

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1000-2-3**

Première édition
First edition
1992-09

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Partie 2:

Environnement

Section 3: Description de l'environnement –

Phénomènes rayonnés et phénomènes conduits
à des fréquences autres que celles du réseau

Electromagnetic compatibility (EMC)

Part 2:

Environment

Section 3: Description of the environment –

Radiated and non-network-frequency-related
conducted phenomena



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1000-2-3: 1992

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 électrotechnique*;
- 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
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1000-2-3**

Première édition
First edition
1992-09

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Partie 2:

Environnement

Section 3: Description de l'environnement –

Phénomènes rayonnés et phénomènes conduits
à des fréquences autres que celles du réseau

Electromagnetic compatibility (EMC)

Part 2:

Environment

Section 3: Description of the environment –

Radiated and non-network-frequency-related
conducted phenomena

© CEI 1992 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 pro-
cédé, 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

XB

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Généralités	10
1.1 Domaine d'application et objet	10
1.2 Document de référence	10
2 Considérations générales	10
2.1 Couplage entre appareils émetteurs de perturbation et appareils susceptibles	12
2.2 Unités et décibels	14
3 Modèles de sources, de couplages et d'appareils susceptibles, et leurs limitations	16
3.1 Modèles de sources	16
3.2 Modèles de couplages	24
3.3 Modèles d'appareils susceptibles	34
4 Niveaux d'émission et environnement	34
4.1 Environnement conduit	34
4.2 Environnement par champ d'induction	34
4.3 Environnement rayonné	36
4.4 Considérations statistiques	36
4.5 Conséquences sur les limites	36
4.6 Environnement défini par références aux limites normalisées	36
5. Emetteurs intentionnels	42
5.1 Emetteurs radio	42
5.2 Autres sources de rayonnement intentionnel	42
5.3 Systèmes à courants porteurs	44

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	9
Clause	
1 General	11
1.1 Scope and object	11
1.2 Reference document	11
2 General considerations	11
2.1 Coupling between emitting and susceptible devices	13
2.2 Units and decibels	15
3 Source, coupling and susceptor models, and their limitations	17
3.1 Source models	17
3.2 Coupling models	25
3.3 Susceptible device models	35
4 Emission levels and the environment	35
4.1 Conduction environment	35
4.2 Induction field environment	35
4.3 Radiation field environment	37
4.4 Statistical considerations	37
4.5 Implications for limits	37
4.6 Environment implied by invoking of standard limits	37
5. Intentional emitters	43
5.1 Radio transmitters	43
5.2 Other sources of intentional radiation	43
5.3 Carrier frequency current systems	45

Articles	Pages
6 Emetteurs non intentionnels	46
6.1 Sources de bruit physique	46
6.2 Bruits d'origine humaine	48
6.3 Bruits atmosphériques	50
6.4 Décharge électrostatique	54
6.5 Lignes d'alimentation à haute et à moyenne tension	66
6.6 Lignes d'alimentation à basse tension	74
6.7 Lignes de signaux et de contrôle	88
6.8 Appareils	90
6.9 Moteurs	90
6.10 Systèmes et dispositifs numériques	92
6.11 Récepteurs de télévision et de radio, moniteurs et magnétoscopes	94
6.12 Lampes fluorescentes	96
6.13 Matériel industriel	106
6.14 Systèmes de traction	120
6.15 Systèmes d'allumage	120
7 Exemples d'environnements	122
7.1 Environnements résidentiels et commerciaux	122
7.2 Environnements industriels	126
7.3 Postes haute tension	126
7.4 Centres de commutation des télécommunications	128
7.5 Hôpitaux	130
Bibliographie	132

Clause	Page
6 Unintentional emitters	47
6.1 Physical noise sources	47
6.2 Man-made noise	49
6.3 Atmospherics	51
6.4 Electrostatic discharge	55
6.5 High-voltage and medium-voltage power lines	67
6.6 Low-voltage power lines	75
6.7 Signal and control lines	89
6.8 Appliances	91
6.9 Motors	91
6.10 Digital devices and systems	93
6.11 Radio and television receivers, monitors and video recorders	95
6.12 Fluorescent lamps	97
6.13 Industrial equipment	107
6.14 Traction systems	121
6.15 Ignition systems	121
7 Examples of environments	123
7.1 Residential and commercial environments	123
7.2 Industrial environments	127
7.3 Switching stations	127
7.4 Dedicated telecommunication switching centres	129
7.5 Hospitals	131
Bibliography	133

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM)

Partie 2: Environnement

Section 3: Description de l'environnement – Phénomènes rayonnés et phénomènes conduits à des fréquences autres que celles du réseau

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente section de la CEI 1000-2, qui a le statut de Rapport technique, a été établie par le Comité d'Etudes n° 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique entre les matériels électriques y compris les réseaux.

Le texte de cette section est issu des documents suivants:

CD	Rapport de vote
77(SEC)103 et 103A	77(SEC)106

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

Le présent rapport est un Rapport technique de type 3, de caractère entièrement informatif.

Il ne doit pas être considéré comme Norme internationale.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)**Part 2: Environment****Section 3: Description of the environment – Radiated and non-network-frequency-related conducted phenomena****FOREWORD**

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This section of IEC 1000-2, which has the status of a technical report, has been prepared by IEC Technical Committee No. 77: Electromagnetic compatibility between electrical equipment including networks.

The text of this section is based on the following documents:

CD	Report on Voting
77(SEC)103 and 103A	77(SEC)106

Full information on the voting for the approval of this section can be found in the Voting Report 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.

INTRODUCTION

La CEI 1000 est publiée sous forme de plusieurs parties conformément à la structure 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 produits)

Partie 4: Techniques d'essais et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation

Guides d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en sections qui seront publiées soit comme Normes Internationales, soit comme Rapports techniques.

Ce document a le statut d'une publication fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de la CEI.

INTRODUCTION

IEC 1000 is published in separate parts 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 the 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 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into sections which can be published either as International Standards or Technical Reports.

This document has the status of a Basic EMC Publication in accordance with IEC Guide 107.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM)

Partie 2: Environnement

Section 3: Description de l'environnement – Phénomènes rayonnés et phénomènes conduits à des fréquences autres que celles du réseau

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

Le présent Rapport technique décrit l'environnement électromagnétique. Il pourra servir de base à l'étude de systèmes et de matériels, fondée sur l'application de normes d'essais (techniques et limites), et de méthodes d'atténuation (comportant les pratiques d'installation). Ces méthodes tiennent compte de façon satisfaisante des effets indésirables qui pourraient résulter d'interactions imprévues dans le matériel électrique et électronique.

Le présent rapport a essentiellement pour objet les caractéristiques et les niveaux des champs électromagnétiques et des émissions conduites aux fréquences autres que celles du réseau provenant de sources de perturbations non intentionnelles. Son application fait partie de la réalisation de la compatibilité électromagnétique des systèmes. Cette dernière nécessite que les caractéristiques d'immunité du matériel soient prises en compte lors de toute installation normale ou spéciale de matériel ou de câblage. Il convient que des compromis techniques soient recherchés à la conception et à l'installation des matériels entre les caractéristiques d'émission et de susceptibilité, la séparation physique, le filtrage et le blindage pour réaliser la solution la plus économique répondant aux performances exigées des systèmes.

1.2 *Document de référence*

CEI 1000-2-1: 1990, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 1: Description de l'environnement – Environnement électromagnétique pour les perturbations conduites basse fréquence et la transmission de signaux sur les réseaux publics d'alimentation.*

2 Considérations générales

On peut utiliser différentes approches pour décrire l'environnement électromagnétique. La classification en termes de zones d'environnement-type tels que résidentiel, urbain, industriel, et commercial, peut avoir un sens en ce que chacune de ces classes amène à définir les caractéristiques propres à cet environnement, à partir desquelles on peut définir les niveaux de compatibilité. Cependant, il faut se rendre compte qu'un matériel qui habituellement ne serait pas implanté dans une classe d'environnement donnée, peut toutefois affecter cet environnement.

Pour la raison ci-dessus, l'approche adoptée dans ce rapport consiste à spécifier les niveaux électromagnétiques générés par des sources déterminées ou des classes de sources. Le niveau attendu dans une zone donnée doit donc être déterminé en se référant aux sources existant dans cette zone.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)

Part 2: Environment

Section 3: Description of the environment – Radiated and non-network-frequency-related conducted phenomena

1 General

1.1 Scope and object

This Technical Report describes the electromagnetic environment. It is intended as a basis to achieve electromagnetic compatibility in system and equipment design, using test standards (techniques and limits), and mitigation methods (including installation practices), which satisfactorily take account of undesirable effects that otherwise might result from unintended electrical and electronic equipment interactions.

This report is primarily concerned with the characteristics and levels of electromagnetic fields and of non-network-frequency-related conducted emissions from unintentional sources of interference. Its application is part of the process of achieving electromagnetic compatibility of systems; this requires the immunity characteristics of equipment to be considered together with any normal or special equipment or cable installation practices that may be required. Trade-offs should be made between physical separation, filtering and shielding when considering equipment installation and design, in order to achieve emission and immunity characteristics which meet system requirements.

1.2 Reference document

IEC 1000-2-1: 1990, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 1: Description of the environment – Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems*.

2 General considerations

There are various approaches that can be used for describing the environment. Classification in terms of typical environmental locations such as urban, industrial, residential and commercial may have some meaning in that each of these tends to imply some general characteristics of the environment on which compatibility levels may be based. However, it must be recognized that equipment not normally associated with a particular class of environment may indeed affect any specific location.

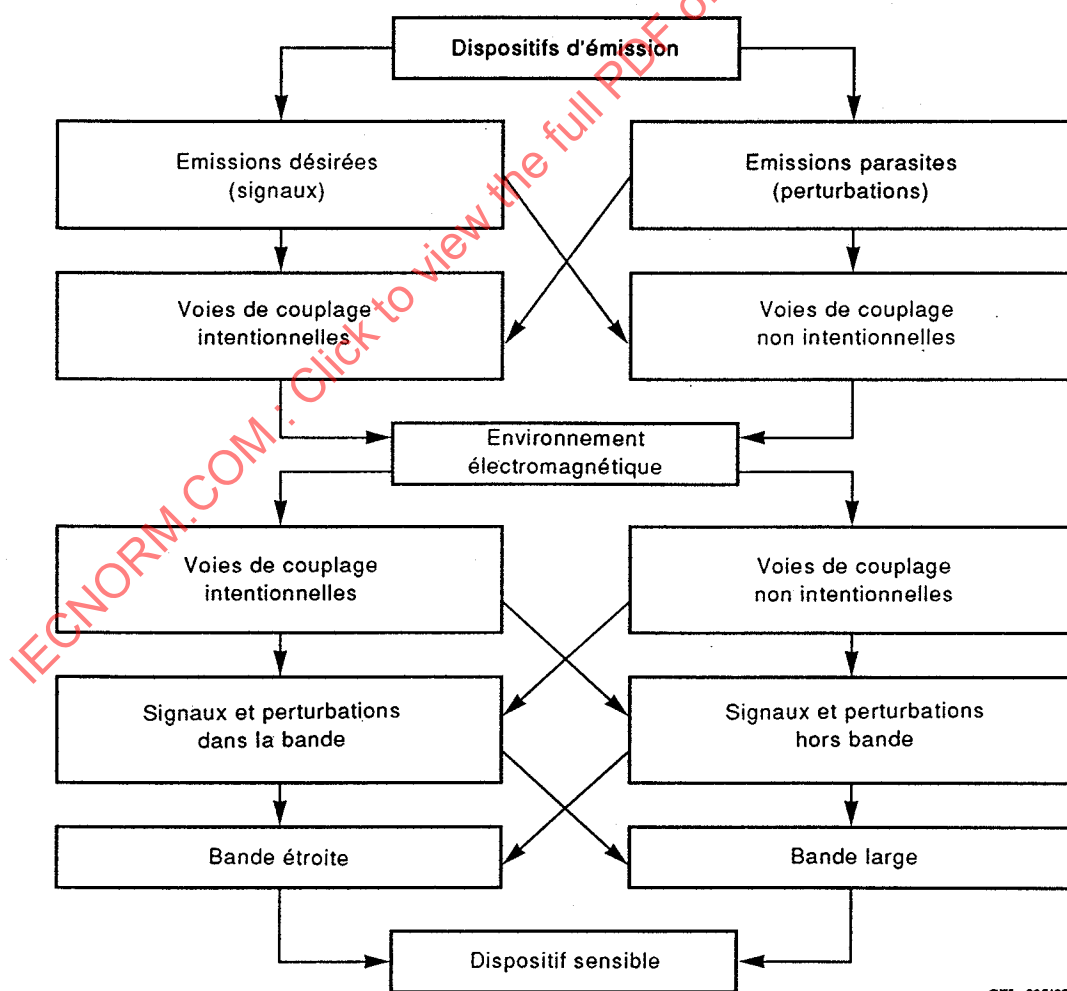
For the above reason, the approach taken in this report is to state the electromagnetic levels expected from particular sources or classes of sources. The level expected at a particular location must then be determined with reference to the sources existing at that location.

Il faut aussi reconnaître qu'on ne peut pas toujours identifier les sources pouvant affecter un environnement donné. Tel est le cas, par exemple, des perturbations conduites engendrées à grande distance dans un réseau électrique par des charges industrielles non linéaires, ou par des coups de foudre imprévisibles et exceptionnellement violents. Il est important de faire une distinction entre réseaux publics et réseaux industriels ou privés.

La qualité de service au point de connexion commun en raison des utilisateurs éloignés dépendra de la puissance du réseau et des charges qui lui seront connectées, ce qui est peu connu du consommateur individuel. Des fluctuations de tension peuvent être provoquées par la mise en service de charges aussi bien que par des coups de foudre ou des défauts du réseau. A l'intérieur du réseau d'un consommateur, résidentiel ou industriel, les effets à basse fréquence de charges locales peuvent être prévus. En général, on peut s'attendre à ce que les sources éloignées limitent la qualité du service fourni sur le lieu d'un consommateur, et que tout système devrait pouvoir fonctionner correctement en l'absence de sources locales. Ceci suppose que la qualité du service soit par ailleurs satisfaisante. On peut s'attendre à ce que les sources locales aient des effets plus importants de dégradation possible des systèmes et dispositifs.

2.1 Couplage entre appareils émetteurs de perturbation et appareils sensibles

La principale raison amenant à considérer la compatibilité électromagnétique est la présence d'appareils (matériels, systèmes) présentant une susceptibilité aux émissions électromagnétiques provenant d'autres dispositifs.



CEI 828/92

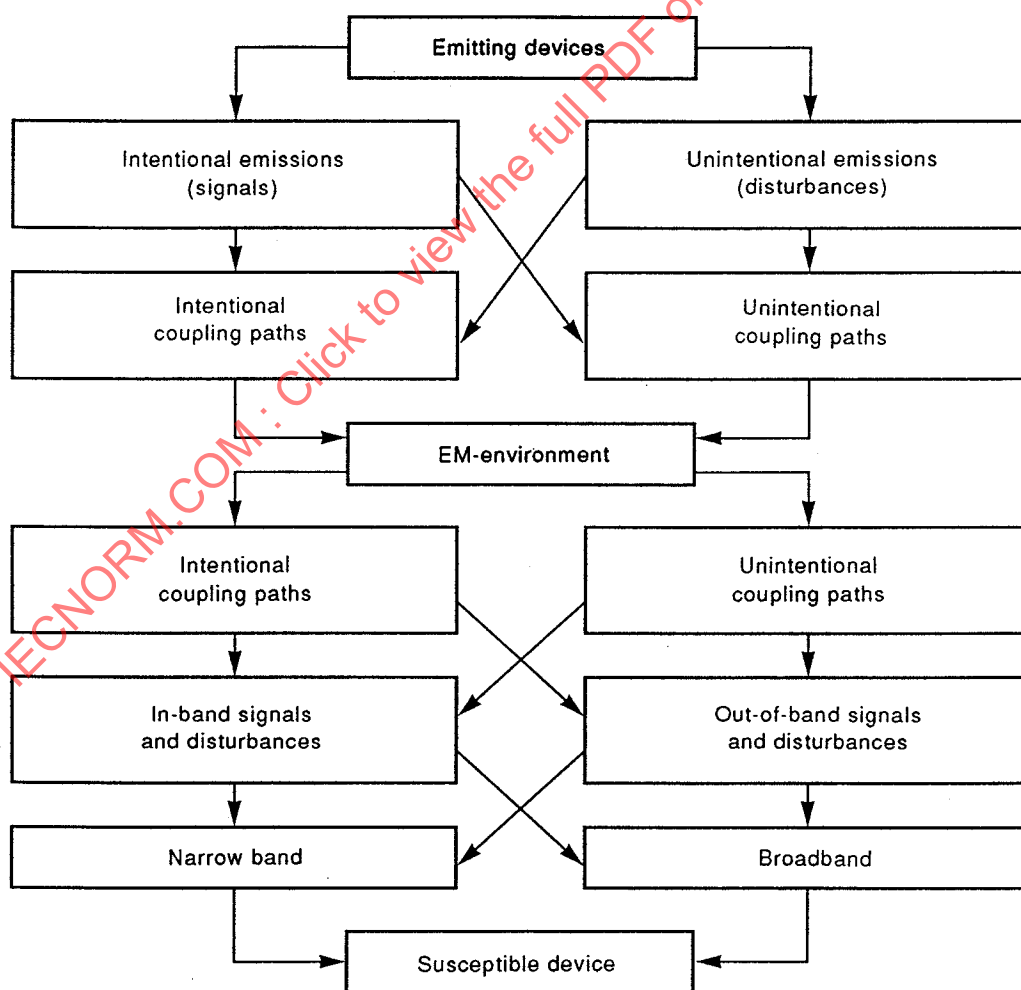
Figure 1 – Voies de couplage entre dispositifs d'émission et appareils sensibles

At the same time it should be recognized that one cannot always identify all sources that may affect a particular environment. Such is the case, for example, with conducted disturbances in a power system generated at large distances, for example large distant nonlinear industrial loads or unpredictable exceptionally severe lightning strokes. It is meaningful to make a distinction between public supply and industrial or private networks.

The quality of service at the point of common connection due to remote users will depend upon the capacity of the network and the loads connected to it that an individual consumer knows little about. Voltage fluctuations can be caused by load switching as well as by system faults and lightning strokes. Within a consumer's system, residential or industrial, the low frequency effects of local loads can be predicted. In general, one would expect the remote sources to limit the quality of service delivered to a particular consumer location, and that any given system should perform properly in the absence of local sources. This is assuming that the quality of service is otherwise satisfactory. Local sources can be expected to have more significant effects in possible system and device degradation.

2.1 Coupling between emitting and susceptible devices

The major reason for considering electromagnetic compatibility is the existence of devices (equipment, systems) which show susceptibility to electromagnetic emission from other devices.



IEC 828/92

Figure 1 – Coupling paths between emitting and susceptible devices

Ces dispositifs émetteurs peuvent être le siège d'émissions intentionnelles comme la diffusion de signaux aux fréquences radio, ou des émissions non intentionnelles telles que le champ magnétique produit par les bobines de déviation d'un tube cathodique. Par diverses voies de couplage, de telles émissions peuvent atteindre l'endroit où un dispositif susceptible est installé, comme montré à la figure 1, créant ainsi un environnement électromagnétique pour ce dispositif. Les subdivisions montrées dans cette figure sont importantes pour la description de l'environnement électromagnétique. De plus, les possibilités techniques permettant de prévenir ou de résoudre un problème de brouillage sont reliées à ces subdivisions, comme le sont aussi les spécifications de compatibilité électromagnétique.

Le dispositif susceptible peut être exposé à cet environnement électromagnétique par des voies de couplage volontaires, comme l'antenne d'un récepteur radio, ou par des voies de couplage non intentionnelles telles que la tête d'enregistrement d'un magnétoscope, un câble de signaux ou un câble d'alimentation secteur. Les deux types de voies de couplage, intentionnelles et non intentionnelles, peuvent transporter des perturbations ayant des composantes de fréquence dans la bande de fréquence choisie pour le signal désiré du dispositif susceptible, et des composantes situées hors de cette bande. On peut considérer les perturbations reçues comme étant de bande étroite ou de large bande. Par exemple, la perturbation provenant d'une alimentation à découpage fonctionnant à 40 kHz, est à bande étroite quand on la mesure avec un récepteur CISPR dans la gamme de fréquences de 10 kHz à 150 kHz puisque la largeur de bande du récepteur est de 200 Hz, et que chaque composante harmonique de ce signal peut donc être mesurée séparément lors du balayage de la bande considérée. Cependant, la même perturbation est à bande large pour un système vidéo ayant une largeur de bande de 5 MHz à cause des harmoniques du signal à 40 kHz. Les termes bande étroite et bande large sont toujours déterminés par la largeur de bande dans laquelle la perturbation est détectée ou mesurée. Il s'ensuit que la même source peut être à la fois de bande étroite et de large bande.

2.2 Unités et décibels

Le décibel (dB) est défini à l'origine comme le rapport r de deux puissances, P_1 et P_2 , dissipées dans une résistance R , et exprimé en unité logarithmique par:

$$r(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{V_1^2/R}{V_2^2/R} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

où P_1 et P_2 sont mesurées ou déterminées dans des conditions identiques. Ainsi r peut être exprimé en terme des tensions correspondantes V_1 et V_2 comme le montre l'équation ci-dessus.

Si V_2 est choisi pour être une valeur unité, par exemple 1 μV , et si V_1 est exprimé dans cette unité, alors r donne l'amplitude de V_1 exprimé en «dB par rapport à 1 μV », dont l'abréviation est $r(\text{dB}(\mu\text{V}))$. Cette approche est largement utilisée dans le domaine de la compatibilité électromagnétique (CEM). Par conséquent, si Y est une valeur unité alors $X(\text{dB}(Y))$ est défini par:

$$X(\text{dB}(Y)) = 20 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right)$$

Emitting devices may have intentional emissions, such as a radio-frequency broadcasting signal, or unintentional emissions, such as the magnetic field produced by the deflection coils of a video display unit. Through various coupling paths such emission may reach the site where a susceptible device is located as shown in figure 1, thereby establishing the electromagnetic environment for that device. The subdivisions shown in this figure are important for a description of the electromagnetic environment. Moreover, the technical possibilities available to prevent or solve an interference problem are related to these subdivisions, as are also the relevant EMC specifications.

The susceptible device may be exposed to the electromagnetic environment via intentional coupling paths, such as the aerial of a radio receiver, or via unintentional coupling paths such as the recording head of a video tape recorder, a signal cable or a mains cable. Both types of coupling paths, intentional and unintentional, may carry disturbances having frequency components in the frequency band designated for the desired signal of the susceptible device, and disturbances having components outside that band. The disturbances received may be considered narrow band or broadband. For example, the disturbance from a switched-mode power supply operating at 40 kHz is narrow band when measured with a CISPR receiver in the frequency range 10 kHz to 150 kHz since the receiver bandwidth is 200 Hz and the harmonic components are measured separately when tuning over the frequency range. However, the same disturbance is broadband for a video system with a 5 MHz bandwidth because of the harmonics of the 40 kHz signal. The terms broadband and narrow band are always determined by the bandwidth over which the disturbance is detected or measured. Hence, the same source can be both broadband and narrow band.

2.2 Units and decibels

The decibel (dB) was originally defined as the ratio r of two powers P_1 and P_2 dissipated in a resistance R expressed as a logarithmic unit as follows:

$$r(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{V_1^2/R}{V_2^2/R} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

where P_1 and P_2 are measured or determined under identical conditions. Hence, r can be expressed in terms of the associated voltages V_1 and V_2 as indicated in the above equation.

If V_2 is chosen to be a unit value, for example 1 μV , and V_1 is expressed in terms of that unit, then r gives the magnitude of V_1 expressed in "dB with respect to 1 μV ", normally abbreviated to $r(\text{dB}(\mu\text{V}))$. This latter approach is widely used in the field of EMC. Hence, if Y is a unit value then $X(\text{dB}(Y))$ is defined as:

$$X(\text{dB}(Y)) = 20 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right)$$

Il existe certaines conventions en ce qui concerne le choix de Y . En voici quelques exemples:

a) Dans le cas d'émissions conduites, la tension est exprimée en dB(μ V), c'est-à-dire en décibels par rapport à 1 μ V, et l'intensité en dB(μ A), c'est-à-dire en décibels par rapport à 1 μ A. Par exemple 120 dB(μ V) correspond à 10^6 μ V ou 1 V.

b) Dans le cas d'émissions rayonnées, le champ électrique est exprimé en dB(μ V/m) et le champ magnétique en dB(μ A/m). Par exemple 34 dB(μ V/m) correspondent à 50 μ V/m. Dans les mesures réglementaires et dans les recommandations CISPR, le champ magnétique H est exprimé habituellement aux fréquences inférieures à 30 MHz, en dB(μ V/m), dans l'unité de champ électrique E . L'expression dB(μ A/m) aurait été plus appropriée. Dans de tels cas, le champ magnétique H en dB(μ A/m) et en dB(μ V/m) satisfait à la relation:

$$H \text{ (dB}(\mu\text{A/m))} = H \text{ (dB}(\mu\text{V/m))} - 51,5 \text{ (dB}(\Omega))$$

où $51,5 \text{ dB}(\Omega) = 20 \log_{10} Z_0$ si $Z_0 \approx 377 \Omega$ et $Z_0 = E/H$.

L'impédance d'onde $Z_0 \approx 377 \Omega$ s'applique seulement dans le cas d'une onde électromagnétique plane. Cependant, ceci n'est pas applicable lorsque l'instrument de mesure est étalonné de façon que le signal induit par le champ magnétique H , dans l'antenne de champ magnétique, soit interprété comme un signal produit par un champ électrique d'intensité $E = Z_0 H$. Voir aussi au 3.1.2.

Dans le cas de perturbations conduites importantes, l'utilisation de protections non linéaires, exclut l'utilisation des unités en dB et des méthodes analytiques qui sont basées sur des hypothèses de linéarité.

3 Modèles de sources, de couplages et d'appareils susceptibles, et leurs limitations

Lorsqu'on examine en détail les dispositifs électriques et électroniques et les voies de couplage, on peut les trouver extrêmement complexes. Pour les étudier dans un sens pratique, une simplification est nécessaire, ce qui se fait par la création de modèles. Les sources de perturbation émettent par conduction, induction et rayonnement. Les voies de couplage peuvent impliquer la conduction, l'induction ou le rayonnement et plus généralement une combinaison de ces phénomènes.

3.1 Modèles de sources

3.1.1 Emissions conduites

Pour une émission conduite, on peut souvent considérer la source comme un dispositif à deux accès ou à trois bornes. La figure 2 montre des sources de bruit en mode différentiel (V_{DM}) et en mode commun (V_{CM}). Les points de connexion 1 et 2 peuvent être identifiés, par exemple, soit comme le neutre et la phase d'une alimentation, soit comme les points de connexion d'un signal désiré d'une ligne de commande. Le point 0 représente la référence de la source; il est constitué, par exemple, par la terre de protection, le ferrailage du béton d'un immeuble ou un châssis métallique. Dans plusieurs cas, il peut être nécessaire de considérer la source comme un réseau à N accès, par exemple quand il s'agit d'un câble plat multiconducteur.

Certain conventions exist for the choice of Y . Here are some examples:

a) In the case of conducted emissions, the voltage is expressed in dB(μ V), i.e. decibels above 1 μ V; and the current in dB(μ A), i.e. in decibels above 1 μ A. For example, 120 dB(μ V) corresponds to $10^6 \mu$ V or to 1 V.

b) In the case of radiated emission, the electric field strength is expressed in dB(μ V/m) and the magnetic field strength in dB(μ A/m). For example, 34 dB(μ V/m) corresponds to 50 μ V/m. In statutory measurements and CISPR recommendations, the magnetic field strength H at frequencies below 30 MHz is usually expressed in dB(μ V/m), the unit of the electric field strength E , where dB(μ A/m) would be more appropriate. In such cases, the magnetic field H expressed in dB(μ A/m) and in dB(μ V/m) satisfies the relation:

$$H \text{ (dB}(\mu\text{A/m))} = H \text{ (dB}(\mu\text{V/m))} - 51,5 \text{ (dB}(\Omega))$$

where $51,5 \text{ dB}(\Omega) = 20 \log_{10} Z_0$ when $Z_0 \approx 377 \Omega$ and $Z_0 = E/H$.

