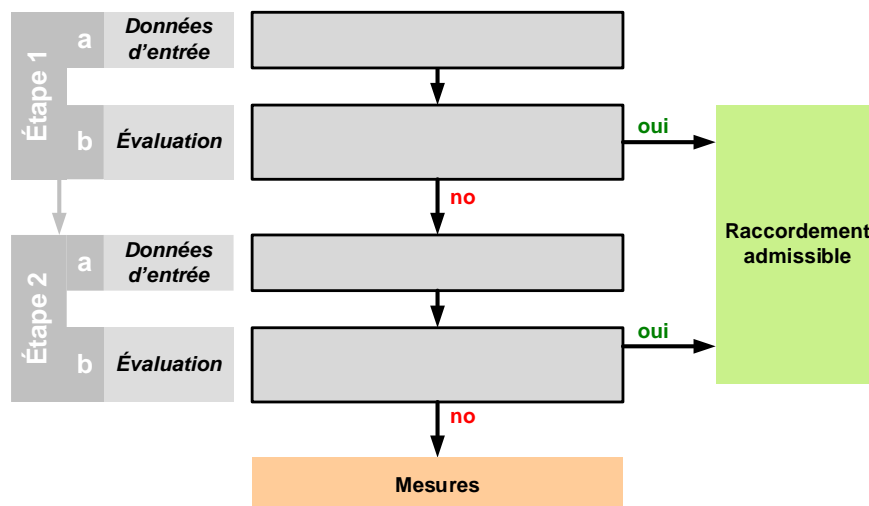


Règles techniques pour l'évaluation des répercussions sur le réseau D-A-CH-CZ (3^e édition)

Partie B: Exigences et évaluation

Section I: Basse tension



Le présent document a été élaboré sous la responsabilité du groupe de travail international EMC & Power Quality (D-A-CH-CZ).

Impressum et contact

Éditeur:

Österreichs E-Wirtschaft

Brahmsplatz 3
A-1040 Wien
akademie@oesterreichsenergie.at

AES – Association des entreprises électriques suisses

Hintere Bahnhofstrasse 10
CH-5000 Aarau
www.strom.ch

CSRES – Ceske sdruzeni regulovanych elektroenergetickych spolecnosti

Na hroude 19/2149
10000 Praha 10 – Strasnice
www.csres.cz

VDE FNN – Forum Network Technology/Network Operation in the VDE

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.

Bismarckstr. 33
10625 Berlin

Copyright:

© AES, OE, VDE FNN, CSRES

Ce document est protégé par le droit d'auteur. Toute modification de son contenu est interdite. Les auteurs déclinent toute responsabilité pour les erreurs éventuelles et se réservent le droit de modifier le document sans préavis à tout moment.

Table des matières

Préface.....	5
1. Variations de tension et flicker	6
1.1 Variations de tension	6
1.1.1 Variations de tension lentes.....	6
1.1.2 Variations de tension rapides	6
1.2 Flicker.....	6
1.2.1 Niveaux de compatibilité.....	7
1.2.2 Valeurs limites d'émission	8
1.3 Évaluation	10
1.3.1 Évaluation simplifiée (niveau 1).....	10
1.3.2 Évaluation détaillée (niveau 2).....	12
1.3.3 Schéma de détermination des valeurs limites d'émission	13
1.3.4 Informations complémentaires pour l'évaluation	14
1.3.5 Transformateurs réglables de réseaux locaux	15
1.3.6 Méthodes de détection	15
2. Déséquilibre	16
2.1 Niveau de compatibilité	16
2.2 Valeurs limites d'émission	16
2.3 Évaluation	19
2.3.1 Critère marginal.....	19
2.3.2 Évaluation simplifiée (niveau 1).....	20
2.3.3 Évaluation détaillée (niveau 2).....	21
3. Harmoniques, interharmoniques, supra-harmoniques.....	23
3.1 Harmoniques.....	23
3.1.1 Niveaux de compatibilité.....	23
3.1.2 Valeurs limites d'émission	23
3.1.3 Évaluation	25
3.2 Interharmoniques	28
3.2.1 Niveaux de compatibilité.....	28
3.2.2 Valeurs limites d'émission	28
3.2.3 Évaluation	29
3.3 Supra-harmoniques.....	29
3.3.1 Niveaux de compatibilité.....	29
3.3.2 Valeurs limites d'émission	30
3.3.3 Évaluation	30
4. Entailles de commutation.....	31
4.1 Niveaux de compatibilité.....	31
4.2 Valeurs limites d'émission	31
4.3 Évaluation	31
4.3.1 Niveau 1 – Évaluation simplifiée.....	32
4.3.2 Niveau 2 – Évaluation détaillée	33
5. Tensions du signal.....	34
5.1 Niveau du signal.....	34
5.2 Évaluation	34

5.2.1	Influence des installations des utilisateurs du réseau sur le niveau	34
5.2.2	Influence des installations de compensation à courant réactif sur le niveau	35
5.3	Émissions d'installations d'utilisateurs du réseau	36
	Liste des normes	37
	Sources	38

Préface

Le présent document répertorie les méthodes d'évaluation et de calcul des valeurs limites d'émission des installations de divers utilisateurs du réseau au point de raccordement au réseau public basse tension. Il constitue la première des trois sections de la partie B de la 3^e édition des Règles techniques pour l'évaluation des répercussions sur le réseau D-A-CH-CZ.

Les trois sections sont applicables individuellement aux évaluations relatives à des réseaux basse tension, moyenne tension et haute tension. Néanmoins, les connaissances et spécifications générales fournies par la partie A (Bases) sont indispensables à leur mise en application. Des renvois correspondants sont ainsi fournis tout au long du document.

Ce document s'adresse à la fois aux gestionnaires de réseau, aux bureaux d'études et aux constructeurs qui souhaitent évaluer correctement les répercussions sur le réseau d'une installation d'un utilisateur du réseau dans le cadre de l'étude d'un projet et définir des valeurs limites d'émission adaptées à l'exploitation du réseau. L'objectif est également de leur permettre d'anticiper d'éventuelles mesures complémentaires nécessaires pour réduire les perturbations.

1. Variations de tension et flicker

1.1 Variations de tension

1.1.1 Variations de tension lentes

Les variations relatives de tension lentes sont exprimées par l'écart de tension Δu .

Les niveaux de compatibilité concernant les variations de tension lentes dans les réseaux publics basse tension ne sont pas indiqués. Dans des conditions normales de fonctionnement et exclusion faite des interruptions, l'écart de tension ne doit pas dépasser $\pm 10\%$.

Exigences:

- Dans des conditions de fonctionnement du réseau sans perturbations, à aucun point de couplage commun, la variation de tension lente occasionnée par **toutes les installations de production et/ou de stockage** ne doit dépasser de plus de 3% la tension hors installations production.

Le gestionnaire de réseau peut prescrire des valeurs différentes pour les variations de tension lentes si le type et le mode de fonctionnement du réseau le permettent ou l'exigent.

Remarque:

Pour les installations de fourniture, la variation de tension lente admissible est définie sur la base des directives spécifiques au projet du gestionnaire de réseau.

1.1.2 Variations de tension rapides

Les niveaux de compatibilité concernant les variations de tension rapides dans les réseaux publics basse tension ne sont pas indiqués.

Exigences:

- La variation de tension maximale provoquée par l'installation d'un utilisateur du réseau ne doit pas dépasser 3% pour les événements récurrents (taux de répétition $r \geq 0,01 \text{ min}^{-1}$). Pour des taux de répétition $r \geq 0,1 \text{ min}^{-1}$, il convient de déterminer en outre la valeur de flicker.
- Pour les variations de tension rares (plusieurs fois par jour avec taux de répétition $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$), jusqu'à 6% sont admissibles en concertation avec le gestionnaire de réseau.

En règle générale, les variations de tension rapides des installations de plusieurs utilisateurs du réseau ne se superposent pas, excepté si elles se produisent de façon synchrone.

Si la courbe de variation de tension présente une chute de tension, la valeur d résultante est positive; à l'inverse si la courbe indique une augmentation de la tension, la valeur d résultante est négative [EN 61000-4-15].

1.2 Flicker

Si la courbe de variation relative de tension $d(t)$ est connue, la valeur P_{st} peut être déterminée par simulation informatique ou par calcul suivant le procédé analytique (cf. partie A: Bases). Les variations de tension irrégulières peuvent uniquement être évaluées par voie de mesures ou à l'aide de simulations spéciales.

Dans les réseaux publics, plus la puissance de court-circuit du réseau est élevée, plus il convient de réduire la valeur admissible de P_s et P_{It} . En effet, dans la majorité des cas, conformément au

principe de propagation du flicker, un plus grand nombre d'installations d'utilisateurs du réseau est affecté.

1.2.1 Niveaux de compatibilité

Niveaux de compatibilité suivant la norme [EN 61000-2-2]:

$$C_{Pst\ BT} = 1,0$$

$$C_{Plt\ BT} = 0,8$$

Afin de permettre une coordination efficace des émissions perturbatrices, les gestionnaires de réseau définissent des niveaux théoriques pour le niveau de réseau MT. Valeurs indicatives:

$$L_{Pst\ MT} = 0,8$$

$$L_{Plt\ MT} = 0,6$$

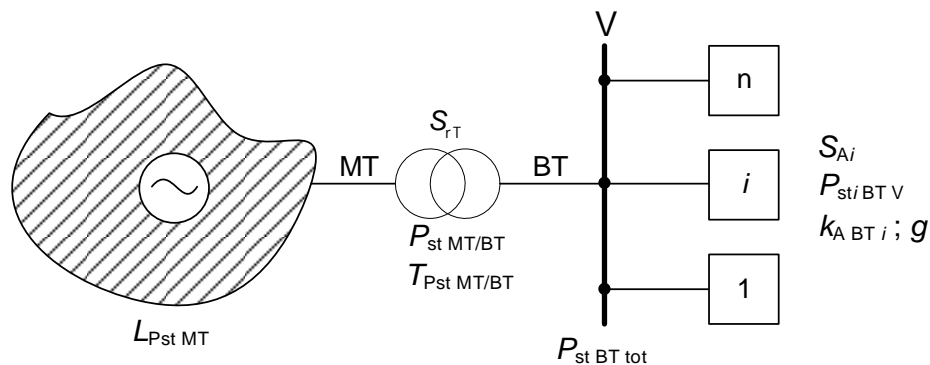
Niveau de flicker maximal transférable du réseau MT vers le réseau BT:

$$P_{st\ MT/BT} = T_{Pst\ MT/BT} \cdot L_{Pst\ MT} \quad (1-1)$$

Il est ainsi possible de déterminer la contribution (part) de toutes les installations des utilisateurs du réseau BT:

$$P_{st\ BT\ tot} = \sqrt[3]{C_{Pst\ BT}^3 - P_{st\ MT/BT}^3} \quad (1-2)$$

$$= \sqrt[3]{C_{Pst\ BT}^3 - (T_{Pst\ MT/BT} \cdot L_{Pst\ MT})^3}$$



- $k_{A\ BT\ i}$ Facteur de raccordement pour l'installation de l'utilisateur du réseau i
- g Facteur de simultanéité des sources de flicker (appareils ou installations de l'utilisateur du réseau) sur la même section de ligne
- $C_{Pst\ BT}$ Niveaux de compatibilité dans le réseau BT
- $P_{st\ BT\ tot}$ Émission de flicker de court terme maximale admissible pour les charges directement raccordées à un réseau BT
- $P_{st\ MT/BT}$ Niveau du flicker, transformé du réseau MT vers le réseau BT
- $T_{Pst\ MT/BT}$ Coefficient de transfert MT/BT
- $L_{Pst\ MT}$ Niveau théorique dans le réseau MT
- $S_{A\ i}$ Puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau i
- $P_{st\ i\ BT\ V}$ Émission de flicker de court terme maximale admissible de l'installation de l'utilisateur du réseau i

Fig. 1-1 Transmission/répartition du niveau du flicker au sein du réseau

En tenant compte d'un coefficient de transfert usuel $T_{P_{st} MT/BT} = 1,0$, il est possible de déterminer les perturbations communes admissibles pour toutes les installations des utilisateurs du réseau BT. On obtient ainsi les perturbations globales admissibles suivantes pour le réseau BT:

$$P_{st BT tot} = 0,8$$

$$P_{lt BT tot} = 0,6$$

L'utilisation de la formule (1-2) et les équations correspondantes pour les niveaux de tension supérieurs offrent au gestionnaire de réseau la possibilité de coordonner individuellement les perturbations liées au flicker pour tous les niveaux de réseau. Il est ainsi possible d'exploiter de façon optimale les ressources disponibles, tant du point de vue économique que technique. Si les divers niveaux de tension relèvent de la responsabilité de différents gestionnaires de réseau, la coordination doit être concertée entre tous les gestionnaires de réseau concernés.

