

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

1000-3-7

Première édition
First edition
1996-10

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 3:

Limites –

**Section 7: Evaluation des limites d'émission
des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT –
Publication fondamentale en CEM**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 3:

Limits –

**Section 7: Assessment of emission limits
for fluctuating loads in MV and HV
power systems –
Basic EMC publication**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1000-3-7: 1996

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 3

CEI
IEC

TECHNICAL
REPORT – TYPE 3

1000-3-7

Première édition
First edition
1996-10

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 3:

Limites –

Section 7: Evaluation des limites d'émission

des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT –

Publication fondamentale en CEM

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 3:

Limits –

Section 7: Assessment of emission limits

for fluctuating loads in MV and HV

power systems –

Basic EMC publication

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS.....	4
INTRODUCTION.....	8
Articles	
1 Domaine d'application.....	10
2 Documents de référence.....	10
3 Concepts de base.....	12
4 Principes généraux.....	18
5 Méthode générale d'évaluation des niveaux d'émission.....	24
6 Effets de sommation.....	26
7 Limites d'émission des charges fluctuantes dans les réseaux MT.....	28
7.1 Stade 1: évaluation simplifiée de l'émission de perturbation.....	28
7.2 Stade 2: limite d'émission proportionnelle à la puissance souscrite de l'utilisateur....	30
7.3 Stade 3: acceptation de niveaux plus élevés à titre exceptionnel et précaire.....	36
8 Limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux HT.....	36
8.1 Stade 1: évaluation simplifiée de l'émission perturbatrice.....	36
8.2 Stade 2: limites d'émission proportionnelles à la puissance souscrite de l'utilisateur	36
8.3 Stade 3: acceptation de niveaux d'émission plus élevés sur une base exceptionnelle et précaire.....	42
9 Limites d'émission pour des variations rapides de tension.....	42
Annexes	
A Méthodes de prédiction simplifiées du niveau de flicker.....	46
B Sommation des P_{st} provenant des jeux de barres différents.....	52
C Exemples de cas typiques.....	54
D Liste des principaux symboles littéraux.....	74
E Bibliographie.....	80

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	11
2 Reference documents	11
3 Basic concepts	13
4 General principles	19
5 General guidelines for the assessment of emission levels	25
6 Summation effects	27
7 Emission limits for fluctuating loads in MV systems	29
7.1 Stage 1: simplified evaluation of disturbance emission	29
7.2 Stage 2: emission limits proportional to the agreed power of the consumer	31
7.3 Stage 3: acceptance of higher emission levels on an exceptional and precarious basis	37
8 Emission limits for fluctuating loads in HV systems	37
8.1 Stage 1: simplified evaluation of disturbance emission	37
8.2 Stage 2: emission limits proportional to the agreed power of the consumer	37
8.3 Stage 3: acceptance of higher emission levels on an exceptional and precarious basis	43
9 Emission limits for rapid voltage changes	43
Annexes	
A Simplified prediction methods for flicker severity	47
B Addition of P_{st} from different busbars	53
C Examples of some typical case studies	55
D List of principal letter symbols, subscripts and symbols	75
E Bibliography	81

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 3: Limites –

Section 7: Evaluation des limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT – Publication fondamentale en CEM

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales; ils sont publiés comme normes, rapport technique ou guides et agréés comme tels par les comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure du possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsque un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de type 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 3: Limits –****Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads
in MV and HV power systems –
Basic EMC publication**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Standardization Organization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

Le CEI 1000-3-7, rapport technique de type 3, a été établi par le sous-comité 77A: Phénomènes basse fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
77A/136/CDV	77A/154/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Le présent rapport est un rapport technique de type 3, de caractère entièrement informatif. Il ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61000-3-7:1996

IEC 1000-3-7, which is a technical report of type 3, has been prepared by sub-committee 77A: Low frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on voting
77A/136/CDV	77A/154/RCV

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

This report is a technical report of type 3 and is of a purely informative nature. It is not to be regarded as an International Standard.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61000-3-7:1996

INTRODUCTION

Ce rapport technique est une partie de la publication CEI série 1000 dont la structure est la suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas des comités de produit)

Partie 4: Techniques d'essais et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essais

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation

Guides d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en sections qui seront publiées soit comme normes internationales, soit comme rapports techniques.

La présente section est un rapport technique.

INTRODUCTION

This technical report is part of the IEC 1000 series, according to the following structure:

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

Measurement techniques

Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

Part 6: Miscellaneous

Each part is further subdivided into sections which are to be published either as international standards or as technical reports.

This section is a technical report.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 3: Limites –

Section 7: Evaluation des limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT – Publication fondamentale en CEM

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique présente les principes servant de base à la détermination des exigences à respecter lors du raccordement au réseau public de charges fluctuantes importantes (produisant du flicker). L'objectif principal est de fournir des indications sur les pratiques d'ingénierie qui assurent une qualité de service adéquate à tous les usagers d'un même réseau.

L'approche conseillée dans ce rapport repose nécessairement sur certaines hypothèses simplificatrices, on ne peut donc pas garantir que cette approche fournisse toujours la solution optimale à tous les problèmes de flicker. L'application totale ou partielle des procédures d'évaluation recommandées doit être pratiquée avec souplesse et en gardant un regard d'ingénieur.

La décision finale concernant le raccordement des installations comprenant des charges fluctuantes est toujours de la compétence du distributeur.

Les problèmes liés aux fluctuations de tension appartiennent à deux catégories principales:

- l'effet de papillotement (flicker) de l'éclairage;
- le risque pour l'amplitude de tension de dépasser la tolérance admise.

Ce rapport traite en premier lieu du contrôle ou de la limitation du flicker, mais un article est consacré aux variations de tension et à leurs effets.

NOTES

1 Ce rapport définit le système des tensions avec les termes suivants:

- | | |
|---------------------------------|--|
| – basse tension (BT) pour | $U_N \leq 1 \text{ kV};$ |
| – moyenne tension (MT) pour | $1 \text{ kV} < U_N \leq 35 \text{ kV};$ |
| – haute tension (HT) pour | $35 \text{ kV} < U_N \leq 230 \text{ kV};$ |
| – très haute tension (THT) pour | $230 \text{ kV} < U_N$ |

Dans le contexte de ce rapport, la fonction du réseau est plus importante que sa tension assignée. Par exemple, on peut attribuer à un réseau HT utilisé pour la distribution, un «niveau de planification» (voir article 3) se situant entre ceux des réseaux MT et HT.

2 La «charge» doit être comprise comme l'installation complète de l'utilisateur.

2 Documents de référence

CEI 50(161): 1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 868: 1986, *Flickermètre – Spécifications fonctionnelles et de conception*

CEI 1000-3-3: 1994, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 3: Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant appelé $\leq 16 \text{ A}$*

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 3: Limits –

Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication

1 Scope

This technical report outlines principles which are intended to be used as the basis for determining the requirements for connecting large fluctuating loads (producing flicker) to public power systems. The primary objective is to provide guidance for engineering practices which will ensure adequate service quality for all connected consumers.

Since the guidelines outlined in this report are necessarily based on certain simplifying assumptions, there is no guarantee that this approach will always provide the optimum solution for all flicker problems. The recommended approach should be used with flexibility and judgment as far as engineering is concerned, when applying the given assessment procedures in full or in part.

The final decision regarding the connection of fluctuating installations will always rest with the utility.

Problems related to voltage fluctuations fall into two basic categories:

- flicker effect from light sources;
- risk of the voltage magnitude being outside accepted tolerances.

This report primarily focuses on controlling or limiting flicker, but a clause is included to address voltage magnitude changes and their effects.

NOTES

1 This report uses the following terms for system voltage:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| – low voltage (LV) refers to | $U_N \leq 1 \text{ kV};$ |
| – medium voltage (MV) refers to | $1 \text{ kV} < U_N \leq 35 \text{ kV};$ |
| – high voltage (HV) refers to | $35 \text{ kV} < U_N \leq 230 \text{ kV};$ |
| – extra high voltage (EHV) refers to | $230 \text{ kV} < U_N.$ |

In the context of this report, the function of the network is more important than its rated voltage. For example, a HV system used for distribution may be given a "planning level" (see clause 3) which is situated between those of MV and HV systems.

2 The "load" is to be understood as the complete consumer's load.

2 Reference documents

IEC 50(161): 1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 868: 1986, *Flickermeter – Functional and design specifications*

IEC 1000-3-3: 1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current $\leq 16 \text{ A}$*

CEI 1000-3-5: 1994, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 5: Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant appelé supérieur à 16 A*

3 Concepts de base

Le flickermètre international (voir CEI 868) propose deux grandeurs pour caractériser le niveau de sévérité du flicker: P_{st} («st» se réfère à «short term» ou temps court: une valeur est obtenue chaque période de 10 min) et le P_{lt} («lt» se réfère à «long term» ou temps long: une valeur est donnée toutes les périodes de 2 h). Les critères de qualité de la tension liés au flicker sont donc généralement exprimés en terme de P_{st} et/ou P_{lt} , P_{lt} étant issu du groupe de 12 valeurs consécutives de P_{st} :

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

Dans le contexte de ce rapport, les mesures de flicker sont généralement effectuées au point commun de couplage (PCC) de la charge fluctuante, c'est-à-dire au niveau MT ou HT. Il faut néanmoins se rappeler que la raison de ces limites est la possibilité d'une gêne sur les réseaux BT. On suppose que le flickermètre est adapté à la tension des lampes de façon à ce que les mêmes limites s'appliquent quelle que soit la tension du réseau BT. Ceci est important car les lampes à 120 V sont moins sensibles aux fluctuations de tension que celles de 230 V et les lampes de 100 V le sont encore moins (voir figure 4).

Il convient que les limites d'émission pour les équipements individuels ou pour l'ensemble de la charge d'un utilisateur soient définies à partir de critères de qualité de tension. On utilise certains concepts de base pour définir ces critères de qualité de tension. Afin que ceux-ci puissent conduire à des évaluations significatives, ils sont définis en fonction du lieu où ils s'appliquent, et de la façon dont ils sont mesurés et calculés (durée de mesure, temps d'échantillonnage, temps de moyennage, statistiques). Ces concepts sont décrits ici et illustrés aux figures 1 et 2. On peut trouver les définitions dans la CEI 50(161).

Niveaux de compatibilité

Ce sont des valeurs de référence (tableau 1) qui permettent de coordonner l'émission et l'immunité des équipements faisant partie de, ou étant alimentés par un même réseau, afin d'assurer la CEM dans l'ensemble du système, comprenant le réseau lui-même et les installations qui y sont raccordées. Les niveaux de compatibilité sont généralement relatifs à une probabilité de non-dépassement de 95 % pour un réseau complet, sur la base de distributions représentant les variations des perturbations à la fois dans le temps et dans l'espace. La marge représente le fait qu'un distributeur ne peut pas garantir les niveaux en tous les points du réseau et à tout instant. C'est pourquoi, il est souhaitable que les niveaux de compatibilité soient évalués sur l'ensemble d'un réseau. Il n'y a pas de méthode d'évaluation en un point spécifique.

IEC 1000-3-5: 1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A*

3 Basic concepts

The international flickermeter (see IEC 868) provides two quantities to characterize the flicker severity: P_{st} ("st" referring to "short term": one value is obtained for each 10 min period) and P_{lt} ("lt" referring to "long term": one value is obtained for each 2 h period). The flicker related voltage quality criteria are generally expressed in terms of P_{st} and/or P_{lt} , P_{lt} being derived from groups of 12 consecutive P_{st} values:

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

Flicker measurements are generally made at the point of common coupling (PCC) of a fluctuating load, i.e. at the MV or HV level in the context of this report. However, it should be remembered that the background for limits is the possible annoyance of LV consumers. It is assumed that the flickermeter is adapted to the voltage of the lamps so that the same limits apply irrespective of the voltage of the LV distribution system. This is important because 120 V lamps are less sensitive to voltage fluctuations than 230 V lamps and 100 V lamps are even less sensitive (see figure 4).

Emission limits for individual equipment or a consumer's total load should be developed on the basis of voltage quality criteria. Some basic concepts are used to evaluate voltage quality. In order for these concepts to be useful in meaningful evaluation, they are defined in terms of where they apply (locations), and how they are measured (measurement duration, sample times, averaging durations, statistics), and calculated. These concepts are described here and illustrated in figures 1 and 2. Definitions may be found in IEC 50(161).

Compatibility levels

These are reference values (see table 1) for coordinating the emission and immunity of equipment which is part of, or supplied by, a supply network in order to ensure the EMC in the whole system (including network and connected equipment). Compatibility levels are generally based on the 95 % probability levels of entire systems using distributions which represent both time and space variations of disturbances. There is allowance for the fact that a utility cannot control all points of a network at all times. Therefore, evaluation with respect to compatibility levels should be made on a system basis and no assessment method is provided for evaluation at a specific location.

Le tableau 1 donne les niveaux de compatibilité pour le flicker sur les réseaux BT et MT.

Tableau 1 – Niveaux de compatibilité de P_{st} et P_{lt} dans les réseaux BT et MT

	Niveau de compatibilité
P_{st}	1,0
P_{lt}	0,8

Niveaux de planification

Il s'agit de niveaux qui peuvent être utilisés à des fins de planification lors de l'évaluation de l'impact sur le réseau de l'ensemble des charges de tous les utilisateurs. Les niveaux de planification sont spécifiés par le distributeur d'électricité pour tous les niveaux de tension du réseau, et peuvent être considérés comme des objectifs internes de qualité. Les niveaux de planification sont inférieurs ou égaux aux niveaux de compatibilité. On ne peut en donner que des valeurs indicatives car ils diffèrent d'un cas à l'autre, selon la structure du réseau et les circonstances. Un exemple de niveaux de planification pour les P_{st} et les P_{lt} est donné au tableau 2.

Tableau 2 – Valeurs indicatives des niveaux de planification pour le P_{st} et le P_{lt} dans les réseaux électriques MT, HT et THT

	Niveaux de planification	
	MT	HT et THT
P_{st}	0,9	0,8
P_{lt}	0,7	0,6

NOTES

- 1 Ces valeurs ont été choisies en estimant que le coefficient de transfert entre la MT ou la HT d'un côté et la BT de l'autre est égal à 1.
- 2 En pratique, les coefficients de transfert de la HT vers la BT (T_{PstHL}) sont souvent significativement inférieurs à l'unité. Une valeur typique du T_{PstHL} est 0,8: dans ce cas, les niveaux de planification indicatifs deviennent $L_{PstHV} = 0,8/0,8 = 1,0$.
- 3 Les niveaux de planification du tableau 2 ne permettent pas de maîtriser le flicker produit lors d'événements incontrôlables comme des court-circuits dans le réseau d'alimentation, etc.

La suite de ce rapport souligne les procédures à suivre lors de l'utilisation de ces niveaux de planification pour évaluer les règles de raccordement des utilisateurs individuels.

Procédure d'évaluation

On conseille d'effectuer les mesures selon la CEI 868 sur une durée de mesure minimale d'une semaine. A partir des valeurs de P_{st} mesurées pendant la semaine d'observation, il convient de calculer les fonctions de probabilité cumulées (CPF) du P_{st} et du P_{lt} ainsi que les quantités $P_{st95\%}$, $P_{st99\%}$, $P_{lt95\%}$ et $P_{lt99\%}$ à partir de celles-ci:

- Il est souhaitable que le $P_{st99\%}$ ne soit pas supérieur aux niveaux de planification;
- Il est souhaitable que le $P_{lt99\%}$ ne soit pas supérieur aux niveaux de planification.

NOTES

- 4 Il peut être intéressant de comparer les quantités à 99 % et à 95 %. Si le rapport entre les deux est supérieur à 1,3, il convient d'essayer de comprendre la raison de cet écart; les éventuels résultats aberrants (dus à des orages par exemple) doivent être éliminés.
- 5 Il faut noter que si on se réfère à une période d'observation d'une semaine, la valeur du $P_{st99\%}$ est dépassée durant une période d'une heure quarante minutes. Théoriquement, une charge fluctuante pourrait générer un fort flicker de façon continue durant toute cette période et donner lieu à des plaintes. L'expérience a montré que les cycles de fonctionnement de durée similaire se répètent plusieurs fois par semaine et des cycles de fonctionnement inhabituels (fêtes foraines, etc.) qui peuvent se produire une fois par semaine, durent généralement plus de 1,5 h à 2 h.

The compatibility levels for flicker in LV and MV systems are given in table 1.

Table 1 – Compatibility levels for P_{st} and P_{lt} in LV and MV power systems

	Compatibility levels
P_{st}	1,0
P_{lt}	0,8

Planning levels

These are levels that can be used for planning purposes in evaluating the impact on the supply system of all consumer's loads. Planning levels are specified by the supply utility for all voltage levels of the system and can be considered as internal quality objectives. Planning levels are equal to or lower than compatibility levels. Only indicative values may be given because planning levels will differ from case to case, depending on network structure and circumstances. As an example, see the planning levels for P_{st} and P_{lt} presented in table 2.

Table 2 – Indicative values of planning levels for P_{st} and P_{lt} in MV, HV and EHV power systems

	Planning levels	
	MV	HV-EHV
P_{st}	0,9	0,8
P_{lt}	0,7	0,6

NOTES

- 1 These values were chosen on the assumption that the transfer coefficient between MV or HV systems and LV systems is unity.
- 2 In practice, transfer coefficients from HV to LV ($T_{P_{st}HL}$) are often significantly lower than unity. A typical value for $T_{P_{st}HL}$ is 0,8: in such a case, the indicative planning level for HV becomes $L_{P_{st}HV} = 0,8/0,8 = 1,0$.
- 3 The planning levels in table 2 are not intended to control flicker arising from uncontrollable events such as faults in the power system, etc.

The rest of this report outlines procedures for using these planning levels to evaluate connection requirements for individual consumers.

Assessment procedure

Measurements should be carried out according to IEC 868 with a minimum duration of one week. From the P_{st} values measured during the observation week, the Cumulative Probability Functions (CPF) of P_{st} and P_{lt} should be obtained and the percentiles $P_{st95\%}$, $P_{st99\%}$, $P_{lt95\%}$ and $P_{lt99\%}$ should be derived:

- $P_{st99\%}$ should not exceed the planning levels;
- $P_{lt99\%}$ should not exceed the planning levels.