The wave impedance $Z_0 \approx 377 \Omega$ applies only to the case of a plane electromagnetic wave. However, this is not relevant here as the measurement display is calibrated in such a way that the signal induced by the magnetic field H in the magnetic field antenna, is interpreted as a signal produced by an electric field of strength $E = Z_0 H$. See also 3.1.2.

In the case of large conducted disturbances, the use of nonlinear surge diverters precludes the application of dB units and analytical methods which are based on a linearity hypothesis.

3 Source, coupling and susceptor models, and their limitations

When electrical and electronic devices and coupling paths are examined in detail, they can be found to be extremely complex. In order to deal with them in a practical way, simplification is necessary. This is done through the method of developing models. Disturbance sources emit by mechanisms of conduction, induction and radiation. Coupling paths may occur through conduction, induction or radiation, and most usually by combinations of these phenomena.

3.1 Source models

3.1.1 Conducted emissions

For conducted emission, the source can often be considered as a two-port or three-terminal device. Figure 2 shows noise sources in differential mode (V_{DM}) and in common mode (V_{CM}). Connection points 1 and 2 can be identified as, for example, the neutral and the phase of a mains connection, or as the connection points of a desired signal of a control line. Connection point 0 represents the reference of the source, formed for example by the protective earth, the steel reinforcement in a building, or a metal chassis. In many cases it may be necessary to consider the source as an N -port network, as in the case where a multi-wire flat cable is involved.

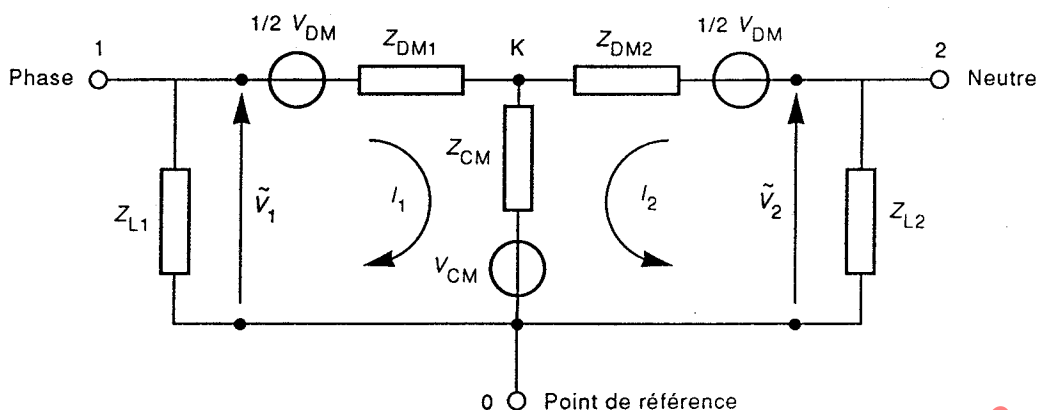
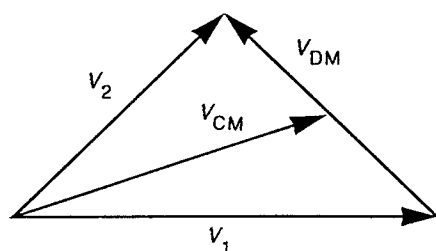


Figure 2 – Modèle de source pour les émissions de perturbations conduites
(Source chargée par Z_{L1} et Z_{L2})

Les tensions V_{DM} et V_{CM} sont des tensions complexes possédant des composantes désirées aussi bien que perturbatrices. Cependant, la tension désirée venant de la source est représentée de façon dominante dans la composante V_{DM} qu'il s'agisse d'une ligne de puissance ou de la ligne d'un signal. Les composantes de tension perturbatrices de V_{DM} et de V_{CM} peuvent être d'égale importance.

La représentation relativement simple montrée à la figure 2 n'est valable qu'avec des éléments localisés lorsque les points de connexion 1, 2 et 0 sont à des distances courtes telles qu'à toutes les fréquences considérées, aucun effet de longueur d'onde ou d'induction de champ ne joue un rôle perceptible. L'amplitude et l'impédance de la source de mode commun sont représentées respectivement par V_{CM} et Z_{CM} . L'amplitude et l'impédance de la source de mode différentiel sont représentées par deux sources d'amplitude $\frac{1}{2}V_{DM}$ et par les impédances Z_{DM1} et Z_{DM2} . Il faut noter qu'en général Z_{DM1} n'est pas égal à Z_{DM2} . Des valeurs égales ne se rencontrent que par hasard, ou lorsque des mesures spéciales ont été prises dans la construction du système considéré. Si la source n'est pas chargée ($Z_{L1} = Z_{L2} = Z_{L12} = \infty$), le noeud K se trouve au «milieu électrique»; mais, en général, ce n'est pas le cas quand la source est chargée parce qu'alors $Z_{L1} \neq Z_{L2} \neq Z_{L12}$. Il en résulte que le courant de mode commun I_{CM} peut être déterminé à la fois par V_{CM} et par V_{DM} . Le courant I_{CM} est égal à la moitié de la somme vectorielle de I_1 et I_2 , de même que V_{CM} dans la figure 3 qui est la somme vectorielle de V_1 et V_2 .

La figure 3 montre un exemple de la relation qui existe entre les tensions en circuit ouvert V_{DM} , V_{CM} , V_1 et V_2 .



CEI 830/92

Figure 3 – Relations entre V_{CM} , V_{DM} , V_1 et V_2 sans charge

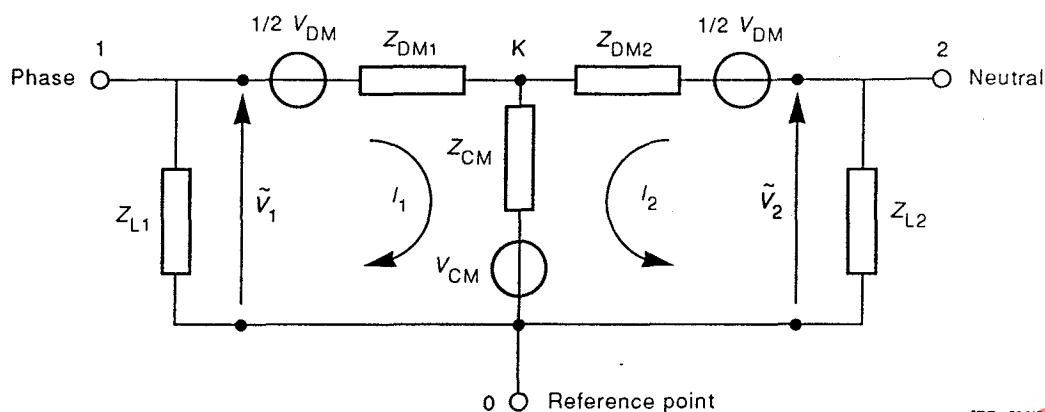


Figure 2 – Source model for conducted emission
(Source loaded by Z_{L1} and Z_{L2})

The voltages V_{DM} and V_{CM} are complex voltages having desired as well as disturbance components. However, the desired voltage from the source, whether this is a power line or a signal line, is predominantly represented in the V_{DM} component. The disturbance voltage components of V_{DM} and V_{CM} may be of equal importance.

The relatively simple lumped representation in figure 2 is valid when the connection points 1, 2 and 0 are at such short distances from each other that, at all frequencies to be considered, no wavelength or field-induction effects play a noticeable role. The common-mode source amplitude and impedance are represented by V_{CM} and Z_{CM} respectively. The differential-mode source amplitude and impedance are represented by two sources of amplitude $\frac{1}{2}V_{DM}$ and by the impedances Z_{DM1} and Z_{DM2} . It should be noted that, in general, Z_{DM1} is not equal to Z_{DM2} . Equal values occur only by chance or when special measures have been taken in the construction of the system involved. If the source is unloaded ($Z_{L1} = Z_{L2} = Z_{L12} = \infty$), the nodal point K is in the "electrical middle", however this is not normally the case when the source is loaded because of $Z_{L1} \neq Z_{L2} \neq Z_{L12}$. As a result, the common-mode current I_{CM} may be determined by both V_{CM} and V_{DM} . The current I_{CM} is equal to the half vector-sum of I_1 and I_2 , like V_{CM} in figure 3 is half the vector-sum of V_1 and V_2 .

An example of the relation between the open-circuit voltages V_{DM} , V_{CM} , V_1 and V_2 is given in figure 3.

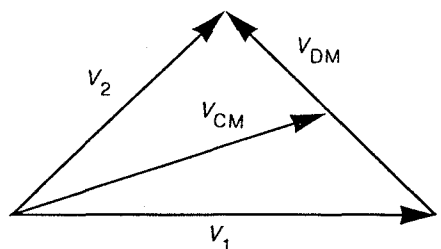
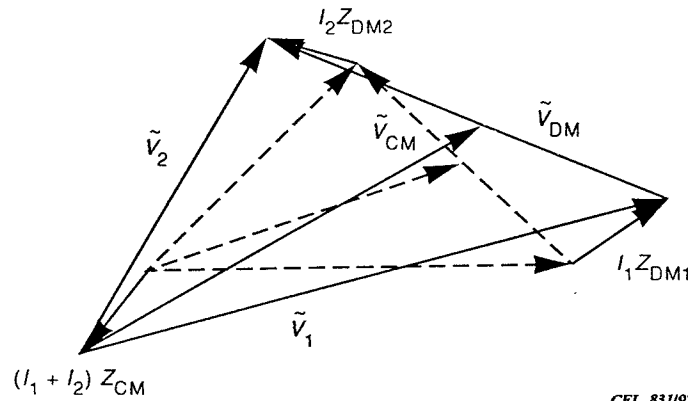


Figure 3 – Relation between V_{CM} , V_{DM} , V_1 and V_2 for the unloaded situation

La figure 4 montre les relations entre les tensions $\tilde{V}_{CM}$, $\tilde{V}_{DM}$, $\tilde{V}_1$ et $\tilde{V}_2$, en condition de charge



CEI 831/92

Figure 4 – Relations entre les tensions $\tilde{V}_{CM}$, $\tilde{V}_{DM}$, $\tilde{V}_1$ et $\tilde{V}_2$, en condition de charge

Les tensions de perturbation conduites de bas niveau sont typiquement mesurées au moyen, par exemple, d'un réseau fictif présentant une impédance de charge bien définie. Pour le réseau en V du CISPR, on a : $Z_{L12} = \infty$ et $Z_{L1} = Z_{L2}$ avec $Z_{L1} = 150 \Omega$ ou 50Ω en parallèle avec $50 \mu H$, ou 50Ω en parallèle avec $5 \mu H$. On considère que ces valeurs représentent la valeur absolue (moyenne) de l'impédance du réseau d'alimentation réel, qui dépend, entre autres choses, du courant pour lequel ce réseau est dimensionné. Il est important de noter que le réseau fictif mentionné ici n'est pas utilisable pour toutes les applications, par exemple dans le cas de la propagation de transitoires.

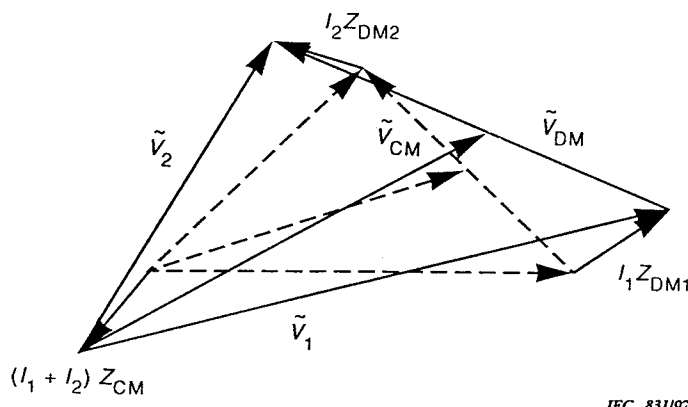
C'est pourquoi l'on doit constater que les mesures d'émission des sources ont un caractère limité. Par exemple, pour déterminer la conformité à une limite d'émission conduite, la mesure est faite en utilisant une impédance de charge spécifiée. On ne mesure pas directement l'impédance de la source. Ainsi, quand une source donnée est placée dans un circuit dont l'impédance diffère de l'impédance de mesure, le niveau d'émission réel différera de celui qui a été mesuré. Des écarts de ce genre doivent être pris en considération par les ingénieurs CEM dans la conception de systèmes compatibles.

3.1.2 Emissions rayonnées

Les niveaux d'émissions de perturbations rayonnées sont usuellement indiqués en termes de niveaux de champ électrique (E) et magnétique (H), exprimés en dB($\mu V/m$) et dB($\mu A/m$). Les sources particulières diffèrent par l'amplitude relative de ces deux composantes et par leurs variations en fonction de la distance.

Dans la zone dite de champ lointain d'une source, la distance entre la source et le point d'observation du champ est bien plus grande que $\lambda/(2\pi)$, où λ est la longueur d'onde du champ, et plus grande que les dimensions de la source. A de telles distances, et en l'absence d'objets réfléchissants proches, les champs E et H sont perpendiculaires entre eux et perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde. En outre, il existe entre la grandeur de E et celle de H une relation fixe qui établit une correspondance entre les niveaux des champs électrique et magnétique. En champ lointain et espace libre, $E/H \approx 377 \Omega$, et les niveaux de champ décroissent inversement à la distance de la source.

In figure 4 relations are given between the voltages $\tilde{V}_{CM}$, $\tilde{V}_{DM}$, $\tilde{V}_1$ and $\tilde{V}_2$, for the loaded situation.



IEC 831/92

Figure 4 – Relations between the voltages $\tilde{V}_{CM}$, $\tilde{V}_{DM}$, $\tilde{V}_1$ and $\tilde{V}_2$, for the loaded situation

Low-level conducted disturbance voltages are typically measured using an artificial network having a well-defined load impedance. For example, the CISPR V-terminal network has $Z_{L12} = \infty$ and $Z_{L1} = Z_{L2}$ with $Z_{L1} = 150 \Omega$, or $50 \Omega // 50 \mu H$ or $50 \Omega // 5 \mu H$. These values are considered to relate to the (average) absolute value of the impedance presented by the real mains, which depends, among other things, on the mains current for which the network has been designed. It is important to note that the artificial mains networks mentioned here are not valid for all applications, for example the case of the propagation of transients.

It must therefore be recognized that measurements of emission from sources are of a limited nature. For example, to determine compliance with a conducted emission limit, the measurement is made with a specified terminating impedance. No direct measurement of the source impedance is made. Thus, when a given source is placed in a circuit which presents an impedance to it which is different from the measurement impedance, the actual emission will differ from that measured. Such variations must be anticipated by system EMC engineers when designing compatible systems.

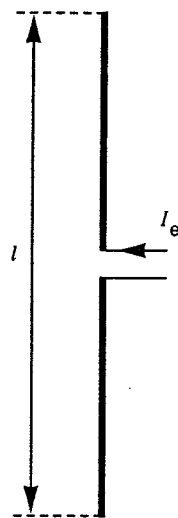
3.1.2 Radiated emissions

Radiated emission levels are usually stated in terms of electric (E) and magnetic field (H) levels, expressed in dB($\mu V/m$) and dB($\mu A/m$). Particular sources differ in the relative magnitudes of each of these components and their variations with distance.

In the so-called far-field region of a source the distance between the source and the point of observation of the field is much larger than $\lambda / (2\pi)$, where λ is the wavelength of the field, and larger than the dimensions of the source. At such distances, and in the absence of nearby reflecting objects, the E and H fields are perpendicular to each other and perpendicular to the direction of propagation of the wave. In addition, there is a fixed relation between the magnitudes of E and H , which makes statements of electric field strength and magnetic field strength equivalent. In the far field and free space $E/H \approx 377 \Omega$ and the field levels fall off inversely with distance from the source.

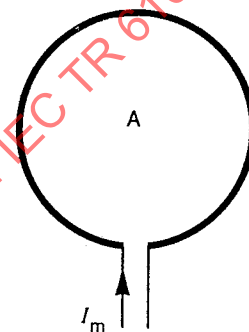
Dans la zone de champ proche de la source, la distance entre la source et le point d'observation est, soit beaucoup plus petite que $\lambda / (2\pi)$ soit plus petite que la dimension de la source, voire les deux. La relation entre les champs E et H dépend alors de la longueur d'onde des perturbations, de la position réelle dans la zone de champ proche et du type de source.

Un modèle simple utilisé pour le rayonnement est le dipôle qui peut être d'un type électrique ou magnétique (voir figure 5). Ce modèle présente une variation de l'intensité de sa composante dominante (champ électrique pour dipôle électrique, champ magnétique pour dipôle magnétique) qui évolue comme l'inverse du cube de la distance, en champ proche. Pour de telles sources, la connaissance de la «puissance du dipôle» permettrait de calculer les composantes de champ (électrique et magnétique) à toute distance. Il est plus courant de mesurer la composante dominante à une distance déterminée, sans faire référence à la puissance de la source.



CEI 832/92

Figure 5a – Dipôle électrique
d'intensité = $l \cdot I_e$



CEI 833/92

A = aire de la section
de la boucle

Figure 5b – Dipôle magnétique
d'intensité = $A \cdot I_m$

Figure 5 – Dipôles électriques et magnétiques

Dans le cas d'émetteurs radio, le gain de l'antenne dans la voie de couplage intentionnelle et la puissance nette P_t transférée vers l'antenne sont normalement connus. Comme le gain d'antenne est toujours une fonction de la direction de l'antenne, le gain normalement mentionné est celui correspondant à la direction du rayonnement maximal.

La puissance rayonnée efficace ou équivalente, PRE , d'une antenne est définie comme suit:

$$PRE = G_r P_t$$

où G_r est le gain de l'antenne correspondant à la directivité maximale G_h d'un dipôle de demi-onde.

In the near-field region of the source, the distance between the source and the point of observation is either much smaller than $\lambda / (2\pi)$ or smaller than the dimension of the source or both. The relation between the E and H fields now depends on the wavelength of the disturbances, the actual position in the near-field region and the type of source.

A simple model used for radiation is the dipole which may be of electric or magnetic types, (see figure 5). This model exhibits an inverse cubed variation of the field strength of its dominant component (electric field for an electric dipole, magnetic field for a magnetic dipole) at nearfield distances. For such sources a statement of the "dipole strength" would enable calculation of the field components (both electric and magnetic) at any distance. However, it is more usual to measure the dominant component at a fixed distance, without making reference to the source strength.

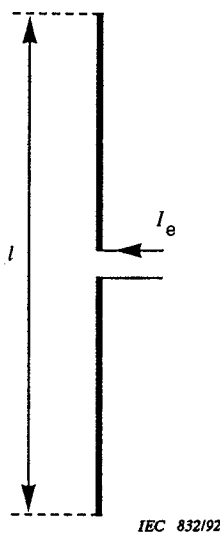


Figure 5a – Electric dipole
strength = $l \cdot I_e$

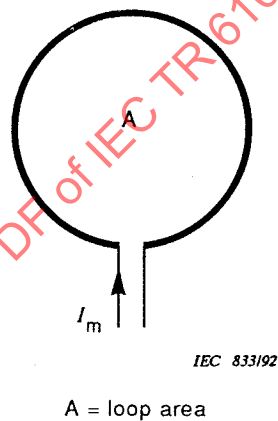


Figure 5b – Magnetic dipole
strength = $A \cdot I_m$

Figure 5 – Electric and magnetic dipole elements

In case of radio transmitters, the gain of the antenna in the intended coupling path and the net power P_t transferred to the antenna are usually known. As the antenna gain is always directional with respect to the antenna, the gain normally referred to is that associated with the direction of maximum radiation.

The effective or equivalent radiated power, ERP , of an antenna is defined as:

$$ERP = G_r P_t$$

where G_r is the antenna gain relative to the maximum directivity G_h of a half wave dipole.

L'intensité du champ électrique produit par une antenne à une distance r dans le champ lointain est exprimée par:

$$E = \sqrt{\frac{ZG_h \cdot ERP}{4\pi r^2}} = 7 \frac{\sqrt{ERP}}{r}$$

où $G_h = 1,64$ et Z , l'impédance d'onde du milieu égale 377Ω dans l'espace libre.

Il s'ensuit que:

$$\sqrt{\frac{ZG_h}{4\pi}} = 7 \Omega^{1/2}$$

Le terme «puissance rayonnée isotropiquement efficace ou équivalente, *PIRE*» est aussi utilisé pour les antennes. La relation entre *PRE* et *PIRE* est donnée par:

$$PIRE = G_h PRE.$$

3.2 Modèles de couplages

Les phénomènes impliqués dans le transfert d'énergie électromagnétique d'une source à un appareil susceptible sont, en général, très complexes. Un calcul exact de l'énergie transmise dans des cas particuliers peut être difficile. Cependant, dans de nombreux cas le couplage dominant peut être décrit par des modèles relativement simples. Ces modèles sont divisés en trois grandes classes: couplage par impédance commune, couplage par induction (champ proche) et couplage rayonné (champ lointain).

3.2.1 Couplage par impédance commune

Ce type de couplage est aussi appelé couplage de conduction. Il apparaît lorsque des courants ou une partie des courants associés à une source et à un appareil susceptible se partagent une partie commune du circuit. Typiquement la partie commune de circuit peut être représentée par une résistance, une inductance, une capacité ou toute combinaison de celles-ci. Parmi de nombreux exemples, deux cas qui peuvent être cités sont la mise en commun pour une source et un appareil susceptible 1) d'une alimentation de puissance, et 2) d'un circuit de retour du courant par la masse.

Couplage résistif

La partie résistive de l'impédance commune R_c est déterminée par la nature du conducteur et par l'effet de peau, d'où il en résulte que la partie résistive devient dépendante de la fréquence. Pour un conducteur droit et rond de diamètre d nous avons:

$$\begin{aligned} R_c / R_{dc} &\approx d / 4 \delta & \text{si } \delta \ll d \\ \text{et } R_c / R_{dc} &\approx 1 & \text{si } \delta \gg d \end{aligned}$$

où R_{dc} est la résistance en courant continu du conducteur et δ est la profondeur de peau donnée par:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

où ω est la pulsation signal, μ la perméabilité, et σ la conductivité du conducteur.

The electric field strength produced by an antenna at a distance r in the far field of the antenna is expressed as:

$$E = \sqrt{\frac{ZG_h \cdot ERP}{4\pi r^2}} = 7 \frac{\sqrt{ERP}}{r}$$

where $G_h = 1,64$ and Z , the wave impedance of the medium, equals 377Ω in free space.

It follows that:

$$\sqrt{\frac{ZG_h}{4\pi}} = 7 \Omega^{1/2}$$

The term "effective or equivalent isotropically radiated power, $EIRP$ ", is also used for the antenna. The relation between ERP and $EIRP$ is given by:

$$EIRP = G_h ERP.$$

3.2 Coupling models

The phenomena involved in transferring electromagnetic energy from a source to a susceptor are, in general, very complex. Exact calculation of the energy transferred in particular cases may therefore be difficult. However, in many cases the important coupling may be described in terms of comparatively simple models. These models are divided into three main classes: common-impedance coupling, coupling by induction (near-field) and radiative (far-field) coupling.

3.2.1 Common-impedance coupling

This type of coupling is also referred to as conductive coupling. It occurs when currents or a portion of the currents associated with a source and susceptor share a common path. Typically the common path may be represented by a resistance, an inductance or a capacitance or by a combination of any of these. Two of many examples that can be cited are the sharing by the source and receptor of 1) a common power mains, and 2) a common ground current return path.

Resistive coupling

The resistive part of the common impedance R_c is determined by the conductor material and by the skin effect as a result of which the resistive part becomes frequency dependent. For a straight round conductor of diameter d one has:

$$\begin{aligned} R_c / R_{dc} &\approx d / 4 \delta & \text{when } \delta \ll d \\ \text{and } R_c / R_{dc} &\approx 1 & \text{if } \delta \gg d \end{aligned}$$

where R_{dc} is the d.c. resistance of the conductor and δ the skin depth given by:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

where ω is the angular frequency of the signal, μ the permittivity and σ the conductivity of the conductor material.

Couplage réactif

La partie réactive du couplage à impédance commune peut résulter d'une inductance commune. La réactance inductive commune X_L peut s'écrire:

$$X_L = \omega L_L$$

ou L_L est l'inductance du conducteur. La valeur de L_L dépend de la forme de la boucle de courant et de son entourage. Cependant, de façon empirique, on peut dire que $L_L \approx 1 \mu\text{H/m}$ (ou 1 nH/mm). Dans de nombreux problèmes de perturbation électromagnétique $X_L \gg R_c$. Pour les perturbations transitoires, cette dernière relation est toujours vérifiée en dépit de l'importance donnée aux sections des conducteurs de mise à la terre.

3.2.2 Couplage par induction

Le couplage par induction apparaît quand des tensions ou des courants sont induits dans les circuits de l'appareil susceptible par des champs électriques ou magnétiques locaux, ou par une combinaison des deux, en provenance de la source. Des exemples sont: circuits de contrôle/commande à proximité d'un gros transformateur d'un four ou d'une soudeuse à arc, ou encore proximité (et parallélisme) de circuits de transport d'énergie tels qu'une ligne d'alimentation et une ligne de télécommunication.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 1000-2-3:1993

Reactive coupling

The reactive part of common-impedance coupling can be produced by a common inductance. The common inductive reactance X_L can then be written as:

$$X_L = \omega L_L$$

where L_L is the inductance of the conductor. The value of L_L depends on the shape of the current loop and its surroundings. However, as a rule of thumb, one can say that $L_L \approx 1 \mu\text{H/m}$ (or 1 nH/mm). In many electromagnetic interference problems $X_L \gg R_c$. For transient events, this is always the case, in spite of the emphasis given to massive earthing conductors.