1.2.2 Valeurs limites d'émission

Le niveau de flicker admissible pour un niveau de réseau donné est réparti sur les différents utilisateurs du réseau.

Le facteur de raccordement k_A est généralement admis comme clé de répartition. Il faut, par ailleurs tenir compte du facteur de simultanéité g des sources de flicker déjà identifiées, qui est fourni par le gestionnaire de réseau sur la base des études réalisées.

Les niveaux de perturbation admissibles de l'installation d'un utilisateur du réseau sont à considérer comme des valeurs indicatives, qui peuvent être adaptées par le gestionnaire de réseau sur la base des calculs effectués durant la phase d'étude du projet.

$$P_{st NSV} = P_{st BT tot} \cdot \sqrt{k_{A NS}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (1-3)$$

Pour un réseau basse tension, le facteur de raccordement suivant est utilisé:

$$k_{A BT} = \frac{S_A}{S_{BT}} \quad (1-4)$$

Perturbations admissibles d'une installation individuelle d'un utilisateur du réseau dans le réseau basse tension:

$$P_{st BT V} = P_{st BT tot} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_{BT}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (1-5)$$

$$P_{lt BT V} = 0,65 \cdot P_{st BT V} \quad (1-6)$$

La puissance de raccordement totale disponible du réseau BT S_{BT} est établie par le gestionnaire de réseau. En tenant compte des facteurs k_B , k_E et k_S ; elle peut être déterminée de façon approximative à partir de la puissance assignée du transformateur d'alimentation S_{rT} . La somme de $k_B + k_E + k_S$ peut être supérieure à 1.

$$S_{BT} = (k_B + k_E + k_S) S_{rT} \quad (1-7)$$

$P_{st\ BT\ tot}$	Émission de flicker de court terme totale admissible pour les charges directement raccordées à un réseau BT
$P_{st\ BT\ V}$	Émission de flicker de court terme maximale admissible de l'installation de l'utilisateur du réseau
$P_{lt\ BT\ V}$	Émission de flicker de long terme maximale admissible de l'installation de l'utilisateur du réseau
S_A	Puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
S_{rT}	Puissance assignée du transformateur MT/BT
g	Facteur de simultanéité des sources de flicker concomitantes du même réseau
k_B	Facteur de fourniture
k_E	Facteur de production
k_S	Facteur de stockage

Remarque 1:

Le facteur de simultanéité exprime la probabilité de superposition temporelle des sources de flicker (appareils/installations). Il est déterminé par le gestionnaire de réseau compte tenu de la structure du réseau et des heures de fonctionnement (matin, midi, soir, toute la journée) des appareils/installations dans la zone de desserte. En l'absence d'informations fiables, il convient d'appliquer la valeur 1 au facteur g .

Remarque 2:

Les facteurs k_B , k_E , k_S ne sont pas liés à un phénomène donné.

Remarque 3:

Si les facteurs k_B , k_E , k_S ne sont pas connus, pour les réseaux auxquels il n'est pas prévu de raccorder des installations production et de stockage, on peut admettre que $k_B + k_E + k_S = 1$. Dans le cas contraire, il est recommandé d'admettre que $k_B + k_E + k_S = 1,35$.

Remarque 4:

Dans les réseaux publics, des transformateurs biphasés sont généralement utilisés comme transformateurs de distribution. Les transformateurs triphasés constituent un cas particulier et sont mise en œuvre notamment pour la distribution sur plusieurs sous-réseaux.

Sous réserve de l'absence d'influence réciproque entre les sous-réseaux, les puissances partielles de transformateur peuvent être utilisées pour l'évaluation.

Avec de faibles puissances de raccordement, on obtient de très petites valeurs limites d'émission. Par conséquent, pour chaque installation d'un utilisateur du réseau, une valeur minimale de $P_{st\ BT\ V} = 0,30$ ou $P_{lt\ BT\ V} = 0,25$ est recommandée.

Si les calculs effectués selon les formules (1-5) et (1-6) donnent des valeurs limites d'émission $P_{st\ BT\ V} > 0,75$ ou $P_{lt\ BT\ V} > 0,5$, l'émission perturbatrice maximale admissible de l'installation de l'utilisateur du réseau est $P_{st\ BT\ V\ max} = 0,75$ ou $P_{lt\ BT\ V\ max} = 0,50$.

1.3 Évaluation

Dans un réseau BT, il convient d'évaluer la tension phase-neutre.

En règle générale, les appareils qui remplissent les exigences de la norme [EN 61000-3-3] peuvent être raccordés sans vérification complémentaire. Pour les appareils qui remplissent les conditions de raccordement spéciales stipulées par la norme [EN 61000-3-11], il convient de s'assurer que l'impédance de raccordement est inférieure à celle spécifiée. Dans tous les cas de figure, il faut s'assurer que les valeurs limites d'émission de l'installation soient respectées en cas d'accumulation de générateurs de flicker et de facteur de simultanéité élevé.

De façon générale, le respect des conditions de raccordement déterminées dans le cadre des étapes 1 et 2 pour les appareils/installations ne signifie pas que ces appareils/installations peuvent être exploités sans autres exigences. Il convient de tenir compte des effets cumulés avec des installations et des appareils d'autres utilisateurs du réseau.

1.3.1 Évaluation simplifiée (niveau 1)

Si le rapport S_{kv}/S_r d'un appareil ou d'une installation est supérieur à la valeur indiquée dans le Tab. 1-1, il peut être admis qu'aucune variation de tension ni aucun flicker ne sera observé au point de couplage commun concerné. Les valeurs du Tab. 1-1 sont des valeurs empiriques tirées de la pratique pour différents types d'appareils et sont fournies à titre indicatif pour l'évaluation. Si le rapport S_{kv}/S_r n'est pas conforme suivant le Tab. 1-1, une évaluation dans le cadre de l'étape 2 est nécessaire.

Si d'autres appareils générateurs de variations de tension et/ou de flicker sont raccordés au point de couplage commun concerné, ils doivent être pris en compte conformément à la loi de superposition.

Tab. 1-1 Évaluation simplifiée des variations de tension et du flicker sur le réseau

Type d'appareil/d'installation	Exemple	Rapport S_{KV} / S_r nécessaire pour le raccordement à			
		Monophasé: 230 V Biphasé: 400 V)		Triphasé: 400 V	
Chaleur électrique à faible fréquence d'enclenchement	Chauffages	> 120		> 30	
	Machines à souder ²⁾	> 600 (> 400)		> 150 ¹⁾ > 250	
à grande fréquence d'enclenchement	Machines à souder par points ²⁾	> 1000 (> 500)		> 500	
	Photocopieurs, imprimantes laser, commandes par trains d'alternances (p. ex. chauffe-eau instantané)	> 1000			
Électronique de puissance	Stations de recharge rapide de véhicules électriques			> 175	
Moteurs		enclenchement direct	aide au démarrage	enclenchement direct	aide au démarrage
sans limitation du courant d'enclenchement et faible fréquence d'enclenchement	Appareils de réfrigération, pompes à chaleur, ascenseurs de bâtiments d'habitation	> 600	> 300	> 150	> 75
sans limitation du courant d'enclenchement et haute fréquence d'enclenchement	Ascenseurs de bâtiments commerciaux, grues	> 1000	> 500	> 250	> 125
avec limitation du courant d'enclenchement ou raccordement via redresseur	Pompes	> 250		> 70	
	scies multiples à châssis hacheuses, broyeurs			> 500 (jusqu'à 1500) > 250 (jusqu'à 750)	
¹⁾ Machines à souder à courant continu ²⁾ $S_r = 50\%$ de durée d'enclenchement (ED) – Puissance généralement indiquée sur la plaque signalétique.					

Remarque:

Les installations photovoltaïques peuvent être génératrices de flicker. Il est prévu de compléter les recommandations relatives à l'évaluation simplifiée en vue d'une prochaine édition des Règles techniques.

1.3.2 Évaluation détaillée (niveau 2)

L'évaluation détaillée repose sur des variations de tension régulières. À noter que la variation de puissance apparente liée au flicker ΔS_{A_i} la plus défavorable (p. ex. puissance alternative ou de démarrage maximale) est retenue. Les installations d'utilisateurs du réseau caractérisées par de faibles variations de puissance peuvent donc être acceptées sans vérifications complémentaires.

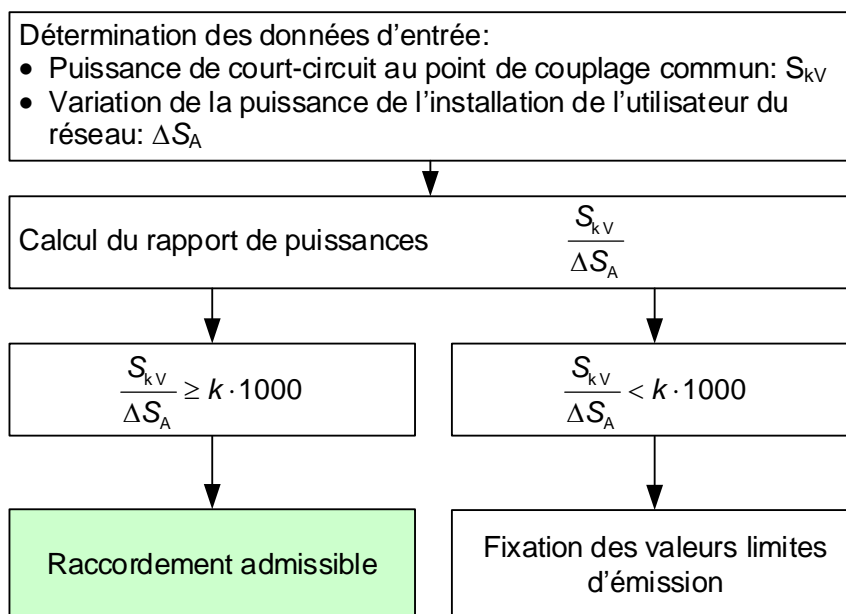


Fig. 1-2 Schéma pour évaluation détaillée des variations de tension et du flicker

Le facteur k est à sélectionner suivant les indications du tableau Tab. 1-2.

Tab. 1-2 Facteur k

Type de raccordement	k
triphase	1
biphasé (sans neutre)	$\sqrt{3}$
monophasé	6

Si le taux de répétition le plus défavorable escompté pour l'installation de l'utilisateur du réseau est connu, le rapport de puissances indiqué dans la Fig. 1-2 ou le Tab. 1-3 peut être utilisé pour l'évaluation.

