement* est obligatoire. Selon le principe 'du pollueur payeur', les coûts liés à ce monitoring peuvent être répercutés à l'*utilisateur de réseau*.

¹ En Stade 3 le gestionnaire de réseau peut tenir compte de l'atténuation du niveau de perturbation entre la source d'une part et les installations sensibles d'autre part, et définir des niveaux de planification adaptés.

4. Puissance de court-circuit et impédance harmonique de référence, utilisées pour l'évaluation des limites d'émission

La *limite d'émission* donne le niveau de perturbation qu'un utilisateur du réseau peut provoquer sur la tension d'alimentation au *point d'évaluation*. Ce point est normalement le point de raccordement mais peut aussi dans certains cas être le point de couplage commun ou n'importe quel autre point spécifié par le gestionnaire de réseau ou défini de commun accord. Les niveaux de perturbation proviennent de l'interaction des courants de charge de l'utilisateur du réseau avec l'impédance du réseau:

- un courant non sinusoïdal entraîne l'apparition d'*harmoniques* sur l'onde de tension.
- un courant dont l'amplitude varie rapidement, provoque des *variations rapides de tension* et du *flicker*.
- un courant de charge déséquilibré provoque un *déséquilibre de tension*.

L'impédance du réseau détermine, en d'autres termes, le degré d'absorption par le réseau des perturbations produites. Le niveau des perturbations engendrées sur la tension pour les variations de tension, le flicker et le déséquilibre est directement proportionnel à l'impédance du réseau à la fréquence fondamentale ainsi qu'à l'impédance du réseau à la fréquence harmonique pour les harmoniques.

L'impédance change continuellement sous l'influence:

- de l'état de charge des *utilisateurs de réseau*,
- des unités de production, qui suivent les variations de tension ou anticipent afin de conserver l'équilibre entre la production et la consommation,
- des manœuvres des batteries de condensateurs, des installations de filtrage ou de compensation,
- la mise en ou hors service temporaire de certains composants du réseau pour des travaux d'entretien,
- ...

Pour pouvoir évaluer objectivement les niveaux de perturbation engendrés par un *utilisateur du réseau* au *point d'évaluation*, et ce, indépendamment de l'impédance du réseau au moment de l'évaluation, le gestionnaire de réseau donnera des valeurs de références pour la puissance de court-circuit et les impédances *harmoniques*. Chaque niveau de perturbation déterminé par des mesures, doit être rapporté à ces valeurs de référence.

4.1. Puissance de court-circuit de référence au point de raccordement

4.1.1. Procédure Stade 1 et 2

La *puissance de court-circuit de référence* au *point de raccordement* est déterminée par le gestionnaire de réseau conformément à la norme CEI 909 ($c = 1,0$) [7], tenant compte des

configurations actuelle et future du réseau. Chaque configuration susceptible de se produire plus de 2 semaines par an est considérée comme significative.

La *puissance de court-circuit de référence au point de raccordement* dans les réseaux à partir de 30 kV sera toujours supérieure ou égale à la valeur minimale de ***l'annexe 1, tableau 4*** (*point de raccordement* = point d'injection).

Dans les réseaux moyenne tension inférieure à 30 kV, pour la détermination de la *puissance de court-circuit de référence au point de raccordement* on tiendra compte de la puissance de court-circuit minimale au point d'injection qui sera au moins la puissance définie dans ***l'annexe 1, tableau 4***.

4.1.2. Procédure Stade 3

Pour l'évaluation des installations très perturbatrices, pour lesquelles des *limites d'émission* exceptionnelles sont appliquées, des niveaux adaptés pour la *puissance de court-circuit de référence* au point d'injection peuvent être donnés.

4.2. Impédance harmonique de référence

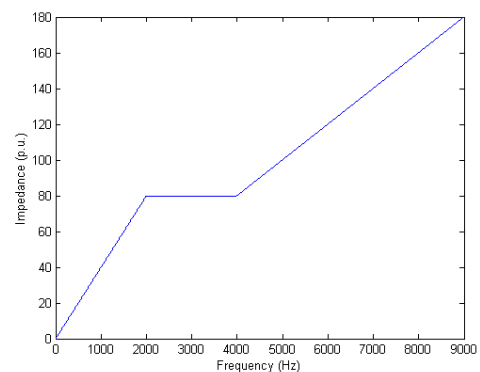
4.2.1. Procédure Stade 1

En Stade 1 une courbe d'impédance de référence est utilisée pour l'évaluation des niveaux de perturbation des *harmoniques* et des *interharmoniques*, qui est seulement dépendante de la *puissance de court-circuit de référence au point de raccordement*.

$$50 \text{ Hz} < f \leq 2000 \text{ Hz} \quad \rightarrow \quad Z_{h,ref} = 2 \cdot h \cdot \frac{U_N^2}{S_{sc,ref}}$$

$$2000 \text{ Hz} < f \leq 4000 \text{ Hz} \quad \rightarrow \quad Z_{h,ref} = 80 \cdot \frac{U_N^2}{S_{sc,ref}}$$

$$4000 \text{ Hz} < f \leq 9000 \text{ Hz} \quad \rightarrow \quad Z_{h,ref} = h \cdot \frac{U_N^2}{S_{sc,ref}}$$



Avec:

- h (-) = rang *harmonique*
- $S_{sc,ref}$ (MVA) = puissance de court-circuit de référence au *point de raccordement*
- U_N (kV) = tension nominale du réseau
- $Z_{h,ref}$ (Ω) = *impédance harmonique de référence au point de raccordement*

Pour les fréquences inférieures à 2 kHz une impédance de référence deux fois plus grande que l'impédance d'un réseau purement inductif est considérée, afin de prendre en compte les risques de résonance.