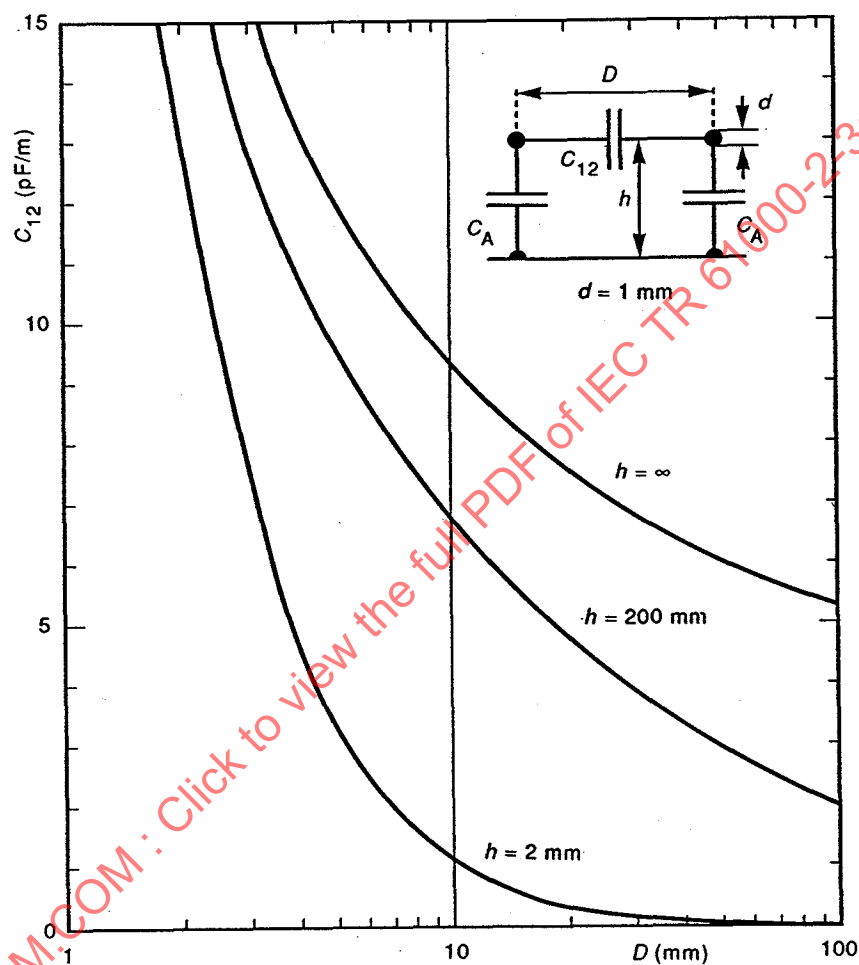
3.2.2 Coupling by induction

Coupling by induction occurs when voltages or currents are induced in the circuits of the susceptor by local electric or magnetic fields or combinations of these emanating from the source. Examples are control circuits located in the vicinity of a large power transformer, arc furnace or welder and closely spaced (and parallel) transmission circuits such as a power line and a telecommunications line.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61000-2-3:1992

a) *Couplage par champ électrique*

Le couplage par champ électrique, ou couplage capacitif, apparaît quand les champs électriques proches d'un circuit, empiètent sur celui d'un autre circuit. Pour l'approximation en basse fréquence, on peut décrire ce type de couplage comme étant une capacité de couplage. La valeur de la capacité de couplage dépend essentiellement de la situation réelle, c'est-à-dire de la forme des circuits et de l'entourage de ces circuits. Un exemple est donné à la figure 6, où la capacité de couplage par unité de longueur C_{12} est donnée, pour deux fils (de diamètre d) de deux boucles parallèles à la distance D l'une de l'autre, utilisant le plan de sol comme retour commun, et ceci pour trois valeurs de la hauteur de boucle.

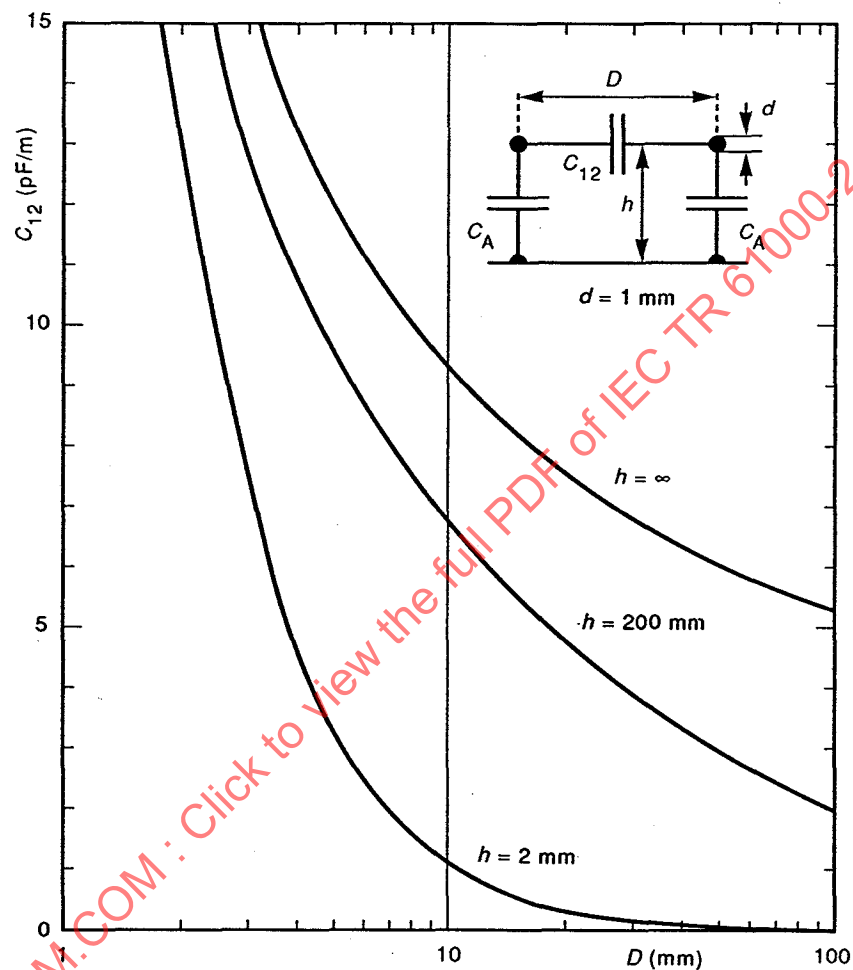


CEI 834/92

Figure 6 – Capacité par unité de longueur en fonction de la distance entre conducteurs

a) *Electric field coupling*

Electric field or capacitive coupling occurs when electric fields from one circuit impinge on another. For the low-frequency approximation it is appropriate to describe this type of coupling with a coupling capacitance. The magnitude of the capacitance depends primarily on the actual situation, i.e. on the shape of the circuits and on the surroundings of the circuits. An example is given in figure 6, where the coupling capacitance C_{12} per unit length is given between the wires (of diameter d) of two parallel loops at a distance D , using the ground plane as a common return, for three values of the loop height.



IEC 834/92

Figure 6 – Capacitance per unit length as a function of conductor separation

La figure 6 montre clairement l'influence de l'entourage sur C_{12} . Elle montre aussi que C_{12} varie rapidement avec D mais que pour $D/d > 10$ la capacité du couplage ne varie que peu avec D . Il faut noter que pour des valeurs de h suffisamment grandes l'équation pour la capacité de couplage se réduit à:

$$C_{12}(h \rightarrow \infty) = \frac{\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{2D}{d}\right)} \quad \text{F/m}$$

qui est l'équation de la capacité entre des fils en l'absence de plan de sol.

L'exemple ci-dessus s'applique également dans le cas de deux câbles parallèles à un plan métallique, c'est-à-dire un écran ou un conduit, qui est la référence des tensions de mode commun des câbles.

Finalement, dans les cas où la réaction du circuit récepteur sur le circuit émetteur est négligeable, et si les circuits sont courts par rapport à la longueur d'onde considérée, la perturbation résultant du couplage capacitif peut être représentée dans le circuit récepteur par une source de courant. On peut définir de façon approximative le courant de cette source par la formule

$$I_c = j\omega C_{12} V$$

où V est la tension d'excitation du côté émetteur de C_{12} .

b) *Couplage par champ magnétique*

Le couplage par champ magnétique, ou couplage inductif, apparaît lorsque le champ magnétique émanant d'un circuit empiète sur celui d'un autre circuit. Une grandeur appropriée pour définir ce type de couplage est l'inductance mutuelle. Sa valeur dépend fortement de la disposition considérée, par exemple de la forme des circuits et de leur entourage, comme dans le cas du couplage capacitif.

Dans les cas où la réaction du circuit récepteur sur le circuit émetteur est négligeable, et où les circuits sont courts par rapport à la longueur d'onde considérée, la perturbation causée par le couplage magnétique peut être représentée dans le circuit récepteur par une source de tension. L'amplitude de cette source de tension peut être exprimée approximativement par la formule:

$$V_1 = j\omega M_{12} I$$

où M_{12} est l'inductance mutuelle entre les deux circuits concernés, et I est le courant du circuit émetteur. Cette amplitude peut encore s'écrire $j\omega B_1 A_2$, où A_2 est la surface de la boucle du récepteur, et B_1 l'induction magnétique créée par la boucle émettrice dans la boucle réceptrice. Cette dernière expression suppose que B_1 est une constante sur la surface A_2 .

Un modèle très utile est celui qui considère le champ magnétique existant dans le voisinage d'une ligne de transport d'énergie à fils parallèles. L'amplitude du champ en fonction de l'espacement existant entre les fils parallèles et de la distance par rapport aux fils est montrée figure 7. Si la distance est grande comparée à l'espacement, l'intensité du champ décroît comme $1/r^2$. Si la distance est faible comparée à l'espacement, le champ se calcule comme dans le cas d'un fil unique (le plus proche).

Figure 6 clearly shows the influence of the surroundings on C_{12} . It also shows that C_{12} varies rapidly with D but that for $D/d > 10$ the coupling capacitance does not vary much with D . Note that for sufficiently high values of h the equation for the coupling capacitance reduces to:

$$C_{12}(h \rightarrow \infty) = \frac{\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{2D}{d}\right)} \quad F/m$$

which is the equation for the capacitance between the wires in the absence of a ground plane.

The above example applies equally to two cables running parallel to a metallic plane, i.e. a shield or conduit, which forms the reference for the common-mode voltages on the cables.

In cases where the feedback from the receptor circuit to the emitter circuit is negligible and the circuits are small compared with the wavelength under consideration, the disturbance caused by capacitive coupling can be represented in the receptor circuit by a current source. The current source can be approximated by

$$I_c = j\omega C_{12} V$$

where V is the driving voltage at the emitter side of C_{12} .

b) *Magnetic field coupling*

Magnetic field or inductive coupling occurs when magnetic fields from one circuit impinge on another. An appropriate quantity to describe this type of coupling is the mutual inductance. Its value depends greatly on the actual situation, for example on the shape of the circuits and on the surroundings of the circuits, as in the case of the coupling capacitance.

In cases where the feedback of the receptor circuit to the emitter circuit is negligible and the circuits are small compared with the wavelength under consideration, the disturbance caused by the magnetic coupling can be represented in the receptor circuit by a voltage source. The voltage source can be approximated by:

$$V_1 = j\omega M_{12} I$$

where M_{12} is the mutual inductance between the two circuits involved and I the driving current in the emitter circuit. This can also be written as $j\omega B_1 A_2$ where A_2 is the area of the receptor loop and B_1 the flux density produced by the emitter loop in the receptor loop. In the last relation it is assumed that B_1 is a constant over the area A_2 .

A very useful model is one that accounts for the magnetic field in the vicinity of a parallel wire transmission line. Its magnitude as a function of parallel wire spacing and the distance from the wires is shown in figure 7. If the distance is large compared with the separation, the field strength falls off as $1/r^2$. If the distance is small compared with the spacing, the field is calculated as for a single wire (the closest wire).

Les sources magnétiques telles que transformateurs, relais, etc., produiront des champs magnétiques dont l'amplitude décroît comme l'inverse du cube de la distance.

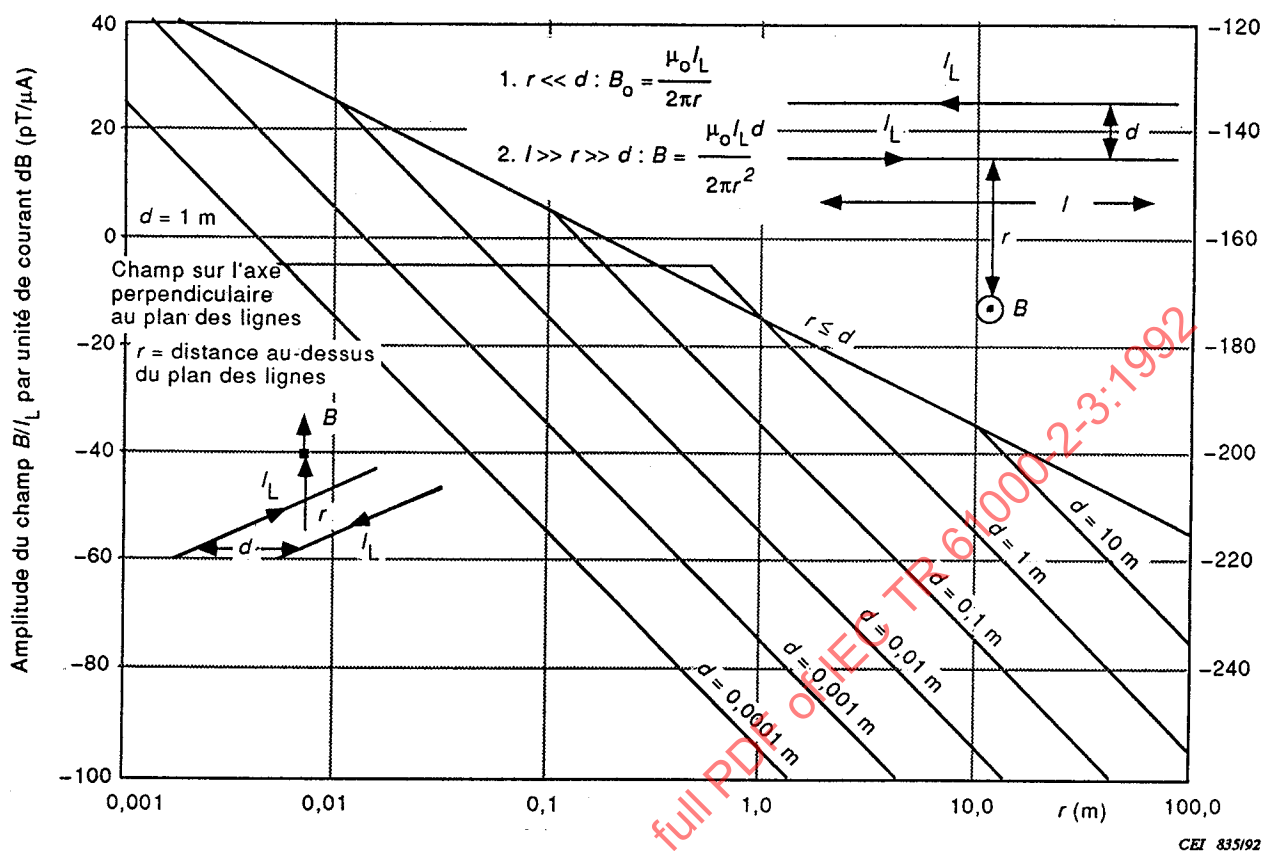


Figure 7 – Amplitude du champ magnétique produite par des conducteurs parallèles

c) Couplages mixtes

Dans de nombreux cas, les mécanismes de couplage exposés dans les paragraphes précédents se produisent simultanément. La détermination du mécanisme dominant, parmi les trois présentés, dépend de la situation considérée. Il est possible d'indiquer, dans un nombre limité de cas, si c'est le couplage capacitif qui dominera sur le couplage magnétique, ou inversement. Le cas de couplage entre deux fils parallèles en est un exemple. En supposant que le circuit récepteur soit bouclé par son impédance caractéristique aux deux extrémités, le couplage magnétique dominera si le circuit émetteur est bouclé avec une impédance inférieure à son impédance caractéristique, et c'est le couplage capacitif qui dominera si l'impédance est plus élevée que celle-ci.

3.2.3 Couplage rayonné

Le couplage rayonné est le moyen de couplage principal lorsque la source et l'appareil susceptible sont relativement éloignés, c'est-à-dire dans la situation de champ lointain. Le mécanisme de couplage par rayonnement électromagnétique et les tensions induites dans les circuits de l'appareil susceptible peuvent être calculés soit à partir du champ électrique, soit à partir du champ magnétique puisqu'il existe une relation fixe entre les deux. En général, il n'y a pas de réaction de l'appareil susceptible sur la source. Un exemple de couplage rayonné est un récepteur sensible ou un élément de contrôle/commande affecté par le champ produit par un émetteur radar ou un équipement industriel de chauffage à haute fréquence relativement éloigné.

Magnetic sources such as transformers, relays, etc. will produce field strengths attenuated as the third power of the distance.

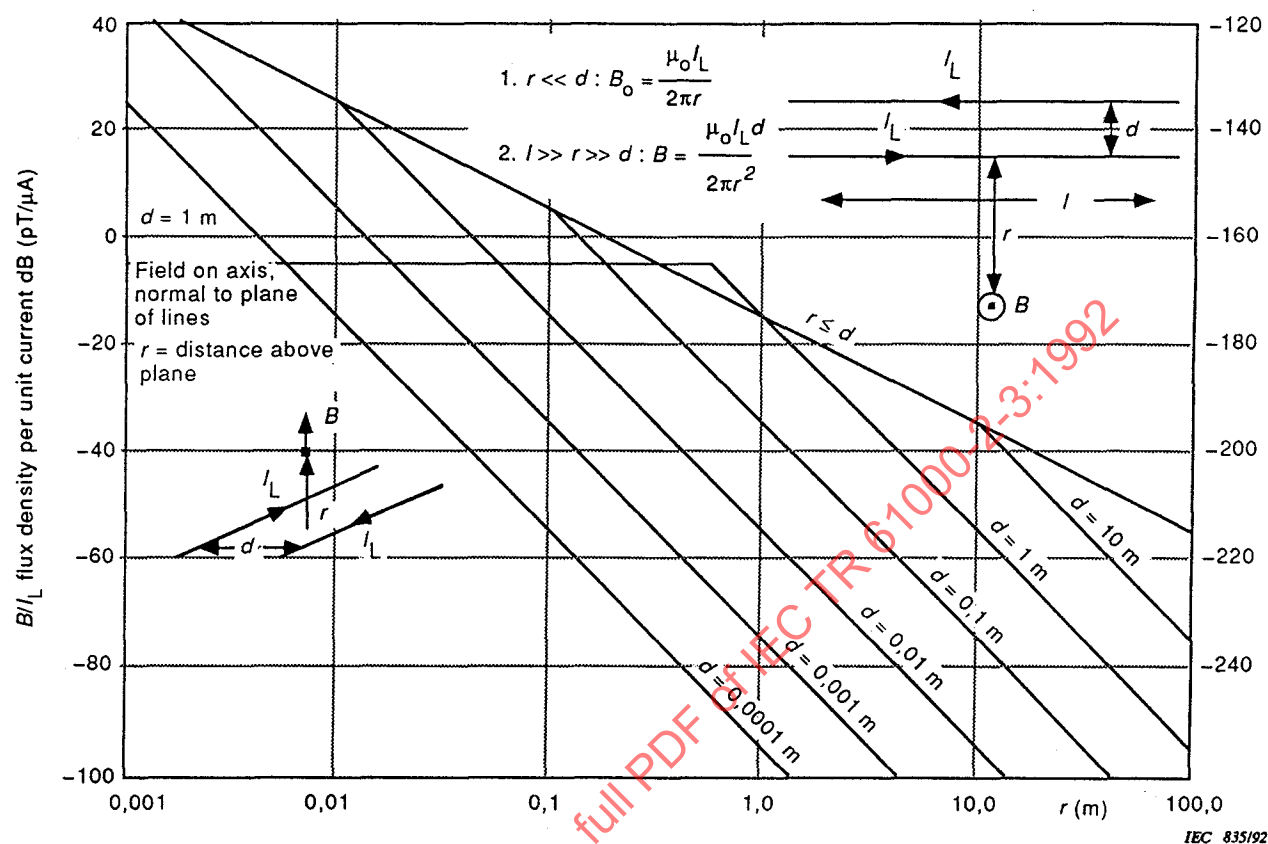


Figure 7 – Flux density from parallel conductors

c) Mixed coupling

In many cases the coupling mechanisms discussed in the preceding subclauses occur simultaneously. Which of the three mechanisms will dominate depends on the actual situation. Only in a limited number of cases it is possible to indicate whether capacitive coupling will dominate over magnetic coupling, or vice versa. An example is the case of coupling between two parallel wires. Assuming the receptor circuit to be terminated by its characteristic impedance on both ends, magnetic coupling dominates if the emitter circuit is terminated with an impedance lower than the characteristic impedance and capacitive coupling dominates if that impedance is higher.

3.2.3 Radiative coupling

Radiative coupling may be the primary means of coupling when the source and the susceptor are relatively far apart i.e. in the far-field situation. The coupling mechanism by electromagnetic radiation and the voltages induced in the susceptor circuits can be calculated from either the electric or the magnetic field component of the field as these have a fixed relationship. Generally there is no feedback from the susceptor to the source. An example of radiative coupling is a sensitive receiver or control element affected by the field produced by a relatively distant radar transmitter or high-frequency industrial heating equipment.

3.3 Modèles d'appareils susceptibles

L'énergie perturbatrice est transmise à un appareil susceptible de la même manière qu'à partir d'un émetteur, c'est-à-dire par conduction ou par rayonnement. Les modèles sont simplifiés de manière à fournir des informations sur les niveaux de tension ou de courant perturbateurs présents sur les lignes d'alimentation, de signaux ou de commande auxquelles ils sont connectés, ainsi que sur les niveaux des champs électriques ou magnétiques homogènes, en supposant la polarisation la plus perturbatrice, dans laquelle un dispositif ou un matériel donné peut être plongé. Les niveaux peuvent dépendre de la forme d'onde et de la fréquence de la perturbation, de son taux de répétition (si elle est périodique, ou presque périodique), et des caractéristiques des circuits internes. De nombreux mécanismes de génération de perturbation à l'intérieur des appareils ont été traités dans la littérature, mais il est hors du domaine de ce rapport de les passer en revue.

Cependant, il est important de noter que les paramètres utilisés de préférence dans la description de l'environnement dépendent des caractéristiques du matériel concerné.

4 Niveaux d'émission et environnement

Etant donné les modèles qui viennent d'être identifiés, il est nécessaire de connaître les caractéristiques des sources types et les mécanismes de couplage correspondants.

4.1 Environnement conduit

Pour le réseau d'alimentation, la tension perturbatrice apparaissant sur le réseau et la capacité de la source de produire une forte impulsion de courant sont importantes. Les tensions entre lignes, et entre lignes et masse doivent être connues. L'atténuation dans un bâtiment peut être négligeable ou importante suivant les caractéristiques de l'installation et des lignes.

Pour les lignes de transport d'information, les perturbations apparaissant aux bornes d'un matériel auxquelles elles sont connectées dépendent de l'influence des champs électromagnétiques (principalement électriques ou principalement magnétiques) dans l'environnement traversé par les lignes, de même que des courants de mode différentiel et mode commun injectés directement dans les lignes par d'autres appareils qui y sont connectés.

4.2 Environnement par champ d'induction

Les champs d'induction importants sont ceux provenant des appareils individuels comme transformateurs, solénoïdes et dispositifs magnétiques similaires, et ceux des réseaux d'alimentation, en particulier lorsqu'il existe une distance importante entre les conducteurs. Les premiers créent des champs magnétiques dont l'intensité varie en relation inverse avec le cube de la distance. Les champs produits par les réseaux varient, eux, en raison inverse de la distance quand la distance est inférieure à la séparation des conducteurs, et en raison inverse du carré de la distance quand la distance est plus grande que la séparation, la propagation étant alors exclusivement du mode différentiel. Dans le cas de champs causés par des courants de mode commun, l'intensité du champ varie en proportion inverse à la distance.

3.3 *Susceptible device models*

Disturbing energy is coupled to a susceptor in the same way as it is coupled from an emitter, i.e. by either conduction or radiation. The models are simplified so as to provide statements on the levels of disturbing voltage or current on connected power, signal or control lines, and levels of homogeneous electric or magnetic fields, assuming the most disturbing polarization, in which a given device or equipment can be immersed. Of course the levels may be dependent on the waveform and frequency of the disturbance, its repetition rate (if periodic or almost periodic) and the characteristics of internal circuits. Many mechanisms of generation of interference within a device have been discussed in the literature, but it is beyond the scope of this report to review them here.

It is important, however, to note that the preferred parameters used in describing the environment depend upon the characteristics of the equipment under consideration.

4 **Emission levels and the environment**

In view of the models identified above, it is necessary to recognize the characteristics of typical sources and the associated coupling mechanisms.

4.1 *Conduction environment*

For power mains both the disturbing voltage appearing on the mains and the capability of the source to deliver large surge currents is important. Both line to line and line to earth voltages should be known. The attenuation in a building may be negligible or appreciable depending on the characteristics of the lines and the installation.

For signal lines, the disturbances appearing at the terminals of an equipment to which they are connected depend on the influences of the electromagnetic fields, including primarily electric or primarily magnetic fields in the environment traversed by the lines, as well as on differential and common-mode currents impressed directly on the lines by other connected equipment.

4.2 *Induction field environment*

The important induction fields are those which emanate from single devices such as transformers, solenoids and similar magnetic devices and those from the power mains, especially where there is significant separation between the power conductors. The former creates magnetic fields that vary in strength inversely with the cube of the distance. Fields from the latter vary inversely with the distance at distances less than the conductor separation and inversely with the square of the distance for distances greater than the separation, when the propagation is exclusively differential mode. With fields originating in common-mode currents, the field strength varies inversely with distance.

4.3 Environnement rayonné

L'intensité des champs rayonnés est traditionnellement exprimée en termes d'intensité de champs électriques ou magnétiques à une distance spécifiée, par exemple 3 m, 10 m ou 30 m. Si des conditions de champ lointain existent à cette distance, l'intensité du champ peut être estimée pour toute distance supérieure dans un environnement libre de réflexion. Dans de telles conditions, le *PRE* et le *PIRE* (voir 3.1) peuvent être utilisés comme une définition commode du niveau d'environnement.

4.4 Considérations statistiques

Toutes les sources de perturbations ainsi que les couplages entre source et appareils susceptibles peuvent être spécifiés quantitativement en termes de paramètres spécifiques. Quand on procède à la description d'un environnement donné, il faut reconnaître que ces paramètres sont sujets à des variations statistiques, soit d'une source à une autre source d'un type donné, soit en fonction du temps pour une source également donnée. Par exemple, l'impédance du réseau peut varier quand les appareils qui y sont connectés sont mis sous tension, et la distribution des champs peut dépendre de façon critique de la position d'objets ou de personnes dans le voisinage de la source ou de l'appareil susceptible. Ainsi la justesse des prévisions faites sur les conditions d'un environnement peut dépendre pour beaucoup de la connaissance précise de ces facteurs.

Comme noté ci-dessus les niveaux de perturbation peuvent varier selon la distance à la source. Comme des dispositifs susceptibles peuvent être implantés au hasard, de très importantes variations dans l'intensité des champs peuvent être rencontrées d'un lieu à un autre.

4.5 Conséquences sur les limites

Comme exposé aux paragraphes précédents, la spécification de limites doit tenir compte des incertitudes statistiques relatives aux niveaux de tension, de courant ou d'intensité de champ contre lesquels une protection est nécessaire. On peut choisir entre d'une part des dispositifs à immunité élevée ou à faible niveau d'émission, assurant la protection dans toutes les configurations, et d'autre part l'imposition de restrictions sur la localisation des dispositifs susceptibles permettant d'atténuer la rigueur des spécifications des limites. La philosophie à adopter dépendra finalement de facteurs économiques et de paramètres critiques qui devront être, dans chaque cas, déterminés entre le fabricant et l'utilisateur.

Il reste entendu que les niveaux d'environnement, à un emplacement donné, estimés d'après les méthodes décrites ci-après, dépendent des pratiques d'installation en usage au lieu considéré.

On peut installer le matériel d'une manière spéciale afin de le protéger contre les dégradations de performance qu'il subirait autrement.

4.6 Environnement défini par références aux limites normalisées

Des limites normatives des émissions ont été spécifiées par les autorités légales nationales et internationales, et par des organisations de normalisation volontaires. Dans la mesure où ces limites sont appliquées, elles servent à définir les niveaux d'environnement. Comme exemples, on peut mentionner l'environnement dans un avion commercial et l'environnement général où des récepteurs radio peuvent être situés.

4.3 *Radiation field environment*

Radiated field strengths are traditionally stated in terms of the electric or magnetic field strength at a specified distance, for example 3 m, 10 m, or 30 m. If that distance is in the far field region of a source, the field strength can then be estimated at any larger distance in a reflection free environment. In such situations the *ERP* and the *EIRP* (see 3.1) may be used as a convenient statement of environmental level.

4.4 *Statistical considerations*

All sources of interference and the couplings between source and susceptor can be specified quantitatively in terms of specific parameters. In describing a given environment, one must recognize that these parameters are subject to statistical variation either from source to source of a given type or with time for a given source. For example, mains impedances may vary as devices connected to the mains are energized and field distributions may depend critically on positions of objects or personnel in the vicinity of the source or susceptor. Thus, the accuracy of a predicted environmental condition may depend upon the care with which such factors are accounted for.