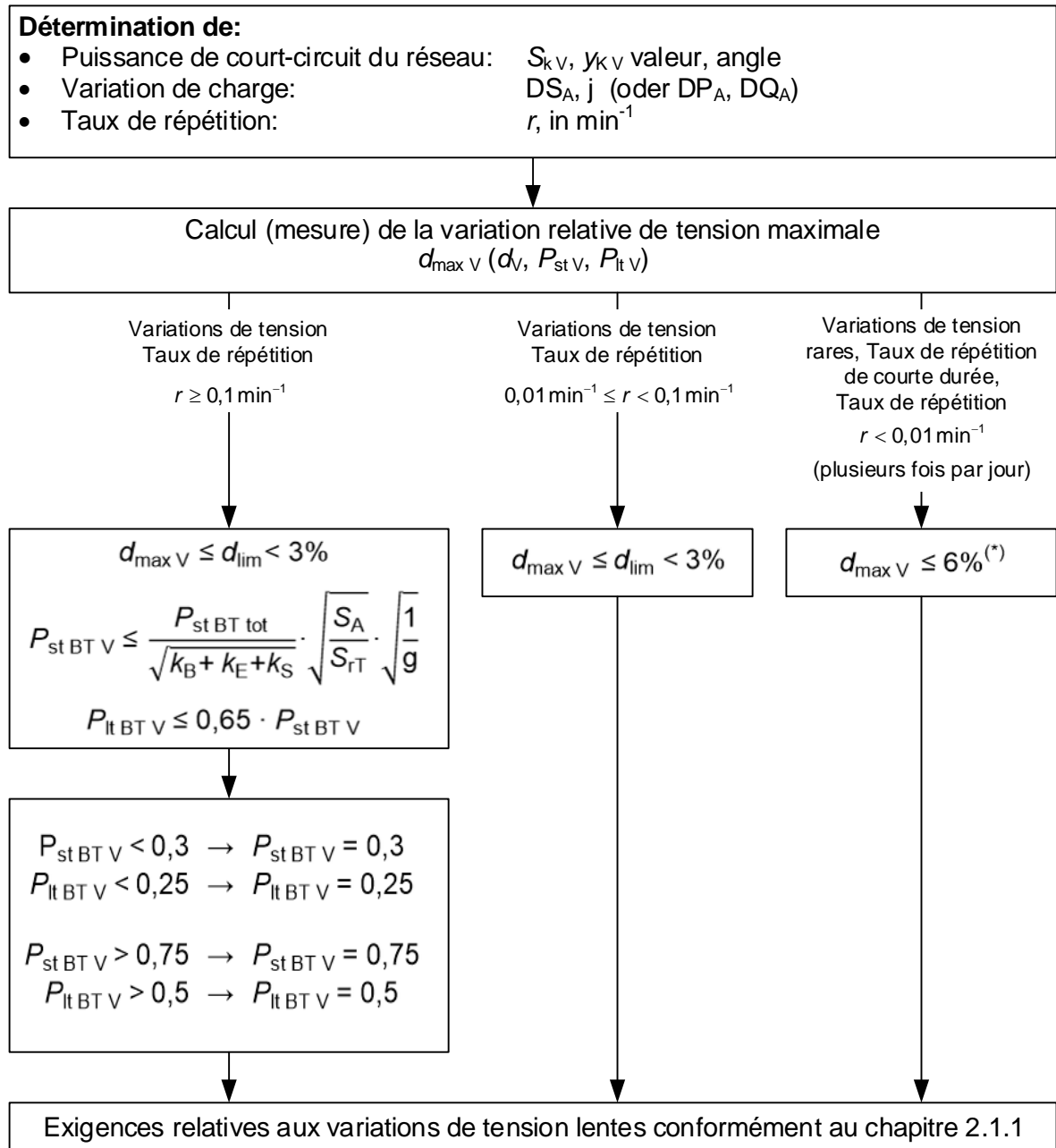
Tab. 1-3 Valeurs limites du rapport de puissances pour divers taux de répétition

Taux de répétition r / min^{-1}	Rapport de puissances $S_{kV} / \Delta S_{A_i}$
$r > 500$	$k \cdot 1000$
$10 \leq r \leq 500$	$135 \cdot k \cdot \sqrt[3]{r / \text{min}^{-1}}$
$r < 10$	$k \cdot 500$

1.3.3 Schéma de détermination des valeurs limites d'émission

Pour chaque installation d'un utilisateur du réseau qui ne remplit pas les conditions de l'évaluation simplifiée ou détaillée, les valeurs limites d'émission sont fixées individuellement. Cette nécessité est justifiée par le fait que les installations plus puissantes des utilisateurs du réseau peuvent influencer une plus grande zone de desserte.

Le schéma de la Fig. 1-3 décrit la procédure de calcul des valeurs limites d'émission. Les exigences relatives aux variations de tension lentes doivent également être respectées.



(*) en concertation avec le gestionnaire de réseau

Fig. 1-3 Schéma de détermination des valeurs limites d'émission pour les variations de tension rapides et le flicker

1.3.4 Informations complémentaires pour l'évaluation

L'évaluation de l'installation d'un utilisateur du réseau doit tenir compte des points de vue suivants:

- Pour fixer la sévérité du flicker de long terme de l'installation d'un utilisateur du réseau, il faut veiller à ce que le niveau cumulé du fait de la superposition avec des installations d'autres utilisateurs du réseau et de la part de flicker du réseau amont respecte le niveau théorique sélectionné. En aucun cas, le niveau de compatibilité $P_{lt} = 0,8$ de la sévérité du flicker de long terme ne doit être dépassé [EN 61000-2-2].
- La puissance de court-circuit au point de raccordement est déterminante pour le comportement de l'installation. Les valeurs Δu , d , P_{st} et P_{lt} obtenues au point de raccordement doivent être converties pour le point de couplage commun.
- La puissance de court-circuit au point de couplage commun S_{kV} ou au point de raccordement S_{kAP} est calculée conformément à la partie A: Bases, Section 3. Pour déterminer la variation relative de la tension, il faut connaître en plus la variation de charge sous forme de variation de puissance apparente ΔS_A de l'installation ou de l'appareil à évaluer.
- Le taux de répétition r_i doit être pris en considération pour l'évaluation de la variation de tension. La variation de tension maximale $d_{max,i}$ due au fonctionnement d'une installation est calculée à partir de la variation de charge qui génère le saut de tension le plus important ou le niveau de flicker le plus élevé.
- Il faut alors choisir la phase (pôle) sur laquelle se produisent les plus grandes variations de tension. Les variations de tension transitoires non génératrices de flicker ne sont pas à prendre en considération pour déterminer $d_{max,i}$.
- L'émission perturbatrice de l'installation d'un utilisateur du réseau est la variation de tension d_i , resp. la sévérité de flicker P_{sti} , provoquée uniquement par la variation de charge de cette installation (pour un réseau sans autre perturbation) au point de couplage commun.
- Le temps d'observation doit notamment comprendre la partie de la durée totale de fonctionnement, au cours de laquelle la série indésirable de variations de tension est émise.
- Le niveau de flicker P_{st} dans le réseau, ou la courbe de variation de tension résultante $d(t)$, est le résultat de l'effet cumulé de toutes les installations dans le réseau. Cette valeur est donc toujours plus élevée que les valeurs individuelles correspondantes.
- Pour l'évaluation d'installations existantes d'utilisateurs du réseau, il convient de mesurer les valeurs maximales de d_i ainsi que de P_{sti} et P_{lti} . Pour les variations de tension stochastiques notamment, d'importance et de forme irrégulières, une évaluation fiable n'est possible que par voie de mesures.
- Les valeurs limites de flicker ne doivent pas être utilisées pour les variations de tension qui ne se produisent que quelques fois dans la journée (p. ex. enclenchement de charges importantes dans l'installation de l'utilisateur de réseau). En cas de variations de charge rares avec $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$ des variations de tension supérieures peuvent être admises (voir schéma).

1.3.5 Transformateurs réglables de réseaux locaux

Les transformateurs réglables de réseaux locaux génèrent des fluctuations de tension liées à leurs caractéristiques de régulation, qui peuvent se traduire par des flickers. Il est donc nécessaire de fixer des exigences techniques.

Les valeurs limites suivantes sont recommandées:

- Fonctionnement autorégulé:
 - Variation de tension maximale $d_{\max} = 3\%$
 - $P_{st\ V} = 0,35$; $P_{lt\ V} = 0,25$
- Graduation approximative:
 - Variation de tension maximale $d_{\max} = 6\%$
 - Pour un taux de répétition de $r < 0,01\ \text{min}^{-1}$ (quelques fois par jour), il n'y a pas de valeurs limites de flicker à respecter.

Remarque:

La valeur $P_{st} = 0,35$ est respectée avec 2 variations de tension par période de 10 min à $d = 1,5\%$.

1.3.6 Méthodes de détection

Pour contrôler les émissions perturbatrices admissibles d'une installation de client individuelle ou le niveau total des émissions perturbatrices des installations de tous les utilisateurs du réseau, il convient d'évaluer les valeurs de probabilité à 95% sur une semaine.

- $P_{lt\ 95\%}$ et $P_{st\ 95\%}$ ne doivent dépasser les valeurs P_{lt} et P_{st} à aucun point de couplage commun. Aucune valeur individuelle de la sévérité du flicker de court terme ne doit par ailleurs être supérieure à $1,3 P_{st}$.
- $P_{lt\ tot\ 95\%}$ et $P_{st\ tot\ 95\%}$ ne doivent dépasser les valeurs admissibles $P_{lt\ tot}$ et $P_{st\ tot}$ à aucun point de couplage commun. Aucune valeur individuelle de la sévérité du flicker de court terme ne doit par ailleurs être supérieure à $1,3 P_{st\ tot}$.

Remarque:

Tenir compte du niveau de fond pour la justification métrologique.

2. Déséquilibre

La détermination des valeurs limites d'émission de l'installation d'un utilisateur du réseau s'appuie en règle générale sur l'allocation des contributions admissibles au taux de déséquilibre de la tension. Pour simplifier l'analyse, ces contributions sont généralement exprimées sous la forme de courants du système inverse de l'installation de l'utilisateur du réseau.

De façon générale, il convient de raccorder les unités de production, les unités de stockage et les consommateurs de puissance élevée de façon symétrique en triphasé.

Si l'installation de l'utilisateur du réseau se compose d'unités de production et/ou de stockage et/ou de consommateurs raccordés de façon asymétrique, il s'agit de les répartir sur les phases de façon à ce que la puissance asymétrique de ladite installation soit la plus réduite possible.

2.1 Niveau de compatibilité

Selon la norme [EN 61000-2-2], le niveau de compatibilité du taux de déséquilibre de la tension est $C_{U2} = 2\%$.

2.2 Valeurs limites d'émission

La formule de calcul de la valeur limite d'émission d'une installation de l'utilisateur du réseau au point de couplage commun repose sur l'approche générale de la norme [CEI 61000-3-14]. Avec les hypothèses de simplification et les regroupements ou transpositions adapté-e-s, on obtient:

$$I_{2V} = \frac{s}{1000} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_E + k_B + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (2-1)$$

S_A	<i>Puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau</i>
S_{kV}	<i>Puissance de court-circuit</i>
k_E	<i>Facteur de production</i>
k_B	<i>Facteur de fourniture</i>
k_S	<i>Facteur de stockage</i>
I_{2V}	<i>Courant admissible du système inverse de l'installation de l'utilisateur du réseau</i>
I_A	<i>Courant de l'installation</i>
S	<i>Facteur de proportionnalité du déséquilibre</i>

La formule (2-1) s'inspire de la détermination des harmoniques. Le facteur de proportionnalité s est largement déterminé par la caractéristique du réseau BT et dépend notamment de la longueur des segments de raccordement, des différences de longueur entre ces segments ainsi que de la répartition des installations des utilisateurs du réseau au sein de ces segments. La caractéristique du réseau BT est représentée par la plus petite puissance de court-circuit de tous les points du réseau BT examiné et par la puissance assignée du transformateur MT/BT. Le Tab. 2-1 indique les valeurs indicatives du facteur de proportionnalité en fonction de la puissance assignée du transformateur S_T et de la plus petite puissance de court-circuit dans le réseau en question.