4.2.2. Procédure Stade 2 et 3

Le gestionnaire de réseau ne donnera plus une courbe standard pour l'impédance harmonique. Sur base de simulations et de mesures, une courbe enveloppe sera déterminée; elle tient compte des différentes configurations du réseau qui peuvent se présenter.

5. Procédure d'évaluation

5.1. Conditions générales – procédure avant le raccordement

Lorsqu'un utilisateur de réseau souhaite raccorder des installations perturbatrices, il doit appliquer la procédure suivante (voir également Figure 1):

- L'*utilisateur de réseau* demande au *gestionnaire de réseau* quelle est l'impédance de référence du réseau à son point d'évaluation (à calculer sur base de la puissance de court-circuit).
- A partir des caractéristiques des installations perturbatrices à raccorder et de l'impédance de référence du réseau, l'*utilisateur de réseau* calcule les *niveaux d'émission*.
- L'*utilisateur de réseau* compare les *niveaux d'émission* obtenus avec les limites d'émission du Stade 1.
- S'il apparaît que les limites d'émission du Stade 1 ne sont pas dépassées, l'utilisateur de réseau peut alors raccorder ses installations sans mesure complémentaire. En cas de doute, l'utilisateur de réseau demandera toujours l'avis du gestionnaire de réseau et lui présentera les résultats de ses calculs pour acceptation.
- Si les limites du Stade 1 sont dépassées, l'utilisateur de réseau doit alors rechercher les mesures (complémentaires) à prendre pour limiter les niveaux d'émission.
- Lorsqu'il est problématique pour l'utilisateur de réseau de satisfaire aux limites du Stade 1, il doit alors demander au gestionnaire de réseau d'appliquer l'approche du Stade 2 ou du Stade 3.
- Pour une évaluation de Stade 2, le gestionnaire de réseau calculera les limites d'émission adaptées, en accord avec la procédure des rapports techniques de la CEI. Il fournira également à l'utilisateur de réseau les caractéristiques du système qui sont nécessaires pour le calcul des limites d'émission de ses installations.
- L'utilisateur de réseau évaluera ses niveaux d'émission à partir des données obtenues. A cette fin, il peut faire appel au gestionnaire de réseau s'il le souhaite. Lorsqu'il effectue lui-même l'évaluation, il présentera les résultats de ses calculs au gestionnaire de réseau pour acceptation.

- Des installations très perturbatrices ou des installations dont il est difficile de pouvoir déterminer les niveaux de perturbation à l'avance peuvent être raccordées suivant l'approche du Stade 3 (voir également paragraphe 3.5).

5.2. Conditions générales – procédure après le raccordement

L'évaluation des *niveaux d'émission* s'effectue sous la responsabilité du gestionnaire de réseau au moyen d'une mesure d'une durée d'une semaine minimum, au *point de raccordement* de l'utilisateur du réseau (cf. **Figure 2**). Les appareils de mesure utilisés doivent être du type CEI 61000-4-30 classe A

Si les limites d'émission sont respectées, l'installation est acceptée. Lorsque les niveaux de perturbation dépassent les limites d'émission, le gestionnaire de réseau peut limiter l'exploitation des installations perturbatrices. L'utilisateur de réseau prendra alors, endéans le délai convenu, des mesures complémentaires afin de limiter ses niveaux d'émission et pour faire réévaluer son installation par le gestionnaire de réseau.