As noted above, disturbance levels may vary with distance from the source. As susceptible devices can be located at distances on a somewhat random basis, very significant variations in field strengths may be experienced from one location to another.

4.5 *Implications for limits*

In view of the discussion in the previous paragraph, specification of limits must take into account the statistical uncertainties expected in levels of voltage, current, or field strength to be protected against. A choice exists between requiring devices with high immunity or low emission levels in order to provide protection in all possible configurations, or placing restrictions on the location of susceptible devices and thereby enable relaxation of limits. Which philosophy is adopted will ultimately depend upon economic and criticality factors to be determined between manufacturer and user in each case.

It should be understood that the environmental levels at a given location predicted following procedures outlined here are dependent upon installation practices used in that location.

Equipment may be installed in a special way which will protect it from the degradation of performance that would otherwise be experienced.

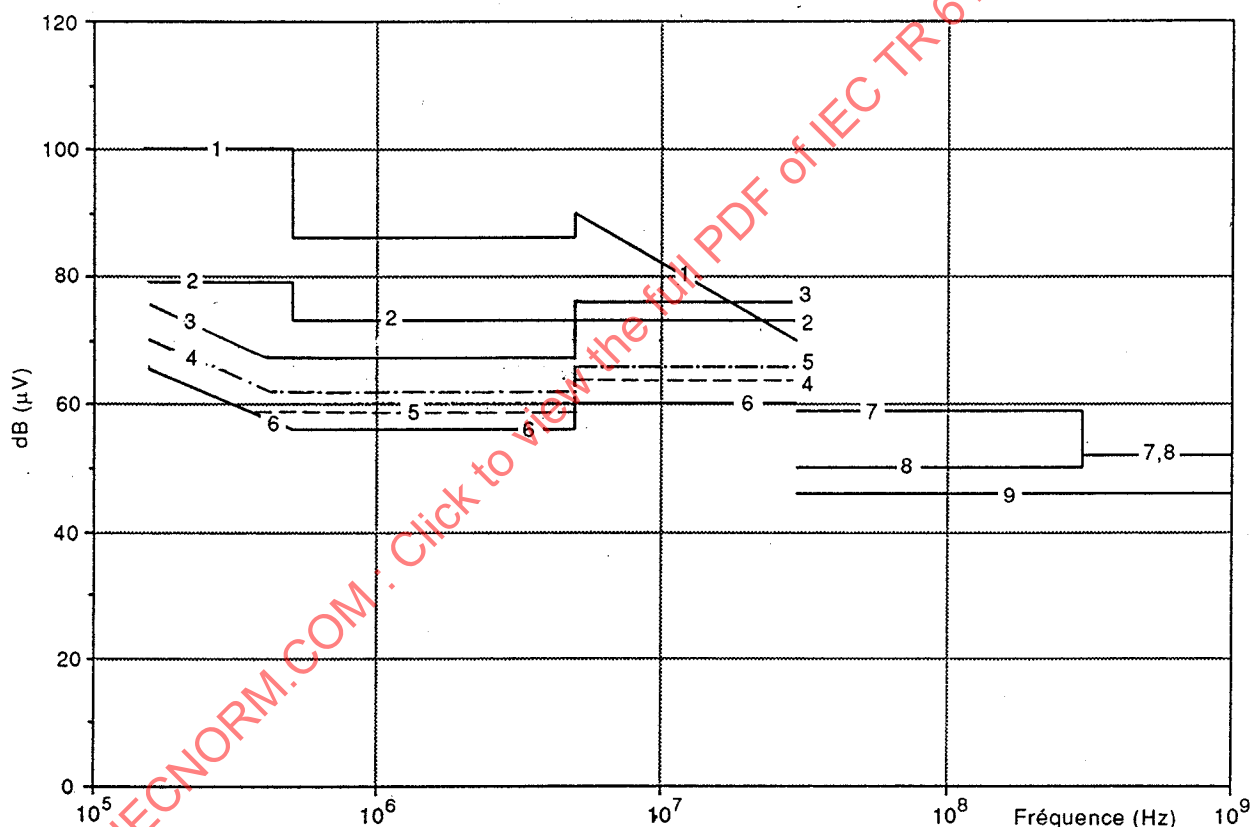
4.6 *Environment implied by invoking of standard limits*

Standard limits on emission have been developed by national and international regulatory authorities, and by voluntary standardization organizations. To the extent that such limits are applied, they serve to control environmental levels. Two examples which may be mentioned are the environment inside a commercial aircraft and the general environment where radio receivers may be located.

4.6.1 L'environnement conduit

Par exemple la figure 8 résume les niveaux recommandés par le CISPR pour la gamme de fréquences allant de 150 kHz à 1 GHz. Ces niveaux sont donnés en dB (μ V), les mesures étant effectuées sur un réseau artificiel qui, pour des valeurs inférieures à 30 MHz, simulent l'impédance de la ligne d'alimentation, pour des valeurs supérieures à 30 MHz, celle de l'antenne.

Il faut noter que les niveaux varient d'environ 200 μ V à environ 16 mV selon la fréquence et l'appareil engendrant l'émission. Les niveaux indiqués sont ceux qui sont mesurés avec un récepteur CISPR comportant un circuit quasi-crête prévu pour établir une corrélation de premier ordre entre la grandeur mesurée et l'effet perturbateur produit sur le système radio par diverses formes d'onde. Comme de nombreuses sources de perturbations sont réellement sujettes à de telles limites, on considère que les niveaux indiqués ici sont représentatifs de ce qu'on peut s'attendre à trouver sur les conducteurs d'alimentation. Cependant, ainsi qu'il a été mentionné précédemment, tous les appareils ne sont pas contrôlés et il faut être particulièrement attentif à la possibilité que des appareils non contrôlés soient connectés d'une manière pouvant affecter un environnement particulier. Dans certains pays, des limites ont été adoptées en dessous de 150 kHz.



CEI 836/92

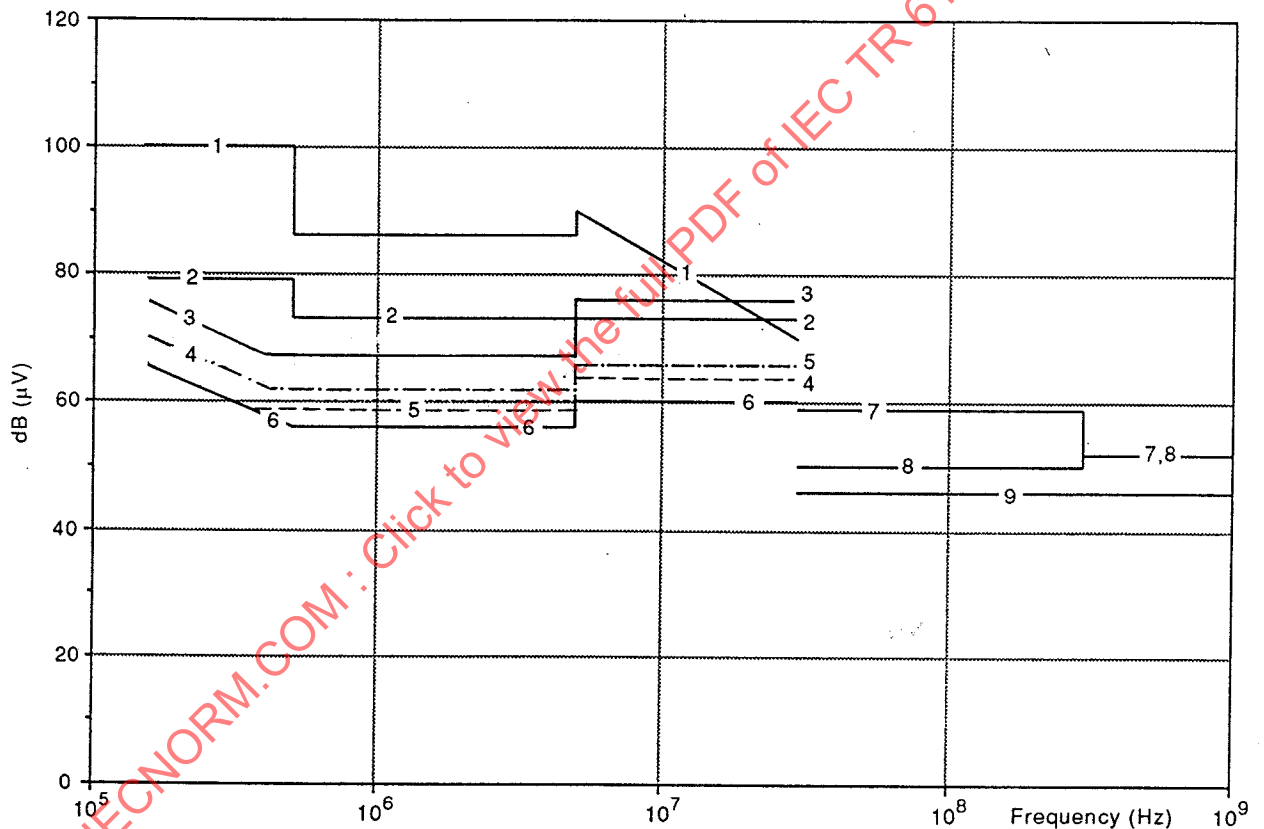
- 1) Appareils ISM du groupe 2, classe A, quasi-crête
- 2) Appareils ISM du groupe 1, classe A, quasi-crête, et ATI, classe A, quasi-crête
- 3) Outils portatifs (1 000 W à 2 000 W)
- 4) Outils portatifs (700 W à 1 000 W)
- 5) Outils portatifs (<700 W)
- 6) Appareils ISM de classe B, quasi-crête, et ATI, classe B, quasi-crête
- 7) Autoradios en modulation de fréquence
- 8) Récepteurs de radiodiffusion en modulation de fréquence
- 9) Récepteurs de télévision et magnétoscopes

Figure 8 – Limites du CISPR pour l'émission de perturbations conduites

4.6.1 Conducted environment

As an example figure 8 gives a summary of low-level conducted emission levels recommended by CISPR in the frequency range from 150 kHz to 1 GHz. These levels are expressed in terms of dB (μ V) measured across an artificial network which below 30 MHz simulates the impedance of the power line and above 30 MHz that of the antenna.

It is noted that levels vary from about 200 μ V to about 16 mV depending upon the frequency and the device generating the emission. The levels are those measured by a CISPR receiver which contains a quasi-peak weighing circuit designed to give a first-order correlation between the measured quantity and the interference effect on radio reception produced by various waveforms. Since many disturbance sources are indeed subject to limits such as these, it is considered that the levels presented here are representative of what one might expect to find on the mains leads. However, as mentioned previously not all devices are controlled and one must be particularly alert to the possibility of an uncontrolled device being connected in such a way as to affect a particular environment. In some countries limits have been adopted below 150 kHz.



- 1) Group 2 ISM equipment, class A, quasi-peak
- 2) Group 1 ISM equipment, class A, quasi-peak, and ITE, class A, quasi-peak
- 3) Portable tools (1 000 W to 2 000 W)
- 4) Portable tools (700 W to 1 000 W)
- 5) Portable tools (<700 W)
- 6) Class B ISM equipment, quasi-peak, and ITE, class B, quasi-peak
- 7) Frequency modulation car radios
- 8) Frequency modulation sound receivers
- 9) Television receivers and video recorders

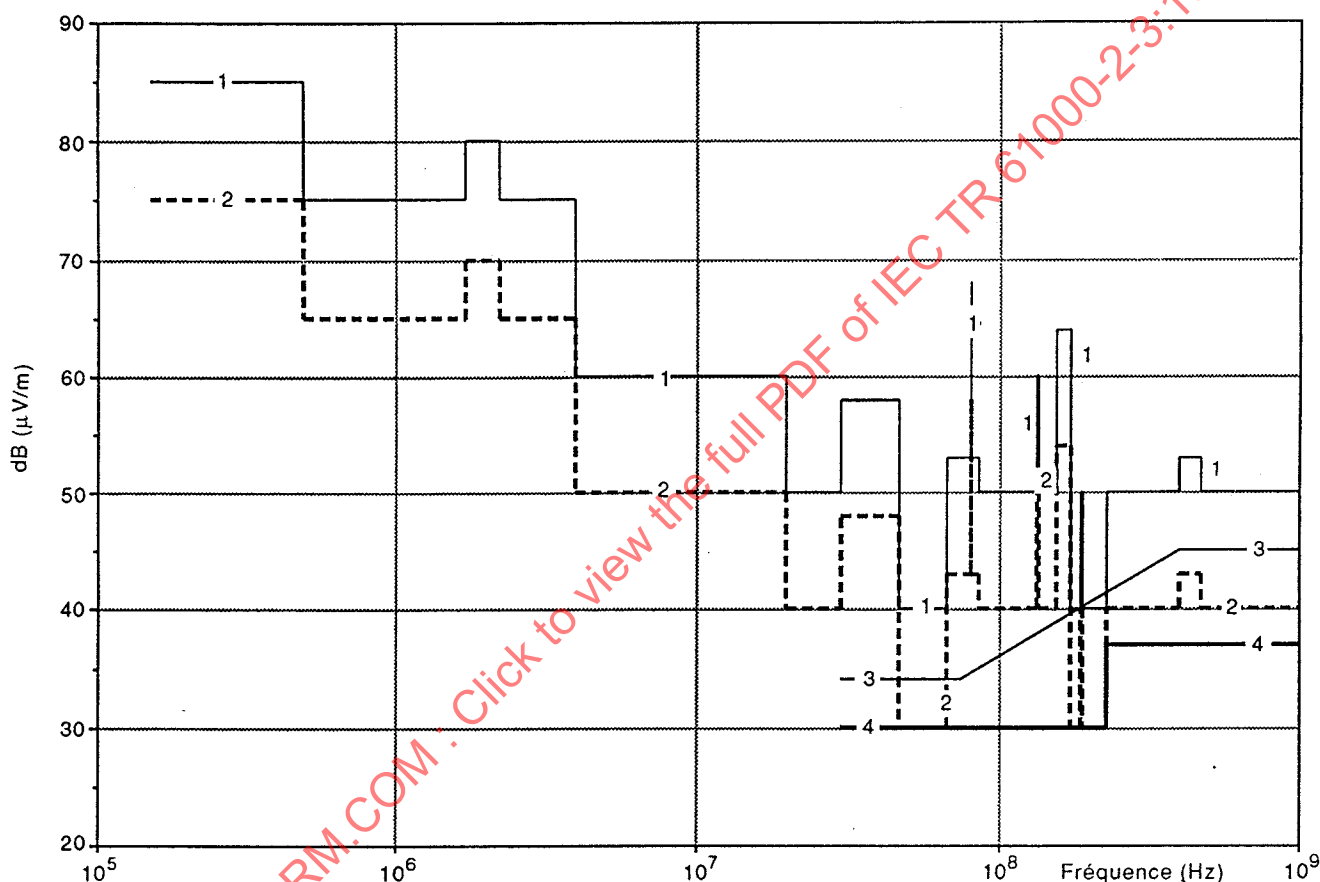
IEC 836/92

Figure 8 – CISPR limits for conducted emission

L'utilisation d'un détecteur quasi-crête n'est significative que pour les problèmes de perturbations concernant la réception de signaux de radiodiffusion. Pour les problèmes plus généraux de CEM, l'utilisation du détecteur quasi-crête peut conduire à des informations trompeuses. De manière similaire, le réseau artificiel utilisé dans la méthode de mesure normalisée du CISPR peut ne pas être adapté pour d'autres applications.

4.6.2 Environnement rayonné

La figure 9 est un résumé des niveaux limites du CISPR. Il convient de noter que ces niveaux sont donnés en termes d'intensité de champ électrique pour des distances spécifiées; ainsi cette liste de niveaux rayonnés ne peut être utilisée, pour un emplacement particulier, que dans la mesure ou la position et la nature de chaque source peuvent être identifiées.



CEI 837/92

- 1) Appareils ISM du groupe 2, classe A, distance de mesure 30 m
- 2) Appareils ISM du groupe 2, classe A, mesuré à une distance de 30 m à partir du mur extérieur du bâtiment dans lequel se trouve l'appareil
- 3) Véhicules, bateaux à moteur et engins entraînés par des moteurs à allumage commandé, distance de mesure 10 m
- 4) Appareils ISM du groupe 1, distance de mesure 30 m

Figure 9 – Limites du CISPR pour l'émission de perturbations rayonnées (intensité du champ)

The use of a quasi-peak detector is relevant only to interference problems involving the reception of broadcast signals. In more general EMC problems the use of the quasi-peak detector might give misleading information. Similarly, the artificial mains impedance used in the standardized CISPR measurement method may not be valid for other applications.

4.6.2 Radiated environment

Figure 9 shows a summary of CISPR limit levels. Note that these levels are given in terms of electric field strengths at specified distances, so that descriptions of consequent radiated levels at a particular location can be validated only to the extent that the position and the nature of each source can be identified.

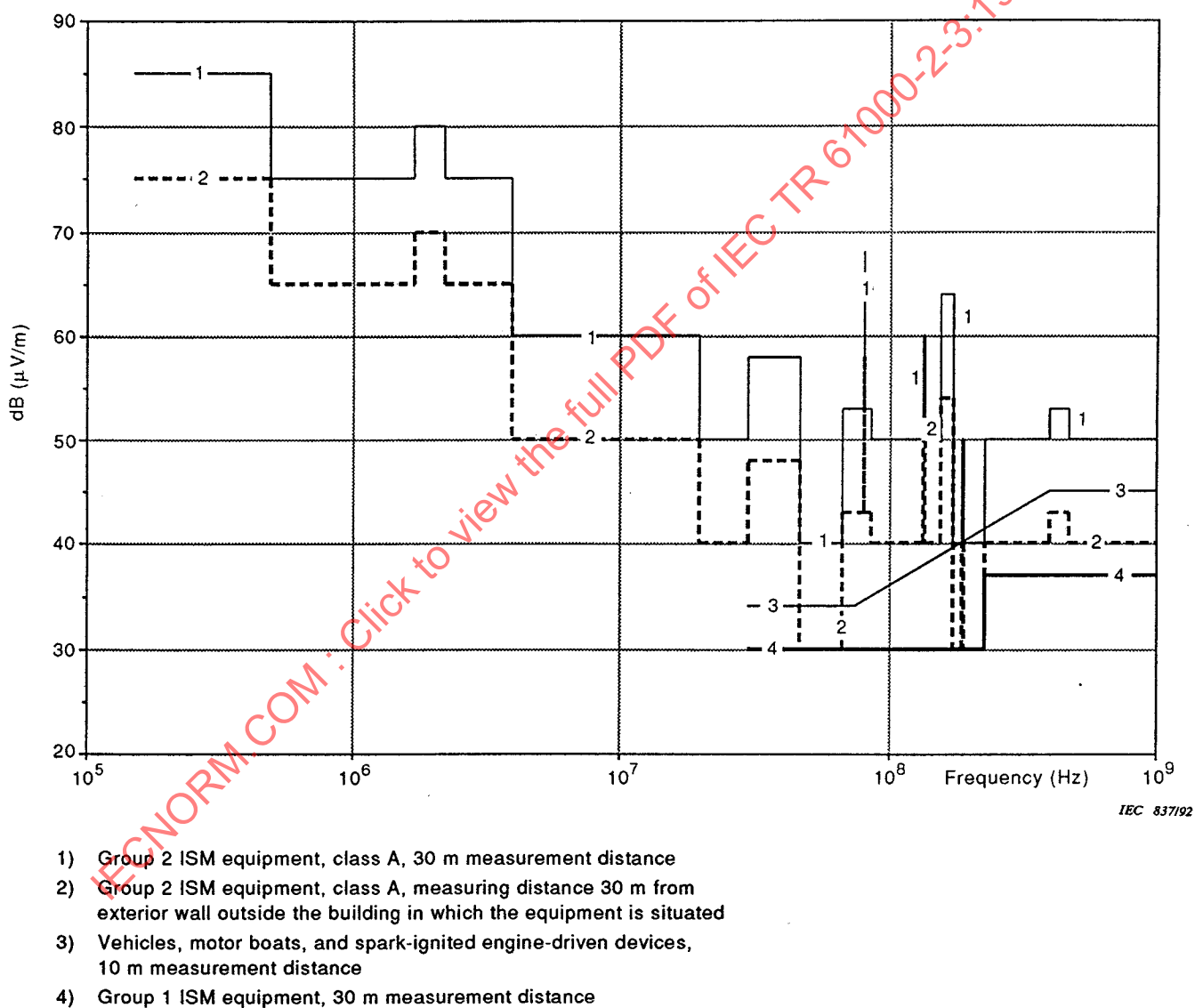


Figure 9 – CISPR limits (field strength) for radiated emission

5 Emetteurs Intentionnels

Les émetteurs intentionnels apportent des signaux intentionnels à l'environnement électromagnétique par des voies de couplage intentionnelles. Citons en exemple d'émission conduite intentionnelle, la tension du réseau d'alimentation, les signaux par courants porteurs ou les signaux logiques, et en émission rayonnée intentionnelle les émetteurs de radiodiffusion, les balises de navigation ou les commandes à distance.

5.1 Emetteurs radio

Les services autorisés, les puissances rayonnées, les distances usuelles des émetteurs-récepteurs correspondant aux régions habitées, et les intensités de champ calculées sont indiquées au tableau 1. Sauf en ce qui concerne les bandes mysiométriques et kilométriques (0,014 MHz à 0,5 MHz), l'intensité des champs est donnée pour les distances au-delà du champ d'induction.

5.2 Autres sources de rayonnement intentionnel

Les rayonnements intentionnels proviennent aussi de systèmes autres que les types d'émetteurs cités au tableau 1, par exemple les matériels industriels scientifiques et médicaux (voir 6.13.1) et les dispositifs de commande à distance. Pour ces derniers on peut citer en exemple les systèmes d'ouverture de portes de garage et les dispositifs d'alarme anti-effraction. Ces systèmes produisent des champs sur des bandes de fréquences restreintes avec une puissance de sortie relativement faible. Leur niveau n'a d'importance que dans leur voisinage immédiat et, par conséquent, ils ne sont pas soumis à autorisation.

5 Intentional emitters

Intentional emitters contribute intentional signals to the electromagnetic environment via intentional coupling paths. Examples of intentional conducted emission are the operating voltage on the electrical mains, the signals of mains-communication devices and the logical signals on a digital bus. Examples of intentional radiated emission are broadcast radio transmitters, navigational aids and remote control devices.

5.1 Radio transmitters

Information on authorized broadcast services, with values of radiated power, typical transmitter receiver distances corresponding to populated areas, and calculated field strength are shown in table 1. Except for the VLF range (0,014 MHz to 0,5 MHz) the field strengths are given for distances beyond the induction field.

5.2 Other sources of intentional radiation

Intentional radiation also occurs from devices other than the types of transmitters mentioned in table 1, for example industrial, scientific and medical equipment (see 6.13.1) and remote control devices. Examples of the latter are garage-door openers and intrusion alarms. These devices operate in restricted frequency bands and with relatively low power output. The levels are significant only in their immediate area and are therefore not licensed.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 1000-2-3:1997

Tableau 1 – Exemples d'intensités de champs types pour émissions autorisées

Service	Gamme de fréquence en MHz	PRE	Gamme type de distance de séparation	Champ calculé gamme d'intensité V/m*
Radio GO et maritime	0,014 – 0,5	2 500 kW	2 – 20 km	5,5 – 0,55
Radio AM	0,2 – 1,6	50 – 800 kW	0,5 – 2 km	12,5 – 0,78
Amateurs HF	1,8 – 30	1 kW	10 – 100 m	22,1 – 2,21
Communications HF y compris radio OC	1,6 – 30	10 kW	1 – 20 km	0,7 – 0,04
Citizens Band	27 – 28	12 W	10 – 100 m	2,4 – 0,24
Amateurs VHF/UHF	50 – 52 144 – 146 432 – 438 1 290 – 1 300	1 – 8 kW 1 – 8 kW 1 – 8 kW 1 – 8 kW	10 – 500 m	63 – 0,44**
Communications fixes et mobiles	29 – 40 68 – 87 146 – 174 422 – 432 438 – 470 860 – 990	50 – 130 W 50 – 130 W 50 – 130 W 50 – 130 W 50 – 130 W 50 – 130 W	2 – 200 m	40 – 0,25
Téléphones radio mobiles y compris téléphone sans fil	1 880 – 1 990	5 W 1 W (DECT)	1 – 100 m 0,5 – 10 m	15,6 – 1,56 14 – 0,7
TV VHF	48 – 68 174 – 230	100 – 320 kW	0,5 – 2 km	8 – 1,11**
Radio FM	88 – 108	100 kW	0,25 – 1 km	8,9 – 2,2**
TV UHF	470 – 855	500 kW	0,5 – 3 km	10 – 1,6**
Radar	1 000 – 30 000	1 kW – 10 GW	2 – 20 km	350 – 1,6 (crête)
* Calculé d'après la formule: $E = 7 \frac{\sqrt{PRE}}{r}$ en supposant que l'antenne d'émission se comporte comme un dipôle demi-onde en espace libre et en champ lointain. ** L'intensité des champs est indiquée quand l'objet récepteur est placé dans le faisceau de l'antenne, ce qui n'est pas habituellement le cas.				

5.3 Systèmes à courants porteurs

Parmi les sources d'émissions conduites intentionnelles on trouve les systèmes à courants porteurs utilisés pour la commande à distance ou les communications. Les applications types sont les suivantes:

- a) systèmes de communication utilisant les lignes à haute tension comme support;
- b) systèmes de commande à distance et de mesure sur les lignes haute tension, moyenne tension et basse tension des producteurs d'énergie;
- c) systèmes domestiques à usage privé.

Table 1 – Examples of field strengths from authorized transmitters

Service	Frequency range in MHz	ERP	Typical range of separation distances	Calculated field strength range V/m*
LF broadcast and maritime	0,014 – 0,5	2 500 kW	2 – 20 km	5,5 – 0,55
AM broadcast	0,2 – 1,6	50 – 800 kW	0,5 – 2 km	12,5 – 0,78
HF amateur	1,8 – 30	1 kW	10 – 100 m	22,1 – 2,21
HF communications including SW broadcasting	1,6 – 30	10 kW	1 – 20 km	0,7 – 0,04
Citizens Band	27 – 28	12 W	10 – 100 m	2,4 – 0,24
Amateur VHF/UHF	50 – 52 144 – 146 432 – 438 1 290 – 1 300	1 – 8 kW 1 – 8 kW 1 – 8 kW 1 – 8 kW	10 – 500 m	63 – 0,44**
Fixed and mobile communications	29 – 40 68 – 87 146 – 174 422 – 432 438 – 470 860 – 990	50 – 130 W 50 – 130 W 50 – 130 W 50 – 130 W 50 – 130 W 50 – 130 W	2 – 200 m	40 – 0,25
Portable telephones including cordless phones	1 880 – 1 990	5 W 1 W (DECT)	1 – 100 m 0,5 – 10 m	15,6 – 1,56 14 – 0,7
VHF TV	48 – 68 174 – 230	100 – 320 kW	0,5 – 2 km	8 – 1,11**
FM broadcast	88 – 108	100 kW	0,25 – 1 km	8,9 – 2,2**
UHF TV	470 – 853	500 kW	0,5 – 3 km	10 – 1,6**
Radar	1 000 – 30 000	1 kW – 10 GW	2 – 20 km	350 – 1,6 (peak)
* Calculated using the formula: $E = 7 \frac{\sqrt{ERP}}{r}$ assuming that the transmitting antenna behaves as a half-wave dipole in free space and in the far field. ** The field strengths indicated are only present within the beam width of the transmitting antenna.				