NOTES

- 4 Comparing 99 % to 95 % percentiles may be useful. If the ratio between them is greater than 1,3 one should investigate the reason for the discrepancy. Possible abnormal results (e.g. due to thunderstorms) should then be eliminated.
- 5 It is worth noting that, with reference to an observation period of one week, the percentile $P_{st99\%}$ is exceeded for a total time of 1 h and 40 min. Theoretically, a fluctuating load could generate severe flicker continuously for such a period and cause complaints. Experience has shown that load cycles of similar duration occur many times in a week and uncommon load cycles (for example amusement places, etc.) that might take place once a week, usually last for more than 1,5 h to 2 h.

Les figures 1 et 2 illustrent les concepts de base décrits ci-dessus. Elles sont conçues de manière à mettre en évidence les relations les plus importantes entre les variables de base.

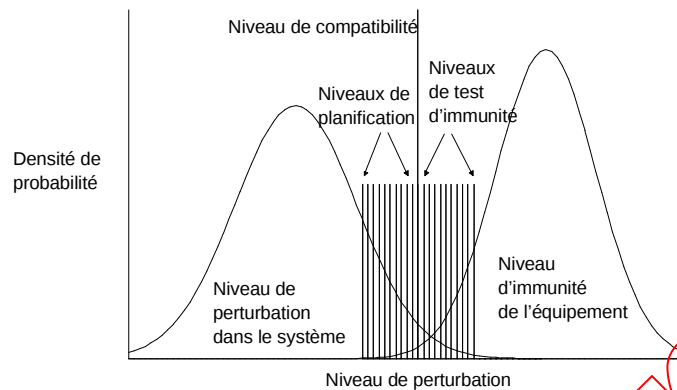


Figure 1 – Illustration des concepts fondamentaux de qualité de la tension au moyen du résultat statistique relatif au temps et en tous les lieux du système

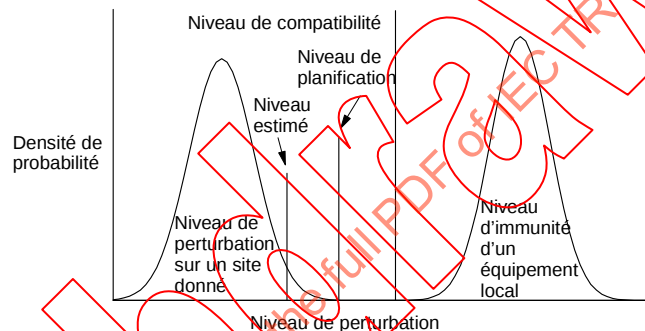


Figure 2 – Illustration des concepts fondamentaux de qualité de la tension au moyen du résultat statistique relatif au temps en un lieu donné

Sur l'ensemble d'un réseau électrique (figure 1), il se produit inévitablement une interférence en certaines occasions et il existe par conséquent un recouvrement significatif entre les répartitions des niveaux de perturbation et d'immunité. Les niveaux de planification sont généralement égaux ou inférieurs au niveau de compatibilité; ils font l'objet de spécifications de la part de l'exploitant du réseau. Les niveaux d'essai d'immunité sont spécifiés par des normes spécifiques ou peuvent également être décidés conjointement par les constructeurs et les utilisateurs.

Sur la plupart des points du réseau d'alimentation, (la figure 2 n'est qu'un exemple), il n'y a pas ou il y a très peu de recouvrement entre les distributions des niveaux de perturbation et d'immunité; le risque d'interférence est alors mineur et les équipements fonctionnent correctement.

Niveaux d'émission

Le niveau d'émission d'une charge fluctuante est le niveau de flicker qui serait causé par la charge sur le réseau s'il n'y avait pas d'autre charge fluctuante. Afin de comparer l'émission de flicker de l'ensemble de la charge de l'utilisateur aux limites d'émission, il convient que la période minimale de mesure soit d'une semaine. Les fonctions de probabilité cumulée (CPF) du P_{sti} et P_{lti} sont obtenues à partir des valeurs de P_{st} mesurées durant la période d'observation et les quantités $P_{st99\%}$ et $P_{lt99\%}$ en sont déduits:

- Il est souhaitable que le $P_{st99\%i}$ ne dépasse pas la limite d'émission E_{psti} ;
- Il est souhaitable que le $P_{lt99\%i}$ ne dépasse pas la limite d'émission E_{Plti} .

Figures 1 and 2 illustrate the basic concepts described above. They are intended to emphasize the most important relationships between the basic variables.

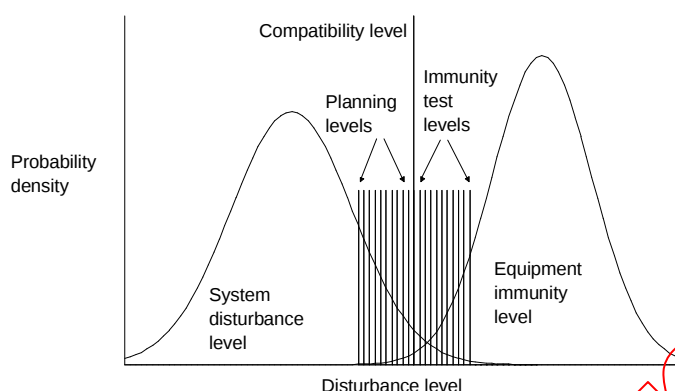


Figure 1 – Illustration of basic voltage quality concepts with time/location statistics covering the whole system

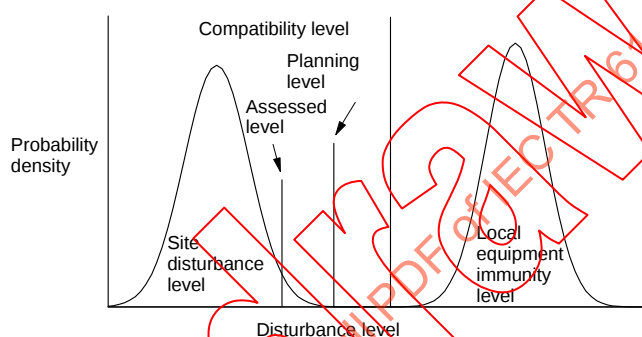


Figure 2 – Illustration of basic voltage quality concepts with time statistics relevant to one site within the whole system

In the whole power system (see figure 1), interference inevitably occurs on some occasions and therefore there is significant overlapping between the distributions of disturbance and immunity levels. Planning levels are generally equal to or lower than the compatibility level; they are specified by the owner of the network. Immunity test levels are specified by relevant standards or agreed upon between manufacturers and users.

At most locations in the power system (figure 2 is just an example), there is no overlap or only a small overlap of disturbance and immunity level distributions; interference is therefore minor and equipment functions satisfactorily.

Emission levels

The emission level from a fluctuating load is the flicker level which would be produced in the power system if no other fluctuating load was present. In order to compare the consumer's total load flicker emission with the emission limits, the minimum measurement period should be one week. From the P_{st} values measured during the observation period, the Cumulative Probability Functions (CPF) of P_{sti} and P_{lti} should be obtained and the percentiles $P_{st99\%i}$ and $P_{lt99\%i}$ should be derived:

- $P_{st99\%i}$ should not exceed the emission limit $E_{P_{sti}}$;
- $P_{lt99\%i}$ should not exceed the emission limit $E_{P_{lti}}$.

En pratique, ces limites d'émission sont généralement évaluées à partir des données disponibles sur la charge et sur le réseau; leur mesure directe est cependant possible.

Dans le cas d'une faible perturbation préexistante, ($P_{st} \leq 0,5$), le niveau de flicker au PCC peut être mesuré dans les deux conditions suivantes:

- avec la charge fluctuante de l'utilisateur connectée
- avec la charge fluctuante de l'utilisateur déconnectée (l'équipement de compensation de l'utilisateur, s'il existe, étant déconnecté).

Il convient de soustraire la deuxième mesure de flicker de la première en utilisant la loi cubique de sommation (voir article 6): ce résultat donne l'émission de flicker conventionnelle de l'utilisateur:

Quand le niveau de P_{st} préexistant au PCC est supérieur à 0,5, comme la méthode précédente peut conduire à de grosses erreurs, il convient d'employer une méthode plus fine. Par exemple, l'émission de flicker par l'utilisateur peut être évaluée en injectant le courant absorbé par l'utilisateur à travers un modèle de l'impédance du réseau électrique. D'autres méthodes sont possibles. Un autre rapport technique sur ce sujet est à l'étude.

4 Principes généraux

L'approche proposée pour évaluer l'acceptabilité de charges déformantes dépend de la puissance souscrite par l'utilisateur, de la puissance du matériel produisant des harmoniques et des caractéristiques du réseau. L'objectif est la limitation de l'injection, en provenance de la charge totale des utilisateurs individuels, à des niveaux n'entraînant pas des niveaux de flicker supérieurs aux niveaux de planification. On définit trois stades d'évaluation que l'on peut utiliser de manière séquentielle ou indépendante.

Stade 1: évaluation simplifiée de l'émission de perturbation

On admet généralement que les utilisateurs installent de petits appareils sans évaluation spécifique de l'émission de flicker par le distributeur d'énergie. Les fabricants de tels appareils sont généralement responsables de la limitation des émissions. Par exemple, la CEI 1000-3-3 est une norme de famille de produits qui définit les limites d'émission de flicker pour des équipements raccordés aux réseaux BT. Il n'existe usuellement pas de norme d'émission concernant les équipements MT pour les raisons suivantes:

- la moyenne tension va de 1 kV à 35 kV;
- aucune impédance de référence n'a été définie de manière internationale pour les réseaux moyenne tension.

Même en l'absence d'une impédance de référence, on peut définir des critères d'acceptation quasi automatique des utilisateurs sur le réseau MT (et même sur le réseau HT). Si l'ensemble de la charge fluctuante ou la puissance souscrite de l'utilisateur est petite comparée à la puissance de court-circuit au PCC, il peut être inutile de faire une analyse détaillée.

L'article 6 développe des critères particuliers pour l'application du stade 1.

In practice, these emission levels are generally assessed from the available data concerning the load and the system; their direct measurement is however possible.

In the case of a low background disturbance ($P_{st} \leq 0,5$) the flicker level at the PCC should be measured for the following two conditions:

- with the fluctuating load of the consumer connected;
- with the fluctuating load and any compensating equipment of the consumer disconnected.

The second flicker value should be subtracted from the first one using the cubic summation law (see clause 6). This method gives the conventional flicker emission of the user:

When the existing P_{st} level at the PCC is higher than 0,5, a more refined method should be used, as the previous method can lead to gross errors. For example, the net flicker emission of the user can be evaluated by simulating the injection of the consumer's load current into a model of the supply system. Several other methods are possible. Another technical report on this subject is under consideration.

4 General principles

The proposed approach for evaluating the acceptability of fluctuating loads depends on the agreed power of the consumer, the power of the flicker-generating equipment, and the system characteristics. The objective is to limit the injection from the total load of individual consumers to levels that will not result in flicker levels that exceed the planning levels. Three stages of evaluation are defined, which may be used in sequence or independently.

Stage 1: simplified evaluation of disturbance emission

It is generally acceptable for consumers to install small appliances without specific evaluation of flicker emission by the supply company. Manufacturers of such appliances are generally responsible for limiting the emissions. For instance, IEC 1000-3-3 is a product family standard which defines emission limits of flicker for equipment connected to LV systems. There are currently no emission standards for MV equipment for the following reasons:

- medium voltage varies between 1 kV and 35 kV;
- no reference impedance has been internationally defined for medium-voltage systems.

Even without a reference impedance, it is possible to define criteria for quasi-automatic acceptance of consumers on the MV system (and even HV system). If the total fluctuating load, or the consumer's agreed power, is small relative to the short-circuit capacity at the PCC, it should not be necessary to carry out detailed evaluation.

In clause 6, specific criteria are developed for applying stage 1 evaluation.

Stade 2: limites d'émission proportionnelles à la puissance souscrite de l'utilisateur

Si une charge ne satisfait pas aux critères du stade 1, il convient d'évaluer les caractéristiques particulières du matériel générateur de fluctuations en même temps que la capacité d'absorption du réseau. La capacité d'absorption du réseau est liée aux niveaux de planification et est partagée entre les utilisateurs individuels en fonction de leur puissance rapportée à la puissance totale disponible du réseau. Au niveau moyenne tension, on doit également tenir compte du niveau de perturbation provenant des réseaux à tension plus élevée lors de la répartition des niveaux de planification aux utilisateurs individuels.

Par principe, dans une telle approche, si le réseau est à pleine charge et si tous les consommateurs injectent à raison de leurs limites individuelles, le niveau total des perturbations est égal au niveau de planification. L'article 7 décrit une procédure de partage du niveau de planification entre les utilisateurs individuels.

Stade 3: acceptation de niveaux plus élevés sur une base exceptionnelle et précaire

Dans des cas particuliers, un utilisateur peut souhaiter pouvoir émettre des perturbations au delà des limites de base (stade 2). L'utilisateur et le distributeur peuvent décider d'un raccordement dans des conditions particulières, ce qui rendra nécessaire une étude précise des caractéristiques actuelles et futures du réseau afin de déterminer ces conditions particulières.

NOTE – Les limites d'émission obtenues par l'application des méthodes recommandées aux articles 6 et 7 sont conçues pour limiter les niveaux de flicker au dessous des niveaux de planification. L'application d'autres méthodes recommandées à l'article 8 est destinée à limiter l'amplitude des variations rapides de tension.

Responsabilités

L'utilisateur est responsable du maintien des émissions qu'il produit au PCC en dessous des limites spécifiées par le distributeur. Le distributeur est responsable du contrôle global des niveaux de perturbation sous les conditions normales d'exploitation, conformément aux règles nationales.

Le distributeur doit fournir les caractéristiques du réseau qui permettent les évaluations nécessaires. La procédure d'évaluation (voir figure 3) est conçue de manière à ce que les émissions de flicker provenant des utilisateurs ne provoquent pas de dépassement des niveaux de planification et de compatibilité de l'ensemble du réseau. Toutefois, on ne garantit pas que l'approche recommandée évitera dans tous les cas le dépassement de ces niveaux.

Enfin, il convient que le distributeur et l'utilisateur coopèrent lorsque cela est nécessaire pour identifier la méthode optimale permettant de réduire les émissions. L'étude et le choix liés à la méthode demeurent de la responsabilité de l'utilisateur.

Stage 2: emission limits proportional to the agreed power of the consumer

If a load does not meet stage 1 criteria, the specific characteristics of the flicker generating equipment should be evaluated along with the absorption capacity of the system. The absorption capacity of the system is derived from the planning levels and is apportioned to individual consumers according to their demand with respect to the total system capacity. At medium voltage, the disturbance level derived from higher voltage systems should also be considered when apportioning the planning levels to individual consumers.

The principle of this approach is that, if the system is fully loaded and all consumers are injecting up to their individual limits, the total disturbance levels will be equal to the planning levels. A procedure for apportioning the planning levels to individual consumers is outlined in clause 7.

Stage 3: acceptance of higher emission levels on an exceptional and precarious basis

Under special circumstances, a consumer may require to emit more disturbances beyond the basic limits (stage 2) allowed. The parties concerned, i.e. consumer and utility may agree on the connection with special conditions and a careful study of the actual and future system characteristics has to be carried out in order to determine these special conditions.

NOTE – Emission limits obtained from the application of the methods recommended in clauses 6 and 7 are intended to keep flicker levels below the planning levels. The application of other methods recommended in clause 8 is intended to limit the magnitude of rapid voltage change.

Responsibilities

The consumer is responsible for maintaining his emissions at the PCC below the limits specified by the utility. The utility is responsible for the overall control of disturbance levels under normal operating conditions in accordance with national requirements.

The utility has to provide network data for evaluation purposes. The evaluation procedure (see figure 3) is designed in such a way that the flicker emissions from the consumers do not cause the overall system flicker levels to exceed the planning and compatibility levels. However, there is no guarantee that the recommended approach will always avoid exceeding the levels.

Finally, the utility and consumer should cooperate when necessary in the identification of the optimum method to reduce emissions. The design and choice of method for such reduction are the responsibility of the consumer.