Tab. 2-1 Valeurs indicatives du facteur de proportionnalité s en fonction de la puissance assignée du transformateur et de la plus petite puissance de court-circuit (réseau BT)

S_{rT}	Facteur de proportionnalité s					Plus petite valeur de puissance de court-circuit
	30	25	20	15	10	
100 kVA	> 0,7 MVA	0,7 ... 0,5 MVA	0,5 ... 0,3 MVA	0,3... 0,2 MVA	< 0,2 MVA	
250 kVA	> 1,7 MVA	1,7 ... 1,1 MVA	1,1 ... 0,8 MVA	0,8 ... 0,5 MVA	< 0,5 MVA	
400 kVA	> 2,1 MVA	2,1 ... 1,7 MVA	1,7 ... 1,4 MVA	1,4 ... 1,2 MVA	< 1,2 MVA	
630 kVA	> 3,2 MVA	3,2 ... 2,5 MVA	2,5 ... 2,0 MVA	2,0 ... 1,5 MVA	< 1,5 MVA	
1000 kVA	> 4,1 MVA	4,1 ... 3,1 MVA	3,1 ... 2,4 MVA	2,4 ... 1,8 MVA	< 1,8 MVA	

Pour les puissances assignées du transformateur non indiquées dans le tableau, il convient de sélectionner la valeur supérieure la plus approchante ou la plus grande puissance assignée.

En l'absence d'informations plus précises sur la structure du réseau, il est recommandé de prendre en compte un facteur de proportionnalité $s = 15$.

À la place du courant admissible du système inverse, il est également possible de calculer la puissance asymétrique admissible et de la définir comme valeur limite:

$$S_{A \text{ asym}} = \frac{s}{1000} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_E + k_B + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot S_A \quad (2-2)$$

- S Facteur de proportionnalité du déséquilibre
- $S_{A \text{ asym}}$ Puissance asymétrique admissible de l'installation de l'utilisateur du réseau
- S_A Puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
- S_{kV} Puissance de court-circuit
- k_E Facteur de production
- k_B Facteur de fourniture
- k_S Facteur de stockage

Remarque:

Si les facteurs k_B , k_E , k_S ne sont pas connus, pour les réseaux auxquels il n'est pas prévu de raccorder des installations production et de stockage, on peut admettre que $k_B + k_E + k_S = 1$. Dans le cas contraire, il est recommandé d'admettre que $k_B + k_E + k_S = 1,35$.

Au besoin, la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau S_A peut être calculée à partir du courant nominal des fusibles ou des puissances de raccordement des différents appareils individuels ou des unités et de sa répartition sur les phases. Si le courant nominal des fusibles est connu, la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau S_A est calculée comme suit:

$$S_A = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \quad (2-3)$$

- S_A Puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
- U_n Tension nominale du réseau
- I_n Courant nominal des fusibles

Pour une combinaison donnée d'unités et d'appareils individuels, la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau S_A correspond à trois fois la valeur de la puissance maximale du tronçon pouvant être développée dans la configuration de fonctionnement la plus défavorable. La tableau 2-2 donne quelques exemples de calcul de la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau pour un raccordement à des unités et appareils individuels monophasés.

Tab. 2-2 Exemples de calcul de la puissance de raccordement de l'installation d'un utilisateur du réseau

Exemple	S_{L1}	S_{L2}	S_{L3}	S_A
Installation de production (3,7 kVA) en L1, Unité de stockage (3,0 kVA, décharge) en L2	3,7 kVA	3,0 kVA	0 kVA	3·3,7 kVA = 11,1 kVA
Unité de production (3,7 kVA) en L1, Consommateur (3,0 kVA) en L1	3,7 kVA	0 kVA	0 kVA	3·3,7 kVA = 11,1 kVA
Unité de production (3,7 kVA) en L1, Installation de stockage (3,0 kVA, décharge) en L1	3,7 kVA + 3,0 kVA	0 kVA	0 kVA	3·6,7 kVA = 20,1 kVA
Consommateur (3,0 kVA) en L1, Unité de stockage (3,0 kVA, charge) en L1	3,0 kVA + 3,0 kVA	0 kVA	0 kVA	3·6,0 kVA = 18,0 kVA

Si les différents paramètres sont connus, un facteur de proportionnalité spécifique s peut être déterminé à l'aide de la formule suivante:

$$s = \frac{k_{u\ SS} \cdot G_{asym\ BT}}{\sqrt{u_k}} \cdot 1000 \quad (2-4)$$

- S Facteur de proportionnalité du déséquilibre
 $k_{u\ SS}$ Facteur de réduction, lié à la caractéristique du réseau
 $G_{asym\ BT}$ Contribution dans le réseau BT (part)
 u_k Tension de court-circuit du transformateur MT/BT

La plage des valeurs de contribution au réseau BT (part) repose sur le niveau théorique du taux de déséquilibre de la tension dans le réseau MT [EN 61000-3-13], le niveau de compatibilité du taux de déséquilibre de la tension dans le réseau BT [EN 61000-2-2] et une plage de valeurs réalistes pour le facteur d'addition α (1,4 ... 2,0), sans oublier le coefficient de transfert T_{MT-BT} entre les réseaux MT et BT (0,8 ... 0,9).

Le facteur de réduction $k_{u\ SS}$ peut être estimé à l'aide de la formule d'approximation suivante:

$$k_{u\ SS} = a + b \cdot \ln \left(\frac{S_{k\ min}}{MVA} \right) \quad (2-5)$$

- $S_{k\ min}$ Plus petite puissance de court-circuit minimale parmi l'ensemble des points de raccordement du réseau
 $k_{u\ SS}$ Facteur de réduction, lié à la caractéristique du réseau
 a, b Paramètre selon Tab. 2-3

Les paramètres de l'équation (2-5) sont indiqués dans le Tab. 2-3.

Tab. 2-3 Paramètres permettant d'évaluer le facteur de réduction $k_{un,SS}$ dans le réseau BT

S_{rT} en kVA	a	b
100	0,78	0,25
250	0,43	0,25
400	0,26	0,40
630	0,11	0,40
1000	0,08	0,35

Pour déterminer la valeur $k_{u,SS}$ avec plus de précision, la méthode de calcul correspondante décrite par la norme [CEI 61000-3-14] peut être appliquée directement. Cette méthode prévoit une nouvelle détermination de la valeur $k_{u,SS}$ après le raccordement de chaque installation supplémentaire d'un utilisateur du réseau ou après toute modification de la structure du réseau.

2.3 Évaluation

2.3.1 Critère marginal

Critère marginal pour les unités et les appareils individuels

La puissance assignée des appareils individuels et des unités à durée de fonctionnement longue (p. ex. onduleurs photovoltaïques, unités de stockage, stations de recharge de véhicules électriques) ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tab. 2-4 en fonction du type de raccordement et du mode de fonctionnement.

Tab. 2-4 Puissance assignée maximale d'appareils individuels et d'unités BT

Type de raccordement de l'appareil individuel/l'unité	$S_{r adm}$
monophasé	3,7 kVA
biphasé sans neutre	3,7 kVA
biphasé avec neutre	2·3,7 kVA

Pour les appareils individuels et les unités présentant une durée de fonctionnement inférieure à 10 minutes (p. ex. chauffe-eau rapide à la demande), une puissance assignée maximale $S_{r adm} = 4,6$ kVA ($I_{r adm} = 20$ A) est admissible.

Si une installation de l'utilisateur du réseau combine plusieurs unités ou appareils individuels raccordés de façon asymétrique, en principe, il convient de procéder à une évaluation de la puissance asymétrique.

Critère marginal pour les installations

Pour une installation de l'utilisateur du réseau composée de plusieurs unités ou appareils individuels, indépendamment du lieu de raccordement, une puissance asymétrique de 3,7 kVA est toujours admissible. Avec l'impédance de référence selon la norme [CEI 60725], on obtient la contribution suivante au taux de déséquilibre de la tension:

$$k_{U2} = \frac{S_{A \text{ asym}}}{S_{kV}} \leq \frac{3,7 \text{ kVA}}{565 \text{ kVA}} \leq 0,65\% \quad (2-6)$$

$S_{A \text{ asym}}$ Puissance asymétrique admissible de l'installation de l'utilisateur du réseau

S_{kV} Puissance de court-circuit

k_{U2} Contribution au taux de déséquilibre de la tension

Si le critère marginal n'est pas satisfait, une évaluation de niveau 1 est requise.

2.3.2 Évaluation simplifiée (niveau 1)

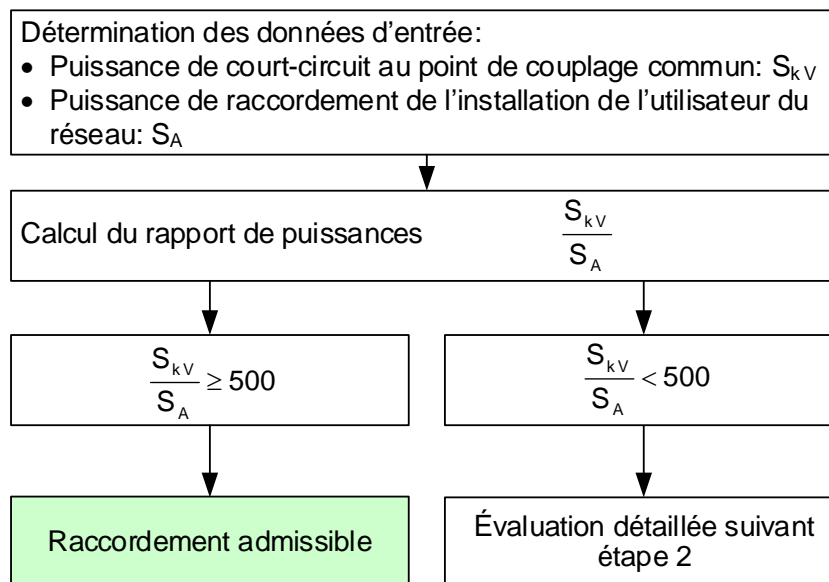


Fig. 2-1 Schéma d'évaluation simplifiée du déséquilibre de tension (BT)

Remarque:

En admettant que la puissance asymétrique de l'installation d'un utilisateur du réseau puisse correspondre à la puissance de raccordement de cette même installation dans certaines circonstances, on obtient pour le rapport $S_{kV}/S_A = 500$ la contribution au taux de déséquilibre de la tension suivante: $k_{U2} \approx 0,2\%$.