5.3 Carrier frequency current systems

Sources of intentional conducted emissions include carrier frequency current systems for providing remote control or communications. Typical applications are as follows:

- communication systems using high-voltage lines as a propagation medium;
- systems used by utilities for remote control and metering on high, medium and low-voltage networks;
- residential wiring systems for private purposes.

Sur les lignes haute tension, les systèmes de communication utilisent des fréquences dans la plage comprise entre 30 kHz et 500 kHz. La puissance d'émission est limitée à 10 W. Les lignes sont généralement équipées de filtres de blocage à chacune de leurs extrémités pour éviter les perturbations entre les divers réseaux.

Les systèmes de communication utilisés par certains producteurs d'énergie pour la téléconduite et les mesures travaillent dans deux plages de fréquences: 100 Hz à 3 kHz (télécommande centralisée) et 3 kHz à 95 kHz (systèmes à courants porteurs). Les signaux se composent de trains d'impulsions codés relativement longs jusqu'à 2,5 s de durée.

Les systèmes de télécommande centralisée doivent éviter les harmoniques de la fréquence fondamentale industrielle et les systèmes modernes n'utilisent que les fréquences comprises entre 100 Hz et 2 kHz, avec une préférence pour les fréquences jusqu'à 500 Hz. Les signaux émis dans cette plage de fréquences se propagent à partir du réseau haute tension vers le réseau basse tension via le réseau moyenne tension. Le niveau du signal varie d'une valeur maximale de 5 % à une valeur minimale de 0,5 % de la tension nominale du réseau au point de réception. Il convient de noter que dans les systèmes électriques à télécommande centralisée, la composante de la tension à la fréquence de la télécommande centralisée peut atteindre les valeurs de la courbe de Meister.

Les systèmes à courants porteurs travaillent dans la plage des fréquences comprises entre 3 kHz et 20 kHz environ quand ils sont destinés à couvrir les réseaux moyenne et basse tension. Le niveau du signal varie d'une valeur maximale de 2 % à une valeur minimale de 0,02 % de la tension nominale du réseau. Les systèmes qui travaillent dans la plage des fréquences comprises entre 20 kHz et 95 kHz ne concernent normalement qu'un seul réseau, généralement le réseau basse tension. Le niveau de signal présent sur le réseau basse tension varie généralement de 0,15 V à 0,5 % de la tension du réseau. Cependant, une norme qui spécifiera le niveau maximal admissible de ces signaux est à l'étude.

Les systèmes électroniques domestiques ou à usage privé utilisent des fréquences dans la plage 95 kHz à 148,5 kHz, et jusqu'à 450 kHz dans les pays où les émetteurs grandes ondes ne sont pas utilisés. Les niveaux de tension autorisés sont les mêmes que pour les réseaux basse tension précités. La durée d'un cycle d'émission varie en fonction du système entre quelques secondes et quelques minutes. Plusieurs transmissions peuvent avoir lieu chaque jour selon le système utilisé.

Il existe d'autres systèmes qui utilisent une déformation de la tension sinusoïdale comme moyen de codage des informations comme, par exemple, le système Cyclocontrol utilisé au Royaume-Uni et aux Etats-Unis.

6 Emetteurs non intentionnels

Il existe trois classes principales d'émetteurs non intentionnels: sources de bruits physiques, bruits d'origine humaine, et perturbations atmosphériques. Ces différentes classes de bruits sont présentées ci-après.

6.1 Sources de bruit physique

Deux types de bruit physique nous concernent, les bruits thermiques et les autres formes de bruit interne. En général, les sources de bruit physique déterminent le rapport signal-bruit (S/B) maximal qui peut être réalisé dans un système. Les signaux perturbateurs peuvent entraîner une dégradation de ce rapport. Dans la plupart des applications, les sources de bruit physique sont du type à large bande.

On high voltage power lines communication systems use frequencies in the range 30 kHz to 500 kHz. The transmitter power is limited to 10 W. Usually the lines are equipped with blocking filters at each end to prevent interference between the various systems.

Systems used by utilities for remote control and metering operate in two frequency ranges: 100 Hz to 3 kHz for ripple control systems and 3 kHz to 95 kHz for power line carrier systems. The signals consist of relatively long coded trains of pulses, up to 2,5 s in duration.

Ripple control systems avoid frequencies at multiples of the power frequency and modern systems use only the frequency range 100 Hz to 2 kHz with preference given to frequencies up to 500 Hz. Signals in this frequency range propagate from the high-voltage network via the medium-voltage network to the low-voltage network. The signal level varies from a maximum value of 5 % to a minimum value of 0,5 % of the nominal system voltage at the reception point. It should be noted that in supply systems with ripple control the voltage at the ripple control frequency can reach the values on the Meister curve.

Power line carrier systems operate in the frequency range 3 kHz to about 20 kHz if they are intended to cover the medium-voltage and low-voltage networks. The signal level varies from a maximum value of 2 % to a minimum value of 0,02 % of the nominal system voltage. Systems operating in the frequency range 20 kHz to 95 kHz normally cover only one network, usually the low-voltage network. The signal level present in the low-voltage network varies generally from 0,15 V to 0,5 % of the network voltage. However a standard specifying maximum allowable signal levels is under consideration.

Residential wiring systems or home electronic systems use frequencies in the range 95 kHz to 148,5 kHz; in countries where long-wave broadcast transmitters do not exist, frequencies up to 450 kHz are used. The allowed voltage levels are the same as for the public low-voltage networks discussed above. The duration of the transmission cycle varies according to the system between some seconds and a few minutes. Several transmissions may be expected each day depending on the system used.

Other systems exist using deformation of the sinusoidal voltage form as a method of coding information. An example of such a system is Cyclocontrol, used in the UK and USA.

6 Unintentional emitters

There are three major classes of unintentional emitters: physical noise sources, man-made noise sources and atmospheric. These are discussed in the following subclauses.

6.1 *Physical noise sources*

Two types of physical noise are of concern: thermal noise and other forms of internal noise. In general, the physical noise sources determine the maximum signal-to-noise ratio (S/N) which can be achieved in a system. Disturbing signals may cause a degradation of this value. In most applications the physical noise sources are of the broadband type.

6.1.1 Bruits thermiques

Le bruit thermique naît des mouvements désordonnés des électrons libres dans un conducteur sous l'effet de l'agitation thermique et il crée une tension de bruit aux extrémités ouvertes du conducteur. Dans la plupart des cas, les composantes fréquentielles de cette tension de bruit sont uniformes sur tout le spectre des fréquences. Cette source de bruit est normalement caractérisée par sa valeur efficace e_n ou par sa puissance disponible P_n :

$$e_n = \sqrt{4 kTRB}$$

$$P_n = kTB$$

où k est la constante de Boltzmann = $(1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$, T est la température absolue du conducteur ayant une résistance de R ohms, et B est la largeur de bande sur laquelle e_n et P_n sont mesurés.

6.1.2 Autres sources de bruit interne

Le fonctionnement des appareils dépend normalement du mouvement de particules chargées (électrons, trous). En général, ce mouvement peut être considéré comme un mouvement aléatoire superposé à un mouvement constant dans une direction donnée. La partie aléatoire du mouvement est l'origine des sources de bruit de l'appareil. Exemples: bruit de grenaille, papillotement, bruit d'émission secondaire et bruit en $1/f$. La description de ces sources n'est pas du domaine du présent rapport.

6.2 Bruits d'origine humaine

La plupart des bruits non-intentionnels – mais pas la totalité – sont à large bande, soit du type à impulsions, comme les phénomènes de commutation, soit de type aléatoire, tel que l'effet couronne sur les lignes à haute tension. Si la densité spectrale de ce bruit peut être tenue pour constante sur la largeur de bande B , son effet est souvent comparé à celui du bruit thermique par introduction de la puissance de bruit effective P_{ne} :

$$P_{ne} = F_a P_n = F_a kTB$$

où le facteur de bruit F_a représente le bruit en excès comparé au bruit thermique. Les valeurs à prévoir pour F_a sont données à la figure 10 [1]* pour les zones rurales, résidentielles et commerciales, montrant que F_a augmente avec la densité de population. Les valeurs indiquées figure 10 supposent que P_n est déterminée avec une antenne sans pertes à la température de 300 K.

* Les numéros figurant entre crochets se rapportent à la bibliographie.

6.1.1 Thermal noise sources

Thermal noise arises from the random motion of free electrons in a conductor caused by thermal agitation, and gives rise to a noise voltage at the open ends of a conductor. In most cases the frequency components of this noise voltage are uniform over the frequency spectrum. This noise source is normally characterized by its r.m.s. value e_n or its available power P_n :

$$e_n = \sqrt{4 kTB}$$

$$P_n = kTB$$

where Boltzmann's constant $k = (1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$, T is the absolute temperature of the conductor which has a resistance of $R \Omega$, and B is the bandwidth over which the e_n and P_n are measured.

6.1.2 Other sources of internal noise

The operation of devices normally depends upon the movement of charged particles, for example, electrons, holes. In general, this movement can be regarded as a random movement superimposed on a constant movement in a certain direction. The random component is then the origin of the device noise. Examples are: shot noise, flicker noise, $1/f$ noise and secondary emission noise. A description of these sources is outside the scope of this report.

6.2 Man-made noise

Most, but not all, unintentional noise is of a broadband nature, either of the impulse type, such as from switching phenomena, or of the random type, such as from corona on high-voltage lines. If the spectral density of this noise can be assumed to be constant over the bandwidth B , its effect is often compared with that of thermal noise by introducing the effective available power P_{ne} :

$$P_{ne} = F_a P_n = F_a kTB$$

where the noise factor F_a represents the excess noise compared to the thermal noise. Expected values for F_a are given in figure 10 [1]* for rural, residential and commercial areas showing the expected effect that F_a increases with population density. For the data in figure 10 it has been assumed that P_{ne} is determined with a lossless antenna at a temperature of 300 K.

* Numbers in brackets refer to bibliography.

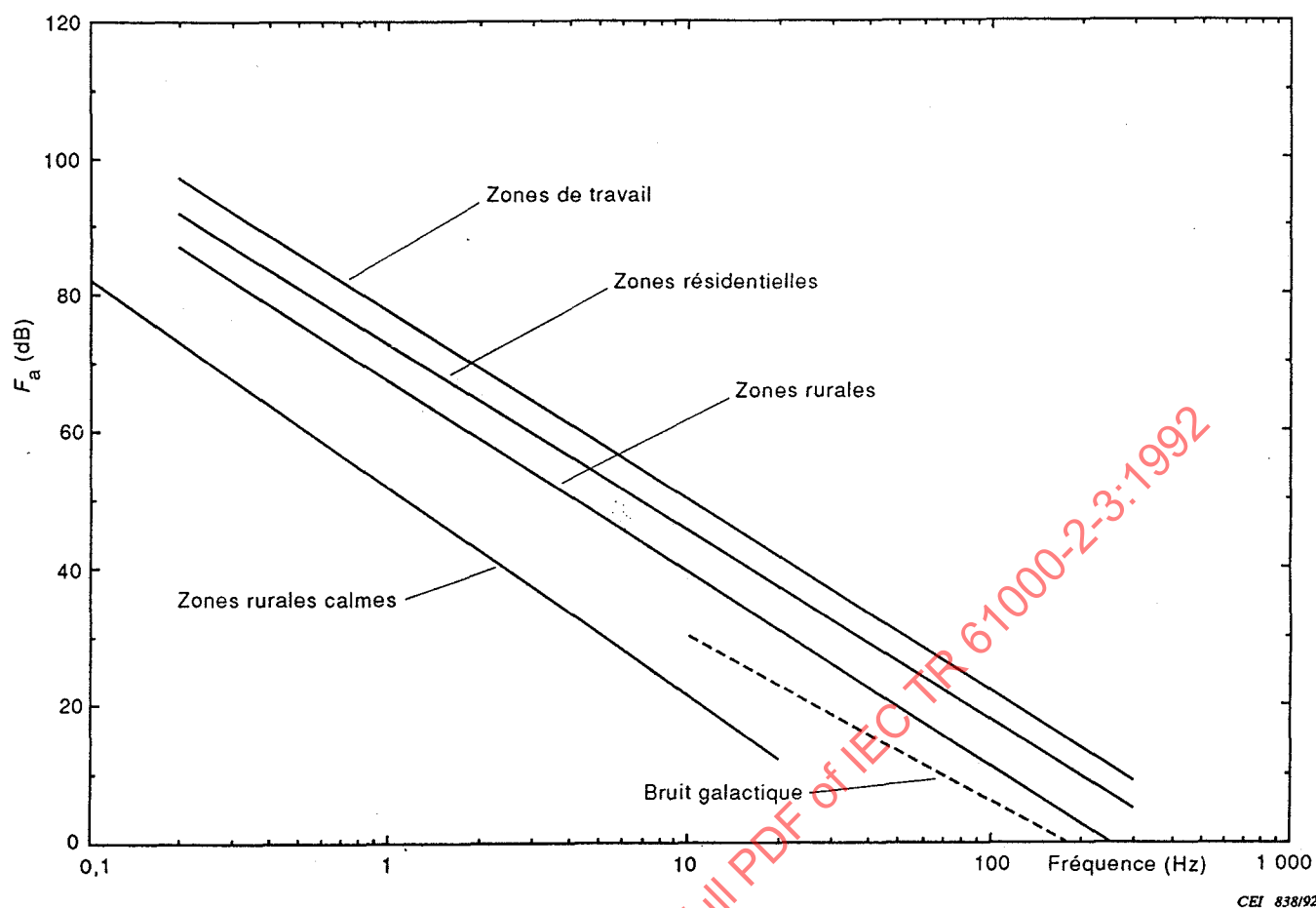


Figure 10 – Niveaux prévisibles de bruits d'origine humaine

6.3 Bruits atmosphériques

Les bruits atmosphériques ont essentiellement pour origine les décharges de la foudre. Les plus importantes sont les décharges locales, cependant, les décharges lointaines peuvent être cause d'une dégradation générale des réceptions radio dans un secteur donné [2].

6.3.1 Phénomène primaire

La foudre est un long arc électrique jaillissant entre ou à l'intérieur de nuages (*cloud flash*), ou entre un nuage et le sol (*ground flash*).

Il est généralement formé de décharges consécutives multiples accompagnées d'impulsions de courant ayant diverses valeurs d'amplitude, de temps de montée, de polarité et de durée. La répartition statistique type des paramètres caractérisant la foudre est représentée sur les figures 11a, 11b et 11c [3 et 4].

On peut prévoir une réduction de l'intensité du champ approximativement en proportion inverse à la distance du point d'impact [4].

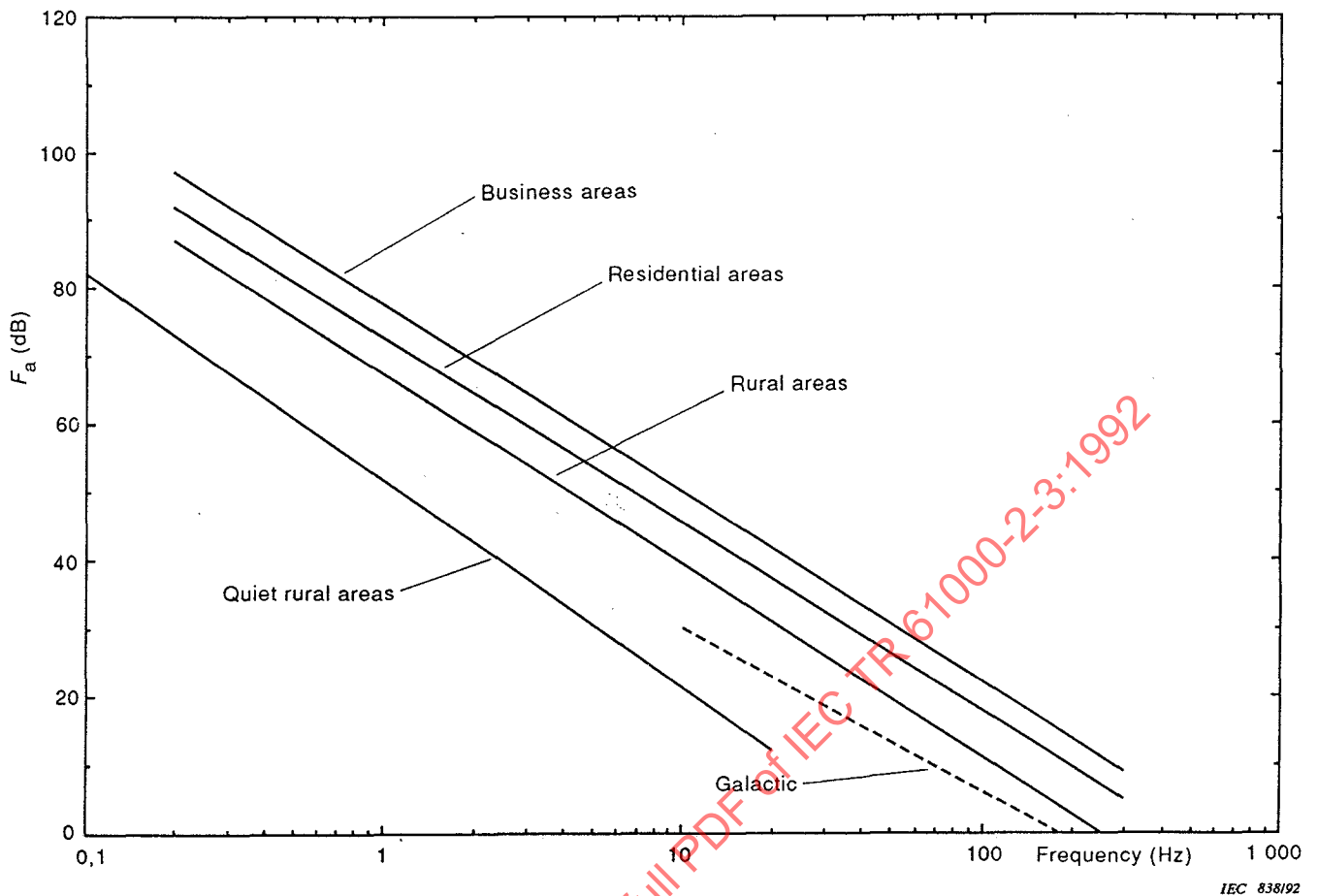


Figure 10 – Expected levels of man-made noise

6.3 Atmospherics

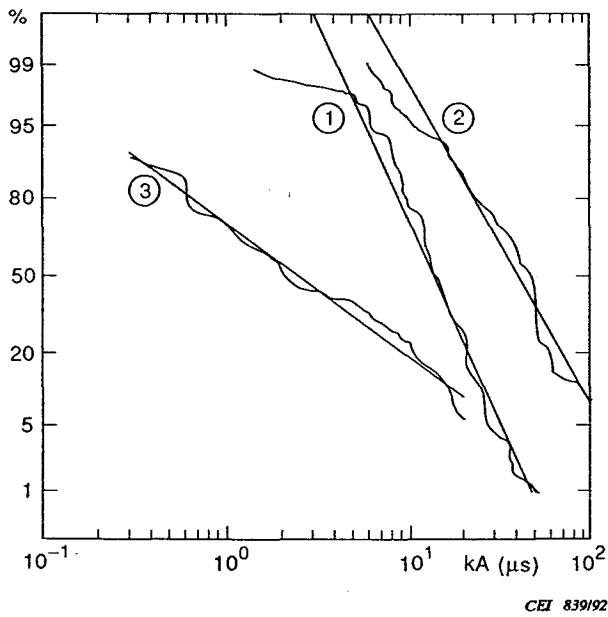
Atmospheric noise originates primarily in lightning discharges. Most concern is with local discharges, however, distant discharges may set a general limitation on radio reception in a given area [2].

6.3.1 Primary phenomena

Lightning is a very long electric spark between or within thunder clouds (cloud flash) or between a thunder cloud and the earth (ground flash).

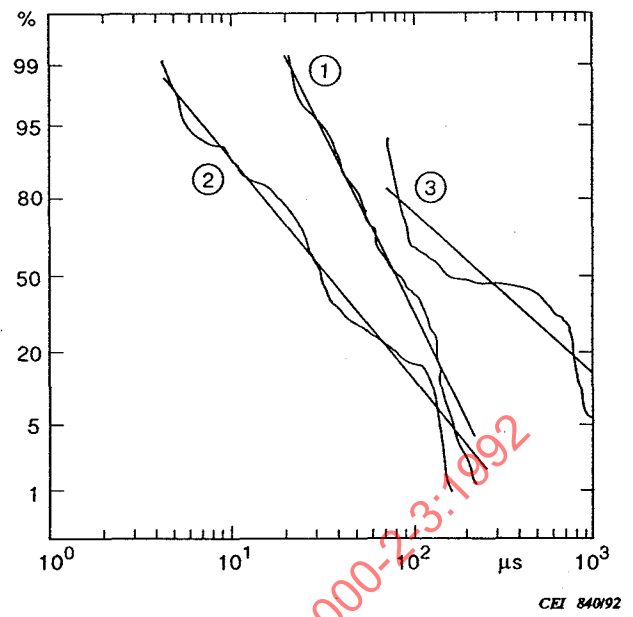
It generally consists of multiple subsequent strokes associated with impulse current of different amplitude, steepness, polarity and duration. Typical statistical distribution of the parameters characterizing lightning are given in figures 11a, 11b and 11c [3 and 4].

Field strengths may be expected to decrease inversely with the distance from the point of impact [4].



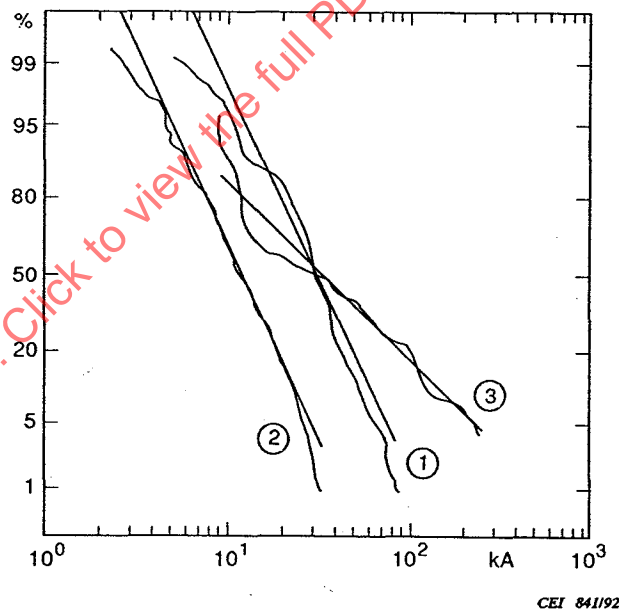
1 = premiers coups de foudre négatifs
2 = coups négatifs suivants
3 = coups de foudre positifs

Figure 11a – Gradient de montée du courant (di/dt)



1 = premiers coups de foudre négatifs
2 = coups négatifs suivants
3 = coups de foudre positifs

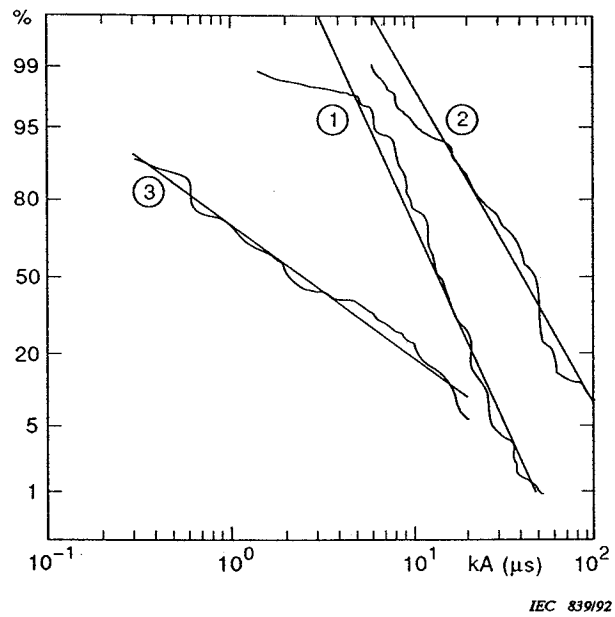
Figure 11b – Durée du coup de foudre



1 = premiers coups de foudre négatifs
2 = coups négatifs suivants
3 = coups de foudre positifs

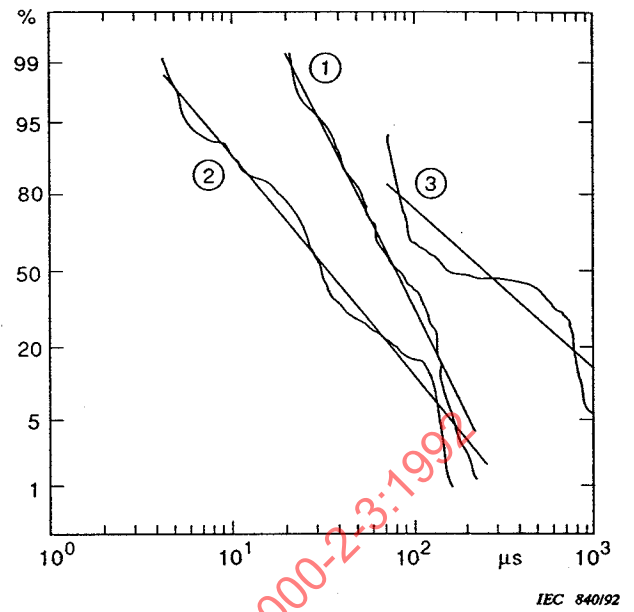
Figure 11c – Courant de crête I

Figure 11 – Distribution statistique des paramètres cérauniques



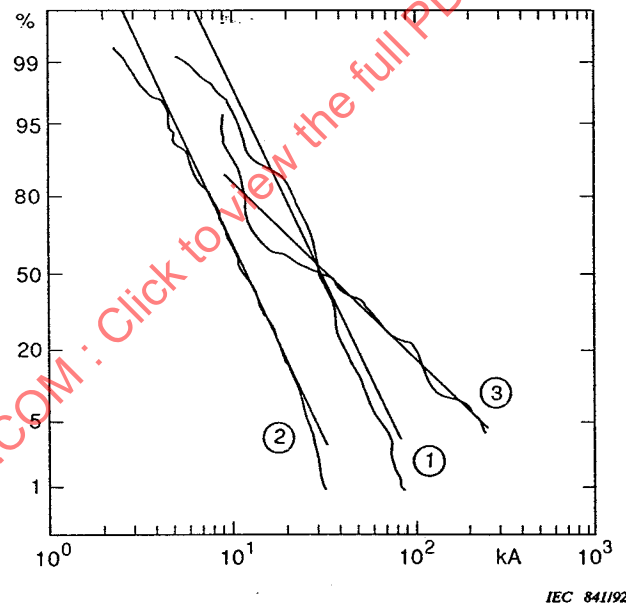
- 1 = initial negative strokes
2 = subsequent negative strokes
3 = positive strokes

Figure 11a – Maximum rate of rise of current (di/dt)
(current steepness)



- 1 = initial negative strokes
2 = subsequent negative strokes
3 = positive strokes

Figure 11b – Stroke duration – T (tail)



- 1 = initial negative strokes
2 = subsequent negative strokes
3 = positive strokes

Figure 11c – Peak current I

Figure 11 – Statistical distribution of lightning parameters

6.3.2 *Edifices frappés par la foudre*

Les coups de foudre sur les bâtiments ont différents effets selon les méthodes adoptées pour protéger ces édifices. Des différences de tension allant jusqu'à des dizaines de kilovolts peuvent se manifester dans toute charpente ou tout conducteur où le courant passe, y compris ceux pris comme référence électrique pour des raisons de sécurité ou fonctionnelles.

Il y a couplage inductif mutuel entre tous circuits parcourus par le courant dû à la foudre, y compris les conducteurs de protection, et les autres circuits électriques (signaux, alimentation, etc.). Un couplage par impédance commune se produit sur les lignes d'alimentation et de signaux, qui sont mis à la terre à proximité des charpentes parcourues par les courants de foudre. Les tensions se créant entre les différentes parties d'un système dépendent des méthodes d'installation.