Responsabilité gestionnaire de réseau

Responsabilité utilisateur de réseau

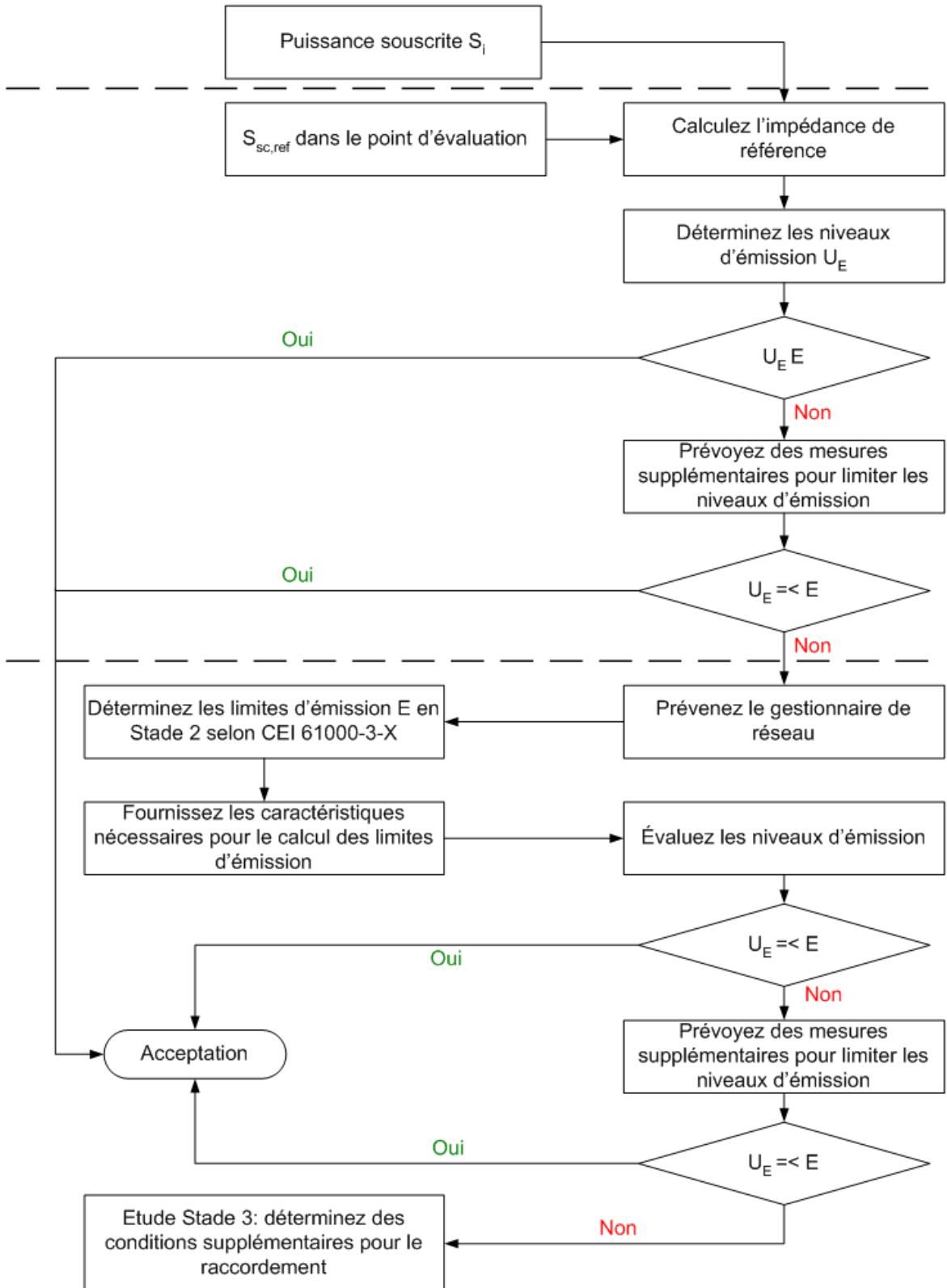


Figure 1: Procédure d'évaluation avant le raccordement

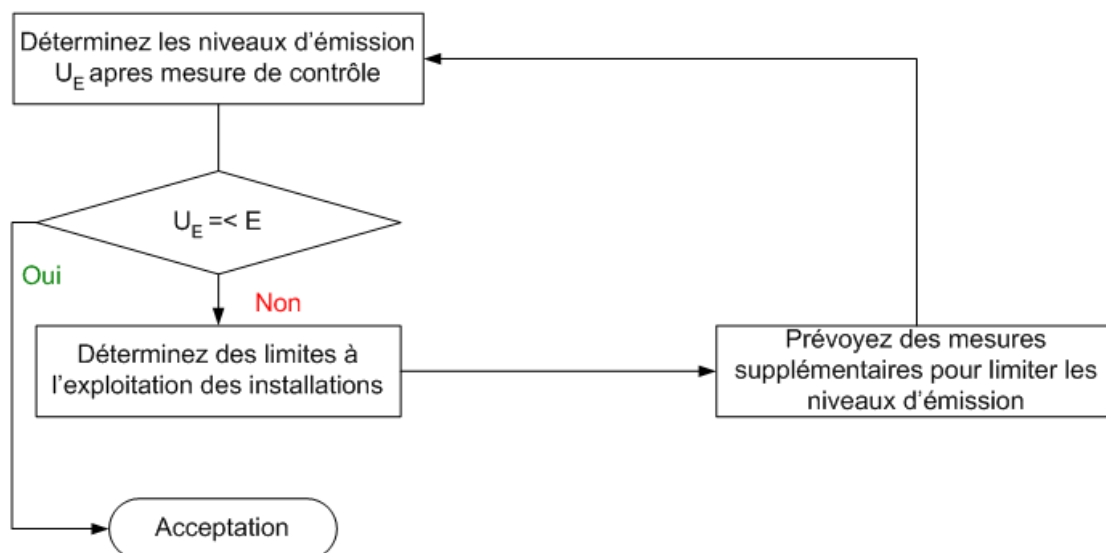


Figure 2: procédure d'évaluation après le raccordement

5.3. Fluctuations de tension

5.3.1. Flicker

L'appareil utilisé doit être conforme à la norme CEI 61000-4-30 [8] (Classe A) . Le *niveau d'émission* individuel sera déterminé à l'aide d'une simulation basée sur la méthode 'Current Approach' [9].