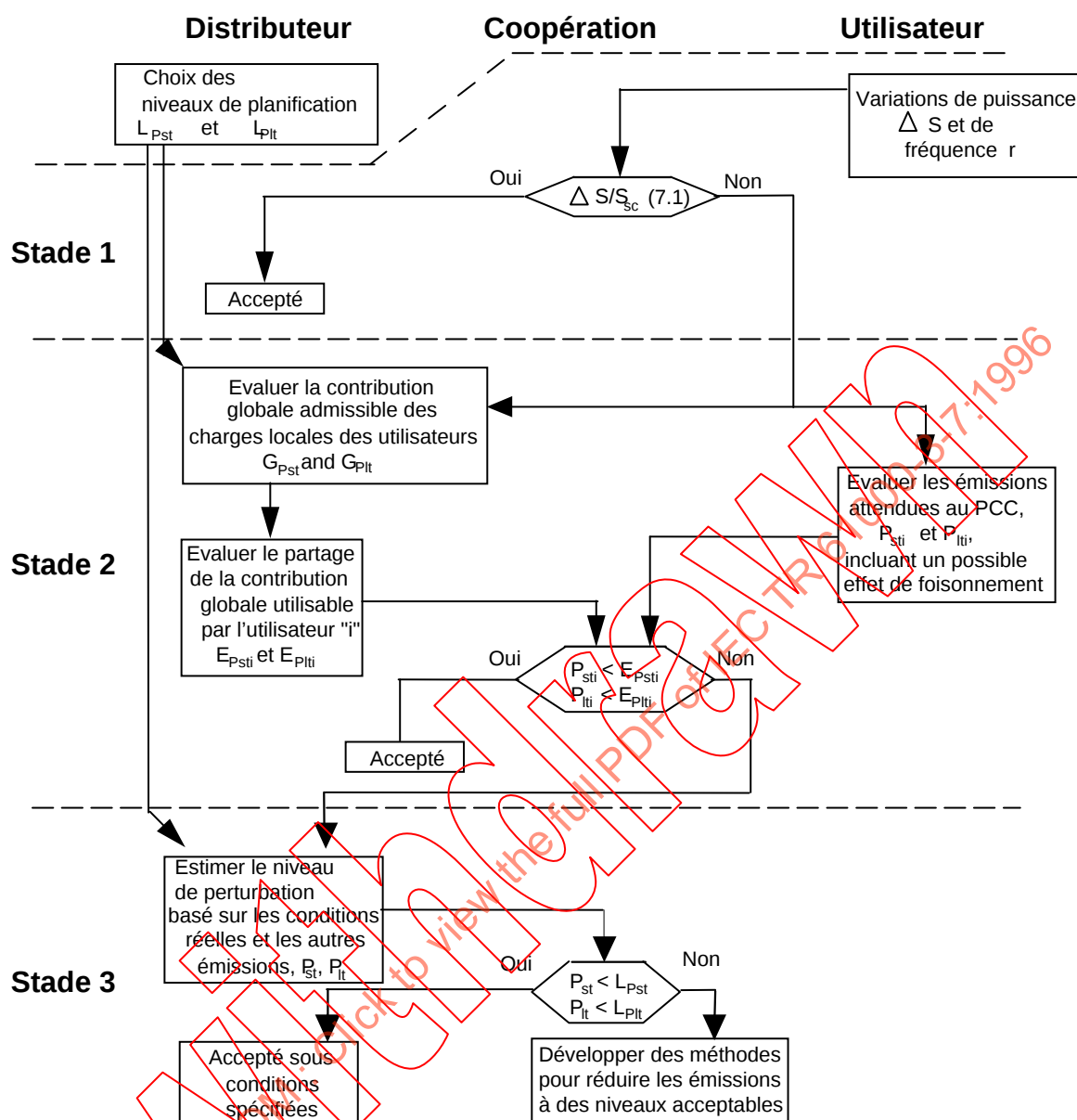


Figure 3 – Diagramme de la procédure d'évaluation

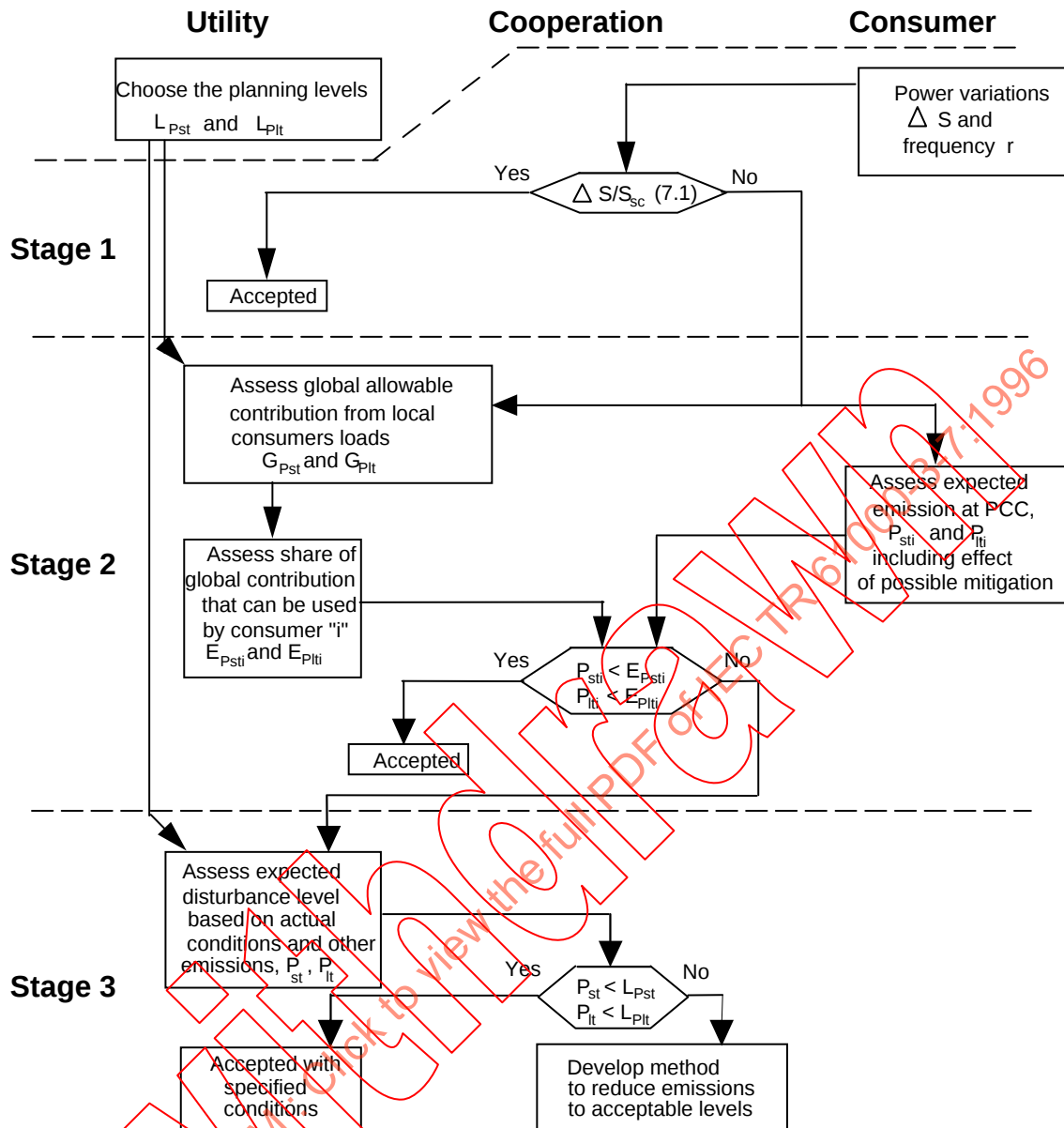
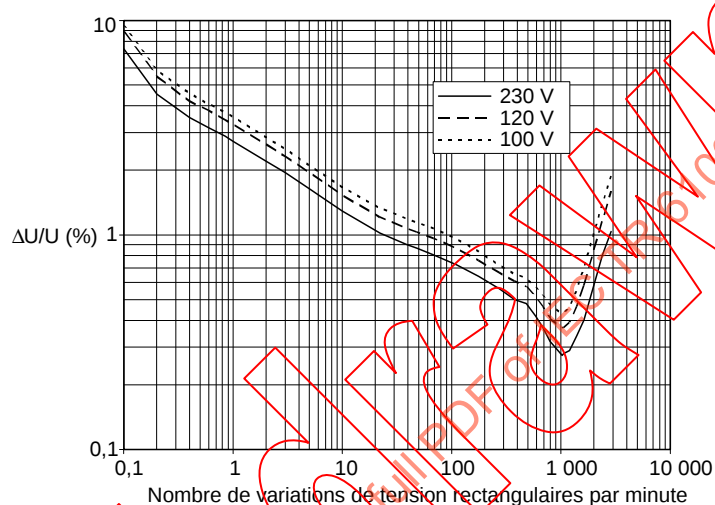


Figure 3 – Diagram of evaluation procedure

5 Méthode générale d'évaluation des niveaux d'émission

Il convient que le calcul anticipé des niveaux de fluctuation représente le pire cas dans des conditions de service normales, en autorisant la production journalière et saisonnière ainsi que des variations de charge en vue de futures extensions ou modifications du réseau et de certaines conditions d'indisponibilités programmées susceptibles de durer longtemps. On trouvera des indications plus détaillées concernant le calcul des niveaux d'émission dans l'alimentation électrique des installations industrielles dans une autre publication de la CEI [1]¹⁾.

Cependant, des méthodes simplifiées de prédétermination du niveau de flicker sont données dans le présent rapport (voir annexe A). Ils sont fondés sur la courbe « $P_{st} = 1$ » (figure 4 et tableau 3), qui est valide pour les variations de tension rectangulaires et qui présente des valeurs légèrement différentes selon la tension du réseau de distribution BT considéré [2].



NOTE – Deux variations de tension consécutives (une positive et une négative) constituent un cycle. Ainsi, 1 Hz correspond à deux variations par seconde.

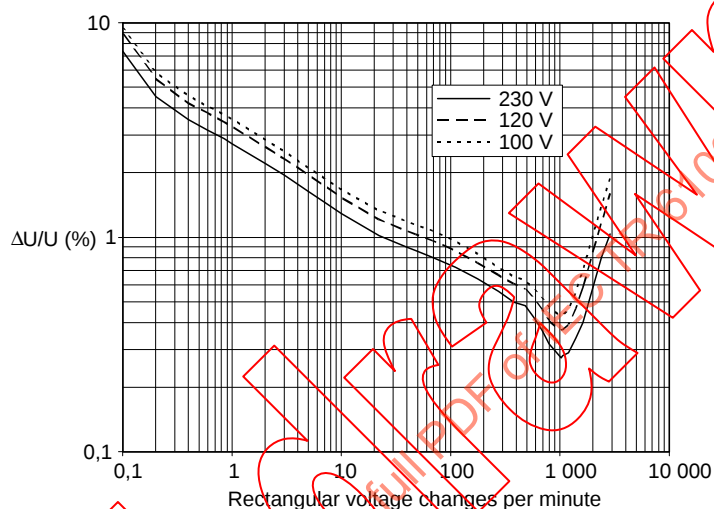
Figure 4 – Courbe $P_{st} = 1$ pour des variations de tension rectangulaires

¹⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie (annexe E).

5 General guidelines for the assessment of emission levels

Prediction of flicker levels should relate to the worst case under normal operating conditions, allowing for daily and seasonal production and load variations, for future additions or changes planned for the network and for some planned outage conditions that may last for a long period of time. More details on the assessment of the emission levels in the power supply of industrial plants may be found in another IEC publication [1]¹⁾.

However, some simplified prediction methods for flicker severity are given in this report, see annex A. They are based on the “ $P_{st} = 1$ curve” (figure 4 and table 3), which is valid for regular rectangular voltage changes and which has different characteristics according to the voltage of the LV distribution system of interest [2].



NOTE – Two consecutive voltage changes (one positive and one negative) constitute one “cycle”, i.e. two voltage changes per second mean a 1 Hz fluctuation.

Figure 4 – $P_{st} = 1$ curve for regular rectangular voltage changes

¹⁾ Figures in square brackets refer to the bibliography given in annex E.

Tableau 3 – $P_{st} = 1$ pour des variations rectangulaires de tension

r min ⁻¹	$\Delta U/U$ (%)		
	230 V	120 V	100 V
0,1	7,364	8,905	9,488
0,2	4,545	5,501	5,889
0,4	3,537	4,216	4,596
0,6	3,155	3,814	4,095
0,84	2,894	3,454	3,751
1	2,724	3,283	3,57
2	2,211	2,659	2,859
3	1,95	2,334	2,523
5	1,64	1,957	2,115
7	1,459	1,741	1,887
10	1,29	1,536	1,674
22	1,02	1,212	1,337
39	0,906	1,077	1,193
48	0,87	1,032	1,147
68	0,81	0,967	1,076
110	0,725	0,868	0,964
176	0,64	0,764	0,841
273	0,56	0,671	0,728
375	0,5	0,611	0,661
480	0,48	0,576	0,629
585	0,42	0,517	0,575
682	0,37	0,461	0,523
796	0,32	0,409	0,472
1020	0,275	0,37	0,431
1055	0,28	0,372	0,434
1200	0,29	0,393	0,463
1390	0,34	0,464	0,554
1620	0,402	0,581	0,701
2400	0,81	1,171	1,41
2875	1,04	1,602	1,905

6 Effets de sommation

On a découvert une relation générale de combinaison pour la sévérité de flicker à court terme provoquée par diverses charges sous la forme suivante, où P_{stij} représente les divers niveaux individuels de sévérité de flicker à combiner:

$$P_{st} = \sqrt[m]{\sum_i P_{stij}^m} \quad (2)$$

Des études précédentes ont montré que la valeur du coefficient m à utiliser dépend des caractéristiques de la source principale de fluctuations et peut être classée en cinq catégories, indiquées ci-après:

- $m = 4$: utilisée seulement pour la sommation des variations de tension dues à des fours à arc exploités principalement pour éviter des fusions simultanées;
- $m = 3$: utilisée pour la plupart des types de variations de tension où le risque de tensions simultanées est faible. La grande majorité des études combinant des perturbations isolées entrera dans cette catégorie que l'on utilisera en cas de doute sur l'ampleur du risque de variations de tensions simultanées;
- $m = 3,2$: ce choix coïncide avec la pente de la partie rectiligne de la courbe $P_{st} = 1$ (figure 4);
- $m = 2$: utilisé dans le cas où un bruit stochastique coïncident est possible par exemple des fusions simultanées sur des fours à arc;
- $m = 1$: le P_{st} résultante sera voisin de la valeur donnée par ce coefficient lorsqu'il existe une très forte occurrence de variations de tensions coïncidentes.

Table 3 – $P_{st} = 1$ for regular rectangular voltage changes

r min ⁻¹	$\Delta U/U$ (%)		
	230 V	120 V	100 V
0,1	7,364	8,905	9,488
0,2	4,545	5,501	5,889
0,4	3,537	4,216	4,596
0,6	3,155	3,814	4,095
0,84	2,894	3,454	3,751
1	2,724	3,283	3,57
2	2,211	2,659	2,859
3	1,95	2,334	2,523
5	1,64	1,957	2,115
7	1,459	1,741	1,887
10	1,29	1,536	1,674
22	1,02	1,212	1,337
39	0,906	1,077	1,193
48	0,87	1,032	1,147
68	0,81	0,967	1,076
110	0,725	0,868	0,964
176	0,64	0,764	0,841
273	0,56	0,671	0,728
375	0,5	0,611	0,661
480	0,48	0,576	0,629
585	0,42	0,517	0,575
682	0,37	0,461	0,523
796	0,32	0,409	0,472
1020	0,275	0,37	0,431
1055	0,28	0,372	0,434
1200	0,29	0,393	0,463
1390	0,34	0,464	0,554
1620	0,402	0,581	0,701
2400	0,81	1,171	1,41
2875	1,04	1,602	1,905

6 Summation effects

A general combination relationship for short-term flicker severity caused by various loads has been found in the following form, where P_{stj} are the various individual levels of flicker severity to be combined:

$$P_{st} = \sqrt[m]{\sum_i P_{stj}^m} \quad (2)$$

Early studies showed that the value of the coefficient m to use depends on the characteristics of the main source of fluctuation and can be classified in five categories given below:

- $m = 4$: used only for the summation of voltage changes due to arc furnaces specifically run to avoid coincident melts;
- $m = 3$: this is used for most types of voltage changes where the risk of coincident voltage occurring is small. The vast majority of studies combining unrelated disturbances will fall into this category and it should be used whenever there is doubt over the magnitude of the risk of coincident voltage changes occurring;
- $m = 3,2$: this choice matches the slope of the straight part of the $P_{st} = 1$ curve (see figure 4);
- $m = 2$: this is used where coincident stochastic noise is likely to occur, for example coincident melts on arc furnaces;
- $m = 1$: the resultant P_{st} will approach the value given by this coefficient when there is a very high occurrence of coincident voltage changes.

Des études récentes ont montré que la loi de sommation qui convient le mieux aux résultats de mesure dépend de la valeur du P_{st} qui est utilisée pour l'évaluation. Dans le cas de deux foudres à arc, par exemple, une étude a montré qu'il faut retenir $m \approx 1$ pour $P_{st50\%}$, $m \approx 2$ pour $P_{st75\%}$, $m \approx 3$ pour $P_{st90\%}$, $m \approx 4$ pour $P_{st99\%}$. Le même cas a donné $m \approx 3$ pour $P_{lt99\%}$.

En général, une valeur de $m = 3$ («loi de sommation cubique») est utilisée largement depuis des années. On estime qu'elle donne une marge de sécurité et elle est généralement acceptée. Cette valeur est utilisée dans la suite du rapport pour la sommation des P_{st} de même que pour les P_{lt} ¹⁾:

$$P_{st} = \sqrt[3]{\sum_i P_{sti}^3} \quad (3)$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_i P_{lti}^3} \quad (4)$$

7 Limites d'émission des charges fluctuantes dans les réseaux MT

7.1 Stade 1: évaluation simplifiée de l'émission de perturbation

Au stade 1, le raccordement de petites charges peut être accordé sans évaluation détaillée des caractéristiques d'émission ou de la réponse du réseau d'alimentation.

NOTE – Pour les équipements BT, voir la CEI 1000-3-3 (courant d'entrée $\leq 16A$ /phase) ou la CEI 1000-3-5 (courant d'entrée $> 16A$ /phase).

1) Puisque la loi de sommation cubique est acceptée, il est souvent intéressant de remplacer le P_{st} par l'indicateur de sévérité équivalent A_{st} de telle sorte que: $A_{st} = P_{st}^3$ afin de simplifier les calculs. Différents pays utilisent systématiquement A_{st} au lieu de P_{st} dans un but de simplicité. Cette substitution fournit une relation linéaire pour l'évaluation de la perturbation totale A_{stt} générée par des sources de flicker multiples:

$$A_{st} = \sum_i A_{sti}$$

En outre, si l'on tient compte du fait que l'on obtient la sévérité des fluctuations à long terme sous forme de racine carrée de la moyenne des valeurs P_{st} au cube rencontrées au cours de la période d'observation, on peut alors exprimer la sévérité à long terme à l'aide d'un indicateur équivalent A_{lt} en plaçant:

$$A_{lt} = P_{lt}^3 = \sum_i P_{sti}^3 / N = \sum_i A_{sti} / N$$

Ainsi, l'utilisation des indicateurs de sévérité équivalents simplifie également le calcul de la sévérité à long terme, qui devient ainsi une simple moyenne des valeurs à long terme et la sommation linéaire est aussi applicable lors de l'évaluation de la sévérité équivalente à long terme A_{ltt} provoquée par plusieurs sources:

$$A_{ltt} = \sum_i A_{lti}$$

Il faut également se rappeler que A_{st} ne se rapporte pas à une variation de tension relative de manière linéaire, contrairement à P_{st} , de telle sorte que l'utilité de deux indicateurs de sévérité varie en fonction du problème considéré. Si l'on exprime les niveaux de compatibilité et les niveaux cibles en termes de A_{st} et A_{lt} , on obtient:

Tableau 1' – Niveaux de compatibilité pour A_{st} et A_{lt} sur les réseaux BT et MT.

	Niveaux de compatibilité
A_{st}	1,0
A_{lt}	0,5

Tableau 2' – Valeurs indicatives des niveaux de planification pour A_{st} et A_{lt} sur les réseaux MT, HT, THT.

	Niveaux de planification	
	MT	HT et THT
A_{st}	0,75	0,5
A_{lt}	0,3	0,2

NOTE – Ces valeurs ont été choisies en supposant que le coefficient de transfert entre la MT, la HT d'un côté et la BT de l'autre côté est voisin de l'unité.

Recent studies have shown that the summation law which best fits measurement results depends on the P_{st} percentile which is used for the evaluation. In a two-arc furnace case, for example, a study showed $m \approx 1$ for $P_{st50\%}$, $m \approx 2$ for $P_{st75\%}$, $m \approx 3$ for $P_{st90\%}$ and $m \approx 4$ for $P_{st99\%}$. The same case showed $m \approx 3$ for $P_{lt99\%}$.