6.3.3 *Lignes d'alimentation frappées par la foudre*

Par commodité, les effets de la foudre sur les lignes d'alimentation basse tension sont traités en 6.6.3.

6.4 *Décharge électrostatique*

6.4.1 *Phénomène de base*

Une décharge électrostatique (DES) est un transfert de charges électriques entre des corps portés à des potentiels électrostatiques différents. L'énergie produite par les forces de friction entre deux isolants, lorsqu'ils sont frottés l'un contre l'autre, libère des porteurs chargés situés aux imperfections du matériau vers la bande de conduction. Ces porteurs s'accumulent sur les surfaces respectives des matériaux. C'est l'effet triboélectrique. L'amplitude de la charge transférée dépend de la taille, de la forme, et des propriétés électriques des corps. Les conditions de l'environnement, en particulier l'humidité, peuvent affecter à la fois l'amplitude de la charge et son taux de décroissance.

Une décharge électrostatique fait intervenir trois facteurs:

- le vecteur, un objet qui se déplace en portant une charge, en général un être humain. Ce peut être aussi un objet déplaçable tel que chaise, matériel monté sur roues ou chariot de magasin;
- le récepteur, un objet stationnaire vers lequel le vecteur se déplace et avec lequel il échangera des charges;
- la victime, le matériel ou le composant affecté par la décharge. La victime peut être le récepteur ou être un troisième élément indépendant de la décharge survenant entre le vecteur et le récepteur, à proximité de la victime.

6.3.2 *Lightning on structures*

Strokes on buildings have different effects depending on the methods adopted to protect the structures. Voltage differences up to tens of kilovolts may be developed in any conductor or structure carrying the lightning current, including conductors or structural steel taken as reference for safety or functional reasons.

There is mutual inductive coupling between any lightning-carrying circuits including the protective conductors and other electric circuits, for example power supply, signal, etc. Common impedance coupling occurs with the power supply and signal circuits earthed in the proximity of structures affected by lightning currents. Voltages developed between different parts of a system will depend on installation practice.

6.3.3 *Lightning on power lines*

For convenience the effects of lightning on low voltage power lines are discussed in 6.6.3.

6.4 *Electrostatic discharge*

6.4.1 *Basic phenomenon*

Electrostatic discharge (ESD) is a transfer of charges between bodies at different electrostatic potentials. The energy produced by frictional forces between two insulators when these are rubbed together lifts charge carriers located at imperfection points in the materials to the conduction bands. These charge carriers accumulate on the surfaces of the respective materials and charge transfer takes place due to the triboelectric effect. The magnitude of the charge transferred is dependent on the size, shape and electrical properties of the bodies. Environmental conditions, especially humidity, may significantly affect both the magnitude of the charge produced and its rate of decay.

In describing ESD events, three bodies are involved:

- the intruder, a moving object carrying the charge, generally a human being. It can also be a movable object such as a chair, a wheel-mounted equipment, or a shopping cart;
- the receptor, a stationary object towards which the intruder moves, which will exchange charges with the intruder;
- the victim, the equipment or component affected by the discharge. The victim can at the same time be the receptor or be a third element, independent of the discharge, that takes place near it, between the intruder and the receptor.

Les décharges électrostatiques peuvent affecter les matériels suivant deux modes qui dépendent de la susceptibilité de la victime. L'un ou l'autre mode peut être le plus significatif; c'est le pire cas qui est à considérer:

- Une décharge électrostatique se produit entre le vecteur et le récepteur lorsque la victime est aussi le récepteur (décharge directe) ou près du vecteur et du récepteur, sans être le récepteur, (décharge indirecte). Dans ce cas la victime est un système complet plutôt qu'un circuit imprimé ou un composant. Les effets typiques sont le mauvais fonctionnement ou dans les cas extrêmes la détérioration.
- Une décharge électrostatique impliquant un composant ou un sous-ensemble comme victime pendant le montage ou des opérations de maintenance. Ces composants ou sous-ensembles peuvent fonctionner ou non durant la décharge. Les effets typiques sont la destruction immédiate ou les pannes latentes.

6.4.2 Courant conduit

La forme de l'onde produite par une DES est déterminée par les phénomènes électriques impliqués dans la décharge. Le temps de montée est déterminé par la capacité parasite et l'inductance entre le vecteur et le récepteur; l'amplitude par la résistance, la capacité et l'inductance ainsi que par la tension initiale.

La physique d'une décharge dans l'air durant une DES résulte de l'occurrence ou de la non-occurrence d'une impulsion de courant initiale rapide pour ce qui concerne les décharges impliquant un outil, le cas le plus défavorable. La présence ou l'absence de cette impulsion fait toute la différence au niveau des effets du phénomène en ce qui concerne les perturbations. Un des facteurs affectant le résultat, et ce d'une manière imprévisible, est l'environnement atmosphérique (humidité, polluants). La vitesse d'approche du vecteur affecte aussi le résultat [5]. Dans le cas d'intrusion avec un doigt nu plutôt qu'avec un outil à main [6], l'amplitude et le taux de variation du courant de décharge sont généralement plus petits.

Une forme d'onde typique de DES lorsque l'impulsion initiale de courant est présente est montrée à la figure 12a. Cette figure montre le courant de décharge venant d'un outil, tenu par un opérateur, chargé à 8 kV, sur une cible comprenant un shunt de $2\ \Omega$, méthode recommandée pour les mesures de DES [7]. La figure 12b montre une DES, enregistrée sous les mêmes conditions nominales, mais durant laquelle l'impulsion initiale de courant n'a pas lieu. Une évaluation de la densité spectrale des impulsions, voir figure 12, peut être représentée par des doubles exponentielles. La somme de deux doubles exponentielles représente l'impulsion DES dans la figure 12a: une pour la montée du pic initial et l'autre pour la queue d'onde. L'impulsion de la figure 12b est représentée par une seule double exponentielle. La figure 12c montre une analyse spectrale de ces deux décharges. Noter que le pic initial a augmenté la densité spectrale du côté haute fréquence, illustrant l'importance du pic initial du fait que les mécanismes de couplage sont du type passe-haut.

ESD events can affect equipment in two ways depending on the nature and susceptibility of the victim equipment. One or the other event may be the more significant, the worst case event is to be considered:

- An ESD event occurring between intruder and receptor, where the victim is also the receptor (direct ESD) or is near the intruder and receptor but is not the receptor (indirect ESD). The victim is a complete equipment rather than a circuit board or a component. Typical effects are malfunctions or, in extreme cases, damage.
- An ESD event involving a component or subassembly as victim, during manufacturing or maintenance operations. These components or subassemblies may be operating or not operating during the event. Typical effects are immediate damage or latent failures.

6.4.2 Conducted current

The waveform produced by ESD is determined by the electrical phenomena involved in the discharge. The rise time is determined by the stray capacitance and inductance between the intruder and the receptor, the amplitude by the resistance, the capacitance and the inductance as well as the initial voltage.

The physics of air discharge during an ESD event results in the occurrence or non-occurrence of a fast or steep initial current spike for discharges involving a hand-held tool, the worst case. The presence or absence of this steep spike makes a large difference to the effect of the phenomenon when interference is involved. One of the factors affecting the outcome in an unpredictable manner is the atmospheric environment (humidity, pollutants). The speed of approach of the intruder also affects the outcome [5]. For a bare finger intrusion rather than a hand-held tool [6] the amplitude and rate of change of the discharge current are generally smaller.

A typical ESD waveform where the initial spike occurs is shown in figure 12a. This figure shows the discharge current, from a tool held by an operator charged at 8 kV, into a target including a 2 Ω current viewing resistor, the recommended method for ESD measurements [7]. Figure 12b shows an ESD waveform recorded under the same nominal conditions, but during which the initial spike did not occur. An estimate of the spectral density of the pulses given in figure 12 can be made by approximating the pulse shapes by double exponential pulses. The sum of two double-exponential pulses represents the ESD pulse in figure 12a, one for the initial steep spike and one for the remainder of the pulse. Only one double-exponential pulse is required for the ESD pulse of figure 12b. The spectral density of the approximated pulses, calculated using standard techniques is shown in figure 12c. Note that the steep initial spike clearly increases the spectral density at the high frequency end, illustrating the importance of the initial spike as most coupling mechanisms are of the highpass type.

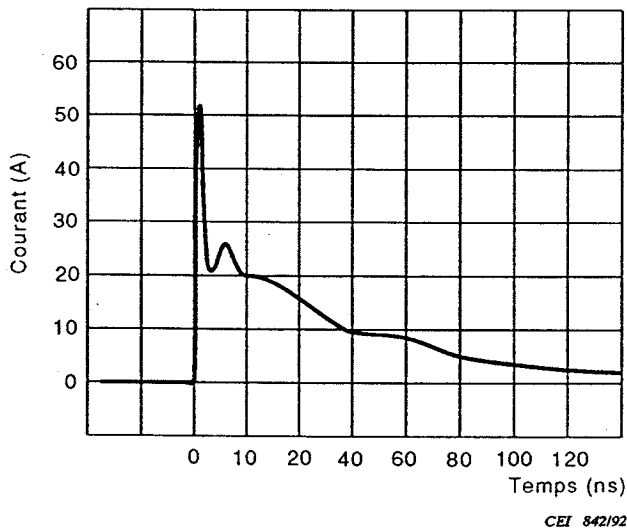


Figure 12a – Avec pointe et montée rapide de courant initial

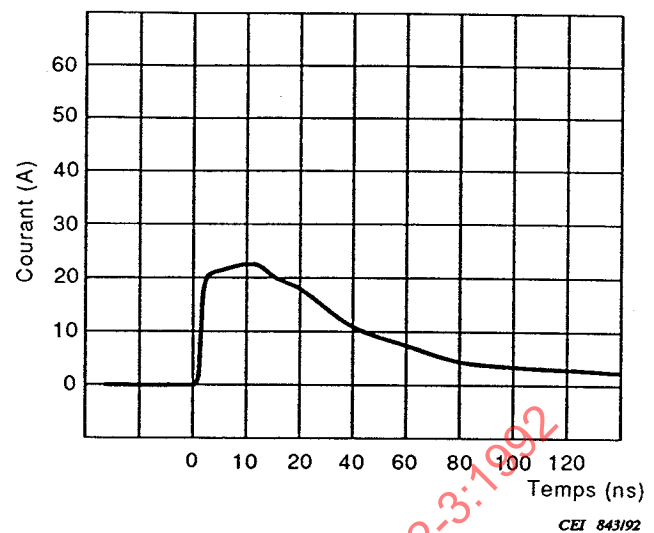


Figure 12b – Sans pointe et montée de courant initial

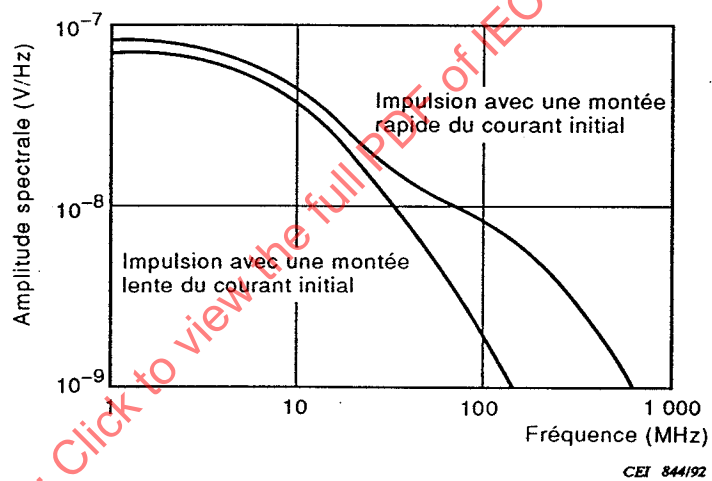


Figure 12c – Spectres des décharges a et b ci-dessus

Figure 12 – Décharges électrostatiques typiques avec outil tenu à la main avec charge initiale de 8 kV, sur une cible de 2 Ω du CE 65 de la CEI, enregistrées avec 1 GHz de bande passante

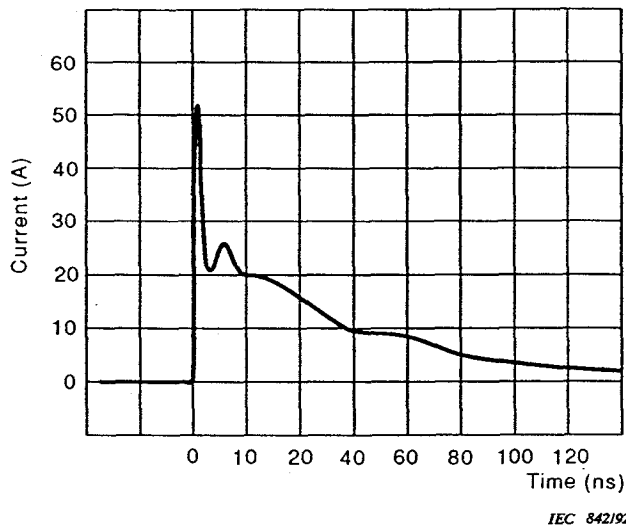


Figure 12a – Steep initial rise occurred

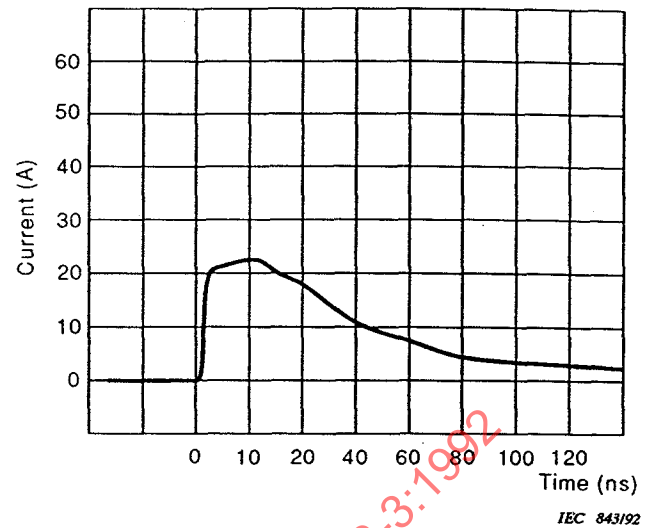


Figure 12b – Steep initial rise did not occur

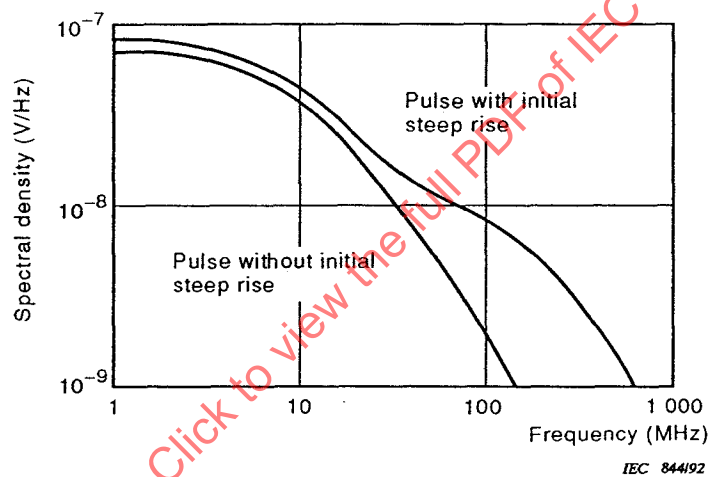


Figure 12c – Spectrum of discharges a and b above

Figure 12 – Typical electrostatic discharges with a hand-held tool, initial charge at 8 kV, to a 2 Ω target (IEC TC 65) recorded with a 1 GHz system

Pour les tensions initiales de charge faibles (inférieures à 5 kV), il y a une plus grande probabilité (mais pas une certitude) de produire un transitoire de courant initial rapide à l'aide d'un outil à main, ce qui n'est pas le cas avec des tensions plus élevées. La figure 13 montre les variations du temps de montée du phénomène, pour une décharge à 4 kV (figure 13a) et à 8 kV (figure 13b), lors de plusieurs décharges entre un outil à main et la cible CEI. Ces enregistrements ont été réalisés sans chercher à contrôler la vitesse d'approche du vecteur.

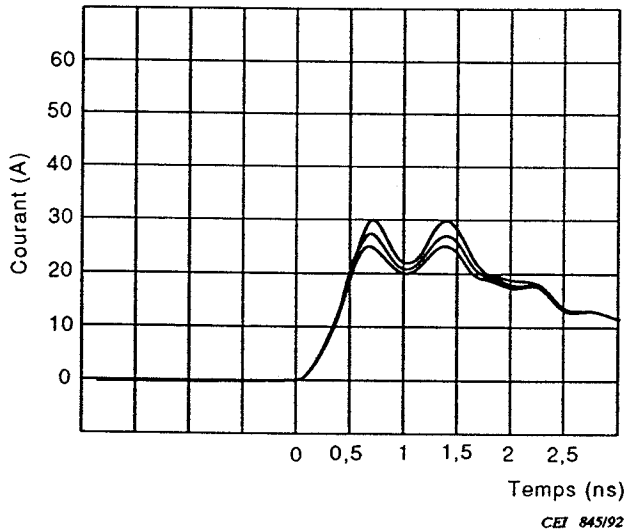


Figure 13a – Charge initiale 4 kV

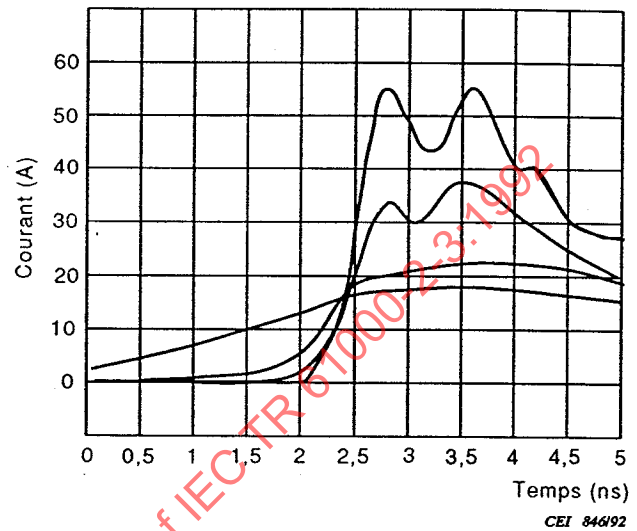


Figure 13b – Charge initiale 8 kV

Figure 13 – La montée de courant à l'approche d'un outil tenu à la main montre une grande variabilité à 8 kV, moindre à 4 kV.

Oscillogrammes de décharges répétées sur cible 2Ω du CE 65 de la CEI enregistrées avec 1 GHz de bande passante.

Lorsque le vecteur est un objet mobile plutôt qu'un outil, la décharge présente en général un front de montée plus lent et une durée plus longue. Un exemple, figure 14, montre la décharge d'un chariot de magasin.

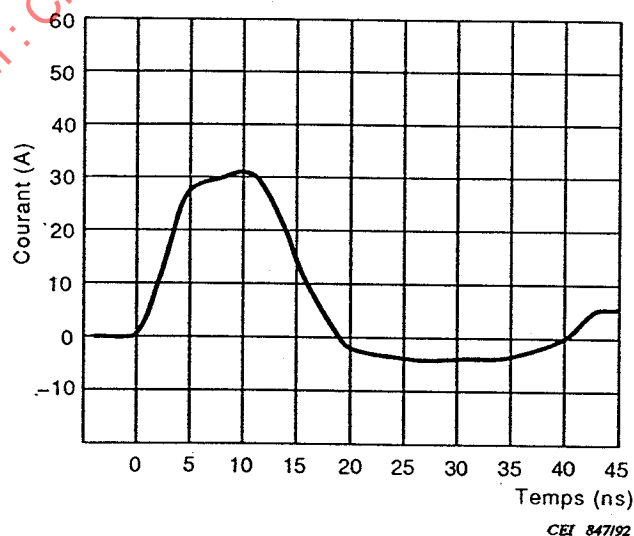


Figure 14 – Décharge typique d'un chariot de magasin avec charge initiale de 4 kV, sur une cible de 2Ω du CE 65 de la CEI, enregistrée avec 1 GHz de bande passante

At low initial charge voltages (below 5 kV), there is a greater likelihood (but not a certainty) of producing a fast initial current rise with a hand-held tool than at higher voltages. Figure 13 illustrates the variability in rise time of the phenomenon, with discharge at 4 kV (figure 13a) and 8 kV (figure 13b), for several discharges between a hand-held tool and the IEC target, without any attempt to control the speed of approach of the intruder.

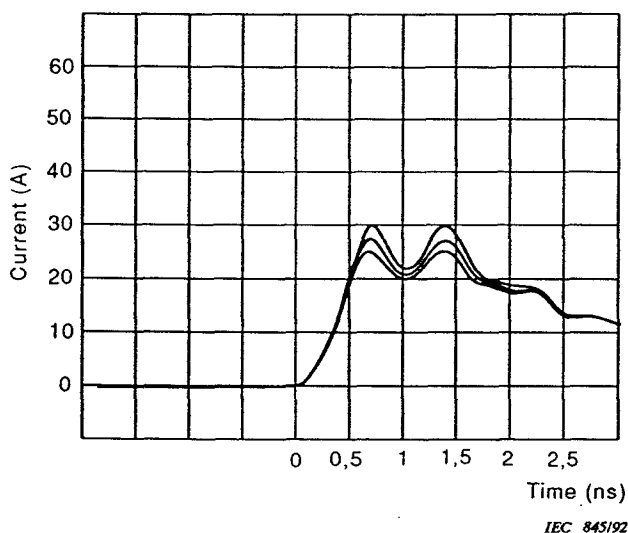


Figure 13a – 4 kV initial charge

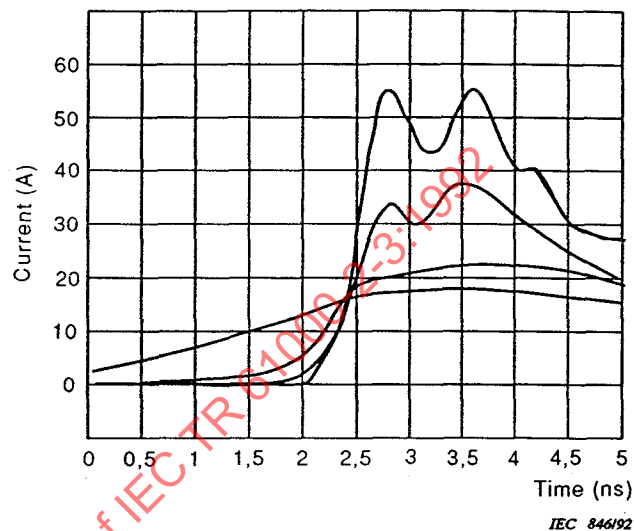


Figure 13b – 8 kV initial charge

Figure 13 – Current rises with uncontrolled approach of hand held tool, illustrating the high variability at 8 kV and the lesser variability at 4 kV. The oscillograms were recorded with repeated discharges to a $2\ \Omega$ target (IEC TC 65) with a 1 GHz system

When the intruder is a moving object rather than a hand-held tool, the discharge is more likely to involve a slower rise time, but a longer duration. As one example, figure 14 shows the discharge of a shopping cart.

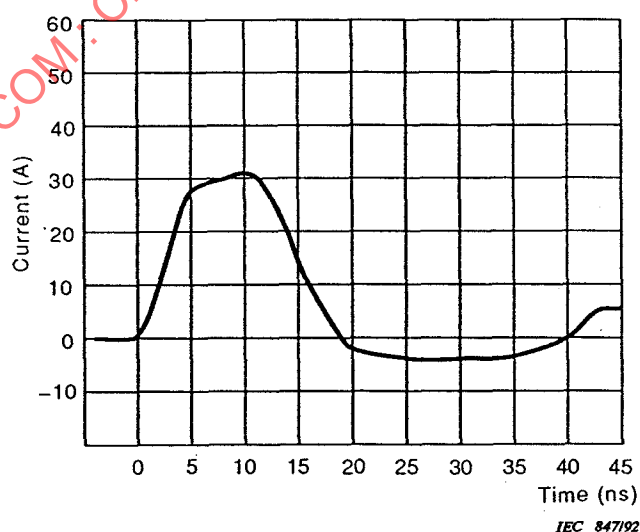


Figure 14 – Typical discharge from a shopping cart, initial charge at 4 kV, to a $2\ \Omega$ target (IEC TC 65) recorded with a 1 GHz system

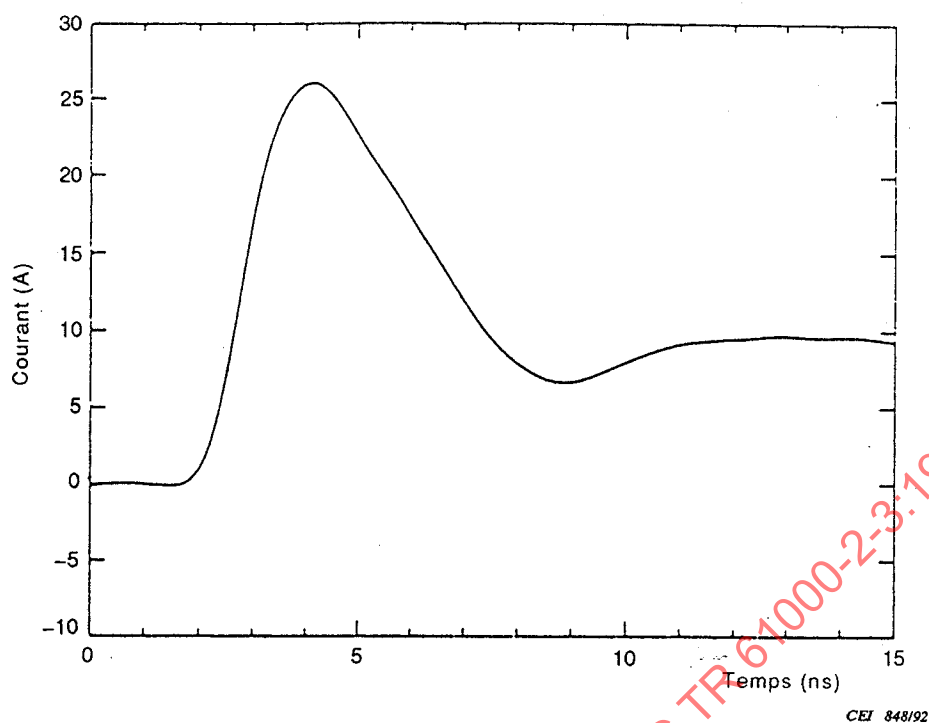


Figure 15a – Forme d'onde du courant enregistrée avec un oscilloscope numérique de la décharge d'un canon d'essai à 4 kV sur la cible CEI de 400 MHz