2.3.3 Évaluation détaillée (niveau 2)

Si la part symétrique des unités ou appareils individuels d'une installation de l'utilisateur du réseau est connue, les formules suivantes permettent de déterminer le rapport $S_{A \text{ asym}}/S_A$, les puissances prises en compte étant dotées d'un pré-signe positifs:

$$\frac{S_{A \text{ asym}}}{S_A} = \frac{1}{\sqrt{500}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad (2-7)$$

$$S_{A \text{ asym}} = (S_{A E} - S_{A E \text{ sym}}) + (S_{A B} - S_{A B \text{ sym}}) + (S_{A S} - S_{A S \text{ sym}}) \quad (2-8)$$

$S_{A \text{ asym}}$	Part asymétrique de la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
$S_{A E}$	Puissance totale des unités de production de l'installation de l'utilisateur du réseau
$S_{A E \text{ sym}}$	Puissance symétrique raccordée des unités de production de l'installation de l'utilisateur du réseau
$S_{A B}$	Puissance totale des unités de fourniture d'énergie de l'installation de l'utilisateur du réseau
$S_{A B \text{ sym}}$	Puissance symétrique raccordée des unités de fourniture d'énergie de l'installation de l'utilisateur du réseau
$S_{A S}$	Puissance totale des unités de stockage de l'installation de l'utilisateur du réseau
$S_{A S \text{ sym}}$	Puissance symétrique raccordée des unités de stockage de l'installation de l'utilisateur du réseau
S_A	Puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
S_{kV}	Puissance de court-circuit

Remarque:

La part asymétrique de la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau $S_{A \text{ asym}}$ n'est pas liée à la puissance asymétrique $S_{A \text{ asym}}$. Si $S_{A \text{ asym}}$ dépasse la valeur S_A , $S_{A \text{ asym}}$ est considéré comme égal à S_A .

À titre d'alternative, le diagramme ci-après peut être utilisé pour l'évaluation (Fig. 2-2). Le raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau est admissible si la paire de valeurs [$S_{A \text{ asym}}/S_A$; S_{kV}/S_A] se situe en-dessous de la courbe dans le diagramme.

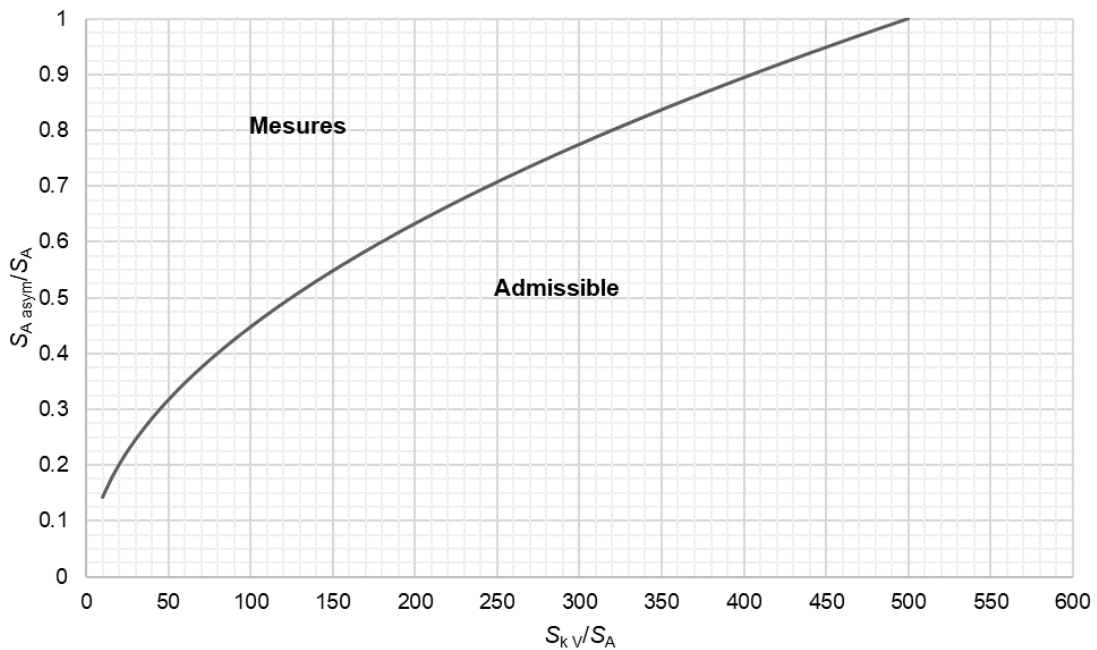


Fig. 2-2 Diagramme pour une évaluation détaillée

Si la paire de valeurs [$S_{A \text{ asym}}/S_A$; S_{kV}/S_A] se situe dans la plage non admissible au-dessus de la courbe, la valeur limite d'émission à respecter par l'installation de l'utilisateur du réseau doit être calculée à l'aide de la formule (2-1).

Il est conseillé de fixer une valeur limite d'émission (valeur absolue du courant du système inverse I_{2V} ou de la puissance asymétrique $S_{A \text{ as}}$) même si l'installation de l'utilisateur du réseau se situe dans la plage admissible.

Remarque:

En cas de raccordement d'une installation 50 kVA à un point de raccordement présentant une puissance de court-circuit de 10 MVA, la contribution à la puissance asymétrique connectée (part) doit être d'au moins 36,8% (18,4 kVA).

La formule (2-1) peut conduire à des valeurs limites d'émission excessivement faibles. Par conséquent, une contribution au taux de déséquilibre de la tension de $k_{U2} = 0,2\%$ est retenue pour chaque installation de l'utilisateur du réseau. Le courant admissible du système inverse I_{2V} est obtenu comme suit:

$$I_{2V} = \frac{1}{500} \cdot \frac{S_{kV}}{\sqrt{3} \cdot U_V} \quad (2-9)$$

S_{kV} Puissance de court-circuit

I_{2V} Courant admissible du système inverse de l'installation de l'utilisateur du réseau

U_V Tension composée

La puissance asymétrique correspondante est calculée comme suit:

$$S_{A \text{ asym}} = \frac{1}{500} \cdot S_{kV} \quad (2-10)$$

S_{kV} Puissance de court-circuit

$S_{A \text{ asym}}$ Puissance asymétrique de l'installation de l'utilisateur du réseau

3. Harmoniques, interharmoniques, supra-harmoniques

La détermination des valeurs limites d'émission de l'installation d'un utilisateur du réseau s'appuie en règle générale sur l'allocation des contributions admissibles à la distorsion de la tension. Pour simplifier l'analyse, ces contributions sont généralement exprimées sous la forme de courants harmoniques, interharmoniques ou supra-harmoniques de l'installation de l'utilisateur du réseau.

Les réseaux basse tension et moyenne tension sont généralement des réseaux à structure radiale simples (boucles ouvertes). En revanche, les réseaux haute tension sont souvent des réseaux maillés alimentés via différents points d'injection. Par conséquent, les formules de calcul des valeurs limites d'émission varient d'un niveau de tension à l'autre.

3.1 Harmoniques

3.1.1 Niveaux de compatibilité

Les niveaux de compatibilité pour les tensions harmoniques dans les réseaux publics basse tension sont spécifiés par la norme [EN 61000-2-2].

Tab. 3-1 Niveaux de compatibilité pour les composantes harmoniques de la tension dans les réseaux publics basse tension

Harmoniques impairs				Harmoniques pairs	
non multiples de 3		multiples de 3 ^{a)}			
v	Tension harmonique en %	v	Tension harmonique en %	v	Tension harmonique en %
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,4	6	0,5
13	3,0	21	0,3	8	0,5
$17 \leq v \leq 37$	$2,27 \cdot \left(\frac{17}{v}\right) - 0,27$	$27 \leq v \leq 39$	0,2	$10 \leq v \leq 40$	$0,25 \cdot \left(\frac{10}{v}\right) + 0,25$

a) Les niveaux indiqués pour les harmoniques impairs multiples de 3 s'entendent pour les harmoniques de systèmes homopolaires. Par ailleurs, en fonction du déséquilibre du réseau, les valeurs des harmoniques de rang 3 et 9 d'un réseau triphasé sans conducteur neutre ou sans charge entre phase et masse peuvent être très inférieures aux niveaux de compatibilité.

3.1.2 Valeurs limites d'émission

Toutes les valeurs limites concernant les harmoniques de rang v concernent le sous-groupe d'harmoniques correspondant suivant la norme [EN 61000-4-7].

Voici la formule générale de calcul de la valeur limite d'émission d'harmoniques de rang ν d'une installation de l'utilisateur du réseau au point de couplage commun:

$$I_{\nu \text{ adm } \nu} = \frac{p_{\nu}}{1000} \cdot \frac{1}{k_{\nu}} \cdot \frac{1}{k_{XR}} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_B + k_E + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-1)$$

p_{ν}	Facteur de proportionnalité pour harmoniques de rang ν
$I_{\nu \text{ adm } \nu}$	Courant harmonique admissible de l'installation de l'utilisateur du réseau
I_A	Courant de l'installation de l'utilisateur du réseau
S_{kV}	Puissance de court-circuit
S_A	Puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
k_{ν}	Facteur de résonance pour harmoniques de rang ν
k_{XR}	Facteur d'angle d'impédance
k_B	Facteur de fourniture
k_E	Facteur de production
k_S	Facteur de stockage

Des informations complémentaires sur les différents facteurs sont disponibles dans la partie A: Bases, Section 6.

Le Tab. 3-2 contient des valeurs indicatives du facteur de proportionnalité p_{ν} .

Tab. 3-2 Valeurs indicatives du facteur de proportionnalité p_{ν} permettant de calculer les harmoniques admissibles

ν	p_{ν}	ν	p_{ν}	ν	p_{ν}
2	4,5	15	0,3	28	0,4
3	5,7	16	0,9	29	1,0
4	2,9	17	2,6	30	0,3
5	13,1	18	0,5	31	0,9
6	1,1	19	2,1	32	0,4
7	7,8	20	0,7	33	0,1
8	1,2	21	0,2	34	0,4
9	1,2	22	0,6	35	0,7
10	1,6	23	1,6	36	0,2
11	5,1	24	0,4	37	0,7
12	0,8	25	1,4	38	0,3
13	3,7	26	0,5	39	0,1
14	1,0	27	0,1	40	0,3

Remarque:

Les harmoniques multiples de trois forment essentiellement des systèmes homopolaires qui s'additionnent dans le neutre. Des facteurs de proportionnalité moins élevés sont donc définis. Si, pour une installation de l'utilisateur du réseau, il est établi qu'elle ne peut pas émettre de systèmes homopolaires (car sans raccord du neutre, p. ex.) ou si ladite installation est directement raccordée au jeu de barres du transformateur, en concertation avec le gestionnaire de réseau, des valeurs supérieures peuvent être utilisées pour les facteurs de proportionnalité des harmoniques multiples de trois.

Il est recommandé de déterminer les facteurs k de la formule (3-1) individuellement pour le réseau considéré. Informations complémentaires et valeurs indicatives: sections 6.2 et 6.3, partie A: Bases.

En l'absence d'informations plus précises, les hypothèses de simplification suivantes peuvent être formulées:

- Si les facteurs k_B , k_E , k_S ne sont pas connus, pour les réseaux auxquels il n'est pas prévu de raccorder des installations production et de stockage, on peut admettre que $k_B + k_E + k_S = 1$. À titre d'alternative, l'hypothèse $k_B + k_E + k_S = 1,35$ est recommandée.
- L'impédance de court-circuit au point de raccordement est dominée par sa part inductive. Par conséquent, on peut admettre que le facteur d'angle d'impédance $k_{XR} = 1$.
- Il est par ailleurs conseillé d'appliquer un facteur de résonance $k_V = 1,15$ pour tous les harmoniques de rang 7 à 25. Cette hypothèse repose sur le fait qu'il faut compter avec des points de résonance dès les harmoniques de rang inférieur surtout dans les réseaux à forte densité d'équipements électrotechniques capacitifs. Les valeurs indicatives reposent sur des mesures complètes et concernent environ 90% des lieux de mesure.