In general, a value of $m = 3$ ("cubic summation law") has been largely used for years. It has been found to give conservative results and is generally accepted. This value is used in this report for P_{st} as well as for P_{lt} summation¹⁾:

$$P_{st} = \sqrt[3]{\sum_i P_{sti}^3} \quad (3)$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_i P_{lti}^3} \quad (4)$$

7 Emission limits for fluctuating loads in MV systems

7.1 Stage 1: simplified evaluation of disturbance emission

In stage 1, the connection of small loads can be approved without detailed evaluation of the emission characteristics or the supply system response.

NOTE – For LV equipment, see IEC 1000-3-3 (input current $\leq 16A$ /phase) or IEC 1000-3-5 (input current $> 16A$ /phase).

1) As the cubic summation law is accepted, it is often convenient to replace P_{st} by the equivalent severity indicator A_{st} , such that: $A_{st} = P_{st}^3$ in order to simplify the calculations. Several countries systematically use A_{st} instead of P_{st} for the sake of simplicity. This substitution gives a linear relationship for the evaluation of the total disturbance A_{st} generated by multiple flicker sources:

$$A_{st} = \sum_i A_{sti}$$

Moreover, taking into account the fact that the long-term flicker severity is obtained as a cube root of the average of the cube P_{st} values occurring during the observation period, the long-term severity can also be expressed by an equivalent indicator A_{lt} by placing:

$$A_{lt} = P_{lt}^3 = \sum_i P_{sti}^3 / N = \sum_i A_{sti} / N$$

The use of the equivalent severity indicators thus simplifies also the calculation of the long-term severity, which then becomes a simple average of the short-term values and the linear summation also applies for the evaluation of the long-term equivalent severity A_{lt} caused by several sources:

$$A_{lt} = \sum_i A_{lti}$$

It should also be remembered that A_{st} is not linearly related to a relative voltage change, as P_{st} is, so that the usefulness of the two severity indicators changes according to the problem considered.

Expressing the compatibility levels and the planning levels in terms of A_{st} and A_{lt} gives:

Table 1' – Compatibility levels for A_{st} and A_{lt} in LV and MV power systems

	Compatibility levels
A_{st}	1,0
A_{lt}	0,5

Table 2' – Indicative values of planning levels for A_{st} and A_{lt} in MV, HV and EHV power systems

	Planning levels	
	MV	HV-EHV
A_{st}	0,75	0,5
A_{lt}	0,3	0,2

NOTE – These values were chosen with the assumption that the transfer coefficient between MV respectively HV on the one side and LV on the other side is about unity.

On peut accepter le raccordement d'une charge fluctuante sans autre analyse si les variations de puissance ΔS entrent dans les limites ci-dessous au PCC. Ces limites sont fonction du nombre r de variations de tension par minute (une chute de tension suivie d'un rétablissement représente deux variations de tension):

Tableau 4 – Limites du stade 1 pour les variations de puissance en fonction du nombre de variations par minute

r min^{-1}	$K=(\Delta S / S_{sc})_{\max}$ (%)
$r > 200$	0,1
$10 \leq r \leq 200$	0,2
$r < 10$	0,4

NOTE – Les variations de puissance ΔS peuvent être inférieures, égales ou supérieures à la puissance assignée S_N du matériel considéré (par exemple, pour un moteur, on doit tenir compte de la puissance apparente au démarrage et elle peut être équivalente à $\Delta S \approx 3-8 S_N$).

7.2 Stade 2: limite d'émission proportionnelle à la puissance souscrite de l'utilisateur

Le stade 2 permet le partage de l'émission totale de flicker autorisée entre les utilisateurs raccordés à un réseau commun d'alimentation.

La propagation des perturbations dues aux fluctuations sur un réseau électrique radial obéit à des lois très simples:

- Les valeurs de flicker existant à un niveau de tension donné seront transférées en totalité aux parties de réseau à une tension inférieure avec une certaine atténuation (coefficient de transfert quelque peu inférieur à 1, par exemple 0,8).¹⁾
- Les niveaux de défaut augmentant avec la tension et la coïncidence des variations de tension étant peu élevée, on peut considérer comme négligeable la contribution au flicker des réseaux de tension inférieure vers les réseaux de tension plus élevée (coefficient de transfert égal à 0).

¹⁾ Un coefficient de transfert de 0,8 pour le P_{st} ou le P_{lt} signifie $0,8^3 = 0,5$ pour A_{st} ou A_{lt} .

The connection of a fluctuating load may be accepted without further analysis if the power variations ΔS are within the following limits at the PCC. Those limits depend on the number r of voltage changes per minute (a voltage drop followed by a recovery means two voltage changes):

Table 4 – Stage 1 limits for the relative power variations in function of the number of variations per minute

r min^{-1}	$K=(\Delta S / S_{sc})_{\max}$ (%)
$r > 200$	0,1
$10 \leq r \leq 200$	0,2
$r < 10$	0,4

NOTE – The power variations ΔS may be lower, equal or higher than the rated power S_N of the considered equipment (e.g. for a motor, account should be taken of the apparent power at starting and it may be $\Delta S \approx 3\text{--}8 S_N$).

7.2 Stage 2: emission limits proportional to the agreed power of the consumer

Stage 2 enables the sharing of the total allowed flicker emission between the users connected to a common supply system.

The propagation of flicker disturbances in a radial power system follows quite simple laws:

- The flicker values present at a given voltage level will be fully transferred to the parts of the system at a lower voltage with some attenuation (transfer coefficient somewhat lower than 1, e.g. 0,8).¹⁾
- Due to the increase of fault levels with that of voltages and to the low coincidence of voltage changes, flicker contributions from lower to higher voltage systems can be considered practically negligible (transfer coefficient equal to 0).

¹⁾ A transfer coefficient of 0,8 for P_{st} or P_{lt} values means $0,8^3 = 0,5$ for A_{st} or A_{lt} values.

7.2.1 Emission globale à partager entre les utilisateurs

En premier lieu, il est nécessaire d'appliquer l'équation (3) ou (4) pour déterminer la contribution globale de l'ensemble des charges fluctuantes alimentées par ce réseau MT. Le niveau réel de flicker sur un réseau MT résulte de la combinaison du niveau de flicker provenant du réseau HT en amont et du niveau de flicker résultant de l'ensemble des charges fluctuantes raccordées au réseau MT. Ce niveau de flicker réel ne doit pas dépasser le niveau de planification du réseau MT.

Si l'on appelle:

- G_{PstMV} la contribution globale maximale des charges locales au niveau de flicker sur le réseau MT (exprimées en termes de P_{st});
- L_{PstMV} le niveau de planification du niveau de flicker sur le réseau MT;
- L_{PstHV} le niveau de planification du niveau de flicker sur le réseau HT en amont;
- T_{PstHM} le coefficient de transfert entre le réseau HT en amont et le réseau MT,

l'application de l'équation (3) donne¹⁾

$$G_{PstMV} = \sqrt[3]{L_{PstMV}^3 - T_{PstHM}^3 \cdot L_{PstHV}^3} \quad (5)$$

et, de même pour l'équation (4)

$$G_{PitMV} = \sqrt[3]{L_{PitMV}^3 - T_{PitHM}^3 \cdot L_{PitHV}^3} \quad (6)$$

On a appliqué, à des fins d'illustration, les équations (5) et (6) au cas particulier d'un réseau MT en supposant que le coefficient de transfert (T_{HM}) du réseau HT en amont est égal à 0,8 et que les niveaux de planification sur les réseaux HT et MT sont ceux donnés au tableau 2. Les résultats figurent au tableau 5²⁾.

Tableau 5 – Contribution globale admissible des charges MT aux niveaux de flicker MT, le coefficient de transfert à partir du réseau HT étant supposé égal à 0,8

G_{PstMV}	G_{PitMV}
0,79	0,63
NOTE – $T_{HM} = 0,8$ pour P_{st} ou P_{it} représente un ordre de grandeur habituel pour ce coefficient de transfert alors que T_{ML} demeure généralement proche de l'unité ($T_{ML} \approx 0,95$.)	

1) En terme d' A_{st} et A_{it} , les mêmes équations sont linéaires:

$$G_{AstMV} = L_{AstMV} - T_{AstHM} \cdot L_{AstHV} \quad (5')$$

$$G_{AitMV} = L_{AitMV} - T_{AitHM} \cdot L_{AitHV} \quad (6')$$

2) En termes d' A_{st} et d' A_{it} , le coefficient de transfert correspondant est $T_{HM} = 0,5$ et le tableau 7.2 devient:

Tableau 5'- Exemple de contribution globale acceptable pour les charges MT au niveau de flicker MT si le coefficient de transfert à partir du réseau HT est supposé égal à 0,5

G_{AstMV}	G_{AitMV}
0,50	0,25

7.2.1 Global emission to be shared between the consumers

Firstly an application of equation (3) or (4) is necessary to determine the global contribution from all the fluctuating loads which are fed by this MV system. The actual flicker level in a MV system results from the combination of the flicker level coming from the upstream HV system and of the flicker level resulting from all fluctuating loads connected to the MV system. This actual flicker level should not exceed the planning level of the MV system.

Calling:

- G_{PstMV} the maximum global contribution of the local loads to the flicker level in the MV system (expressed in terms of P_{St});
- L_{PstMV} the planning level of the flicker level in the MV system;
- L_{PstHV} the planning level of the flicker level in the upstream HV system;
- T_{PstHM} the transfer coefficient from the upstream HV system to the MV system,

the application of equation (3) gives:¹⁾

$$G_{PstMV} = \sqrt[3]{L_{PstMV}^3 - T_{PstHM}^3 \cdot L_{PstHV}^3} \quad (5)$$

and similarly, from equation (4):

$$G_{PitMV} = \sqrt[3]{L_{PitMV}^3 - T_{PitHM}^3 \cdot L_{PitHV}^3} \quad (6)$$

For illustration purposes, equations (5) and (6) have been applied in the particular case of a MV system, assuming that the transfer coefficient (T_{HM}) from the upstream HV system is equal to 0,8 and assuming that the planning levels in the HV and MV systems are those of table 2. The results are given in table 5.²⁾

Table 5 – Example of acceptable global contribution of the MV loads to the MV flicker levels if the transfer coefficient from the HV system is supposed to be 0,8

G_{PstMV}	G_{PitMV}
0,79	0,63
NOTE – $T_{HM} = 0,8$ for P_{St} or P_{It} is a usual order of magnitude for this transfer coefficient, whilst T_{ML} usually remains close to unity ($T_{ML} \approx 0,95$).	

¹⁾ In terms of A_{St} and A_{It} , the same equations are linear:

$$G_{AstMV} = L_{AstMV} - T_{AstHM} \cdot L_{AstHV} \quad (5')$$

$$G_{AitMV} = L_{AitMV} - T_{AitHM} \cdot L_{AitHV} \quad (6')$$

²⁾ In terms of A_{St} and A_{It} , the corresponding transfer coefficient is $T_{HM} = 0,5$ and table 7.2 becomes:

Table 5' – Example of acceptable global contribution of the MV loads to the MV flicker levels if the transfer coefficient from the HV system is supposed to be 0,5

G_{AstMV}	G_{AitMV}
0,50	0,25

7.2.2 Limites d'émission individuelles

Pour chaque utilisateur d'un réseau d'alimentation donné, seule une partie de l'émission globalement admissible peut être autorisée en raison de la présence d'autres utilisateurs. On peut déterminer cette partie en fonction du rapport entre sa puissance souscrite S_i ($S_i = P_i / \cos \phi_i$) et la puissance totale des charges directement alimentées en MT, à la saturation du système, S_{MV} . On a choisi ce critère car la puissance souscrite est représentative de l'utilisation de l'alimentation et se rapporte ainsi à une partie correspondante du coût d'investissement du réseau électrique.

La relation entre la capacité d'alimentation et l'impédance équivalente du réseau n'est, normalement, pas constante lorsqu'elle se déplace le long des lignes d'un réseau de distribution, alors qu'elle est facilement connue au jeu de barres d'un transformateur d'alimentation. Toutefois, le rapport S_i/S_{MV} semble un critère équitable d'attribution d'un partage d'émission de flicker à chaque utilisateur.

Selon ce concept, un utilisateur sera autorisé à partager non seulement la capacité d'un réseau pour alimenter ses charges, mais également sa capacité à accepter l'émission de perturbations jusqu'au niveau de planification. Il sera alors possible de coordonner les émissions.

De plus, toutes les charges fluctuantes MT ne doivent pas être en usage simultanément, de telle façon qu'un facteur de coïncidence $F_{MV} \neq 1$ puisse être introduit (les valeurs typiques de F_{MV} sont 0,2 et 0,3).

Si l'on tient compte de la loi de sommation recommandée (équations (3) et (4)), les limites individuelles d'émission deviennent alors:¹⁾

$$E_{Psti} = G_{PstMV} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{MV}}} \cdot \frac{1}{F_{MV}} \quad (7)$$

$$E_{Plti} = G_{PltMV} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{MV}}} \cdot \frac{1}{F_{MV}} \quad (8)$$

NOTES

1 Il peut arriver que le niveau de fond (B_{PstMT}) soit plus élevé que la part normale (la «part normale» étant proportionnelle à $\sqrt[3]{(S_{MV} - S_i)/S_{MV}}$) et doit être pris en compte pour éviter de dépasser le niveau de planification. Dans la formule (5) (ou également la formule (6)) concernant la fluctuation à long terme, il faut alors remplacer L_{PstMV} par $\sqrt[3]{L_{PstMV}^3 - B_{PstMV}^3}$.

2 Pour des utilisateurs dont la puissance autorisée est comparativement faible, l'approche ci-dessus peut entraîner des limitations trop strictes. On suggère, pour contourner ce problème, de consentir dans tous les cas certains niveaux d'émission minimum pour des sévérités de flicker à court et long terme. Le tableau 6 donne ces valeurs de base:³⁾

Tableau 6 – Niveaux d'émission de base

E_{Psti}	E_{Plti}
0,35	0,25

1) En termes de A_{St} et A_{It} , les équations deviennent:

$$E_{Asti} = G_{AstMV} \cdot \frac{S_i}{S_{MV}} \cdot \frac{1}{F_{MV}} \quad (7')$$

$$E_{Alt i} = G_{AltMV} \cdot \frac{S_i}{S_{MV}} \cdot \frac{1}{F_{MV}} \quad (8')$$

2) Ou, plus simplement, L_{AstMV} doit être remplacé par $(L_{AstMV} - B_{AstMV})$.

3) En termes d' A_{St} et d' A_{It} , ce tableau devient:

Tableau 6' – Niveaux d'émission de base

E_{Asti}	$E_{Alt i}$
0,05	0,02

7.2.2 Individual emission limits

For each user in a given supply system, only a part of the globally acceptable emission may be allowed, due to the presence of other users. This share can be determined according to the ratio between his agreed power S_i ($S_i = P_i / \cos\phi_i$) and the total power of the loads directly supplied at MV, at saturation of the system, S_{MV} . This criterion has been chosen because the agreed power is representative of the usage of the supply and thus it is also related to a corresponding share in the investment costs of the power system.

The relationship between supply capacity and network equivalent impedance is not normally constant when moving along the lines of a distribution system, whilst it is easily derived at the busbars of a supply transformer. However, the S_i/S_{MV} ratio appears to be an equitable criterion to assign to each user an allowed share of flicker emission.

According to this concept a user will be allowed to share not only the capacity of a network to supply his loads, but also its capacity to accept the emission of disturbances up to the planning level, and a coordination of emission will be possible.

Furthermore, all MV fluctuating loads may not be in simultaneous use, so that a coincidence factor $F_{MV} \neq 1$ may be introduced (typical values of F_{MV} are 0,2 to 0,3).

Taking account of the recommended summation law (equations (3) and (4)) the individual emission limits are then:¹⁾

$$E_{Psti} = G_{PstMV} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{MV}} \cdot \frac{1}{F_{MV}}} \quad (7)$$

$$E_{Plti} = G_{PltMV} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{MV}} \cdot \frac{1}{F_{MV}}} \quad (8)$$

NOTES

1 It may happen that the background level (B_{PstMV}) is higher than the normal share (the "normal share" being proportional to $\sqrt[3]{(S_{MV} - S_i) / S_{MV}}$) and should be taken into account in order to avoid exceeding the planning level. In equation (5) (or similarly in equation (6) for long-term flicker), L_{PstMV} is then to be replaced by $\sqrt[3]{L_{PstMV}^3 - B_{PstMV}^3}$. 2)

2 For users having a comparatively low agreed power, the above approach may yield too strict limitations. To overcome this problem it is proposed that certain minimum emission levels will always be granted for short- and long-term flicker severities. These basic values are shown in table 6:³⁾

Table 6 – Basic emission levels

E_{Psti}	E_{Plti}
0,35	0,25

1) In terms of A_{St} and A_{It} , the equations become:

$$E_{Asti} = G_{AstMV} \cdot \frac{S_i}{S_{MV}} \cdot \frac{1}{F_{MV}} \quad (7')$$

$$E_{Alti} = G_{AltMV} \cdot \frac{S_i}{S_{MV}} \cdot \frac{1}{F_{MV}} \quad (8')$$

2) Or, more simply, L_{AstMV} is to be replaced by $(L_{AstMV} - B_{AstMV})$.

3) In terms of A_{St} and A_{It} , this table becomes:

Table 6' – Basic emission levels

E_{Asti}	E_{Alti}
0,05	0,02

7.3 *Stade 3: acceptation de niveaux plus élevés à titre exceptionnel et précaire*

Il faut noter que de nombreux utilisateurs MT, qui n'emploient pas de charges fluctuantes d'importance notable, ne produisent pas de flicker de façon significative. En outre, une partie de la puissance disponible du réseau peut ne pas être utilisée pendant une très longue période.

Par suite, l'application pure et simple des stades 1 et 2 peut conduire à des limitations inutiles des niveaux de flicker à des valeurs inférieures aux niveaux de planification, créant ainsi une marge.

Afin de préserver les principes généraux, et de permettre une interprétation souple de ce rapport, le distributeur peut utiliser la marge disponible dans les cas appropriés. Toutefois, l'acceptation de limites d'émission supérieures à la normale ne peut être consentie aux utilisateurs que dans des circonstances exceptionnelles et sur une base précaire.