Les fonctions de probabilité cumulée (CPF) seront déduites des *niveaux d'émissions* pour Pst et Plt.

1. Les percentiles 95 (sur base hebdomadaire) du Pst et du Plt ne dépasseront pas les *limites d'émission* en vigueur. (données non-flagées)
2. Le percentile 99 (sur base hebdomadaire) du Pst ne dépassera pas la limite d'émission en vigueur, multiplié avec un facteur 1.2. (données non-flagées)

Pour les raccordements en Stade 1, les limites données dans *l'annexe 1, tableau 2* sont applicables. Pour les raccordement en Stade 2 et 3, le gestionnaire de réseau donnera des limites adaptées comme le § 5.1 le prévoit.

5.3.2. Variations sporadiques de tension

La détermination des *niveaux d'émission des variations sporadiques de tension* requiert une mesure de la puissance active et réactive cycle par cycle pendant 1 semaine minimum.

Les *variations de tension* sont calculées comme suit :

$$\frac{\Delta U_{dyn}}{U_N} = 100 \cdot \frac{R_{1,ref} \cdot \Delta P_1 + X_{1,ref} \cdot \Delta Q_1}{U_N^2}$$

avec:

- $\Delta U_{dyn}/U_N$ (%) = *variation de tension* en pour cent
- ΔP_1 (MW) = fluctuations de puissance active à la fréquence fondamentale
- ΔQ_1 (Mvar) = fluctuations de puissance réactive à la fréquence fondamentale
- $R_{1,ref}$ (Ω) = résistance du réseau à 50 Hz (impédance de référence)
- U_N (kV) = tension nominale du réseau
- $X_{1,ref}$ (Ω) = réactance du réseau à 50 Hz (impédance de référence)

Les *variations de tension* maximales dans une fenêtre de 150 cycles (intervalle 'vs') ne dépasseront pas les *limites d'émission* pour les *variations de tension* données dans ***l'annexe 1, tableau 3***.

5.3.3. Pointes de courants (réseaux < 30 kV)

Les courants de pointe de caractère sporadique (p.ex. enclenchement de transformateurs) ne peuvent pas dépasser 1500 A (sur base d'un demi-cycle) ou 400 A (sur base 10 cycles) en valeur RMS dans les réseaux de distribution moyenne tension (< 30 kV).

Dans le cas d'une connexion directe à la station de transformation, on ne peut pas dépasser 3000 A (sur base d'un demi-cycle) ou 800 A (sur base 10 cycles) en valeurs RMS.

Pour des transformateurs de grande puissance des mesures peuvent être nécessaires pour répondre à ces exigences.

5.4. Distorsion de la tension

5.4.1. Evaluation des niveaux d'émission par une mesure de courant

Pour les raccordements en Stade 1 ou 2 l'évaluation des *niveaux d'émission harmoniques* et interharmoniques sera effectuée à l'aide d'une mesure de courant. Cette mesure doit être effectuée avec un appareil de mesure conforme à la CEI 61000-4-30 [8] (Classe A).

Pour les fréquences de 0 à 2500 Hz, les valeurs efficaces des composantes *harmoniques* et interharmoniques du courant seront déterminées respectivement par fenêtres de mesure de 150 cycles (valeurs 'vs') et 10 minutes (valeurs 'sh').

Les valeurs obtenues doivent être multipliées par $\frac{\sqrt{3} \cdot Z_{h,ref}}{U_N}$ pour obtenir le *niveau*

d'émission équivalent sur la tension, où:

- U_N (V) = tension nominale au *point de raccordement*
- $Z_{h,ref}$ (Ω) = impédance de référence au *point de raccordement* pour l'*harmonique* de rang h

Une méthode alternative consiste à comparer les résultats de mesure avec les limites d'émission pour le courant. En cas de limites d'émission de Stade 1, elles peuvent être déduites des limites d'émission pour la tension à l'aide des formules ci-dessous:

$$50 \text{ Hz} < f \leq 2000 \text{ Hz} \quad \rightarrow \quad E_{ih} = \frac{1}{2h} E_{uh} \frac{S_{sc,ref}}{S_i}$$

$$2000 \text{ Hz} < f \leq 4000 \text{ Hz} \quad \rightarrow \quad E_{ih} = \frac{1}{80} E_{uh} \frac{S_{sc,ref}}{S_i}$$

$$4000 \text{ Hz} < f \leq 9000 \text{ Hz} \quad \rightarrow \quad E_{ih} = \frac{1}{h} E_{uh} \frac{S_{sc,ref}}{S_i}$$

avec:

- E_{uh} (%) = *limite d'émission* pour la tension *harmonique* (% de la tension nominale)
- E_{ih} (%) = *limite d'émission* pour le courant *harmonique* (% du courant fondamental)
- h = rang *harmonique*
- $S_{sc,ref}$ = *puissance de court-circuit de référence* (MVA)
- S_i = *puissance souscrite de l'utilisateur de réseau* (MW)