Compte tenu de ces hypothèses de simplification, la formule de calcul simplifiée suivante peut être utilisée pour calculer les valeurs limites relatives aux harmoniques admissibles.

$$v=7 \dots 25: \quad I_{v \text{ adm}} = \frac{p_v}{1150} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-2)$$

$$v \neq 7 \dots 25: \quad I_{v \text{ adm}} = \frac{p_v}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-3)$$

Pour les courants harmoniques de rang $v = 16 \dots 40$, des dépassements de la valeur limite allant jusqu'à 1% de I_A ($v = 16 \dots 30$) ou 0,8% de I_A ($v = 31 \dots 40$) sont admissibles. La distorsion partielle pondérée (PWHIDI) de toutes les émissions de courants harmoniques et interharmoniques

$$\text{PWHIDI} = \frac{1}{I_A} \cdot \sqrt{\sum_{v=16}^{40} v \cdot I_v^2 + \sum_{\mu=16}^{39} \mu \cdot I_\mu^2} \quad (3-4)$$

ne doit pas dépasser la valeur PWHIDI des valeurs limites ou 17% (retenir la plus grande des deux valeurs, cf. section 3.2.2).

3.1.3 Évaluation

En règle générale, les appareils qui remplissent les exigences de la norme [EN 61000-3-2] peuvent être raccordés sans vérification complémentaire. Pour les appareils qui remplissent les conditions de raccordement spéciales stipulées par la norme [EN 61000-3-12], il convient de s'assurer que l'impédance de raccordement est inférieure à celle spécifiée. Dans tous les cas de figure, il faut s'assurer que les valeurs limites d'émission de l'installation soient respectées en cas d'accumulation de générateurs d'harmoniques et de facteur de simultanéité élevé.

3.1.3.1 Évaluation simplifiée (niveau 1)

L'évaluation simplifiée s'effectue suivant la procédure décrite par le schéma de la Fig. 3-1.

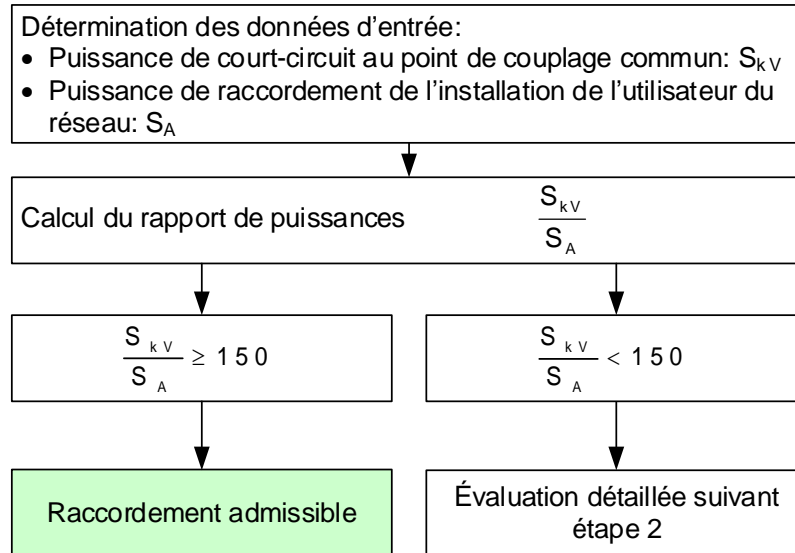


Fig. 3-1 Schéma d'évaluation simplifiée

3.1.3.2 Évaluation détaillée (niveau 2)

Si la part génératrice d'harmoniques des unités ou appareils individuels d'une installation de l'utilisateur du réseau est connue, les formules suivantes permettent de déterminer le rapport S_{harm}/S_A :

$$\frac{S_{\text{harm}}}{S_A} = \frac{1}{\sqrt{150}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad (3-5)$$

- S_{harm} Part génératrice d'harmoniques de la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
- S_A Puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
- S_{kV} Puissance de court-circuit

Dans le cas de l'évaluation détaillée, tous les générateurs majeurs d'harmoniques de l'installation d'un utilisateur du réseau sont regroupés pour obtenir une puissance totale génératrice d'harmoniques résultante S_{harm} .

Pour déterminer la part génératrice d'harmoniques de la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau, tous les appareils générateurs d'harmoniques sont subdivisés en trois groupes, conformément à la section 6.7 Partie A: Bases. Le cas échéant, les simultanités sont prises en compte. La puissance totale correspondante est ensuite déterminée à l'aide de la formule suivante:

$$S_{\text{harm}} = \frac{1}{2} \cdot S_{Gr1} + S_{Gr2} + 2 \cdot S_{Gr3} \quad (3-6)$$

- S_{harm} Part génératrice d'harmoniques de la puissance de raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau
- S_{Gr1} Puissance totale des appareils du groupe 1 ($THDi \leq 25\%$)
- S_{Gr2} Puissance totale des appareils du groupe 2 ($25\% < THDi \leq 50\%$)
- S_{Gr3} Puissance totale des appareils du groupe 3 ($THDi > 50\%$)

Si S_{harm} dépasse la valeur S_A , S_{harm} doit être réglée sur S_A . Pour le cumul, on utilise les puissances assignées. Pour une installation de l'utilisateur du réseau qui comprend à la fois des consommateurs et des systèmes de production et/ou de stockage générateurs d'harmoniques, les puissances assignées correspondantes doivent être prises en compte sans pré-signe.

L'évaluation détaillée s'effectue suivant la procédure décrite par le schéma de la Fig. 3-2.

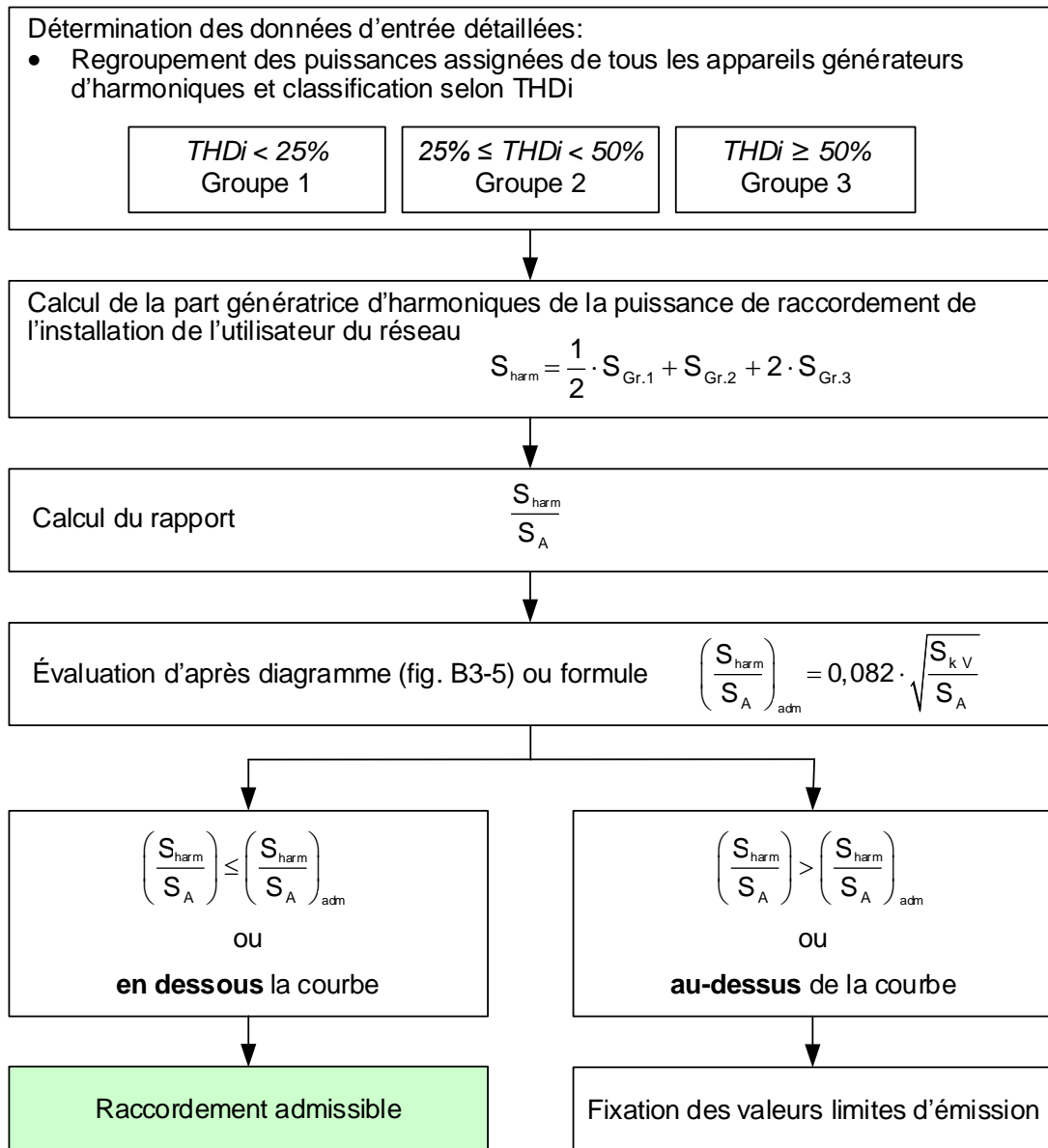


Fig. 3-2 Schéma d'évaluation détaillée

Le raccordement de l'installation de l'utilisateur du réseau est admissible si la paire de valeurs $[S_{\text{harm}}/S_A; S_k v/S_A]$ se situe en dessous la courbe dans le diagramme de la Fig. 3-3.

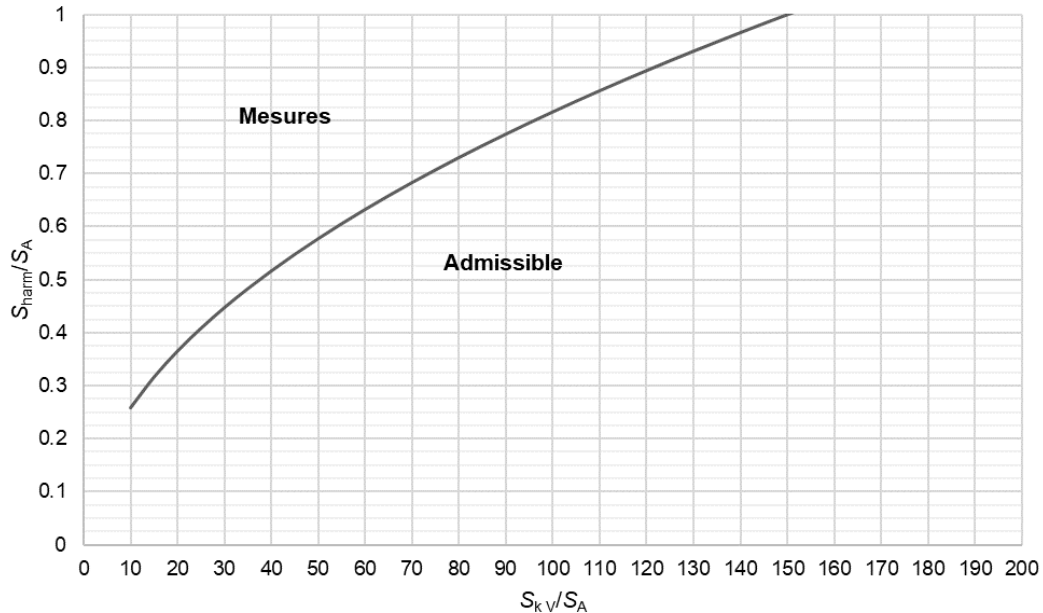


Fig. 3-3 Diagramme d'évaluation à utiliser si la part génératrice d'harmoniques de la puissance de l'installation d'un utilisateur du réseau est connue avec plus de précision

3.2 Interharmoniques

3.2.1 Niveaux de compatibilité

Les niveaux de compatibilité (Tab. 3-3) reposent sur les données indicatives de la norme [EN 61000-2-2].