Le stade 3 est important pour différer des investissements qui ne seront peut-être jamais nécessaires. Cela signifie que l'on doit étudier soigneusement les conditions de raccordement en tenant compte du niveau de flicker préexistant et de la contribution attendue de la part du matériel considéré, en se rappelant que des dispositions seront probablement nécessaires afin de laisser la possibilité d'une éventuelle extension de l'installation de compensation.

8 **Limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux HT**

8.1 *Stade 1: évaluation simplifiée de l'émission perturbatrice*

L'objectif du stade 1 est de fournir des critères de décision très simples pour le raccordement de charges fluctuantes. Pour les réseaux HT et THT, il est justifié de rapporter la puissance appelée apparente maximale ($S_{\max i}$) de l'installation comportant des charges fluctuantes à la puissance de court-circuit du réseau (S_{sc}) au PCC. On peut proposer par exemple:

$$S_{\max i} / S_{sc} \leq 0,1\% \quad (9)$$

comme limites du stade 1.

8.2 *Stade 2: limites d'émission proportionnelles à la puissance souscrite de l'utilisateur*

L'approche est fondamentalement la même pour les utilisateurs MT (voir 7.2.). Toutefois, dans le cas particulier des utilisateurs HT, la part de chacun doit être rapportée à la puissance totale disponible pour l'ensemble de ces utilisateurs et non à la capacité totale d'alimentation du réseau: on a établi que la contribution au niveau de flicker HT provenant des réseaux MT et BT est négligeable et que, par conséquent, leur part de la capacité totale d'alimentation n'a pas à être prise en compte.

8.2.1 *Evaluation de la puissance totale disponible*

Si l'on considère S_i la puissance (MVA) nominale de l'installation i et S_{tHV} la puissance totale disponible sur le réseau au point de couplage commun (capacité totale d'alimentation), le rapport S_i / S_{tHV} représente la quantité de base pour la détermination des limites d'émission selon la procédure de stade 2.

Première approche

Une évaluation de S_{tHV} peut se révéler difficile. L'approche suggérée est la suivante: l'information de base dans un poste HT donné constitue une évaluation des puissances S_{iHV} alimentant les utilisateurs HT à partir du poste pendant un jour de demande maximale (ou de prévisions tenant compte de l'évolution future du réseau).

7.3 Stage 3: acceptance of higher emission levels on an exceptional and precarious basis

It should be noted that many consumers do not produce significant flicker, because they do not have fluctuating loads of significant magnitude. Furthermore some of the available supply capacity of the network may not be taken up for a very long time.

As a result, a pure application of stages 1 and 2 can lead to undue limitation of flicker levels to values which are below the planning levels, thereby creating a margin.

To preserve the general principles and allow flexible interpretation of this report, the utility may use the available margin when appropriate. However, acceptance of higher than normal emission limits may be given to consumers only in exceptional circumstances and on a precarious basis.

Stage 3 is important in order to postpone investments which will perhaps never become necessary. It means that a careful study of the connection should be carried out, taking account of the existing background flicker and of the expected contribution from the considered equipment, and bearing in mind that arrangements will probably be necessary in order to make an eventual future extension of the compensating installation possible.

8 Emission limits for fluctuating loads in HV systems

8.1 Stage 1: simplified evaluation of disturbance emission

The objective of stage 1 is to provide very simple decision criteria for the connection of fluctuating loads, thereby avoiding detailed evaluation. For HV and EHV systems it is justified to relate the maximum apparent power demand ($S_{\max i}$) of the fluctuating load to the network short-circuit power (S_{sc}) at the PCC. For example,

$$S_{\max i} / S_{sc} \leq 0,1 \% \quad (9)$$

may be proposed as stage 1 limits.

8.2 Stage 2: emission limits proportional to the agreed power of the consumer

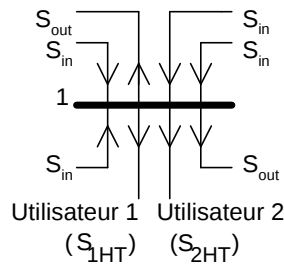
The approach is basically the same as for MV users (see 7.2). However, in the particular case of HV users, the share of each one should be related to the total power available for all of them and not to the total supply capacity of the system: it has been established that the contribution to the HV flicker level coming from the MV and the LV systems can be neglected and therefore their share of the total supply capacity is not to be taken into account.

8.2.1 Assessment of the total available power

Calling S_i the MVA rating of installation i and S_{thv} the total power available for HV users at the point of common coupling, the S_i / S_{thv} ratio is the basic quantity for the determination of the emission limits following the stage 2 procedure.

First approximation

Assessing S_{thv} may be difficult. The suggested approach is the following: at a given HV substation, the basic information is an assessment of powers S_{ihv} feeding HV users from the substation during a maximum demand day (or forecasts taking account of the network evolution in the future).

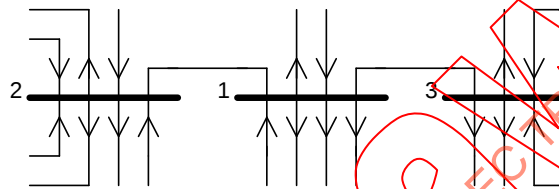


et l'évaluation est simplement:

$$S_{tHV} = \sum S_{iHV} \quad (10)$$

Deuxième approche

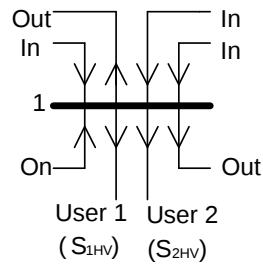
L'approche simple ci-dessus peut ne pas être correcte si des installations comportant des charges fluctuantes importantes existent ou sont susceptibles d'exister au voisinage du poste considéré. En cas de doute, il est conseillé de procéder comme suit:



- Si l'on appelle «1» le noeud considéré et «2», «3», etc. les autres noeuds situés au voisinage du premier, on calcule les valeurs de S_{tHV1} , S_{tHV2} , S_{tHV3} , ... selon l'équation (10).
- A la fréquence industrielle, on calculera les facteurs d'influence K_{2-1} , K_{3-1} , ... (le facteur d'influence K_{j-i} représente la tension provoquée au noeud i lorsque l'on injecte une tension 1 p.u. (par unité) au noeud j ; le calcul de K_{j-i} nécessite généralement l'utilisation d'un outil informatique, mais l'annexe B donne une méthode simplifiée qui peut être utilisée dans beaucoup de cas pour une évaluation rapide).
- On remplacera l'équation (10) par

$$S_{tHV} = S_{tHV1} + K_{2-1}S_{tHV2} + K_{3-1}S_{tHV3} + \dots \quad (10')$$

en ajoutant les termes $K_{j-i}S_{tHVj}$ aussi longtemps qu'ils demeurent significatifs par rapport à S_{tHV1} .

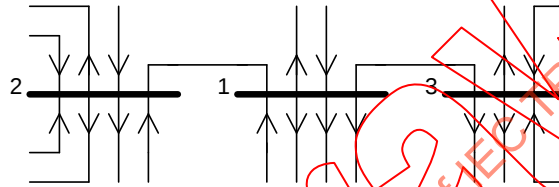


and the assessment is simply:

$$S_{tHV} = \sum S_{iHV} \quad (10)$$

Second approximation

This simple approach may not be correct if important fluctuating installations are present or are likely to come in the vicinity of the considered substation. In case of doubt, it is recommended to proceed as follows:



- Calling "1" the considered node and "2", "3", etc. the other nodes located in the vicinity of the first one, the values of S_{tHV1} , S_{tHV2} , S_{tHV3} , ... will be calculated according to equation (10).
- At the power frequency, the influence coefficients K_{2-1} , K_{3-1} , ... will be calculated (the influence coefficient K_{j-1} is the voltage which is caused at node i when a 1 p.u. (per unit) voltage is injected at node j ; the calculation of K_{j-1} usually requires the use of a computer program but annex B gives a simplified method which may be used in many cases for a quick assessment).
- Equation (10) will be replaced by:

$$S_{tHV} = S_{tHV1} + K_{2-1}S_{tHV2} + K_{3-1}S_{tHV3} + \dots \quad (10')$$

adding $K_{j-1}S_{tHVj}$ terms as long as they remain significant as compared to S_{tHV1} .

8.2.2 Limites d'émission individuelles

En tenant compte de la loi de sommation recommandée (équations (3) et (4)), les limites d'émission individuelles deviennent:¹⁾

$$E_{Psti} = L_{PstHV} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{tHV}}} \quad (11)$$

$$E_{Plti} = L_{PltHV} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{tHV}}} \quad (12)$$

où

- E_{Psti} est la limite d'émission P_{st} pour un utilisateur i ;
- L_{PstHV} est le niveau de planification sur les réseaux HT;
- $S_i = P_i \cos \phi_i$ est la puissance autorisée pour l'utilisateur i ;
- S_{tHV} est la part de la capacité totale d'alimentation du poste HT qui est destinée aux utilisateurs HT.

NOTES

1 Il peut arriver que le niveau de fond (B_{PstHV}) soit plus élevé que la part normale (la «part normale» étant proportionnelle à $\sqrt[3]{(S_{tHV} - S_i)/S_{tHV}}$ et doit être pris en compte pour éviter de dépasser le niveau de planification. Dans la formule (11) (ou également la formule (12) concernant la fluctuation à long-terme), il faut alors remplacer L_{PstHV} par $\sqrt[3]{L_{PstHV}^3 - B_{PstHV}^3}$.²⁾

2 Pour des utilisateurs dont la puissance autorisée est relativement faible, l'approche ci-dessus peut entraîner des limitations trop strictes. On suggère, pour contourner ce problème, de consentir dans tous les cas certains niveaux d'émission minimum pour des sévérités de flicker à court et long terme. Le tableau 7 donne ces valeurs de base:³⁾

Tableau 7 – Niveaux d'émission de base

E_{Psti}	E_{Plti}
0,35	0,25

3 Une autre approche à cette seconde approximation consiste à réaliser une étude classique évaluant les effets des diverses charges fluctuantes prenant en compte l'évolution de la configuration des réseaux THT/HT, la répartition des charges et le pourcentage prévu des charges fluctuantes.

Les limites d'émission pour les charges THT/HT sera défini par le distributeur sur les bases suivantes:

- niveaux de planification adoptés sur les réseaux THT/HT (en fonction des particularités du réseau);
- profil de répartition prévu du réseau, évalué comme précédemment, y compris le niveau de fond;
- marges éventuelles de sécurité;
- règles nationales éventuelles (en particulier pour le raccordement de fours à arc).

1) En termes d' A_{st} et d' A_{lt} , les équations deviennent:

$$E_{Asti} = L_{AstHV} \cdot \frac{S_i}{S_{tHV}} \quad (11')$$

$$E_{Alt i} = L_{AltHV} \cdot \frac{S_i}{S_{tHV}} \quad (12')$$

2) Ou plus simplement, L_{AstHV} doit être remplacé par $(L_{AstHV} - B_{AstHV})$.

3) En termes d' A_{st} et d' A_{lt} , ce tableau devient:

Tableau 7' – Limites d'émission de base

E_{Psti}	E_{Plti}
0,05	0,02

8.2.2 Individual emission limits

Taking account of the recommended summation law (equations (3) and (4)) the individual emission limits are then:¹⁾

$$E_{Psti} = L_{PstHV} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{tHV}}} \quad (11)$$

$$E_{Plti} = L_{PltHV} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{tHV}}} \quad (12)$$

where:

E_{psti} is the P_{st} emission limit for user i ;

L_{PstHV} is the planning level in HV systems;

$S_i = P_i \cos\phi_i$ is the agreed power of user i ;

S_{tHV} is the part of the total supply capacity of the HV substation which is devoted to the HV users.

NOTES

1 It may happen that the background level (B_{PstHV}) is higher than the normal share (the "normal share" being proportional to $\sqrt[3]{(S_{tHV} - S_i) / S_{tHV}}$ and should be taken into account in order to avoid exceeding the planning level. In formula (11) (or similarly in formula (12) for long-term flicker), L_{PstHV} is then to be replaced by $\sqrt[3]{L_{PstHV}^3 - B_{PstHV}^3}$.²⁾

2 For users having a comparatively low agreed power, the above approach may yield too strict limitations. To overcome this problem it is proposed that certain minimum emission levels will always be granted for short- and long-term flicker severities. These basic values are shown in table 7.³⁾

Table 7 – Basic emission levels

E_{Psti}	E_{Plti}
0,35	0,25

3 An alternative approach to the second approximation consists in carrying out a classical study evaluating the effects of the different fluctuating loads taking into account the evolution of the EHV/HV system configuration, loads distribution and expected percentage of fluctuating loads.

The emission limits for EHV/HV loads will be defined by the utilities on the basis of:

- adopted planning levels on EHV/HV systems (depending on system peculiarities);
- expected fluctuating profile in the system, evaluated as above, including background level;
- safety margins, if any;
- national regulations, if any (particularly for the connection of arc furnaces).

1) In terms of A_{st} and A_{lt} , the equations become:

$$E_{Asti} = L_{AstHV} \cdot \frac{S_i}{S_{tHV}} \quad (11')$$

$$E_{Alt i} = L_{AltHV} \cdot \frac{S_i}{S_{tHV}} \quad (12')$$

2) Or, more simply, L_{AstHV} is to be replaced by $(L_{AstHV} - B_{AstHV})$.

3) In terms of A_{st} and A_{lt} , this table becomes:

Table 7' – Basic emission levels

E_{Asti}	$E_{Alt i}$
0,05	0,02

8.3 Stade 3: acceptation de niveaux d'émission plus élevés sur une base exceptionnelle et précaire

Il faut noter que de nombreux utilisateurs, qui n'emploient pas de charges fluctuantes d'importance notable, ne produisent pas de flicker de façon significative. En outre, une partie de la puissance disponible du réseau peut ne pas être utilisée pendant une très longue période.

Par suite, l'application pure et simple des stades 1 et 2 peut conduire à des limitations inutiles des niveaux de flicker à des valeurs inférieures aux niveaux de planification, créant ainsi une marge.

Afin de préserver les principes généraux, et de permettre une interprétation souple de ce rapport, le distributeur peut utiliser la marge disponible dans les cas appropriés. Toutefois, l'acceptation de limites d'émission supérieures à la normale ne peut être consentie aux utilisateurs que dans des circonstances exceptionnelles et sur une base précaire.

Le stade 3 est important pour différer des investissements qui ne seront peut-être jamais nécessaires. Cela signifie que l'on doit étudier soigneusement les conditions de raccordement en tenant compte du niveau de flicker préexistant et de la contribution attendue de la part du matériel considéré, en se rappelant que des dispositions seront probablement nécessaires afin de laisser la possibilité d'une éventuelle extension de l'installation de compensation.

9 Limites d'émission pour des variations rapides de tension

NOTE – Il convient que les limites de flicker soient de toute façon contrôlées en premier. Le présent article donne des dispositions supplémentaires.

L'inconfort visuel provoqué par un léger flicker est la raison la plus fréquente d'une limitation des variations de tension causées par des charges fluctuantes. Toutefois, les distributeurs d'électricité doivent maintenir l'amplitude de la tension dans des limites étroites et un utilisateur individuel ne devra pas provoquer de variations de tension importantes même si elles sont admissibles du point de vue du flicker.

Pratiquement, la coïncidence de plusieurs variations de tension rapides présente une très faible probabilité. C'est la raison pour laquelle on ne tient pas compte de lois de sommation.

On peut réaliser comme suit une simple évaluation de la variation de tension relative (voir figures 5 et 6) [1]:

$$\Delta I = \Delta I_p - \Delta I_q \quad (13)$$

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (14)$$

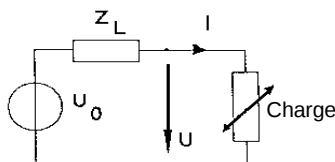


Figure 5a) – Circuit équivalent

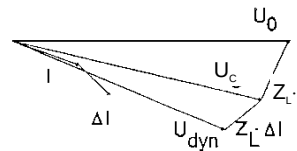


Figure 5b) – Schéma des vecteurs

Figure 5 – Variations de tension dynamiques et à l'état stable

8.3 Stage 3: acceptance of higher emission levels on an exceptional and precarious basis

It should be noted that many consumers do not produce significant flicker, because they do not have fluctuating loads of significant magnitude. Furthermore, some of the available supply capacity of the network may not be taken up for a very long time.

As a result, a pure application of stages 1 and 2 can lead to undue limitation of flicker levels to values which are below the planning levels, thereby creating a margin.

To preserve the general principles and allow flexible interpretation of this report, the utility may use the available margin when appropriate. However, acceptance of higher than normal emission limits may be given to consumers only in exceptional circumstances and on a precarious basis.

Stage 3 is important in order to postpone investments which will perhaps never become necessary. It means that a careful study of the connection should be carried out, taking account of the existing background flicker and of the expected contribution from the considered equipment, and bearing in mind that arrangements will probably be necessary in order to make an eventual future extension of the compensating installation possible.

9 Emission limits for rapid voltage changes

NOTE – Flicker limits should anyway be checked first. This clause gives additional requirements.

The visual discomfort due to light flicker is the most frequent reason to limit voltage changes due to fluctuating loads. However, the utilities have to maintain the voltage magnitude within narrow limits and individual consumers should not provoke too great voltage variations even if they are tolerable from the flicker point of view.

Practically, the coincidence of occurrence of several rapid voltage changes presents a very low probability. For this reason no summation laws are taken into account.