Les valeurs statistiques suivantes seront calculées pour chaque fréquence:

1. le percentile 95 sur la semaine des valeurs 'sh' (données non-flagées)
2. le maximum des percentiles 99 quotidiens des valeurs 'vs' (données non-flagées)

La première valeur statistique doit rester inférieure aux *limites d'émission* en vigueur. Pour la deuxième valeur statistique, un dépassement de la *limite d'émission* correspondante d'un facteur k_{hvs} est permis,

avec :

$$k_{hvs} = 1.3 + \frac{0.7}{45}(h - 5)$$

Pour les raccordements en Stade 1, les limites données dans *l'annexe 1, tableau 2* sont applicables. Pour les raccordements en Stade 2 ou 3 le gestionnaire de réseau donnera des limites adaptées selon le procédure prévue dans le § 5.2.

5.4.2. Evaluation des niveaux d'émission en Stade 3

Pour l'évaluation des niveaux d'émission harmoniques et interharmoniques des raccordements en Stade 3, d'autres méthodes d'évaluation peuvent être indiquées. Si une méthode d'évaluation alternative est utilisée, celle-ci sera communiquée à l'utilisateur de réseau.

5.4.3. Interharmoniques

Certains interharmoniques peuvent provoquer différents problèmes sur différents équipements. Des interharmoniques proches de la fréquence fondamentale peuvent provoquer du flicker ; le signal de télécommande centralisé peut être perturbé en présence d'interharmoniques lorsque la fréquence de ce signal se rapproche. D'autres problèmes englobent le bruit audible et des résonances mécaniques. Pour éviter tout problème de ce genre, le niveau des différents interharmoniques doit rester en dessous de 0.2%. L'évaluation des interharmoniques se fait de la même façon que pour les harmoniques. Les tensions interharmoniques maximales aux fréquences de télécommande utilisées dans la région (fournies par le gestionnaire de réseau) resteront dans tous les cas inférieures à 0.2% afin d'éviter toute interaction avec le signal de télécommande centralisée.

5.4.4. Influence de l'impédance harmonique

Si l'utilisateur du réseau prévoit des filtres il devra s'assurer qu'aucune interaction avec le signal de télécommande centralisée n'est possible dans les conditions d'exploitation normale et dégradée (éviter les antirésonances aux fréquences de télécommande centralisée).

Lors de l'installation de batteries de condensateurs, de filtres ou de câbles haute tension (à partir de 36 kV) des phénomènes de résonances avec le réseau peuvent se produire, donnant lieu à une amplification du niveau harmonique ou interharmonique à la fréquence de résonance. L'utilisateur de réseau prendra toute mesure afin d'éviter de tels problèmes. Tout changement du niveau harmonique après raccordement des installations de l'utilisateur du réseau sera considéré comme une émission harmonique. En cas de dépassement de la limite d'émission, le gestionnaire de réseau pourra imposer des mesures adéquates à l'utilisateur du réseau.

5.4.5. Signal TCC

L'impédance de l'utilisateur de réseau à fréquence de télécommande centralisée doit être suffisamment haute. Ceci est nécessaire pour limiter l'atténuation des signaux de télécommande centralisée. L'impédance doit être plus grande que la valeur minimale imposée :

$$Z_{TCC} = 0,4 \cdot U_C^2 / S_N$$

En cas de valeurs différentes de la puissance pour la consommation et la production, la plus grande valeur de ces deux sera utilisée dans le calcul.

U_C^2 / S_N peut être vu comme l'impédance contractuelle à 50 Hz.

Remarque : Dans certaines régions, différentes fréquences de télécommande centralisée sont utilisées. La valeur de l'impédance doit répondre aux exigences pour toutes les fréquences présentes. En cas de non-conformité, un circuit bouchon est obligatoire. Pour de nouvelles installations, un plan d'actions est nécessaire ; des calculs et / ou des mesures peuvent être exigés.

5.5. Déséquilibre de tension

L'évaluation s'effectue avec un appareil conforme à la norme CEI 61000-4-30 [8] (Classe A). Le *courant inverse* est mesuré par fenêtres de mesure de 150 cycles (valeurs 'vs') et 10 minutes (valeurs 'sh'). Le *niveau d'émission* pour le *déséquilibre de tension* se calcule comme suit:

$$\tau = \frac{\sqrt{3} \cdot Z_{1,ref} \cdot I_-}{U_N}$$

Où:

- I_- = courant inverse
- U_N (V) = tension nominale au *point de raccordement*
- $Z_{1,ref}$ (Ω) = impédance de référence au *point de raccordement* à la fréquence fondamentale
- τ = *déséquilibre de tension*

Les valeurs statistiques suivantes seront calculées:

1. le percentile 95 des valeurs 'sh' sur la semaine (données non-flagées)
2. le maximum des percentiles 99 quotidiens des valeurs 'vs' (données non-flagées)

La première valeur statistique doit rester inférieure au *niveau d'émission*. Pour la deuxième valeur statistique, un dépassement *du niveau d'émission* d'un facteur 1.5 est permis. Pour les raccordements en Stade 1, les limites données dans *l'annexe 1, tableau 2* sont d'application. Pour les raccordements en Stade 2 ou 3 le gestionnaire de réseau donnera des limites adaptées selon la procédure prévue dans le § 5.1.