Tab. 3-3 Niveaux de compatibilité pour tension interharmonique de réseaux publics basse tension

Rang μ	Niveaux de compatibilité
1, 2	0,15%
$\mu > 2$ à la fréquence de télécommande	0,1%
$\mu > 2$ hors fréquence de télécommande	0,3%

3.2.2 Valeurs limites d'émission

Toutes les valeurs limites concernant les interharmoniques de rang μ se rapportent au sous-groupe d'interharmoniques correspondant selon la norme [EN 61000-4-7].

Formule générale permettant de calculer les valeurs limites d'émission:

$$I_{\mu \text{ adm}} = \frac{1}{k_{\mu}} \cdot \frac{g_{\mu}}{100} \cdot \frac{S_{kV}}{S_A} \cdot I_A \quad (3-7)$$

g_{μ}	Facteur de proportionnalité pour interharmoniques de rang μ
$I_{\mu \text{ adm}}$	Courant interharmonique admissible
I_A	Courant de l'installation de l'utilisateur du réseau
S_{kV}	Puissance de court-circuit
S_A	Puissance de raccordement de l'installation du client
k_{μ}	Facteur de résonance pour les interharmoniques de rang μ

Pour les interharmoniques μ d'une installation de client, les facteurs de proportionnalité g_{μ} à utiliser figurent dans le Tab. 3-4.

Tab. 3-4 Facteurs de proportionnalité pour calcul simplifié des courants interharmoniques admissibles

μ	g_{μ}
1 ... 30	$0,2/(\mu+0,5)$
31 ... 39	$0,3/(\mu+0,5)$
3 ... 39 ¹⁾	$0,1/(\mu+0,5)$

1) Concerne les interharmoniques proches de ou à la fréquence de télécommande (lire aussi le chapitre 5.3)

Pour les courants interharmoniques de rang $\mu = 16 \dots 39$, des dépassements de la valeur limite allant jusqu'à 1% de I_A ($\mu = 16 \dots 29$) ou 0,8% de I_A ($\mu = 30 \dots 39$) sont admissibles, à condition que ces dépassements ne se situent pas autour de la fréquence de télécommande. La distorsion partielle pondérée (PWHIDI) de toutes les émissions de courants harmoniques et interharmoniques

$$PWHIDI = \frac{1}{I_A} \cdot \sqrt{\sum_{v=16}^{40} v \cdot I_v^2 + \sum_{\mu=16}^{39} \mu \cdot I_{\mu}^2} \quad (3-8)$$

ne doit pas dépasser la valeur PWHIDI des valeurs limites ou 17% (retenir la plus grande des deux valeurs, cf. section 3.1.2.)

3.2.3 Évaluation

Une évaluation basée sur les rapports de puissances n'est pas prévue pour les interharmoniques.

3.3 Supra-harmoniques

3.3.1 Niveaux de compatibilité

Les niveaux de compatibilité des perturbations symétriques involontaires suivant la norme [EN 61000-2-2] pour une bande de fréquence comprenant la fréquence centrale b dans la plage de 2 kHz à 9 kHz sont indiqués dans le Tab. 3-5.

Tab. 3-5 Les niveaux de compatibilité pour les tensions supra-harmoniques ne sont pas indiqués pour les réseaux publics basse tension dont la plage de fréquences est comprise entre 2 kHz et 9 kHz

Plage de fréquence (kHz)	Niveaux de compatibilité (%)
2 – 3	1,4%
3 – 9	$u_b = 3,02 \% \cdot b^{-0,7}$

3.3.2 Valeurs limites d'émission

Toutes les valeurs limites concernant les supra-harmoniques de la bande de fréquence b , dans une plage de fréquences allant de 2 kHz à 9 kHz, se rapportent à la bande 200 Hz correspondante selon la norme [EN 61000-4-7].

La formule suivante permet de calculer les courants supra-harmoniques admissibles de l'installation d'un utilisateur du réseau.

$$I_{b \text{ adm}} = \frac{1}{k_b} \cdot \frac{3,3 \cdot b^{-0,52} \cdot 1 \text{ A}}{\left(10,25 - \frac{9 \text{ kHz} \cdot b}{\text{kHz}}\right) \cdot \left(r + (1-r) \cdot \frac{0,57 \text{ MVA}}{S_{kV}}\right)} \quad (3-9)$$

$I_{b \text{ adm}}$	Courant supra-harmonique admissible
k_b	Facteur de résonance pour supra-harmoniques de fréquence centrale b
S_{kV}	Puissance de court-circuit
b	Fréquence centrale de la bande de fréquence b
r	Facteur de distribution

Remarque:

L'équation est valable pour une tension nominale du réseau $U_n = 400 \text{ V}$. Pour d'autres tensions nominales du réseau, il est possible de procéder à une conversion linéaire.

Pour le facteur de distribution r , se reporter aux valeurs du tableau ci-après.

Tab. 3-6 Facteur de distribution pour calcul des courants supra-harmoniques admissibles

Puissance de court-circuit S_{kV} (MVA)	Facteur de distribution r
< 2	0,45
≥ 2	0,1

Remarque:

Les courants supra-harmoniques admissibles suivant la formule (3-9) s'entendent pour des installations avec neutre. Pour les installations de clients symétriques sans neutre, des valeurs limites d'émission 1,8 plus élevées sont admissibles.

3.3.3 Évaluation

Une évaluation basée sur les rapports de puissances n'est pas prévue pour les supra-harmoniques.

4. Entailles de commutation

4.1 Niveaux de compatibilité

Les niveaux de compatibilité des entailles de commutation ne sont pas indiqués.

4.2 Valeurs limites d'émission

La profondeur relative des entailles de commutation d_{Com} liées à des redresseurs-convertisseurs pilotés par le réseau dans les installations de fourniture, de production ou de stockage ne doit pas dépasser $d_{Com} = 10\%$ au point de couplage commun à l'état de fonctionnement le plus défavorable.

4.3 Évaluation

Une évaluation du raccordement au regard des entailles de commutation n'est nécessaire que pour les redresseurs régulés pilotés par le réseau.

Les installations avec redresseur mises en œuvre dans un réseau BT présentent généralement des entailles de commutation marquées, dont la profondeur peut être calculée avec une précision satisfaisante à l'aide de la formule (4-1). Sélectionner systématiquement l'angle d'allumage le plus défavorable pour l'évaluation. Les processus de démarrage doivent également être pris en compte.

$$d_{Com} = K \cdot \sin \alpha \cdot \frac{6}{p} \cdot \left(u_{k\ Com} \cdot \frac{S_{kV}}{S_{SRA}} + 1 \right)^{-1} \quad (4-1)$$

d_{Com}	Profondeur relative de l'entaille de commutation (creux de tension périodique transitoire)
K	Facteur de raccordement selon type de raccordement ou du mode de couplage des transformateurs
$u_{k\ Com}$	Tension de court-circuit relative de la réactance de commutation
S_{kV}	Puissance de court-circuit du réseau au point de point de couplage commun
S_{SRA}	Puissance de raccordement de l'installation avec redresseur
p	Nombre de crêtes du redresseur
α	Angle d'allumage du redresseur

Pour un raccordement direct sans transformateur ou en cas d'utilisation d'un transformateur triphasé avec un couplage inhabituel Dd5 ou Yy0 (étoile-étoile), le facteur $K = \sqrt{3}/2$ est applicable. En cas de raccordement avec un couplage usuel du transformateur de type Dy5 ou Yd5 (étoile-triangle), $K = 1$.

Dans le cas d'un raccordement du redresseur du côté BT effectué à l'aide d'une self de commutation et d'un transformateur séparé caractérisé par un rapport de transformation $\dot{u}_T = 1$, la tension de court-circuit relative résultante de la réactance de commutation est la suivante:

$$u_{k\ Com} = u_{k\ T} + u_{k\ D} \quad (4-2)$$

$u_{k\ T}$	Tension de court-circuit relative du transformateur du redresseur
$u_{k\ D}$	Tension de court-circuit relative de la self de commutation

Avec les hypothèses simplifiées ($K = 1$, $\alpha = 90^\circ$, $p = 6$), on obtient pour la configuration la plus défavorable:

$$d_{Com} = \left(u_{k\ Com} \cdot \frac{S_{kV}}{S_{SRA}} + 1 \right)^{-1} \quad (4-3)$$

d_{Com}	Profondeur relative de l'entaille de commutation (creux de tension périodique transitoire)
$u_{k\ Com}$	Tension de court-circuit relative de la réactance de commutation (réactance transformateur et/ou self de commutation)
S_{kV}	Puissance de court-circuit du réseau au point de point de couplage commun
S_{SRA}	Puissance de raccordement de l'installation avec redresseur

Il suffit en général de considérer chaque redresseur individuellement, la probabilité d'une superposition d'entailles de commutation étant faible. En revanche, si plusieurs redresseurs sont délibérément exploités de manière synchrone, il faut veiller à ce que l'effet cumulé reste inférieur aux valeurs limites d'émission respectives.

4.3.1 Niveau 1 – Évaluation simplifiée

L'évaluation simplifiée s'effectue suivant la procédure décrite par le schéma de la Fig. 4-1.

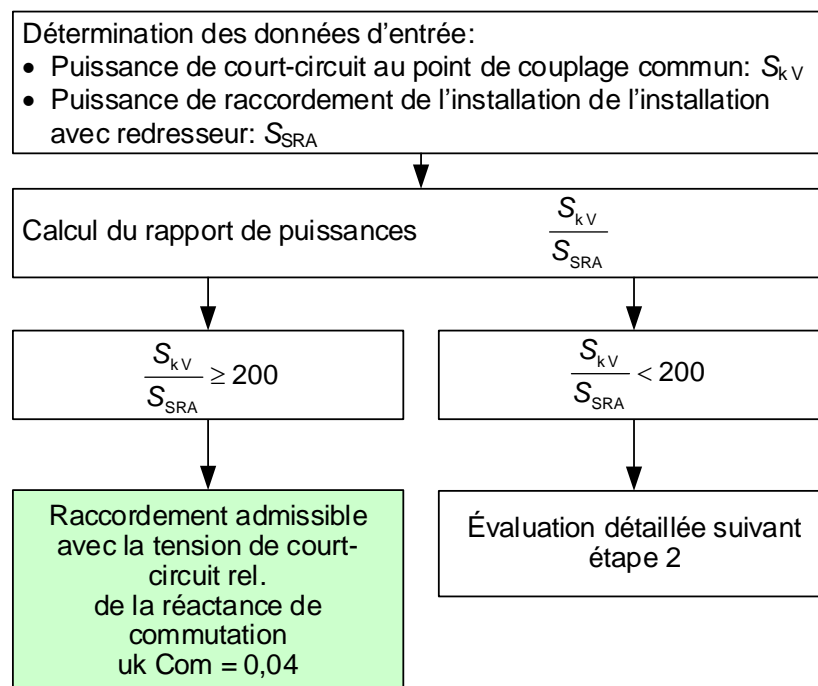


Fig. 4-1 Schéma d'évaluation simplifiée des entailles de commutation

Si l'installation ne comprend qu'un seul redresseur dont la puissance assignée $S_{r\ Str}$ est connue, celle-ci remplace la puissance de l'installation avec redresseur S_{SRA} dans le cadre de l'évaluation simplifiée.

4.3.2 Niveau 2 – Évaluation détaillée

L'évaluation détaillée s'effectue suivant la procédure décrite par le schéma de la Fig. 4-2.