A simple assessment of the relative voltage change may be done as follows (see figures 5 and 6) [1]:

$$\Delta I = \Delta I_p - \Delta I_q \quad (13)$$

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (14)$$

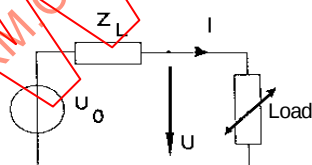


Figure 5a) – Equivalent circuit

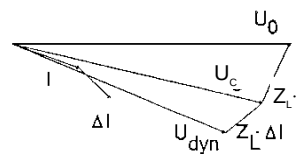


Figure 5b) – Vector diagram

Figure 5 – Steady-state and dynamic voltage changes

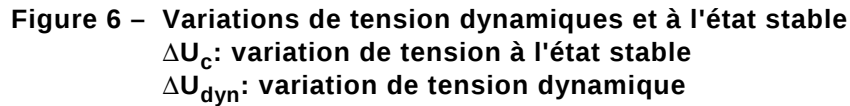

$$\Delta U_{\text{dyn}} \approx \Delta I_p \cdot R_L + \Delta I_q \cdot X_L \quad (15)$$
$$U_0 - \Delta U_c \pm \Delta U_{\text{dyn}} \quad (16)$$

Tableau 8 – Limites d'émission pour des variations de tension en fonction du nombre de variations par heure

r (heure ⁻¹)	$\Delta U_{dyn}/U_N$ (%)	
	MT	HT
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3	2,5
$10 < r \leq 100$	2	1,5
$100 < r \leq 1000$	1,25	1

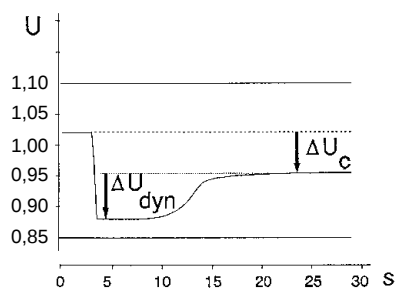


Figure 6 – Steady-state and dynamic voltage changes:

ΔU_c : **Steady-state voltage change**

ΔU_{dyn} : **Dynamic voltage change**

For single-phase and symmetrical three-phase loads:

$$\Delta U_{dyn} \approx \Delta I_p \cdot R_L + \Delta I_q \cdot X_L \quad (15)$$

The emission limit at the PCC requires a limitation of ΔU_{dyn} with respect to the actual voltage:

$$U_0 - \Delta U_c \pm \Delta U_{dyn} \quad (16)$$

Table 8 gives the maximum voltage change $\Delta U_{dyn}/U_N$ for normal operating conditions (expressed in per cent of the actual voltage) a consumer may cause, depending on the repetition frequency of these changes. Less frequent voltage changes (e.g. less than one per day) are not covered here; however, they may be of importance on some systems.

Table 8 – Emission limits for voltage changes in function of the number of changes per hour

r (hour ⁻¹)	$\Delta U_{dyn}/U_N$ (%)	
	MT	HT
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3	2,5
$10 < r \leq 100$	2	1,5
$100 < r \leq 1000$	1,25	1

Annexe A

Méthodes simplifiées de prédiction du niveau de flicker [3]

A.1 Calcul de la variation de tension relative d

On peut estimer la variation de tension relative d comme le rapport entre la fluctuation de la puissance de la charge (ΔS_i) et la puissance de court-circuit S_{sc} . Pour des charges triphasées équilibrées, les variations de puissance relative des tensions entre phase et neutre (U_Y) et entre phases sont égales à:

$$d = \frac{\Delta U_Y}{U_{NY}} = \frac{\Delta U}{U_N} \approx \frac{\Delta S_i}{S_{sc}} \quad (\text{A.1})$$

NOTE 1 – Par exemple ΔS_i pour le démarrage des moteurs représente la variation de $S_i = 0$ à $S_i = S_{i,max}$ (puissance apparente maximale au démarrage), et par conséquent $\Delta S_i = S_{i,max}$.

Si la partie active et la partie réactive de la variation de charge sont disponibles, on peut calculer la variation de tension relative de manière plus précise à l'aide de la partie résistive et inductive de l'impédance du réseau:

$$d = \frac{R_L \cdot \Delta P_i + X_L \cdot \Delta Q_i}{U_N^2} \quad (\text{A.2})$$

On peut évaluer les variations de tension dues à une charge biphasée (par exemple, une soudeuse) à l'aide de:

$$d = \frac{\Delta U_Y}{U_{NY}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta S_i}{S_{sc}} \quad (\text{A.3})$$

A.2 Calcul du niveau de flicker

Comme on l'a vu plus haut, les courbes de la figure 4 indiquent les niveaux de compatibilité relatifs aux variations de tension. Par définition, le niveau de sévérité du flicker P_{st} en chacun des points de la courbe est égal à 1.

On doit vérifier le niveau de flicker calculé par rapport à P_{st} et P_{lt} , si la durée de la variation de tension est susceptible de dépasser 30 min. Pour une durée plus courte, la sévérité exigée P_{st} prévaudra.

Par exemple, on doit comparer le niveau de flicker provoqué par une soudeuse à P_{st} , si le cycle de fonctionnement dans un intervalle type de 2 heures ne dépasse pas 30 minutes. Pour des cycles de fonctionnement plus élevés, la valeur exigée P_{lt} peut prévaloir.

Des variations de tension causées par la charge des consommateurs ont les effets suivants sur le réseau:

- Une charge raccordée au réseau haute tension perturbe la qualité de tension au point commun de couplage à 100%. La perturbation est plus faible sur un jeu de barres haute tension adjacent. L'influence sur les réseaux moyenne et basse tension alimentés à partir du point commun de couplage représente environ 70 % à 100 %. Des valeurs inférieures à 100% sont dues par exemple à des moteurs ou des générateurs sur le réseau moyenne ou basse tension exerçant une influence stabilisatrice sur l'ampleur des variations de tension.

Annex A

Simplified prediction methods for flicker severity [3]

A.1 Calculation of the relative voltage change d

The relative voltage change d can be evaluated as the ratio of the load power change (ΔS_i) and the short-circuit power S_{sc} . For balanced three-phase loads, the relative power changes of the phase-to-neutral voltages (U_Y) and of the phase-to-phase voltages are equal to:

$$d = \frac{\Delta U_Y}{U_{NY}} = \frac{\Delta U}{U_N} \approx \frac{\Delta S_i}{S_{sc}} \quad (\text{A.1})$$

NOTE 1 – For example ΔS_i for motor starting is the change from $S_i = 0$ to $S_i = S_{i,max}$ (maximum apparent power during start), and therefore $\Delta S_i = S_{i,max}$.

If the active as well as the reactive part of the load change are available, the relative voltage change can be calculated in a more precise way, using the resistive and inductive part of the network impedance:

$$d = -\frac{R_L \cdot \Delta P_i + X_L \cdot \Delta Q_i}{U_N^2} \quad (\text{A.2})$$

Voltage changes caused by a two-phase load (for example a welding machine) can be evaluated by:

$$d = \frac{\Delta U_Y}{U_{NY}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta S_i}{S_{sc}} \quad (\text{A.3})$$

A.2 Calculation of the flicker severity

As previously mentioned, the curves of figure 4 indicate the compatibility levels for voltage changes. By definition, the flicker severity P_{st} for each point of the curve is equal to 1.

A calculated flicker severity has to be checked against P_{st} and P_{lt} , if the time of the voltage fluctuation may exceed 30 min. For shorter durations, the P_{st} requirement prevails anyway.

For example the flicker severity caused by a welding machine has to be checked against P_{st} , if the duty cycle within a typical 2 h interval does not exceed 30 min. For higher duty cycles, the P_{lt} requirement might prevail.

Voltage fluctuations due to consumers load have the following effects within the network:

- A load connected to the high-voltage network perturb the voltage quality at the point of common coupling at 100 %. The perturbation in an adjacent high-voltage busbar is lower. The influence on medium- and low-voltage networks, supplied from the point of common coupling is about 70 % to 100 %. Values lower than 100 % are for example due to motors or generators in the medium- or low-voltage network, having a stabilizing influence on the magnitude of the voltage changes.

- Une charge raccordée au réseau moyenne tension provoque une perturbation à 100 % au point commun de couplage. Sur d'autres jeux de barres en amont du réseau, l'interférence est réduite proportionnellement à l'augmentation de la puissance de court-circuit.

Ceci signifie que la perturbation est moindre sur les points situés en amont. Etant donné que la puissance de court-circuit est essentiellement plus élevée sur le réseau d'alimentation haute tension, on peut ne pas tenir compte des perturbations du flicker sur le réseau d'alimentation. Les points situés sur le réseau moyenne tension aval voient 100% de perturbations de tension. Ceci est valable également pour des réseaux basse tension raccordés à ces points.

On peut calculer la sévérité de flicker provoqué par une variation de tension pas à pas en utilisant la durée du flicker t_f (aussi appelée temps mémoire dans des rapports antérieurs):

$$t_f = 2,3 \text{ s} \cdot (100 \cdot d \cdot F)^3 \quad (\text{A.4})$$

où

d est la variation de tension relative (par exemple $100 \cdot d = 3$ pour $d = 0,03$ p.u.);

F est le facteur de forme selon les figures A.1, A.2 ou A.3 (pour une variation de tension en créneau $F = 1$).

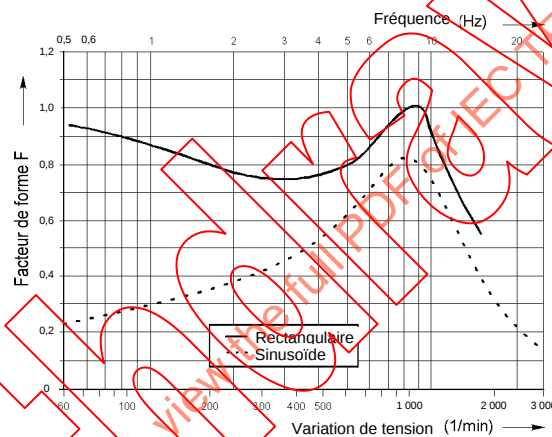


Figure A.1 – Facteurs de forme pour des fluctuations de tension périodiques



Figure A.2 – Facteurs de forme pour rampes et doubles échelons

- A load connected to the medium-voltage network causes a perturbation of 100 % at the point of common coupling. At other busbars upstream in the network, the interference is reduced proportionally to the increasing short-circuit power.

This means that points upstream have lower perturbation. Due to the essentially higher short-circuit power in the feeding high-voltage network, the flicker perturbations may normally be neglected in the feeding network. Points on the medium-voltage network downstream are perturbed at 100 % of the voltage fluctuation. This is also valid for low-voltage networks connected to such points.

The flicker severity, caused by a single-step voltage change can be calculated using the so-called flicker time t_f (in former reports also called memory time):

$$t_f = 2,3 \text{ s} \cdot (100 \cdot d \cdot F)^3 \quad (\text{A.4})$$

where

d is the relative voltage change (e.g. $100 \cdot d = 3$ for $d = 0,03 \text{ p.u.}$);

F is the shape factor according to figures A.1, A.2 or A.3 (for a step voltage change: $F = 1$).

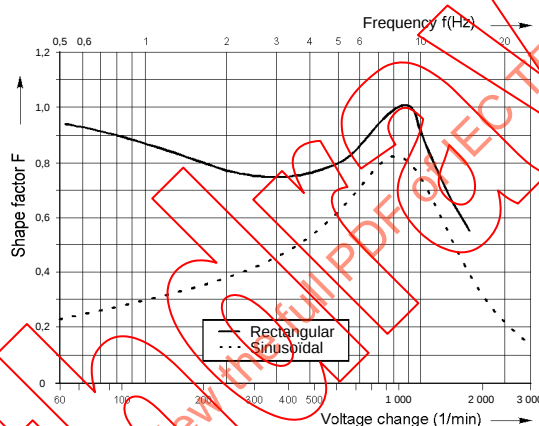


Figure A.1 – Shape factors for periodic voltage fluctuations

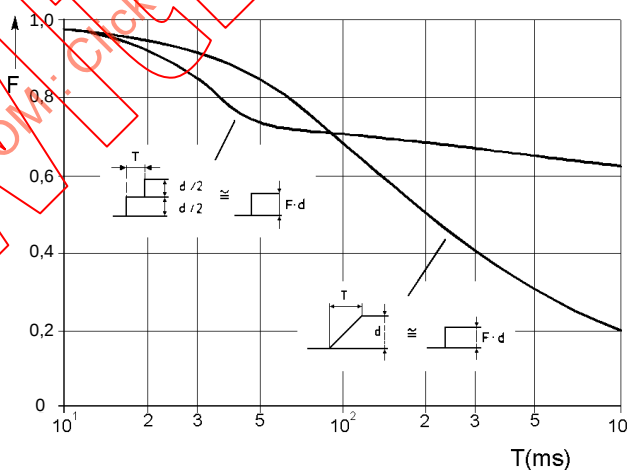


Figure A.2 – Shape factors for ramps and double-steps

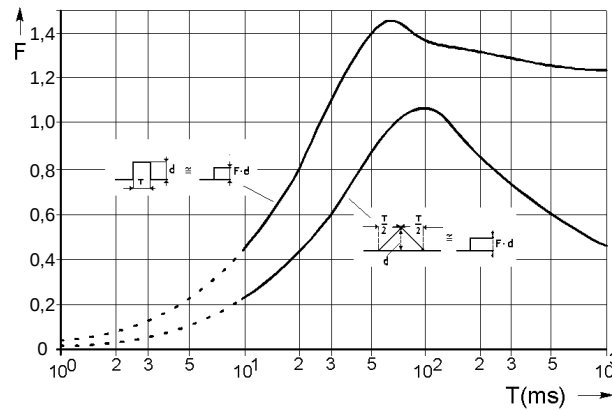


Figure A.3 – Facteurs de forme pour impulsions rectangulaires et triangulaires

La durée 2,3 s ne représente qu'un facteur destiné à obtenir la conformité avec la courbe du flicker (figure 4).

On évalue la sévérité de flicker comme la racine cubique de la somme des durées de flicker dans un intervalle donné divisée par la durée de cet intervalle:¹⁾

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{10 \text{ min}}} \quad (\text{A.5})$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{120 \text{ min}}} \quad (\text{A.6})$$

Avec des facteurs de forme F , on peut transformer des formes spéciales de variations de tension en variations de tension en échelon équivalentes en terme de flicker. Les figures A.1, A.2 et A.3 présentent des facteurs de forme pour certaines formes types.

Pour un démarrage moteur n'utilisant pas de mesures particulières en vue de réduire le courant, F se situe normalement aux environs de 1. Pour des fluctuations de tension périodiques dont les fréquences se situent dans une gamme allant de 1 Hz à 25 Hz, la figure A.1 présente un facteur de forme tenant compte de l'effet optique de chevauchement dans le cas de variations de tension rapides.

Des fluctuations de tension rectangulaires à 1 Hz, par exemple, sont constituées de deux échelons de tension en 1 s ou 1 200 variations dans un intervalle de 10 min. Pour calculer le P_{st} selon l'équation (A.5), la somme de t_f est égale à 1 200 fois t_f .

¹⁾ En termes d' A_{st} et A_{lt} , les équations (A.5) et (A.6) deviennent:

$$A_{st} = \frac{\sum t_f}{10 \text{ min}} \quad (\text{A.5'})$$

$$A_{lt} = \frac{\sum t_f}{120 \text{ min}} \quad (\text{A.6'})$$

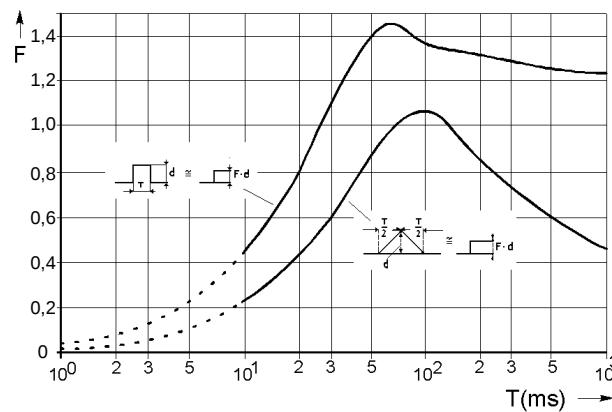


Figure A.3 – Shape factors for rectangular and triangular pulses

The time 2,3 s is only a factor in order to achieve compliance with the flicker curve (see figure 4).

The flicker severity is evaluated as the cubic root of the sum of the flicker times within a given interval divided by the duration of this interval:¹⁾

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{10 \text{ min}}} \quad (\text{A.5})$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{120 \text{ min}}} \quad (\text{A.6})$$

With shape factors F , special shapes of voltage changes can be transformed in flicker equivalent step voltage changes. Figures A.1, A.2 and A.3 present shape factors for some typical shapes.

For motor starting without special mitigation measures for current reduction, normally F is about 1. For periodic voltage fluctuations with frequencies in the range between 1 Hz and 25 Hz, figure A.1 presents the shape factor, which takes into account the visual overlapping effect for rapid voltage changes.

Rectangular voltage fluctuations with 1 Hz for example consist of two-step voltage changes within 1 s or 1 200 changes within a 10 min interval. For calculating P_{st} according to equation (A.5), the sum of t_f is 1 200 times t_f .

¹⁾ In terms of A_{st} and A_{lt} , equations (A.5) and (A.6) become:

$$A_{st} = \frac{\sum t_f}{10 \text{ min}} \quad (\text{A.5'})$$

$$A_{lt} = \frac{\sum t_f}{120 \text{ min}} \quad (\text{A.6'})$$

Annexe B

Sommation des P_{st} provenant de jeux de barres différents

Dans les cas où il est nécessaire de déterminer l'effet de fluctuation d'une source sur une autre installation alimentée à partir d'un autre point du réseau d'alimentation, on peut rencontrer les cas suivants:

- les installations peuvent être éloignées l'une de l'autre (d'un point de vue électrique) de telle sorte que l'on peut considérer qu'elles n'ont pas d'influence;
- les installations peuvent être situées très près l'une de l'autre de sorte que l'on peut les regrouper en une seule installation équivalente;
- les installations peuvent être situées à une distance relativement courte électriquement parlant de sorte qu'elles s'influencent mutuellement. Il est nécessaire de tenir compte de l'effet de l'interconnexion électrique avant de combiner les valeurs des P_{st} des sources séparées à leur propre point commun de couplage. Ce cas est traité ci-après.

On trouvera ci-dessous un exemple de deux fours à arc situés sur des jeux de barres différents:

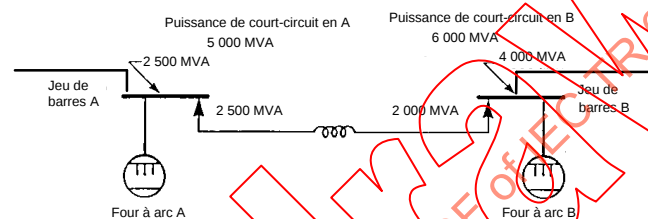


Figure B.1 – Exemple de deux fours à arc alimentés à partir de jeux de barres électriquement éloignés

L'approche simplifiée suivante est correcte si l'on peut considérer qu'une part significative des sources de puissance de court-circuit aux jeux de barres A et B est indépendante électriquement.

La fluctuation de tension individuelle causée au jeu de barres A par le four A est basée simplement sur un niveau de défaut local de 5 000 MVA. De même, la tension de fluctuation causée au jeu de barres B par le four B est basée sur un niveau de défaut local de 6 000 MVA.