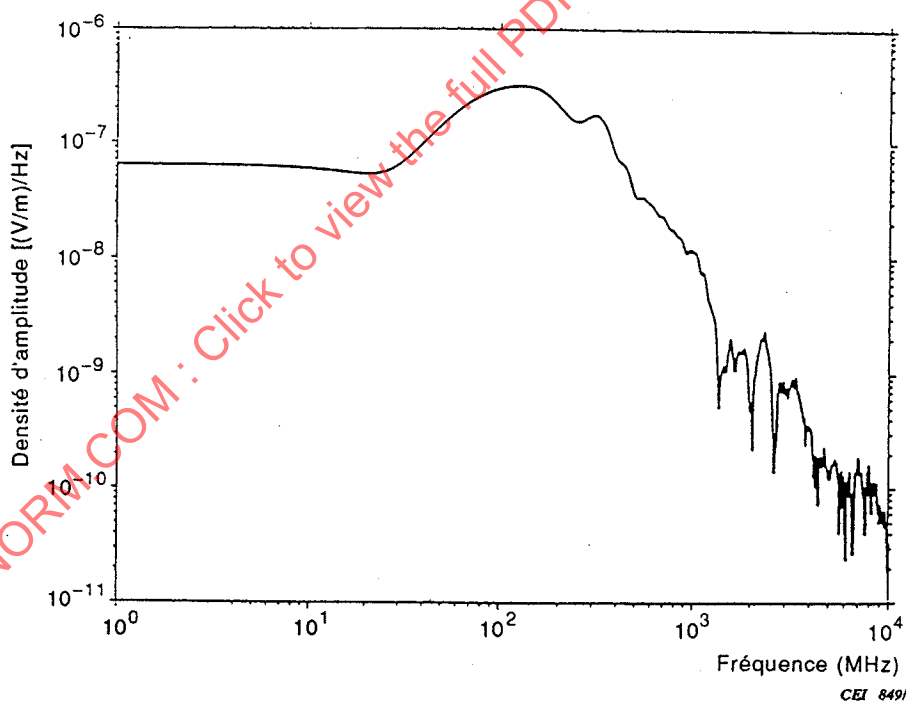


Figure 15b – Amplitude spectrale du champ associé à la décharge de courant représentée en 15a ci-dessus

Figure 15 – Relations entre le courant et le champ rayonné d'une décharge électrostatique produite par un canon d'essai

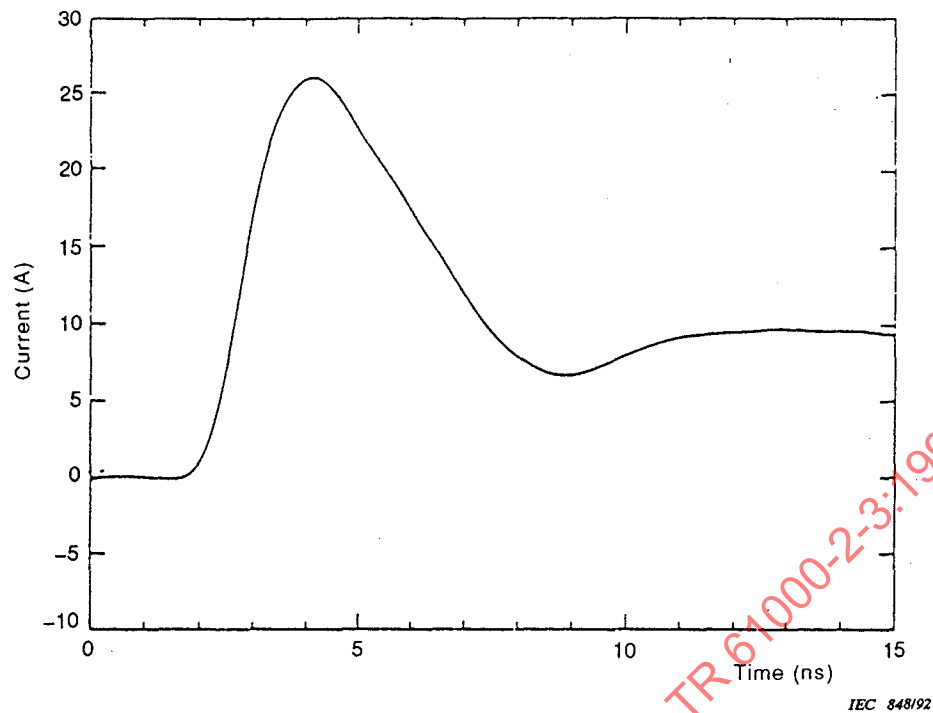


Figure 15a – Current waveform recorded with a digitizing oscilloscope of a 4 kV test gun discharge to the 400 MHz IEC target

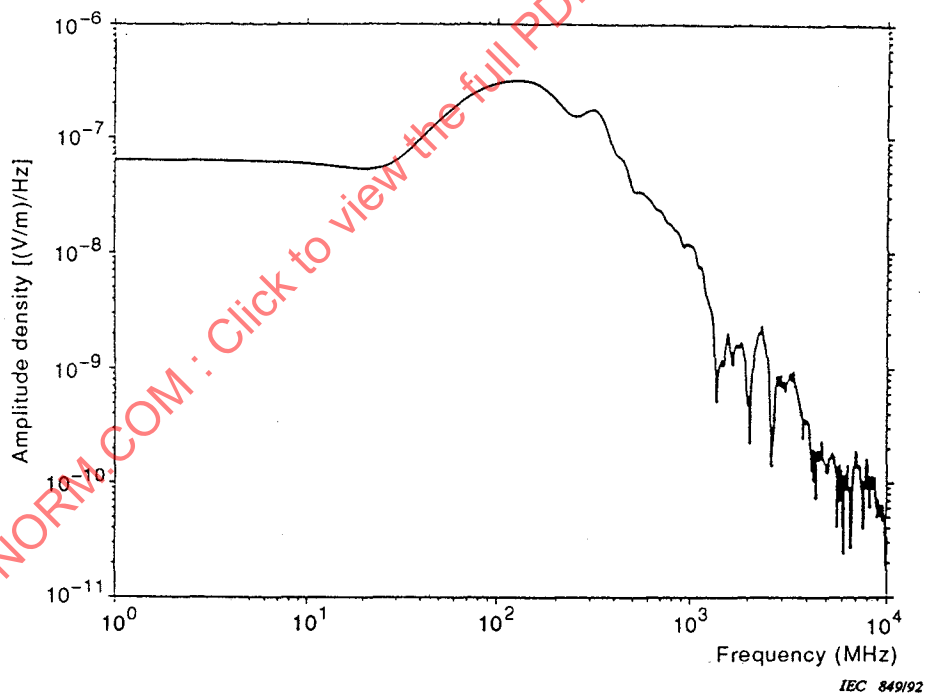


Figure 15b – Spectral content of the field associated with the current discharge of 15a above

Figure 15 – Relationship between current and radiated field of electrostatic discharge from a test gun

6.4.3 Champs rayonnés

Les champs électromagnétiques produits par une DES sont difficiles à caractériser du fait des hautes fréquences et de la nature mono-coup du phénomène. Des mesures de champ et une modélisation de l'arc par un dipôle ont été réalisées et fournissent des informations de base sur les champs [8]. Le champ électrique produit par une DES dépend du temps de montée ainsi que de l'amplitude du courant. Un phénomène avec un pic initial de courant produira des champs plus forts que les phénomènes sans ce pic.

La figure 15 montre la relation existant entre le courant et le champ correspondant à une distance de 1,5 m. La modélisation du phénomène pour des distances plus courtes, distances auxquelles la mesure de champ n'est plus possible (comme décrit [8]), prédit des champs beaucoup plus forts, comme montré à la figure 16.

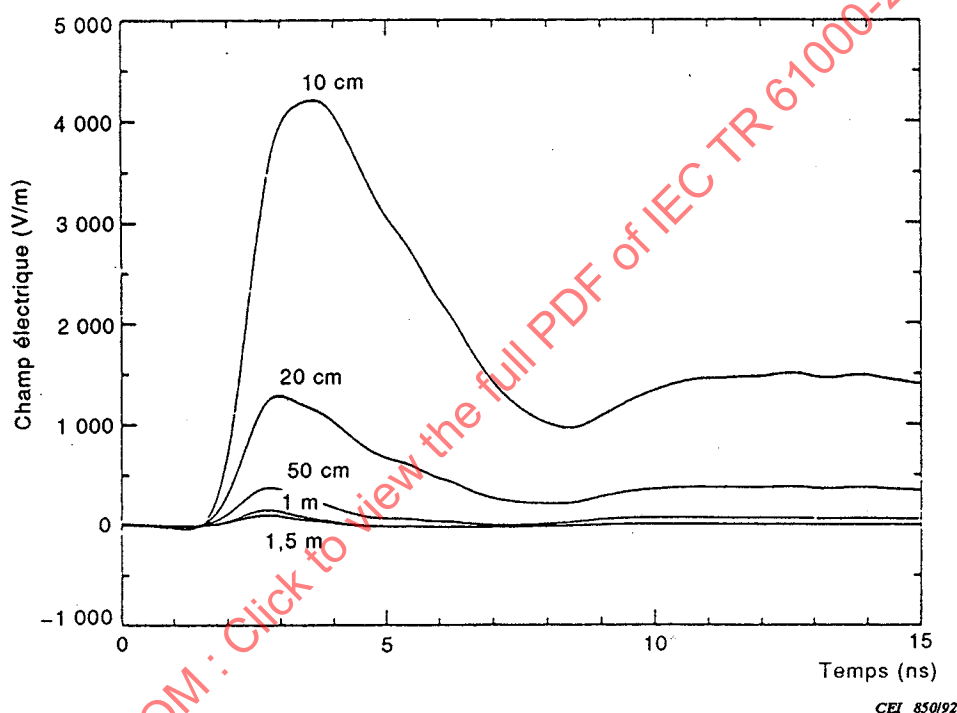


Figure 16 – Champ électrique prospectif de la décharge à 4 kV de la figure 15a pour différentes distances du point d'observation

6.4.3 Radiated fields

The electromagnetic fields produced by an ESD event are difficult to characterize because of the high frequencies involved and the one-shot nature of the phenomenon. Field measurements and modeling the arc as a dipole have been performed and provide basic information on the fields [8]. The electric field generated by an ESD event depends on the rate of current rise as well as on the amplitude of the current. An event involving the steep initial spike will produce greater fields than those without the spike.

Figure 15 shows the relationship between the current and the corresponding field at a distance of 1,5 m. Modelling the phenomenon for closer distances for which the field measurement is not possible, as discussed in [8], predicts larger fields, as shown in figure 16.

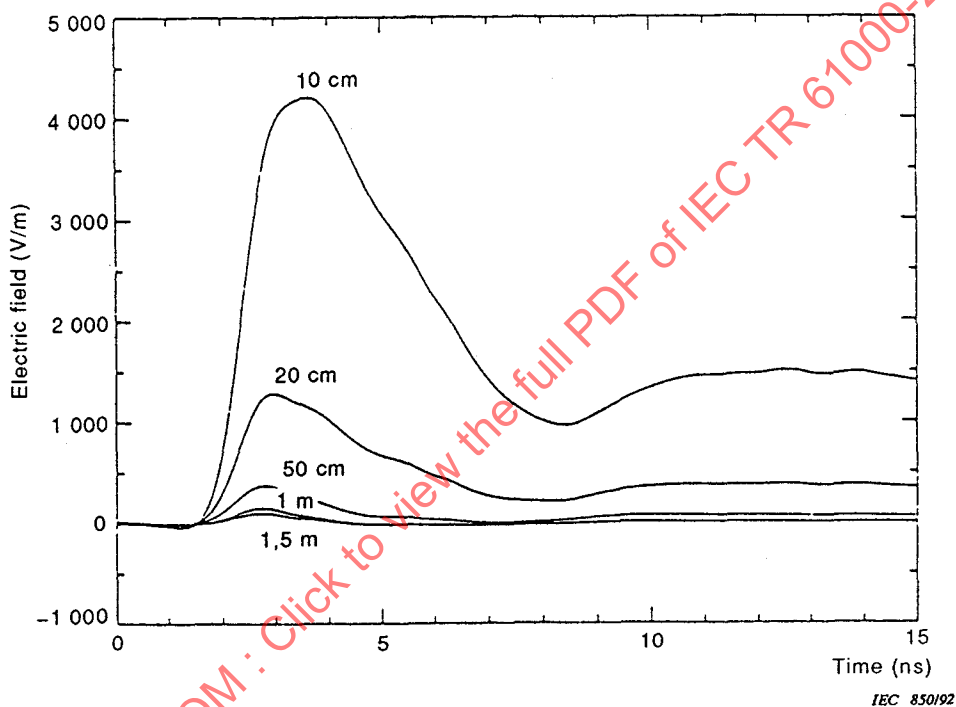
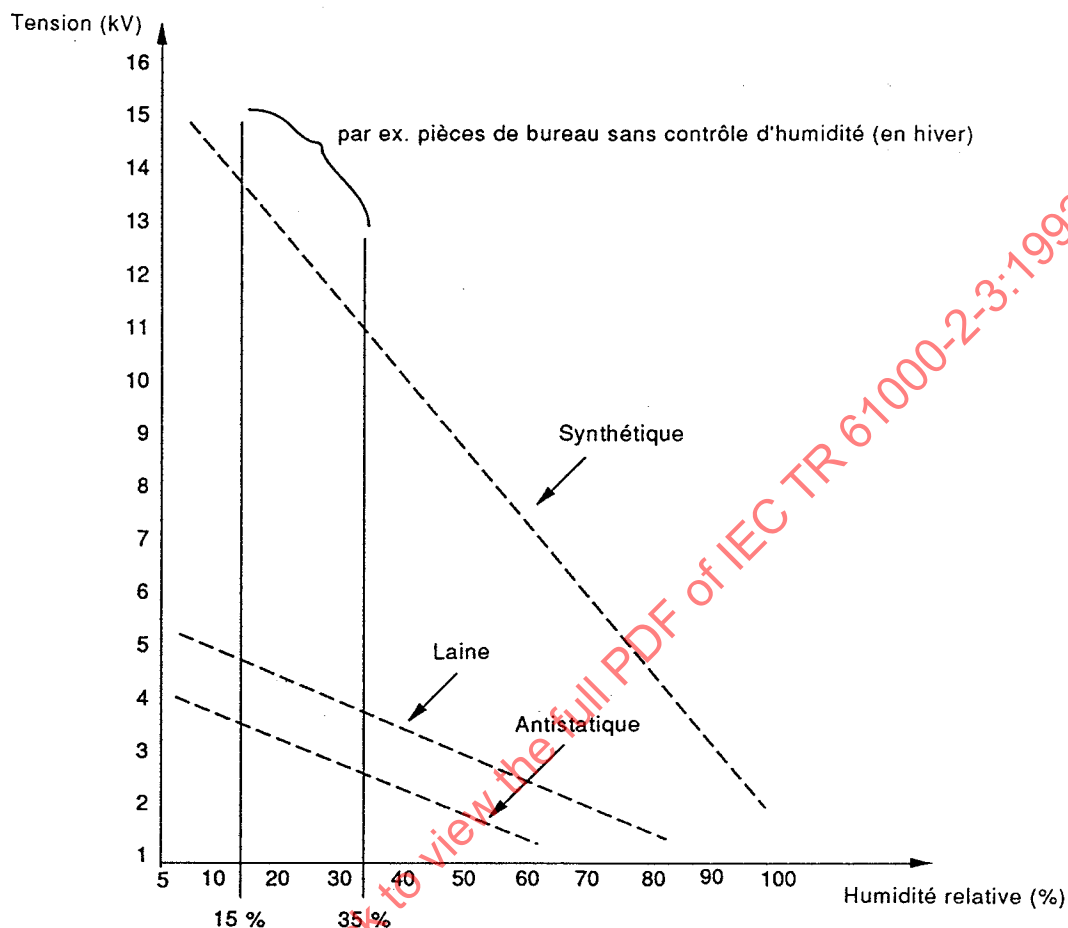


Figure 16 – Predicted electric field for the 4 kV discharge of figure 15a as a function of distance to the point of observation

6.4.4 Plage des niveaux d'environnement

Les valeurs maximales auxquelles des opérateurs peuvent être chargés sont données à la figure 17.



CEI 851/92

Figure 17 – Valeurs maximales des tensions électrostatiques de matériaux courants

6.5 Lignes d'alimentation à haute et à moyenne tension

Des phénomènes importants se produisent durant le fonctionnement en régime permanent et transitoire.

6.5.1 Fonctionnement en régime permanent

a) Champs à la fréquence d'alimentation

Les lignes d'alimentation engendrent dans leur voisinage des champs électriques et magnétiques à la fréquence d'alimentation et à celles de ses harmoniques. Les niveaux de ces champs en un point donné dépendent de la tension de la ligne et de son courant respectivement, ainsi que de la configuration de la ligne (en particulier, hauteur de la ligne au-dessus du sol, distances interphases, nombre de circuits et disposition des phases) [9].

6.4.4 Range of environmental levels

The maximum values to which operators may be charged is given in figure 17.

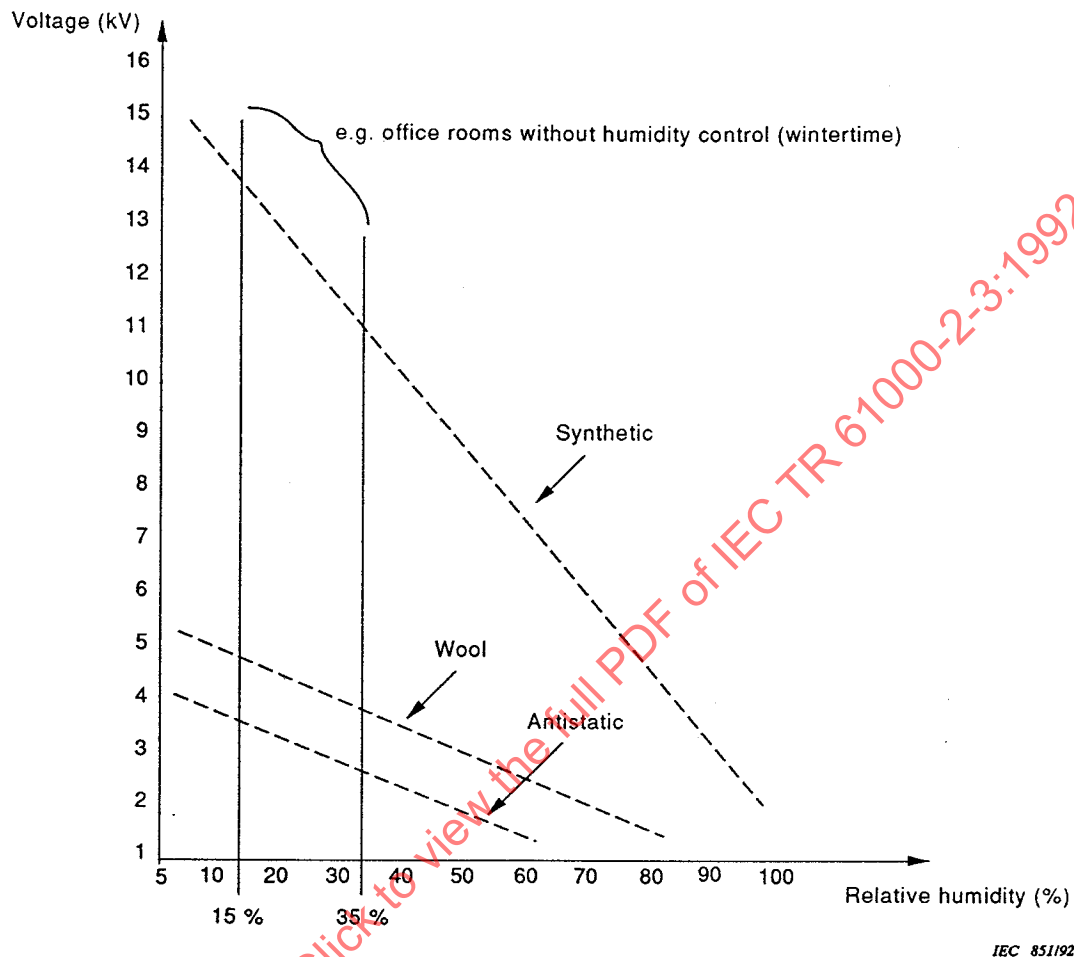


Figure 17 – Maximum values of electrostatic voltages for the most common materials

6.5 High-voltage and medium-voltage power lines

Phenomena of importance occur in the steady state and during transient conditions.

6.5.1 Steady-state operation

a) Power-frequency fields

Power lines generate electric and magnetic fields in their surroundings at power and harmonic frequencies. The levels of these fields at a given point depend on line voltage and line current respectively, as well as on the line configuration (in particular, conductor height above ground, distances between phase conductors, phase arrangement and the number of circuits) [9].

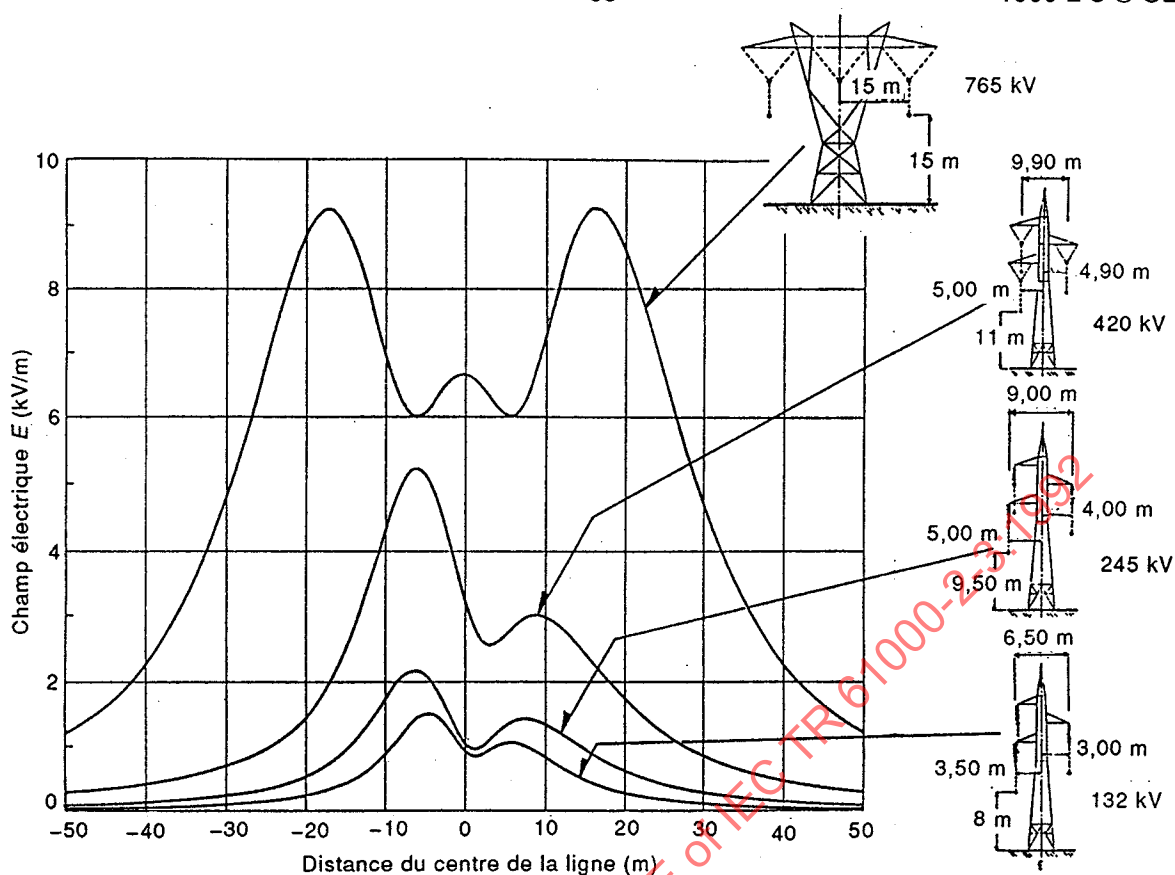


Figure 18a – Profils de champs électriques

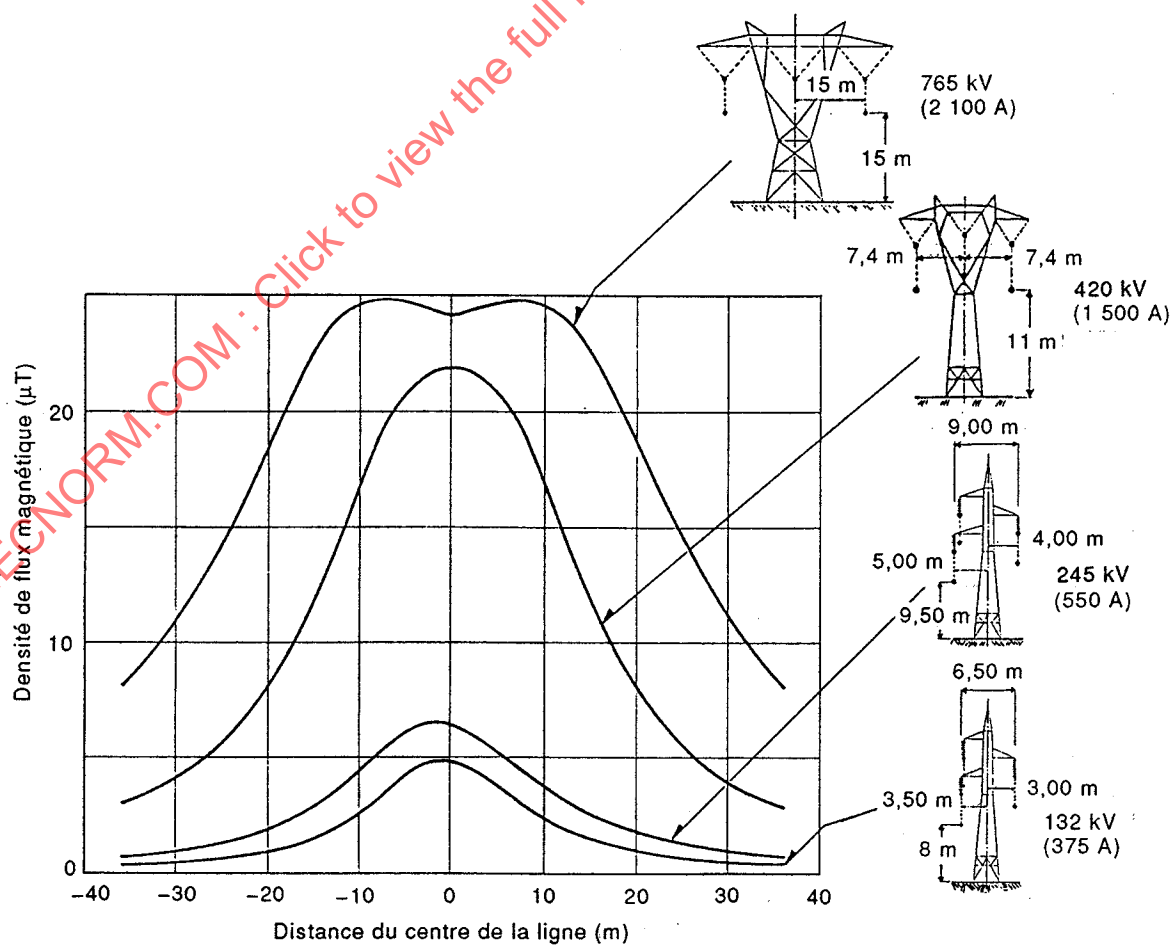


Figure 18b – Profils de champs magnétiques

Figure 18 – Profils de champs électriques et magnétiques de lignes à très haute tension