Annexe 1: Niveaux de planning, limites d'émission pour les utilisateurs de réseau raccordés aux réseaux moyenne et haute tension et puissance de court-circuit de référence

Tableau 1: Niveaux de planning pour les harmoniques, interharmoniques, THD, déséquilibre de tension et flicker dans les réseaux publics de moyenne et haute tension

		Tension nominale			
		$U_N < 30 \text{ kV}$	$30 \text{ kV} \leq U_N < 150 \text{ kV}$	$U_N \geq 150 \text{ kV}$	
Harmoniques jusqu'à 9 kHz (% de U_{11})					
Impairs non multiples de 3	h = 5	5.0	3.5	2.0	
	h = 7	4.0	3.0	2.0	
	h = 11	3.0	2.2	1.5	
	h = 13	2.5	2.0	1.5	
	h ≥ 17	$1.9 \frac{17}{h} - 0.2$	$1.2 \frac{17}{h}$		
Impairs multiples de 3	h = 3	4.0	3.0	2.0	
	h = 9	1.2	1.1	1.0	
	h = 15	0.3			
	h > 15	0.2			
Pairs	h = 2	1.5			
	h = 4	1.0			
	h = 6	0.5			
	h = 8	0.4			
	h ≥ 10	$0.25 \frac{10}{h} + 0.22$	$0.19 \frac{10}{h} + 0.16$		
Distorsion harmonique totale (% de U_N)		6.5	5.0	3.0	
Interharmoniques jusqu'à 9 kHz (% de U_N)		0.2			
Déséquilibre de tension (τ)		1.8	1.4	0.8	
Flicker (-)	Pst	0.90	0.80	0.80	
	PIt	0.70	0.60	0.60	
Voltage variations	n ≤ 4 / jour	$\frac{\Delta U}{U}$	5 à 6	3 à 5	3 à 5
	n ≤ 2 / heure		4	3	3
	2 < n ≤ 10 / heure	(%)	3	2.5	2.5

Tableau 2: Limites d'émission du Stade 1 pour harmoniques, interharmoniques, THD, déséquilibre de tension et flicker en fonction de la puissance souscrite pour des utilisateurs de réseau raccordés aux réseaux publics moyenne et haute tension

		Puissance souscrite de l'utilisateur du réseau S_i (MVA)		
		Plage A	Plage B	Plage C
$U_N < 30$ kV		< 5	$5 \leq S_i < 10$	≥ 10
$30 \text{ kV} \leq U_N < 150$ kV		< 10	$10 \leq S_i < 25$	≥ 25
$150 \text{ kV} \leq U_N$		< 25	$25 \leq S_i < 75$	≥ 75
Harmoniques (% de U_1)	$h = 5, 7, 11 \text{ \& } 13$	0.40	0.55	0.70
	$h = 3, 17, 19, 23 \text{ \& } 25$	0.30	0.40	0.50
	$h = 2, 4, 9, 29, 31, 35 \text{ \& } 37$	0.20	0.30	0.30
	autres jusqu'à 9 kHz	0.20	0.20	0.20
THD (% de U_1)		0.5	0.80	1.10
Interharmoniques jusqu'à 9 kHz (% de U_1)		0.20	0.20	0.20
Déséquilibre (τ)		0.40	0.50	0.60
Flicker (-)	Pst	0.35	0.40	0.45
	Plt	0.25	0.30	0.35

Tableau 3: Limites d'émission pour des variations de tension sporadiques pour des utilisateurs de réseau raccordés aux réseaux publics de moyenne et haute tension

Variations de tension sporadiques en fonction du nombre de variations par heure $\Delta U_{dyn} / U_N$ (%)			
	r (h^{-1})		
	$n < 4$ / jour	$n \leq 2$ / heure	$2 < n \leq 10$ / heure
$U_N < 30$ kV	4.0	4.0	3.5
$U_N \geq 30$ kV	3.0	3.0	2.5

Tableau 4: Puissance de court-circuit de référence minimale au point d'injection pour l'évaluation des niveaux d'émission pour des utilisateurs de réseaux raccordés aux réseaux publics de moyenne et haute tension

Tension nominale au point de raccordement	$5 \leq U_N < 30$ kV*	$30 \leq U_N < 70$ kV	70 kV	150 kV	220 kV	380 kV
$S_{sc, min}$	0.1 GVA $\angle -85^\circ$	0.3 GVA $\angle -65^\circ$	0.4 GVA $\angle -70^\circ$	2 GVA $\angle -80^\circ$	3 GVA $\angle -80^\circ$	6 GVA $\angle -85^\circ$

* Uniquement valable aux bornes du transformateur du poste d'injection HT / MT.

Annexe 2: Définitions

Basse tension

Tous les niveaux de tension inférieurs ou égaux à 1 kV.