Nous supposons tout d'abord que nous sommes intéressés uniquement par le jeu de barres A. Nous souhaitons par conséquent déterminer l'augmentation de la fluctuation de tension causée en A par le four B.

Supposons que les valeurs de P_{st} mesurées pour les deux fours sont:

produits au jeu de barres A par l'action du four A seul: $P_{st} A$;

produits au jeu de barres B par l'action du four B seul: $P_{st} B$.

La procédure consiste à remplacer le four B par un «four équivalent» B^1 d'une dimension réduite dans des proportions convenables positionné en A.

On mesure ensuite le P_{st} en A par B^1 et on obtient:

$$P_{st} B^1 = P_{st} B \cdot \frac{\text{Apport } S_{sc} \text{ en B dû à A}}{S_{sc} \text{ en A} - \text{Apport } S_{sc} \text{ en A dû à B}} = P_{st} B \cdot \frac{2\,000}{5\,000 - 2\,500} = 0,8 \cdot P_{st} B$$

On peut faire la sommation de $P_{st} A$ et $P_{st} B^1$ selon l'équation (3) pour obtenir le total des effets en A.

On peut calculer le total en B de la même manière.

Annex B

Addition of P_{st} from different busbars

In cases where it is required to assess the fluctuation effect of a source upon another installation fed from another point on the supply network, the following cases may occur:

- the installations may be located far apart from each other (from the electrical point of view) so as to be considered as not mutually influencing;
- the installations may be located very close to each other so as to be grouped together in a single equivalent;
- the installations may be located at some distance not so far apart, electrically speaking, so as to be mutually influencing. It is necessary to allow for the effect of the electrical interconnection before combining the P_{st} values of the separate sources at their own PCC. This case is considered hereafter.

An example is given below for two arc furnaces located at different busbars:

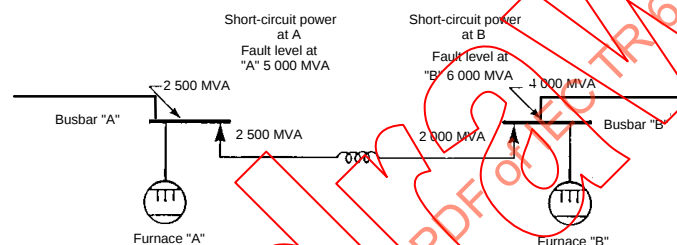


Figure B.1 – Example of two arc furnaces fed from electrically distant busbars

The following simplified approach is correct if a significant part of the sources of short-circuit power at busbars A and B may be considered as electrically independent.

The individual fluctuation voltage caused at busbar A by furnace A is simply based on a local fault level of 5 000 MVA. Similarly, the individual fluctuation voltage caused at busbar B by furnace B is based on a local fault level of 6 000 MVA.

Firstly, assume an interest only in busbar A and assess the increase in voltage fluctuation caused at A by furnace B.

Assume that the values of P_{st} measured for the two furnaces are:

- caused at busbar A by furnace A acting alone: $P_{st} A$;
- caused at busbar B by furnace B acting alone: $P_{st} B$.

The procedure is to replace furnace B by an "equivalent furnace" B^1 of a suitably reduced size placed at A.

Then the P_{st} measured at A by B^1 will be:

$$P_{st} B^1 = P_{st} B \cdot \frac{S_{sc} \text{ infeed at B from A}}{S_{sc} \text{ level at A} - S_{sc} \text{ infeed at A from B}} = P_{st} B \cdot \frac{2\,000}{5\,000 - 2\,500}$$

$$= 0,8 \cdot P_{st} B$$

$P_{st} A$ and $P_{st} B^1$ may be summated according to equation (3) to give the total effects at A.

The total at B can be calculated in the same way.

Annexe C

Exemples de quelques cas typiques

C.1 Charge d'un laminoir

On propose de connecter un laminoir équipé d'un groupe Ward-Leonard à un point d'alimentation où l'on prévoit le schéma de variations de tension ci-dessous au point commun de couplage avec d'autres consommateurs:

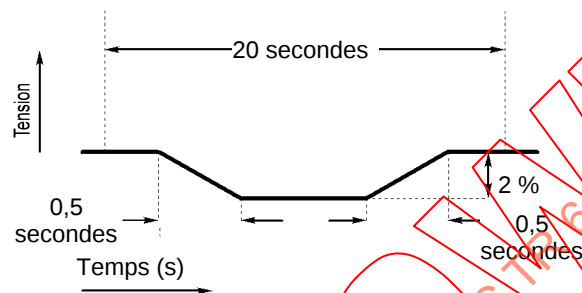


Figure C.1 – Exemple d'effet exercé par un laminoir

Le nombre moyen de variations de tension (r/min) étant égal à 6 ($2/20$ s) et $\Delta S/S_{SC} = 2\%$, la charge ne sera pas conforme aux limites du stade 1 données au tableau 4.

On évalue donc l'acceptabilité par rapport au stade 2. Si l'on utilise une contribution globale maximale des charges locales au niveau de flicker du réseau MT de $G_{PstMT} = 0,72$, une capacité du système de 30 MVA, une puissance d'utilisation admise de 3 MVA et un facteur de coïncidence 0,3, on déduit une limite d'émission par les utilisateurs de $P_{St} = 0,5$ en appliquant l'équation (7).

Les valeurs limites des variations de tension pour $P_{St} = 0,5$ s'obtiennent à partir des valeurs 230 V $P_{St} = 1,0$ données à la figure 4, en multipliant les variations de tension, exprimées en pour-cent, par 0,5.

A partir de la figure A.2, on peut déduire qu'une rampe de 0,5 s a un facteur de forme de 0,3. Ce facteur, lorsqu'il est appliqué aux 2 % de variation de tension de la rampe, les transforme en un échelon équivalent de 0,6% ($0,3 \cdot 2\%$).

Une variation rectangulaire de la tension de 0,6 % produisant un $P_{St} = 0,5$ permet une fréquence de variations maximale, déduite de la figure 4, de neuf variations par min.

Comme le nombre moyen des variations de tension produites par le laminoir est de six par minutes, le P_{St} est inférieur à 0,5 et la charge peut être raccordée.

C.2 Charge d'un compacteur d'automobiles

On n'entreprend pas d'évaluation de stade 2 en raison des valeurs élevées des variations de tension associées aux charges existantes et supplémentaires. On évalue donc la charge des utilisateurs sous forme d'un raccordement de stade 3.

Annex C

Examples of some typical case studies

C.1 Rolling mill load

It is proposed to connect a rolling mill equipped with a Ward-Leonard drive to a supply point where the following voltage change pattern is expected to occur at the point of common coupling with other consumers:

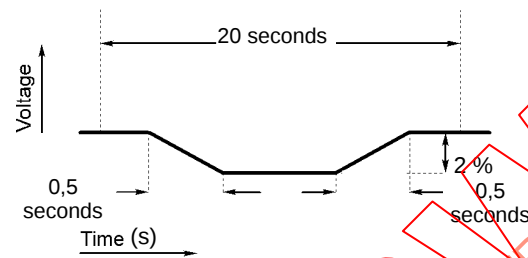


Figure C.1 – Example of effect from a rolling mill

As the average number of voltage changes (r/min) is 6 ($2/20$ s) and $\Delta S/S_{sc} = 2\%$ the load will not meet the stage 1 limits given in table 4.

Therefore acceptability is assessed against stage 2. Using a maximum global contribution of local loads to the MV network flicker level of $G_{PstMV} = 0,72$, a system capacity of 30 MVA, a user's agreed power of 3 MVA and a coincidence factor of 0,3, a consumer emission limit of $P_{st} = 0,5$ is derived by the application of equation (7).

The voltage change limit values for $P_{st} = 0,5$ are obtained from the 230 V $P_{st} = 1,0$ characteristic, given in figure 4, by multiplying the voltage change values, expressed in per cent, by 0,5.

From figure A.2 it can be deduced that a 0,5 s ramp has a shape factor of 0,3. This factor when applied to the 2 % voltage change of the ramp converts it to an equivalent rectangular voltage change of 0,6 % ($0,3 \cdot 2\%$).

A rectangular voltage change of 0,6 % producing a $P_{st} = 0,5$, has a maximum rate of change, deduced from figure 4, of nine changes per minute.

As the average number of voltage changes produced by the rolling mill is six changes per minute, the P_{st} will be less than 0,5 and the load can be connected.

C.2 Car shredder load

A stage 2 assessment is not initiated because of the high values of the voltage changes associated with the existing and additional load. The consumer's load is therefore assessed as a stage 3 connection.

Un point d'alimentation existant de 11 kV alimente un gros moteur asynchrone de 900 kW entraînant un compacteur d'automobiles. L'utilisateur a demandé le raccordement d'un moteur asynchrone supplémentaire de 1 500 kW pour entraîner un compacteur supplémentaire.

a) Caractéristiques de l'alimentation existante

Impédance au PCC: $37,5 + j \cdot 82 \%$ sur une base de 100 MVA.

b) Caractéristiques du moteur existant

Démarrage: direct en ligne, 3,3 MVA avec un facteur de puissance de 0,3, une fois par jour.

Marche: variation de puissance allant de charge nulle à pleine charge avec un facteur de puissance de 0,9.

c) Caractéristiques du moteur proposé

Il s'agit d'une version à l'échelle du moteur de 900 kW existant. Des variations de tension complexes se produisent en service en raison de la charge fluctuante exercée par le moteur d'entraînement ce qui a nécessité une approche au flickermètre pour la détermination de la sévérité de flicker. Mais il est tout d'abord nécessaire de vérifier, indépendamment de la sévérité de flicker, qu'avec des raccordements normaux au réseau, les variations de tension au démarrage demeurent dans une limite de 4 % (voir tableau 8). Cette évaluation initiale est faite en extrapolant les valeurs des caractéristiques du moteur existant, ainsi:

on calcule la variation de tension au démarrage du moteur existant:

$$\text{Variation de tension} = \frac{3,3}{100} \cdot (37,5 \cdot 0,3 + 82 \cdot 0,95) = 2,94 \%$$

Afin de calculer la variation de tension au démarrage du moteur proposé, on extrapole les valeurs à partir de la valeur calculée du moteur existant; par conséquent:

$$\text{Variation de tension} = 2,94 \cdot \frac{1500}{900} = 4,90 \%$$

Ceci est inacceptable et on ne peut donc raccorder la machine à l'alimentation existante sans relâchement de la limite normale de 4 % du stade 1.

d) Action entreprise

Sous réserve d'apporter des modifications mineures au réseau, on peut déplacer le point commun de couplage vers le jeu de barres 11 kV d'un poste à deux transformateurs 33/11 kV. L'impédance normale du réseau au jeu de barres est égale à:

$$1,3 + j48,8 \%$$
 sur 100 MVA.

Avec cette alimentation, la variation de la tension de démarrage du moteur proposé devient:

$$\text{Variation de tension} = \frac{3,3}{100} \cdot \frac{1500}{900} \cdot (1,3 \cdot 0,3 + 48,8 \cdot 0,95) = 2,57 \%$$

Ceci est acceptable et il faut maintenant évaluer les effets de flicker au démarrage et en service en cet autre emplacement.

e) Mesures du flicker (voir tableau C.1)

On a effectué des relevés au flickermètre dans les conditions suivantes:

Essai i) emplacement existant avec moteur de 900 kW non en service (bruit de fond) (P_{st2}).

Essai ii) emplacement existant avec moteur de 900 kW au démarrage.

Essai iii) emplacement existant avec moteur de 900 kW fonctionnant dans des conditions nominales (P_{st1}).

Essai iv) jeu de barres 11 kV de poste 33/11 kV (bruit de fond) (P_{st6}).

An existing 11 kV supply point supplies a large 900 kW induction motor driving a car shredder. The consumer has requested the connection of an additional 1 500 kW induction motor to drive an additional car shredder.

a) Characteristics of existing supply

Impedance at PCC: $37,5 + j \cdot 82 \%$ on a base of 100 MVA.

b) Characteristics of existing motor

Starting: direct on line, 3,3 MVA at 0,3 power factor once a day.

Running: no load to full load power change at 0,9 power factor.

c) Characteristics of proposed motor

This is a scaled version of the existing 900 kW motor. Complex voltage changes occur during running caused by the fluctuating load of the driving motor; therefore, a flickermeter approach has to be used to assess the severity of the flicker likely to be caused. But first, regardless of the flicker severity, it is necessary to check that with normal system connections the voltage changes on starting are within the 4 % limit (see table 8). This initial assessment is done by scaling the characteristics of the existing motor, thus:

the starting voltage change for the existing motor is calculated:

$$\text{Voltage change} = \frac{3,3}{100} \cdot (37,5 \cdot 0,3 + 82 \cdot 0,95) = 2,94 \%$$

In order to calculate the starting voltage change of the proposed motor, the value is scaled from the calculated value of the existing one, therefore:

$$\text{Voltage change} = 2,94 \cdot \frac{1500}{900} = 4,90 \%$$

This is unacceptable and the machine cannot be connected to the existing supply without relaxing the normal 4 % limit of stage 1.

d) Action taken

With some minor system rearrangements, the point of common coupling can be moved to the 11 kV busbar of a two transformer 33/11 kV substation. The normal system impedance at this busbar is:

$$1,3 + j48,8 \%$$

on 100 MVA.

With this supply, the proposed motor's starting voltage change becomes:

$$\text{Voltage change} = \frac{3,3}{100} \cdot \frac{1500}{900} \cdot (1,3 \cdot 0,3 + 48,8 \cdot 0,95) = 2,57 \%$$

This is acceptable, and the starting and running flicker effects at this alternative location now need to be assessed.

e) Flicker measurements (see table C.1)

Flickermeter readings were taken for the following conditions:

- Test i) existing location with 900 kW motor not running (background) (P_{st2}).
- Test ii) existing location with 900 kW motor starting.
- Test iii) existing location with 900 kW motor operating normally (P_{st1}).
- Test iv) 33/11 kV substation 11 kV busbar (background) (P_{st6}).

f) Choix de l'impédance du réseau pour utilisation dans l'étude

L'impédance de $1,3 + j \cdot 48,8 \%$ à 100 MVA donnée en d) est obtenue avec les deux transformateurs 33/11 kV sur le circuit. Une indisponibilité de l'un de ces transformateurs augmentera l'impédance du jeu de barres 11 kV à $2,5 + j \cdot 85,6 \%$ à 100 MVA, soit presque deux fois l'impédance dans des conditions d'exploitation normales. La réparation des défauts majeurs des transformateurs peut prendre plusieurs mois et présente par conséquent un risque car elle peut entraîner un fonctionnement prolongé avec une impédance du réseau élevée. Toutefois, dans ce cas, étant donné que l'on utilise le compacteur d'automobiles principalement pendant la journée, quand il n'y a pas d'utilisation importante d'appareils d'éclairage à filament de tungstène, on a décidé d'ignorer la situation d'indisponibilité et d'utiliser l'impédance d'exploitation normale du réseau. Il faut cependant noter que dans de telles conditions d'indisponibilité, la variation de tension pas à pas au démarrage du moteur représente environ 5,2 %.

g) Choix de la valeur à utiliser pour m dans la formule de sommation (2)

Le moteur existant et le moteur proposé fonctionneront de manière indépendante et l'on utilise par conséquent la valeur générale $m = 3$, pour la sommation des effets de flicker. On ne prévoit pas de démarrer les deux moteurs exactement au même moment de sorte que, là encore, on peut utiliser $m = 3$ pour cette sommation.

h) Effets de flicker, démarrage

On a obtenu les valeurs suivantes de sévérité à 10 min, P_{st} , pour le démarrage du moteur 900 kW existant sur l'alimentation existante (voir tableau C.1):

Démarrage (y compris bruit de fond): $P_{st} = 0,56$ (essai ii)

Relevés de bruit de fond types: $P_{st} = 0,3$ (valeur moyenne, essai i)

Démarrage, moteur de 900 kW uniquement: $P_{st} = \sqrt[3]{(0,56^3 - 0,3^3)} = 0,53$

Pour transférer cette valeur sur le jeu de barres 11 kV donné en d), il est nécessaire de déterminer le rapport des amplitudes de variations de tension entre les deux emplacements.

A l'emplacement existant, les variations de tension au démarrage pour le moteur existant représentent 2,94 % (voir c)).

La variation de tension au démarrage au jeu de barres 11 kV représenterait.

$$\text{Variation de tension} = \frac{3,3}{100} \cdot (1,3 \cdot 0,3 + 48,8 \cdot 0,95) = 1,54 \%$$

Par conséquent, au jeu de barres 11 kV, au démarrage, le moteur de 900 kW provoquerait une sévérité de:

$$0,53 \cdot \frac{1,54}{2,94} = 0,28 \text{ (} P_{st7} \text{, voir tableau C.1)}$$

Le moteur de 1 500 kW proposé est une version extrapolée du moteur de 900 kW, ce qui provoque un niveau de sévérité de:

$$0,28 \cdot \frac{1500}{900} = 0,47 \text{ (} P_{st8} \text{, tableau C.1)}$$

i) Effets de flicker, fonctionnement normal (voir tableau C.1)

1) Moteur de 900 kW

Pour déterminer les effets de flicker du moteur 900 kW pris individuellement, il est nécessaire de soustraire les effets des perturbations de fond (essai a) du relevé commun au moteur et au bruit de fond (essai c).

f) Choice of system impedance to use in study

The impedance, given in d), of $1,3 + j \cdot 48,8 \%$ on 100 MVA is with both 33 kV/11 kV transformers in circuit. An outage of one of these transformers will increase the 11 kV busbar impedance to $2,5 + j \cdot 85,6 \%$ on 100 MVA, i.e. almost twice that of the normal operating condition. Major transformer faults can take several months to repair and consequently represent a risk of causing extended running with a high system impedance. However, in this case, as the operation of car shredders takes place mainly during the day when there is no significant use of tungsten filament lighting, it was decided to ignore the outage situation and use the normal operating system impedance. However, it should be noted that under these outage conditions the voltage step change on motor starting is about 5,2 %.

g) Choice of value to use for m in the summation formula (2)

Both the existing motor and the proposed one will operate independently of each other and so the general value, $m = 3$, is used for the summation of flicker effects. The two motors are not expected to start at exactly the same time, so again, $m = 3$ can be used for this.

h) Flicker effects, starting

The following 10 min severity values, P_{st} , were obtained for the starting of the existing 900 kW motor on the existing supply (see table C.1):

Starting (including background): $P_{st} = 0,56$ (test ii)

Typical background readings: $P_{st} = 0,3$ (mean value, test i))

Starting, 900 kW motor only: $P_{st} = \sqrt[3]{(0,56^3 - 0,3^3)} = 0,53$

To transfer this value to the 11 kV busbar given in d) it is necessary to determine the ratio of voltage change magnitudes between the two locations.