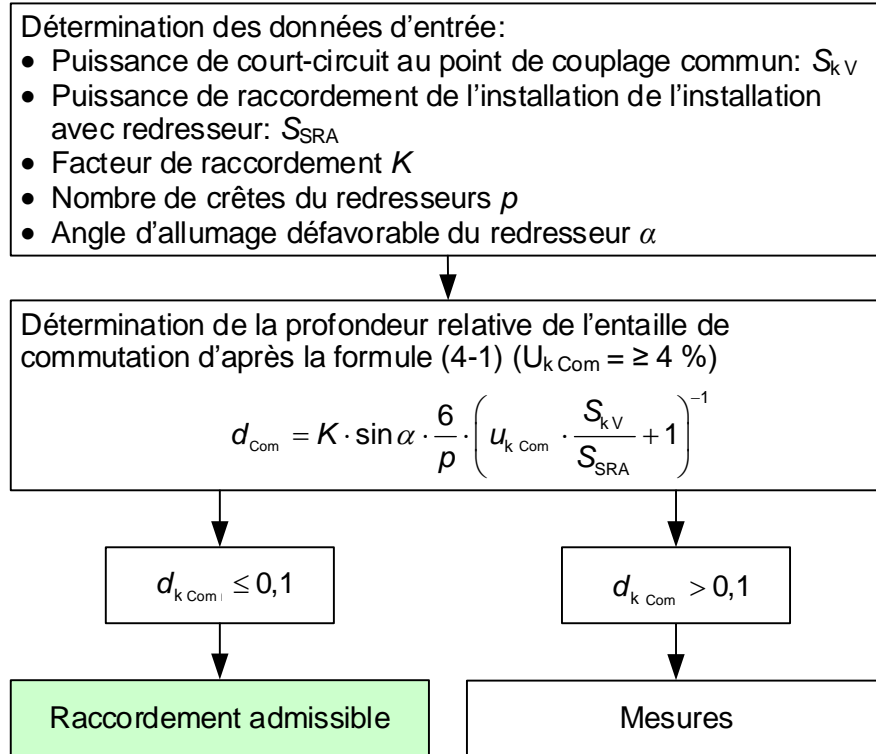


Fig. 4-2 Schéma d'évaluation détaillée des entailles de commutation

5. Tensions du signal

5.1 Niveau du signal

Pour garantir une transmission fiable aux récepteurs de télécommande centralisée du réseau de distribution, le niveau minimum du signal doit être supérieur au niveau fonctionnel pour tous les récepteurs (prévoir une réserve suffisante).

Un niveau non admissible du signal peut entraîner des perturbations des appareils et des installations des utilisateurs du réseau. Les niveaux de compatibilité pour la communication réseau sont spécifiés par la norme [EN 61000-2-2] (Tab. 5-1) et ne doivent pas être dépassés par le gestionnaire de réseau.

Tab. 5-1 Niveaux de compatibilité (symétriques) pour la communication sur le réseau suivant la norme [EN 61000-2-2]

	Plage de fréquences	Niveau du signal
TCC	0,11 kHz – 0,5 kHz	9% U_n
	0,5 kHz – 3 kHz	9% - 1,5% (baisse logarithmique avec logarithme de fréquence)
PLC	3 kHz – 9 kHz	140 dB μ V
	9 kHz – 95 kHz	140 dB μ V – 128 dB μ V (baisse linéaire avec logarithme de fréquence)
	95 kHz – 150 kHz	128 dB μ V

5.2 Évaluation

Pour l'évaluation, il faut tenir compte de l'influence des installations de compensation ou de l'impédance liée à la fréquence de réseau des installations des utilisateurs du réseau sur le niveau de la TCC ainsi que de l'influence des émissions involontaires proches de la fréquence de TCC.

5.2.1 Influence des installations des utilisateurs du réseau sur le niveau

Les installations d'utilisateurs du réseau BT raccordées à celui-ci ne doivent ni réduire ni augmenter de manière non admissible le niveau de tension dans le réseau BT. La diminution de niveau maximale admissible dépend de la réserve de niveau disponible pour la TCC dans le réseau MT rapportée à la tension fonctionnelle des réseaux. Le diagramme ci-dessous (Fig. 5-1) montre la réserve disponible σ (facteur de niveau). Formules de calcul:

$$\sigma = \frac{U_{sMS}}{U_f} \quad (5-1)$$

$$\Delta U_{TRA} = \frac{U_{sMS} - U_{sE}}{U_{sMS}} = \frac{\sigma \cdot U_f - 1,5 \cdot U_f}{\sigma \cdot U_f} = 1 - \frac{1,5}{\sigma} \quad (5-2)$$

U_{sMT}	Niveau du signal de télécommande dans le réseau moyenne tension
U_{sE}	Niveau du signal de télécommande dans le récepteur de télécommande
U_f	Niveau de fonctionnement TCC
σ	Facteur de niveau
ΔU_{TCC}	Réduction maximale admissible du niveau

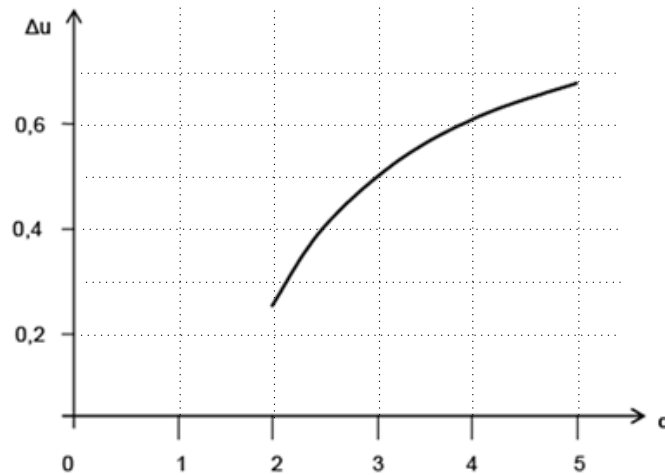


Fig. 5-1 Réduction maximale admissible du niveau de commande en fonction de σ [1]

Avec des fréquences de télécommande $f_{TCC} \leq 250$ Hz, $\sigma = 2$. Par conséquent, la réduction de tension maximale admissible de $\Delta u_{TCC} = 0,25$. Avec des fréquences de télécommande $f_{TCC} > 250$ Hz, le facteur de niveau $\sigma > 2$ est sélectionné.

Indépendamment de la fréquence de TCC, l'élévation du signal de TCC ne doit pas être supérieure à 50%.

Un raccordement direct de machines rotatives (sans convertisseur statique) est admissible jusqu'à une puissance assignée de 5 kVA à un point de couplage commun ou jusqu'à 10 kVA à l'échelle du réseau BT sans mesures particulières.

Pour faire en sorte que le cumul des installations de tous les utilisateurs du réseau permette de respecter la réduction ou l'augmentation maximale du niveau de la TCC dans un réseau BT, une valeur limite plus faible est fixée pour chaque installation individuelle. La réduction ou l'augmentation du niveau de TCC provoquée par l'installation d'un utilisateur du réseau ne doit pas dépasser $\Delta u_{TRA} = 5\%$.

Le niveau de TCC réduit doit toujours dépasser assez largement la tension fonctionnelle des récepteurs de télécommande (prévoir une réserve suffisante). Si tel n'est pas le cas, l'utilisateur du réseau doit installer des dispositifs de blocage de fréquences musicales ou opter pour une autre mesure efficace. La réserve nécessaire est fixée par le gestionnaire de réseau.

Le gestionnaire de réseau peut tolérer des variations de niveau importantes provoquées par l'installation d'un utilisateur du réseau à condition qu'une réserve suffisante soit disponible à tous les points du réseau BT par rapport au niveau fonctionnel.

5.2.2 Influence des installations de compensation à courant réactif sur le niveau

Coté réseau MT, la capacité des condensateurs de compensation alliée à l'inductance du transformateur MT/BT forment un circuit résonant série. Plus la capacité augmente, plus sa fréquence de résonance diminue. Les installations de compensation avec plusieurs condensateurs mis en circuit de façon échelonnée génèrent plusieurs fréquences de résonance.

L'amortissement désigne le montage de plusieurs condensateurs en amont d'une inductance. Cette dernière est dimensionnée pour que la fréquence de résonance du circuit résonant soit

inférieure à la fréquence de TCC. Par conséquent, le circuit résonant présente une impédance élevée à la fréquence de TCC.

Un amortissement est nécessaire pour toutes les installations de compensation d'une puissance $S_{\text{Comp}} \leq 25$ kvar et avec des fréquences TCC $f > 350$ Hz. Un amortissement est systématiquement requis pour les installations de compensation d'une puissance $S_{\text{Comp}} > 25$ kvar, indépendamment de la fréquence de télécommande utilisée.

L'étendue de l'amortissement est exprimée par le taux d'amortissement p , pour lequel l'équation suivante s'applique.

$$p = \left(\frac{f_N}{f_{\text{res}}} \right)^2 \quad (5-3)$$

p Taux d'amortissement

f_N Fréquence du réseau

f_{res} Fréquence de résonance série de l'installation de compensation amortie

Pour le taux d'amortissement, les valeurs du tableau ci-après sont recommandées.

Tab. 5-2 Taux d'amortissement recommandé p

Fréquence de télécommande	Taux d'amortissement p
< 250 Hz	$\geq 14\%$
250-350 Hz	$\geq 7\%$
> 350 Hz	$\geq 5\%$

Remarque:

Le taux d'amortissement correspond au rapport de la puissance 50 Hz de la self montée en amont et la puissance 50 Hz de la capacité de compensation.

Pour une installation de compensation avec $p = 7\%$, conformément à l'équation (5-3), on obtient une fréquence de résonance de 189 Hz.

5.3 Émissions d'installations d'utilisateurs du réseau

Si une installation d'un utilisateur du réseau génère des émissions dont la fréquence correspond à la fréquence de TCC du réseau BT ou se situe à un niveau très proche, ces émissions ne doivent pas dépasser 0,1% de U_n .

Si une installation d'un utilisateur du réseau génère des émissions dont la fréquence est contiguë à celles de la fréquence de TCC $f_{\text{TCC}} \pm 100$ Hz ou à un niveau très proche, du réseau BT ou se situe à un niveau très proche, ces émissions ne doivent pas dépasser 0,3% de U_n .

Liste des normes

CEI/TR 60725 éd. 3.0:2012 06

Étude des impédances de référence et des impédances des réseaux publics d'alimentation aux fins de la détermination des caractéristiques de perturbation des équipements électriques utilisant un courant nominal inférieur ou égal à 75 A par phase

EN 61000-2-2:2020

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 à basse tension (CEI 61000-2-2:2002 + A1:2017 + A2:2018); version française de la norme EN 61000-2-2:2002 + A1:2017 + A2:2019

EN 61000-3-2:2014

Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-2: limites – Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils inférieur ou égal à 16 A par phase)

EN 61000-3-3:2013

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 inférieur ou égal à 16 A par phase

EN 61000-3-11:2000

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, pour les matériels ayant un courant assigné inférieur ou égal à 75 A par phase

EN 61000-3-12:2011

Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-12: limites – Limites pour les courants harmoniques produits par les appareils connectés aux réseaux publics basse tension ayant un courant appelé supérieur à 16 A et inférieur ou égal à 75 A par phase

CEI/TR 61000-3-13 éd. 1.0:2008 02

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-13: Limits - Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems

CEI/TR 61000-3-14 éd. 1.0:2011 10

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-14: Assessment of emission limits for harmonics, interharmonics, voltage fluctuations and unbalance for the connection of disturbing installations to LV power systems

EN 61000-4-7:2002+A1:2009

Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 4-7: techniques d'essai et de mesure – Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés

EN 61000-4-15:2011

Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 4-15: techniques d'essai et de mesure - Flickermètre - Spécifications fonctionnelles et de conception

Sources

- [1] E-Control TOR D3: «Tonfrequenz-Rundsteuerung; Empfehlung zur Vermeidung unzulässiger Rückwirkungen.», version 2.1, 03/2006