Courant inverse

Une des trois composantes symétriques d'un système de courants sinusoïdaux symétriques ou asymétriques qui se définit par l'expression mathématique suivante:

$$\underline{I}_{-} = \frac{1}{3} \cdot \left(\underline{I}_{L1} + a^2 \cdot \underline{I}_{L2} + a \cdot \underline{I}_{L3} \right)$$

avec $a = e^{j120^\circ}$ et I_{L1} , I_{L2} et I_{L3} : les expressions complexes des courants de ligne.

Déséquilibre de tension

Le déséquilibre est tout écart, en amplitude ou en phase, par rapport à un système triphasé équilibré. Le déséquilibre de tension se définit comme étant l'amplitude du rapport entre la composante inverse et la composante directe de la tension (à déterminer par la méthode des composantes symétriques), exprimée en pour cent.

$$\tau = 100 \cdot \left| \frac{U_{-}}{U_{+}} \right| \quad (\%)$$

Les sources de déséquilibre de tension sont les installations qui prélèvent des courants inégaux sur le réseau. Les charges monophasées en sont la cause principale (exemple : traction en courant alternatif).

Distorsion de la tension

La distorsion ou déformation de l'onde de tension se produit lorsque des composantes sinusoïdales à une fréquence différente de 50 Hz se superposent à l'onde de tension fondamentale. Lorsque la fréquence de la composante est un multiple entier de 50Hz, on parle d'harmoniques ; dans les autres cas, d'interharmoniques.

Les harmoniques et les interharmoniques sont provoquées par des installations non linéaires. Les principales sources sont les installations d'électronique de puissance comme les redresseurs, les variateurs de vitesse et les alimentations sans interruption. On peut également citer les fours à arcs et certains appareils d'éclairage comme les lampes à fluorescence et à vapeur à haute pression.

Emission

Phénomène consistant en l'émission d'énergie électromagnétique par une source.

Flicker

Impression de l'instabilité visuelle induite par un stimulus lumineux avec une luminance ou une distribution spectrale variant au cours du temps.

Fluctuations de tension

Les fluctuations de tension sont des variations de la tension répétitives dont l'amplitude est inférieure à 10% de la tension nominale. La plupart des équipements électriques sont insensibles aux fluctuations de tension. Les appareils d'éclairage constituent une exception. L'intensité de la lumière qu'ils émettent est fonction de la valeur efficace de la tension : les fluctuations de tension peuvent provoquer du flicker (la plage de fréquence entre 0,1 et 30 Hz est particulièrement critique pour le flicker), un phénomène physiologique qui peut être perçu comme gênant par l'homme. Le flickermètre international [8] permet de quantifier le phénomène de flicker à l'aide de deux paramètres : le Pst (courte durée, une valeur par intervalle de 10 min) et le Plt (longue durée, une valeur par intervalle de 2 h).

Les sources de flicker sont généralement des installations dont la puissance prélevée, et surtout la puissance réactive, subissent des variations rapides. A titre d'exemple, on peut citer les fours à arc électrique, les installations de soudure, les gros moteurs fréquemment manœuvrés et les parcs éoliens.

Harmonique

Composante sinusoïdale d'une onde complexe, ayant une fréquence qui est un multiple entier de la fréquence de l'onde fondamentale.

Haute tension

Tous les niveaux de tension supérieurs à 35 kV.

Immunité

Aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner d'une façon correcte en présence de perturbations électromagnétiques.

Impédance harmonique de référence

L'impédance harmonique de référence est une valeur contractuelle servant de référence lors de l'évaluation du niveau d'émission harmonique de l'utilisateur du réseau.

Limite d'émission ou niveau de perturbation autorisé

La limite d'émission ou le niveau de perturbation autorisé d'un utilisateur du réseau sont spécifiés par le gestionnaire du réseau et donnent le niveau de perturbations maximal pouvant être produit par l'utilisateur du réseau.

Moyenne tension

Tous les niveaux de tension supérieurs à 1 kV et inférieurs ou égaux à 35 kV.

Niveau de compatibilité

Valeurs de référence qui permettent de coordonner l'émission et l'immunité des installations faisant partie ou étant alimentées par un même réseau électrique afin d'assurer la CEM (compatibilité électromagnétique) dans l'ensemble du système, comprenant le réseau lui-même et les installations qui y sont raccordées.

Niveau de planification

Le niveau de planification est spécifié par le gestionnaire du réseau pour tous les niveaux de tension et peut être considéré comme un objectif interne de qualité. Il est toujours inférieur ou égal au niveau de compatibilité.

Niveau d'émission

Le niveau d'émission d'un utilisateur du réseau est le niveau de perturbation qui serait engendré au point de raccordement par les installations de l'utilisateur du réseau en l'absence de toute autre installation déformante, fluctuante ou provoquant un déséquilibre selon le cas.

Point d'évaluation (POE)

On entend par le point d'évaluation le point du réseau où les niveaux d'émission d'une installation sont comparées aux limites d'émission.

Point de couplage commun (PCC)

On entend par le point de couplage commun le point du réseau qui est électriquement le plus proche de l'installation sous considération et où d'autres installations peuvent être connectées

Point de raccordement (POC)

On entend par point de raccordement de l'utilisateur du réseau, le point d'interface entre l'installation du client et le réseau électrique public.