At the existing location, starting voltage changes for the existing motor are 2,94 % (see c)).

At the 11 kV busbar, the starting voltage change would be:

$$\text{Voltage change} = \frac{3,3}{100} \cdot (1,3 \cdot 0,3 + 48,8 \cdot 0,95) = 1,54 \%$$

Therefore, at the 11 kV busbar, on starting, the 900 kW motor would cause a severity of:

$$0,53 \cdot \frac{1,54}{2,94} = 0,28 \text{ (} P_{st7} \text{, see table C.1)}$$

The proposed 1 500 kW motor is a scaled version of the existing 900 kW one, so this will cause a severity value of:

$$0,28 \cdot \frac{1500}{900} = 0,47 \text{ (} P_{st8} \text{, see table C.1)}$$

i) Flicker effects, normal running (see table C.1)

1) 900 kW motor

To determine the flicker effects of the 900 kW motor on its own it is necessary to subtract the effects of background disturbances (test a) from the combined reading of motor and background (test c).

$$\text{Rapport} = \frac{13 \cdot 0,9 + 48,8 \cdot 0,44}{37,5 \cdot 0,9 + 82 \cdot 0,44} = 0,32$$

Il s'agit d'une version extrapolée du moteur de 900 kW. C'est pourquoi les valeurs de sévérité seront vraisemblablement celles du plus petit moteur multipliées par (1500/900).

On obtient le niveau de flicker total en faisant la somme du niveau de flicker dû au bruit de fond au jeu de barres 11 kV (essai d) et des niveaux dus aux deux moteurs. En outre, pour prendre en compte le démarrage des moteurs au début de la journée, la première valeur de sévérité doit inclure également les valeurs de sévérité au démarrage des deux moteurs.

i) Sommaire

- $$P_{st} \text{ (maximum)} = 0,75$$

$$P_{It} = 0,59$$

Tableau C.1 – Mesures du flicker pour l'exemple C.2, effets de flicker, fonctionnement normal

		Valeurs de sévérité à court terme, P_{St} consécutives, prises sur 2 h											
Essai iii), moteur 900 kW + bruit de fond	(P_{st1})	0,54	0,78	0,81	0,84	0,87	0,84	0,81	0,75	0,75	0,81	0,81	0,66
Essai i), bruit de fond	(P_{st2})	0,27	0,27	0,24	0,48	0,48	0,27	0,24	0,27	0,27	0,24	0,27	0,30
Moteur 900 kW, $\sqrt[3]{P_{st1}^3 - P_{st2}^3}$	(P_{st3})	0,52	0,77	0,80	0,78	0,82	0,83	0,80	0,74	0,74	0,80	0,80	0,64
Moteur 900 kW mis à l'échelle pour emplacement alternatif, $P_{st3} \times 0,32$	(P_{st4})	0,17	0,25	0,26	0,25	0,26	0,27	0,26	0,24	0,24	0,26	0,26	0,21
Moteur 1500 kW, $P_{st4} \times (1500/900)$	(P_{st5})	0,28	0,41	0,43	0,42	0,44	0,45	0,43	0,40	0,40	0,43	0,43	0,34
Essai iv), bruit de fond	(P_{st6})	0,24	0,24	0,69	0,69	0,45	0,48	0,36	0,24	0,36	0,36	0,21	0,66
Démarrage moteur 900 kW	(P_{st7})	0,28											
Démarrage moteur 1500 kW	(P_{st8})	0,47											
Sommission, $\sqrt[3]{\sum_{n=4}^{n=8} (P_{stn})^3}$	(P_{st9})	0,55	0,46	0,75	0,75	0,58	0,60	0,53	0,45	0,50	0,53	0,47	0,70
$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_1^{12} (P_{st})^3}$		0,59											

The result gives the effects of the 900 kW motor only at the existing location. To translate the effects to the 11 kV busbar proposed in d), it is necessary to scale the severity values for the ratio of the magnitude of the voltage changes at the two locations. As power swings during running occur at 0,9 power factor, then this ratio is:

$$\text{Ratio} = \frac{1,3 \cdot 0,9 + 48,8 \cdot 0,44}{37,5 \cdot 0,9 + 82 \cdot 0,44} = 0,32$$

2) Proposed 1 500 kW motor

This is a scaled version of the 900 kW motor so its likely severity values are those of the smaller motor multiplied by (1500/900).

3) Summation of effects at the 11 kV busbar

The total severity is obtained by summing the background severity at the 11 kV busbar (test d) and that from the two motors. In addition, to take into account for the motors starting at the beginning of a day, the first severity value should also include the starting severity values of the two motors.

The long-term severity value, P_{lt} , is derived from the summated P_{st} values using formula (1).

j) Summary

1) The starting voltage change of 2,6 % of the proposed 1 500 kV motor at the 11 kV busbar of the 33 kV/11 kV substation is acceptable.

2) The transfer of the existing motor and the connection of the proposed 1 500 kV motor to this 11 kV busbar will lead to the following flicker severity values:

$$P_{st} \text{ (maximum)} = 0,75$$

$$P_{It} = 0,59$$

Both of these values are within the limits of table 2 and so this proposal is acceptable.

Table C.1 – Flicker measurements for example C.2, flicker effects, normal running

		Consecutive short-term severity values, P _{st} taken over 2 h											
Test iii), 900 kW motor + background Test i), background	(P _{st1}) (P _{st2})	0,54 0,27	0,78 0,27	0,81 0,24	0,84 0,48	0,87 0,48	0,84 0,27	0,81 0,24	0,75 0,27	0,75 0,27	0,81 0,24	0,81 0,27	0,66 0,30
900 kW motor, $\sqrt[3]{P_{st1}^3 - P_{st2}^3}$	(P _{st3})	0,52	0,77	0,80	0,78	0,82	0,83	0,80	0,74	0,74	0,80	0,80	0,64
900 kW motor scaled for alternative location, P _{st3} x 0,32	(P _{st4})	0,17	0,25	0,26	0,25	0,26	0,27	0,26	0,24	0,24	0,26	0,26	0,21
1500 kW motor, P _{st4} x (1500/900)	(P _{st5})	0,28	0,41	0,43	0,42	0,44	0,45	0,43	0,40	0,40	0,43	0,43	0,34
Test iv), background	(P _{st6})	0,24	0,24	0,69	0,69	0,45	0,48	0,36	0,24	0,36	0,36	0,21	0,66
900 kW motor starting	(P _{st7})	0,28											
1500 kW motor starting	(P _{st8})	0,47											
Summation, $\sqrt[3]{\sum_{n=4}^{n=8} (P_{stn})^3}$	(P _{st9})	0,55	0,46	0,75	0,75	0,58	0,60	0,53	0,45	0,50	0,53	0,47	0,70
$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_1^{12} (P_{st})^3}$		0,59											

C.3 Etude d'un projet de charge multiple due à des machines d'extraction

Dans cet exemple, on propose d'installer trois machines d'extraction de 5 MW raccordées à une alimentation avec une puissance de court-circuit de 400 MVA au PCC. Le profil des niveaux de puissance réactive des machines d'extraction est donné dans la figure C.2 ci-dessous. La question est de savoir comment l'exploitation des trois machines d'extraction avec des cycles semblables mais non identiques d'environ 60 s affecte le niveau de flicker.

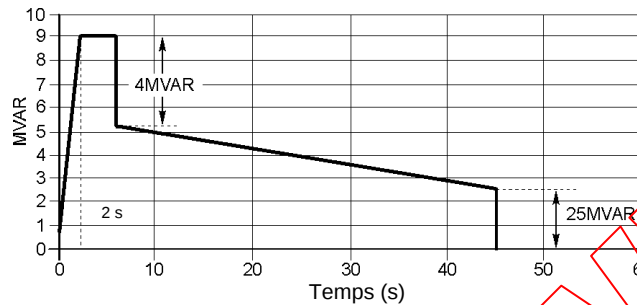


Figure C.2 – Exemple de profil de niveaux de puissance réactive des machines d'extraction

Les variations de tension sont à peu près proportionnelles au profil de la puissance réactive avec 4 Mvar équivalant à une variation de tension de 1 % et 2,5 MVar équivalant à 0,63 %. On voit sur la figure C.2 que les durées de rampe supérieures à 1 s environ ont des effets limités par rapport aux variations en échelon de même taille. Le flicker engendré par les machines d'extraction sera par conséquent dû principalement à la variation de 4 MVar se produisant 6 s après la mise sous tension et, dans une moindre mesure, à l'échelon de puissance réactive plus faible de 2,5 MVar qui a lieu à la mise hors tension.

Ainsi, s'il n'existe qu'une seule machine d'extraction, le P_{st} (en supposant que l'échelon le plus grand provoque une variation de tension de 1 % au PCC) pour un taux de répétition de 60 s peut être déduit de la figure 4.

A partir de la figure 4 (230 V) pour un taux de répétition de 60 s, $P_{st} = 1,0$, la variation de tension maximale est égale à 2,7 %.

Par conséquent, pour une variation de tension de 1 %, $P_{st} = \frac{1}{2,7} = 0,37$ et pour une variation de tension de 0,63 %, $P_{st} = 0,37 \cdot 0,6 = 0,23$ le P_{st} combiné pour les deux échelons $= \sqrt[3]{0,37^3 + 0,23^3} = 0,40$.

(Etant donné que le P_{st} est directement proportionnel à l'amplitude de la variation de tension, on peut facilement le calculer pour d'autres PCC avec des variations de tension différentes.)

Si on suppose que le fonctionnement des machines d'extraction n'est pas corrélé, on peut également obtenir les effets de flicker engendrés par plus d'une machine d'extraction en appliquant la formule de la loi de la racine cubique (3), soit pour trois machines d'extraction,

$P_{st} = \sqrt[3]{(3 \cdot 0,4^3)} = 0,58$. Ceci ne tient pas compte du flicker le plus sévère qui serait engendré

par la coïncidence des échelons provenant de différentes machines d'extraction. Des études ont montré que la coïncidence des échelons devrait être voisine à moins de 0,1 s pour engendrer un effet de flicker prononcé. La fréquence de coïncidence de deux échelons en 0,1 s avec trois machines d'extraction en service ayant chacune une durée de cycle de 60 s est d'environ une par heure et la coïncidence des échelons de trois machines d'extraction d'environ une toutes les deux semaines.

C.3 Study of proposed multiple mine winder load

In this example there is a proposal to install three 5 MW mine winders connected to a supply with a 400 MVA fault level at the PCC. The profile of the winder reactive power levels is given in figure C.2 below. The question is how the operation of the three winders together, with similar but not identical cycle times of approximately 60 s, affects the flicker level.

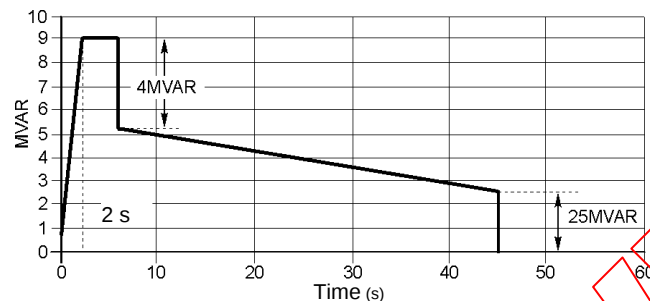


Figure C.2 – Example profile of winder reactive power levels

The voltage changes are approximately proportional to the reactive power profile with 4 MVar equal to 1 % voltage change and 2,5 MVar equal to 0,63 %. It is seen from figure C.2 that ramp times greater than about 1 s have a small effect compared to step changes of a similar size. The flicker from the winders will therefore be predominately caused by the 4 MVar change at 6 s after switch-on and to a lesser extent by the smaller step reactive power change of 2,5 MVar at switch-off.

Thus, if there is only one mine winder the P_{st} (assuming that the largest step causes a 1 % voltage change at the point of common coupling) for a repetition rate of 60 s can be derived from figure 4.

From figure 4 (230 V) for a 60 s repetition rate, $P_{st} = 1,0$, the maximum voltage change is 2,7 %.

Therefore, for a 1 % voltage change, $P_{st} = \frac{1}{2,7} = 0,37$ and for a 0,63 % voltage change

$P_{st} = 0,37 \cdot 0,63 = 0,23$, the combined P_{st} for both step changes = $\sqrt[3]{0,37^3 + 0,23^3} = 0,40$.

(As P_{st} is directly proportional to the size of the voltage change, then it is easily calculated for other PCCs with different voltage changes.)

If it is assumed that the operation of the winders is uncorrelated the flicker effects from more than one winder can also be obtained by application of the cubic root law formula (3), i.e. for three winders, $P_{st} = \sqrt[3]{3 \cdot 0,4^3} = 0,58$. This ignores the more severe flicker which would result from the coincidence of steps from different winders. Studies have shown that the coincidence of the step changes would have to be closer than 0,1 s to have a pronounced flicker effect. The frequency of two steps coinciding within 0,1 s with three winders in operation having a cycle time of 60 s each is about one an hour and the coincidence of three winder steps is about once a fortnight.

Il est également intéressant de noter que si les échelons ne se produisaient pas environ toutes les demi-secondes ou toutes les secondes, une évaluation au flickermètre donnerait un P_{st} basé sur une fréquence moyenne d'apparition, que les échelons soient réguliers ou aléatoires.

Cette analyse montre que l'installation proposée pour les machines d'extraction ne serait pas acceptable avec un P_{st} maximum de 0,58 si la limite du stade 2 est $P_{st}=0,5$ et une approche de stade 3 serait nécessaire.

Une autre méthode d'évaluation de ce problème consiste à utiliser une technique de durée du flicker semblable à A.2. Là encore, les variations à deux rampes ont un effet négligeable sur le flicker étant donné que les deux durées d'augmentation (ou de baisse) dépassent 1 s.

D'après la figure 4 (230 V), l'échelon de 4 Mvar à 6 s dans le cycle et avec une ampleur de 1 % serait admissible toutes les 23 s pour une limite spécifiée de P_{st} de 0,5. Une variation de tension de 2 % sur la courbe de $P_{st} = 1$ (figure 4) équivaut à une variation de tension de 1 % sur une courbe de $P_{st} = 0,5$.

La variation de tension de 2,5 Mvar à 45 s dans le cycle avec une ampleur de 1 % $\times 2,5/4 = 0,63$ % serait admissible toutes les 5 s.

La durée du flicker totale est égale par conséquent à: $23 + 5 = 28$ s.

Pour ces trois machines ayant une durée de cycle moyenne de 63 s, la durée du flicker sera de $3 \times 28 = 84$ s. Ceci dépasse la durée de cycle de 63 s et le raccordement de ces machines n'est donc pas admissible selon le stade 2.

C.4 Charge multiple due à des soudeuses par points

Un fabricant souhaite installer une charge due à des soudeuses par points. Cette charge consiste en trois soudeuses par points ayant respectivement des temps de répétition de cycle de 0,2 s, 1 s et 2,5 s. Les soudeuses provoquent respectivement des chutes de tension de 0,5 V, 0,4 V et 0,25 V au point commun de couplage et ont des temporisations de 0,1 s, 0,2 s et 0,3 s.

Les formes d'onde des trois soudeuses sont représentées figure C.3.

On pourrait évaluer la valeur de sévérité pour chaque soudeuse à l'aide de la figure 4, comme dans l'exemple C.3, et faire ensuite une sommation en utilisant les techniques de l'article 6. Toutefois, étant donné que les variations de tension se produisent à des intervalles inférieurs à 0,1 s, le risque de variations de tension coïncidentes est très élevé et on ne voit pas clairement quelle valeur de m il faut utiliser dans la formule de sommation (2). Il vaut beaucoup mieux utiliser dans ce cas un programme de simulation de flickermètre [4] pour évaluer les trois soudeuses travaillant simultanément.

On suppose que la forme d'onde analysée présente une coïncidence maximale de variations de tension et une valeur de sévérité $P_{st} = 1,48$. On obtiendrait une valeur légèrement inférieure si les variations de tension ne coïncidaient pas exactement (1,42 au minimum).

It is also interesting to note that if the steps do not occur within say 0,5 s to 1 s of each other then a flickermeter assessment would give a result for P_{st} based on mean frequency of occurrence regardless of whether the step changes are regular or random.

It is seen from this analysis that the proposed winder installation would not be acceptable with a P_{st} maximum of 0,58 if the stage 2 limit is $P_{st}=0,5$, and a stage 3 approach would be necessary.

Another method to assess this problem is to use a flicker time technique similar to that given in A.2. Again the two ramp type changes have a negligible effect on flicker since both rise (or fall) times exceed 1 s.

From figure 4 (230 V), the step change of 4 Mvar at 6 s into the cycle and with a magnitude of 1 % would be allowed every 23 s for a specified limit of P_{st} of 0,5. A 2 % voltage change on the $P_{st} = 1$ of figure 4 curve is equivalent to a 1 % voltage change on a $P_{st} = 0,5$ curve.

The step change of 2,5 Mvar at 45 s into the cycle with a magnitude of $1 \% \times 2,5/4 = 0,63 \%$ would be allowed every 5 s.

The total flicker time is therefore $23 + 5 = 28$ s.

For three such machines with a mean cycle time of 63 s, the flicker time will be $3 \times 28 = 84$ s. This is in excess of the 63 s cycle time and so the connection of these machines is not acceptable under stage 2.

C.4 Multiple spot welder load

A manufacturer wishes to install a spot welder load. This load consists of three spot welders having cycle repetition times of 0,2 s, 1 s and 2,5 s respectively. The welders give voltage drops of 0,5 V, 0,4 V and 0,25 V respectively at the PCC and have dwell times of 0,1 s, 0,2 s and 0,3 s.

The waveforms of the three welders are shown in figure C.3.

The severity value of each welder on its own could be evaluated using figure 4, as in example C.3, and then summated using the techniques of clause 6. However, as voltage changes occur at less than 0,1 s intervals, the risk of coincident voltage changes is very high and it is not clear which value of m to use in the summation formula (2). It is much better in this case to use a flickermeter simulator program [4] to evaluate all three welders working together.

The waveform analyzed is assumed to have maximum coincidence of voltage changes and a severity value $P_{st} = 1,48$. A slightly lower value would be obtained if the voltage changes were not exactly coincident (minimum 1,42).