Puissance souscrite de l'utilisateur du réseau

La puissance souscrite, décrite dans le règlement technique, permet à l'utilisateur du réseau de demander la réalisation d'un programme pour la production ou le prélèvement d'une puissance définie à l'avance en un ou plusieurs points du réseau électrique. Il existe deux formules : la formule de souscription annuelle et la formule de souscription mensuelle.

Puissance de court-circuit de référence

La puissance de court-circuit de référence est une valeur servant de référence lors de l'évaluation des niveaux d'émission de l'utilisateur du réseau en ce qui concerne le déséquilibre de tension, les variations de tension et le flicker

Tension de raccordement

La tension de raccordement est la tension nominale du réseau électrique au point de raccordement.

Tension directe

Une des trois composantes symétriques d'un système de tension sinusoïdales symétriques ou asymétriques qui se définit par l'expression mathématique suivante:

$$\underline{U}_+ = \frac{1}{3} \cdot \left(\underline{U}_{L1} + a \cdot \underline{U}_{L2} + a^2 \cdot \underline{U}_{L3} \right)$$

avec $a = e^{j120^\circ}$ et U_{L1} , U_{L2} et U_{L3} : les expressions complexes des tensions de phase.

τ

Voir "Déséquilibre de tension"

Tension inverse

Une des trois composantes symétriques d'un système de tension sinusoïdales symétriques ou asymétriques qui se définit par l'expression mathématique suivante:

$$\underline{U}_- = \frac{1}{3} \cdot \left(\underline{U}_{L1} + a^2 \cdot \underline{U}_{L2} + a \cdot \underline{U}_{L3} \right)$$

avec $a = e^{j120^\circ}$ et U_{L1} , U_{L2} et U_{L3} : les expressions complexes des tensions de phase.

Utilisateur de réseau

Chaque personne physique ou morale dont les installations sont raccordées aux réseaux publics de moyenne ou haute tension est appelé utilisateur de réseau (producteur ou utilisateur final).

Variation de tension

Variation de la valeur RMS ou de la valeur de crête de la tension entre deux niveaux pour durée déterminée ou indéterminée.

Annexe 3: Liste de symboles

f	Fréquence de la composante (inter)harmonique (Hz)
h	Rang harmonique (-)
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
CPF	Fonction de probabilité cumulée
IEC	International Electrotechnical Commission
I _L	Courant inverse
I _{Lj}	Courant de ligne de la phase j
P _{st}	Niveau de flicker courte durée (Short term flicker), une valeur par intervalle de 10 min (-), voir [8]
P _{lt}	Niveau de flicker longue durée (Long term flicker), une valeur par intervalle de 2 h (-), voir [8]
R _{1,ref}	Résistance de référence du réseau électrique à la fréquence fondamentale en stade 1 (Ω)
S _{sc,min}	Puissance de court-circuit minimale (MVA)
S _{sc,ref}	Puissance de court-circuit de référence (MVA)
S _N	Puissance contractuelle
sh	Valeurs 10 minutes
τ	Déséquilibre de tension
U _C	Tension déclarée
U _{Lj}	Tension de ligne de la phase j
U _N	Tension de raccordement (kV)
vs	valeurs 150 cycles
X _{1,ref}	Reactance de référence du réseau électrique au point de raccordement à la fréquence fondamentale (Ω)
Z _{1,ref}	Impédance de référence du réseau électrique au point de raccordement à la fréquence fondamentale (Ω)
Z _{h,ref}	Impédance de référence du réseau électrique au point de raccordement à la fréquence harmonique h (Ω)
Z _{TCC}	Impédance à la fréquence TCC
ΔP_1	Variation de puissance active à la fréquence fondamentale
ΔQ_1	Variation de puissance réactive à la fréquence fondamentale
ΔU_{dyn}	Variation dynamique de la tension

Annexe 4: Références

- [1] CEI 61000-2-4 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-4: Environment – Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances, version 2002-06.
- [2] EN 50160 – Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems; European Standard, version 2007.
- [3] CEI 61000-2-2 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems, version 2002-03.
- [4] CEI 61000-2-12 – Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-12: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems, version 2003-04.
- [5] CEI/TR 61000-3-6 – Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for distorting loads in MV, HV and EHV power systems - 2008-02, Ed. 2.0
- [6] CEI/TR 61000-3-7 – Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-7: Limits - Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV, HV and EHV power systems - 2008-02, Ed. 2.0
- [7] CEI 60909-0 – Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents, version 2001-07.
- [8] CEI 61000-4-30 – Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and Measurement Techniques – Power Quality Measurement Methods – 2008-10, Ed. 2.0.
- [9] Test Protocol – IEC Flickermeter used in power system voltage monitoring – Prepared by UIE WG2 "Power Quality" – Draft 6, 2001-07
- [10] 'The concept of short-circuit power and the assessment of the flicker emission level', M. Couvreur, E. De Jaeger, P. Goossens, A. Robert, CIREN 2001
- [11] CEI/TR 61000-3-13 Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-13: Limits – Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems, 2008-02, Ed. 1.0