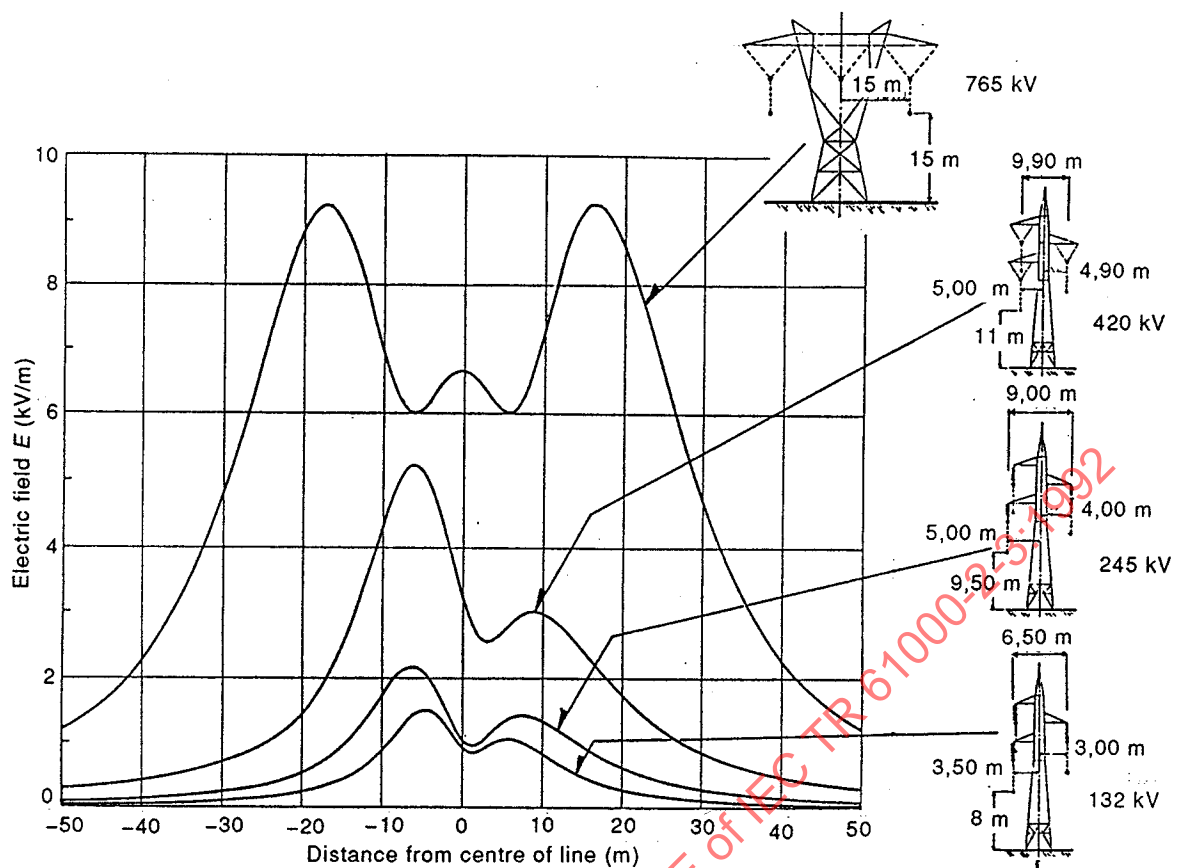


Figure 18a – Electric field profiles

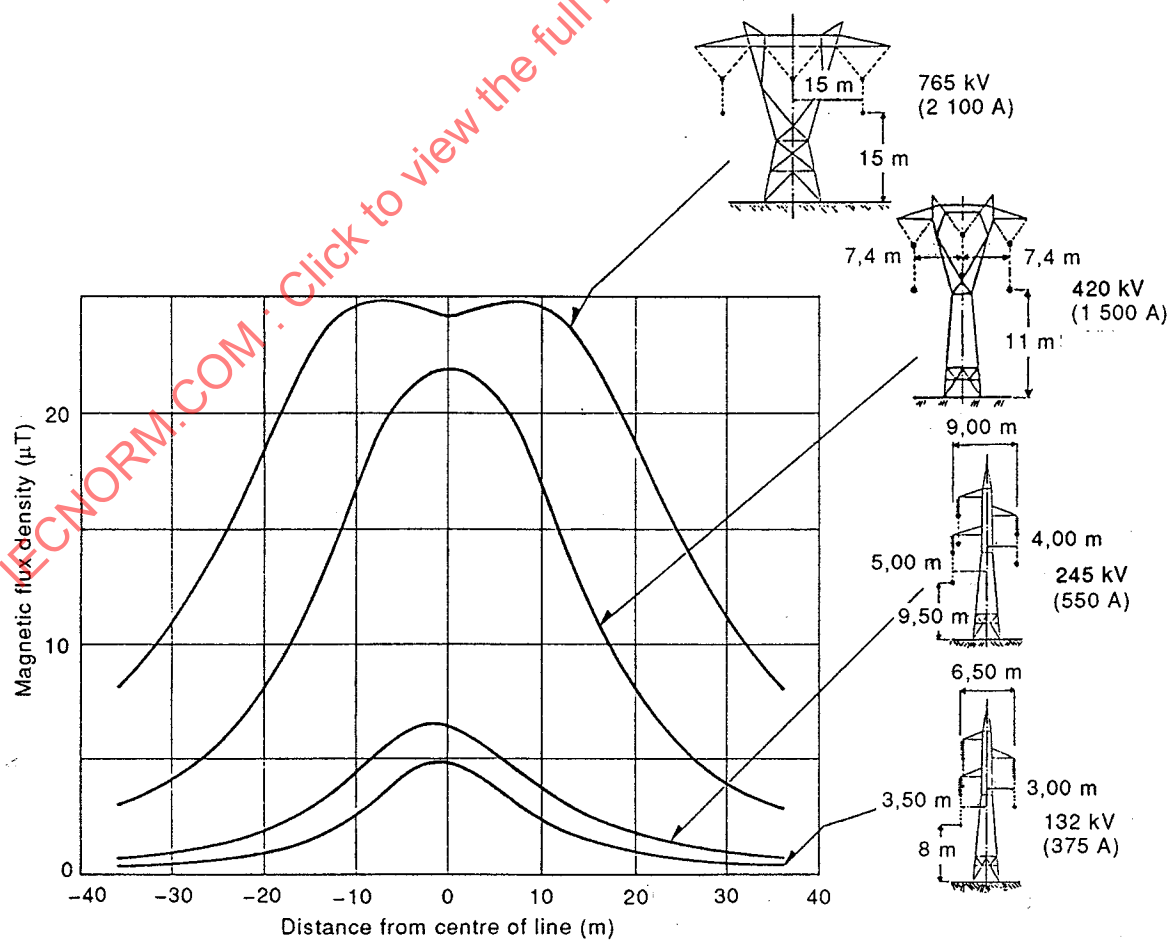


Figure 18b – Magnetic field profiles

Figure 18 – Examples of electric and magnetic field profiles of EHV lines

A titre d'exemple, la figure 18 donne des profils latéraux, à mi-portée entre pylônes, des champs électriques et de la composante verticale du champ magnétique engendrés par les lignes à très haute tension d'un circuit simple de caractéristiques moyennes sous conditions de charge normale. En raison du fléchissement des conducteurs, les valeurs engendrées dans d'autres sections de la ligne sont considérablement inférieures.

Le tableau 2 donne les niveaux du champ électrique et de la composante horizontale du champ magnétique à prévoir dans le voisinage de lignes d'alimentation pour différentes tensions et différents courants dans des conditions normales pour les configurations données dans la figure 18.

Tableau 2 – Exemples d'intensités de champ électrique et magnétique à proximité de lignes d'alimentation à haute tension

Tension de la ligne	Champ électrique		
	kV/m		
kV	Sous l'axe	Valeurs maximales	A 30 m de l'axe
245	1,5	2,6	0,4
420	3,0	5,1	1,5
765	6,0	9,0	5,0

Courant typique par phase	Champ magnétique composante horizontale		
	μT		
kA	Sous l'axe	Valeurs maximales	A 30 m de l'axe
0,4	2,0	4,3	0,7
1,0	6,6	12,0	4,0
1,5	12,0	15,0	10,0

b) Effet couronne et étincelles

Les lignes d'alimentation peuvent être des sources de perturbations rayonnées en raison de l'effet couronne et des étincelles sur les isolateurs et entre contacts. La gamme de fréquences affectée par l'effet couronne s'étend jusqu'à quelques mégahertz alors que des étincelles sont caractérisées par des spectres de fréquences allant jusqu'à des centaines de mégahertz.

Le niveau des perturbations résultant de l'effet couronne est affecté par l'état de surface du conducteur ou des accessoires. Les valeurs maximales sont atteintes par temps humide (pluie, fort degré d'humidité, brouillard, etc.). Au contraire, les perturbations dues aux étincelles sont plus intenses par temps sec.

Le tableau 3 indique les valeurs types à 500 kHz. Ces valeurs sont mesurées suivant les méthodes décrites dans la publication CISPR 18 [10].

Par temps sec, les niveaux sont inférieurs d'environ 17 dB aux niveaux correspondants par temps humide.

Dans la gamme de 0,4 MHz à 1,6 MHz le profil latéral de la perturbation peut généralement s'exprimer par la formule:

$$E = E_0 - 30 \log D/D_0$$

où E et E_0 (dB(μV/m)) sont les composantes verticales du champ électrique aux distances D et D_0 respectivement [9].

A une distance de quelques dizaines de mètres de la source, les niveaux des perturbations dues à l'effet couronne peuvent s'étaler de plusieurs dizaines de μV/m à quelques dizaines de mV/m, selon le gradient de la tension de fonctionnement et les conditions climatiques.

As an example, figure 18 gives lateral profiles, at a mid-span cross-section, of the electric field and the vertical component of magnetic field generated by single circuit extra-high-voltage line of average characteristics in normal loading conditions. Due to the conductor sag, considerably lower values are generated in other cross-sections of the line.

Table 2 gives levels of electric field and the horizontal component of magnetic field to be expected in the vicinity of power lines carrying different voltages and currents under normal conditions for the configurations given in figure 18.

Table 2 – Examples of electric and magnetic field strengths near high-voltage power line

Voltage of the line kV	Electric field strength kV/m			Typical current per phase kA	Magnetic field strength horizontal component μT		
	Under the axis	Maximum values	30 m from axis		Under the axis	Maximum values	30 m from axis
245	1,5	2,6	0,4	0,4	2,0	4,3	0,7
420	3,0	5,1	1,5	1,0	6,6	12,0	4,0
765	6,0	9,0	5,0	1,5	12,0	15,0	10,0

b) Corona and sparks

Power lines are sources of radiated disturbance due to corona phenomena and sparks on insulators and across contacts. The frequency range affected by corona extends up to a few megahertz, while sparks are characterized by frequency spectra up to the region of a hundred megahertz.

The disturbance level produced by corona is affected by the surface conditions of the conductor or fittings. The maximum values are reached in wet conditions (rain, high humidity, fog). On the contrary, disturbance due to sparks is more severe in dry conditions.

Table 3 gives typical values at 500 kHz. These values are measured according to the methods described in CISPR 18 [10].

For dry weather the levels are approximately 17 dB lower than the corresponding levels for wet weather.

The interference lateral profile in the range of 0,4 MHz to 1,6 MHz may be generally expressed by the following formula:

$$E = E_0 - 30 \log D/D_0$$

where: E and E_0 (dB(μV/m)) are vertical components of electric field at distances D and D_0 respectively [9].

The disturbance levels due to corona, at a distance of some tens of metres from the source, may range from some tens of μV/m up to a few tens of mV/m, depending on the operating voltage gradient and weather conditions.

Les perturbations provenant d'étincelles résultant de mauvais contacts ou d'isolateur sont occasionnelles et présentent une large gamme de variantes en fonction des surfaces de contact. (Voir [9] pour de plus amples renseignements.)

Tableau 3 – Exemples d'effet couronne des lignes d'alimentation à haute tension

Tension nominale kV	Niveau de perturbation sous la pluie dB(μ V/m) à 500 kHz	
	Sous l'axe de la ligne	A la distance D^*
90	Effet couronne négligeable	
150	50	35
245	65	50
420	70	55
765	82	72
* $D = 20$ m de distance horizontale depuis le conducteur externe de la ligne.		

6.5.2 Fonctionnement intermittent

a) Commutation

La fermeture d'un disjoncteur de ligne à haute tension produit un transitoire à front raide, avec un temps de montée de l'ordre de quelques dizaines de nanosecondes jusqu'à plusieurs microsecondes, la valeur et la polarité exactes correspondant au point du cycle où se produit la fermeture. En l'absence de résistances de pré-insertion, l'amplitude du transitoire peut atteindre la valeur de crête de la tension de phase du système. Quand la fermeture concerne une ligne sans charge, l'amplitude de crête à l'extrémité de la ligne peut atteindre le double de la tension crête de phase.

En raison de la propagation et des réflexions sur la ligne, le premier transitoire est suivi, à des intervalles de temps dépendant de la distance entre les points de variation d'impédance, de transitoires de plus faible amplitude. Il peut en résulter une forme d'onde oscillatoire amortie. L'effet de peau a une action de filtrage du front d'onde. Sauf s'il se produit un claquage de l'isolement de la ligne, les gradients de tension n'excèdent jamais le dV/dt du premier front du transitoire de tension. Le phénomène de rebondissement des contacts détermine la fréquence de répétition des transitoires.

La commutation de transformateurs et de réactances d'alimentation produit des surtensions dues à la capacité parasite de l'ordre du nanofarad. Leur amplitude peut être suffisante pour faire fonctionner les parafoudres; leur fréquence d'oscillation peut être comprise entre 100 Hz et plusieurs kilohertz. Le fonctionnement des parafoudres fait naître des courants transitoires élevés dans les circuits à haute tension et dans le réseau de terre (des dizaines de kiloampères de crête avec des régimes de montée allant jusqu'à des dizaines de kiloampères par microseconde.

La commutation des sectionneurs sur les lignes produit des transitoires à front raide ayant des temps de montée de l'ordre de dizaines de nanosecondes en raison de petites capacités concentrées à proximité de la source (contrairement au cas des disjoncteurs). Dans leur propagation sur les jeux de barres à haute tension, ces transitoires sont filtrés par les capacités des structures (supports isolants, etc.) et des

Disturbance from sparks due to bad contacts and on insulators is occasional and varies widely depending on contact surfaces. (See [9] for further information.)

Table 3 – Examples of the corona effect of high-voltage power lines

Nominal voltage kV	Interference level with rain dB(μ V/m) at 500 kHz	
	Under the axis of the line	At distance D^*
90	Corona effects negligible	
150	50	35
245	65	50
420	70	55
765	82	72
* $D = 20$ m horizontal distance from the external conductor of the lines.		

6.5.2 Intermittent operation

a) Switching

Circuit breaker energization of high-voltage lines produces a steep wave front transient, with a rise time in the order of tens of nanoseconds up to several microseconds, the exact value and polarity corresponding to the point of the cycle at which closure occurs. In the absence of pre-insertion resistors, the amplitude of the transient may reach three times the peak value of the system phase voltage. Whenever closure involves a line without load, the peak amplitude at the end of the line may reach twice the peak phase voltage.

Due to propagation and reflections on the line, the first transient is followed, at time intervals depending on the distance between impedance mismatching points, by transients of lower amplitude. A damped oscillatory waveform may result. Skin effect is significant in smoothing the wavefront. Unless line insulation breakdown occurs, the voltage derivatives never exceed the rate of rise of the first voltage transient. Contact bounce phenomena may determine the transient repetition rate.

Switching of power transformers and reactors produces overvoltages due to the stray capacitance of the high-voltage components which is in the order of nanofarads. The amplitude of the overvoltage produced may be sufficient to cause surge arresters to operate, and the resulting oscillation may have a frequency range from 100 Hz to several kilohertz. Surge arrester operation causes high transient currents in high-voltage circuits and in the earthing network (tens of kiloamperes peak with rates of rise up to tens of kiloamperes per microsecond).

Switching of isolators on lines produces steep wavefront transients with rise times in the order of tens of nanoseconds due to the small capacitances in the proximity of the source (in contrast to the case of circuit breakers). The transients propagated on high-voltage bus-bars are smoothed by the capacitance of the structures (insulating supports, etc.) and the high-voltage equipment (capacitive voltage transformers,

matériels à haute tension (transformateurs de tension capacitifs, transformateurs de courant, etc.). Des oscillations amorties peuvent se produire. La fréquence de ces oscillations dépend de l'inductance des circuits à haute tension concernés (longueur de la barre) et de la capacité des transformateurs de tension et autres composants. Cette fréquence va de 100 kHz à quelques mégahertz.

Lors du fonctionnement d'un sectionneur, la forme d'onde engendrée prend normalement un caractère répétitif, pendant une durée de l'ordre de la seconde. La durée de chaque oscillation élémentaire ne dépasse pas 100 μ s. Le taux de répétition est variable et est fonction de la distance séparant les contacts. La fréquence de répétition minimale est le double de la fréquence du courant d'alimentation avec une amplitude qui peut atteindre deux fois la valeur de crête de la tension de phase du réseau.

b) *Défauts de fonctionnement*

Ces défauts sont caractérisés par une chute de la tension de ligne causée par le contact direct d'un conducteur ou par la formation d'un arc. Selon le type de défaut (entre phases ou avec la masse), des courants transitoires peuvent être injectés dans le réseau de masse ou dans le sol, d'où il résulte une élévation de la tension de celui-ci par rapport à d'autres zones.

La formation d'un arc se produit dans l'air ou sur une surface quand la rigidité diélectrique entre deux conducteurs se trouve dépassée. Il s'établit un canal ionisé dans lequel le courant dépend des paramètres du réseau concerné.

La forme d'onde de la perturbation locale est directement liée aux caractéristiques de l'arc formé, son temps de montée étant déterminé par les caractéristiques de l'isolant séparant les électrodes.

Le temps de montée maximal dans le voisinage de l'arc peut être inférieur à dix nanosecondes par mètre de longueur d'arc. Un arc se formant à la surface d'isolateurs peut avoir un temps de montée d'une valeur dix fois plus élevée.

6.6 *Lignes d'alimentation à basse tension*

Les perturbations survenant sur des lignes à basse tension peuvent provenir de la commutation de charges linéaires aussi bien que non-linéaires, de la présence de charges non équilibrées (lignes triphasées), de défauts sur des lignes d'alimentation à haute tension, et de perturbations atmosphériques. Pour la discussion, ces perturbations sont divisées en deux catégories: perturbations liées à la fréquence du réseau, et perturbations non liées à la fréquence du réseau. Les perturbations liées à la fréquence du réseau sont traitées dans la CEI 1000-2-1.

Un important paramètre déterminant le niveau de la plupart des perturbations d'un réseau est l'impédance de ce réseau. Aux basses fréquences, par exemple de moins de 2 kHz, l'impédance du réseau est très inférieure à toute charge normale pouvant lui être connectée.

Aux fréquences plus élevées, par exemple jusqu'à 20 kHz, l'impédance du réseau peut être déterminée par les charges connectées et par des facteurs tels que réactance de fuite de transformateurs, réactance de ligne et caractéristiques des capacités servant à la correction du facteur de puissance.

Aux fréquences encore plus élevées, l'impédance dépend de la longueur de la ligne connectée aux charges ou autres dispositifs. Aux fréquences supérieures à 100 kHz, l'impédance varie normalement sur une large gamme de réactance allant d'une fraction d'ohm à au moins 5 000 Ω .

current transformers, etc.). Damped oscillations may also occur. The oscillation frequency depends on the inductance of high-voltage circuits involved (bus-bar length) and on the capacitances of control voltage transformers and other components and ranges from 100 kHz to some megahertz.

During isolator operation, the waveform generated typically has a repetitive characteristic for a time of the order of seconds; the duration of each elementary oscillation does not exceed 100 μ s. The repetition rate is variable and is a function of the distance between the contacts. The minimum repetition frequency is twice the power frequency and the amplitude may reach twice the peak value of the system phase voltage.

b) *Faults*

Faults are characterized by line voltage collapse due to direct conductor contact or to arc-over phenomena. Depending on the type of fault (between phases or to earth) transient currents may be injected into the earthing network or into the soil, with resultant increase in voltage with respect to other areas.

Arc-over occurs in air or over a surface when the dielectric strength between two conductors is exceeded. An ionized channel is established whose current depends on the parameters of the associated network.

The waveform of the local disturbance is directly related to the characteristics of the arc; the rise time being determined by characteristics of the insulator in the gap.

The maximum rise time in the proximity of the arc may be less than ten nanoseconds per meter of arc length. Arc-over along the surface of insulators may have values of rise time about an order of magnitude ten times greater.

6.6 *Low-voltage power lines*

Disturbances on low-voltage power lines can arise from the switching of linear or nonlinear loads, the presence of unbalanced loads (3-phase lines), faults on high-voltage power lines, and from atmospherics. For discussion purposes, these are divided into two categories, mains-frequency related and non-mains-frequency related. Mains-frequency related phenomena are treated in IEC 1000-2-1.

An important parameter determining the level of most mains disturbances is the mains impedance. At low frequencies, for examples less than 2 kHz, the mains impedance is much lower than the impedance of any typical load to be connected to it.

At higher frequencies, up to about 20 kHz, the mains impedance may be determined by the connected loads and such factors as the leakage reactance of network transformers, the line reactance and the characteristics of capacitors connected for power factor correction.

At still higher frequencies the impedance is dependent upon the length of the line to connected loads or other devices. At frequencies above 100 kHz the impedance typically varies over a wide range of reactance from a fraction of an ohm to at least 5 000 Ω .

6.6.1 *Evolution de l'environnement*

Avant la prolifération de dispositifs de protection contre les surtensions installés en réseau BT, on avait reconnu une limitation de tension de crête: le claquage de l'isolation typiquement entre 2 kV et 8 kV pour les appareils basse tension [11].

Des millions de dispositifs de protection contre les surtensions, varistances en particulier, ont été installés dans les réseaux d'alimentation de courant alternatif BT depuis leur introduction en 1972. Ainsi, une nouvelle limitation existe pour les surtensions apparaissant dans cet environnement en pleine évolution. Des enregistreurs de perturbations sont souvent installés pour enregistrer la fréquence d'apparition de ces surtensions sur les sites ou des charges sensibles ont à être connectées. Il est important de reconnaître que l'enregistrement des surtensions peut être affecté par la présence de varistances situées à proximité. La présence simultanée d'enregistreurs de surtensions et de dispositifs de protection peut modifier les mesures actuelles et futures de plusieurs manières par comparaison aux campagnes de mesures antérieures. Quatre de celles-ci sont présentées ci-dessous.

- 1) Les sites où des surtensions ont été antérieurement constatées – si aucune modification de la source de surtension n'est intervenue – sont vraisemblablement soumis aujourd'hui à des surtensions de valeurs plus basses, tandis que des impulsions de courant se produiront dans les nouveaux équipements de protection installés.
- 2) Non seulement les pics des tensions observées ont changé, mais aussi la forme d'onde va être modifiée par la présence des varistances voisines.
- 3) La fonction de limitation des surtensions effectuée autrefois par le claquage des isolations est maintenant vraisemblablement effectuée par les nouveaux dispositifs de protection de surtension constamment ajoutés aux systèmes.
- 4) Ces trois situations produiront une réduction significative du niveau moyen des surtensions enregistrées pour l'ensemble de la population totale des différents sites au fur et à mesure de l'installation des varistances. La limite maximale des surtensions restera cependant la même pour les sites où aucune varistance n'aura été installée. Le fait de se focaliser sur la valeur moyenne des surtensions enregistrées dans les réseaux BT peut créer un faux sentiment de sécurité et une description incorrecte de l'environnement.

6.6.2 *Transitoires de commutation*

La commutation de certains éléments du réseau (transformateurs, condensateurs, etc.) peut entraîner une chute de tension brutale pouvant atteindre 60 % de la tension nominale et d'une durée de plusieurs dizaines de millisecondes. Les transitoires de tension sont usuellement créés, par exemple, par la fusion de fusibles, la manoeuvre d'interrupteurs, ou le fonctionnement de contacteurs pour moteurs ou pour appareils électriques domestiques, etc.

Un paramètre important pour la description d'un transitoire est la vitesse de montée de la tension qui dépend de l'éloignement de la source du transitoire. Les pointes de tension qui surviennent dans les installations des consommateurs, du côté basse tension, affectent à peine le côté moyenne tension et, au plus, affectent les consommateurs de basse tension du voisinage qui sont alimentés par le même transformateur.

6.6.1 *New trends in the environment*

Prior to the proliferation of surge protective devices in low-voltage systems, a limitation had already been recognized for peak voltages: the flashover of clearances, typically between 2 kV and 8 kV for low-voltage wiring devices [11].

Literally millions of surge protective devices, varistors in particular, have been installed in low-voltage a.c. power circuits since their introduction in 1972. Therefore, a new limitation exists in the surges that occur in this changing environment. Disturbance monitoring instruments are routinely installed to record the occurrence of surges at a site where a sensitive load is to be connected. It is important to recognize that the recording of surges will be affected by the presence of a nearby varistor. Such a proximity of surge protective device and recording instrument may effect present and future measurements in several ways, in contrast to previous measurement campaigns. Four are outlined below.

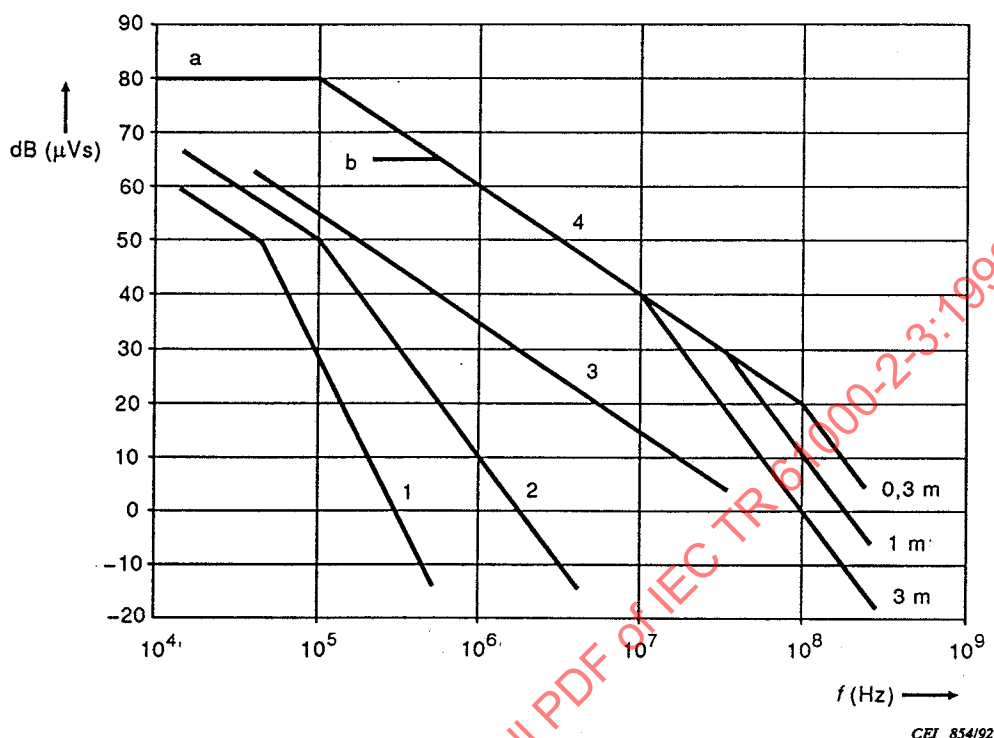
- 1) Locations where voltage surges were previously identified – assuming no change in the source of the surges – are now likely to experience lower voltage surges, while current surges will occur in the newly installed protective devices.
- 2) Not only will the peaks of the observed voltages be changed, but also their waveforms will be affected by the presence of nearby varistors.
- 3) The surge voltage limitation function previously performed by flashover of clearances is now more likely to be assumed by the new surge protective devices that are constantly being added to the systems.
- 4) These three situations will produce a significant reduction in the mean of voltage surge recordings from the total population of different locations as more and more varistors are installed. The upper limit, however, will still be the same for locations where no varistor has yet been installed. Focusing on the mean of voltage surges recorded in power systems could create a false sense of security and an incorrect description of the environment.

6.6.2 *Switching transients*

The switching of certain network elements (transformers, capacitors, etc.) can cause a step voltage depression of up to 60 % of the nominal voltage and a duration of several tens of milliseconds. Voltage transients usually originate in operations such as the melting of fuses, the operation of switches, or the operation of contactors for motors or for household electrical appliances, etc.

An important parameter for description of a transient is the rate of rise of the voltage which is dependent on the distance from the source of the transient. Spikes that are caused in consumer installations on the low-voltage side scarcely affect the medium-voltage side and at the most affect the neighbouring low-voltage consumers supplied by the same transformer.

Les perturbations les plus importantes sont celles provoquées par la mise en circuit de charges capacitives et la mise hors circuit de charges inductives. Ces perturbations peuvent être représentées par les amplitudes de spectre montrées à la figure 19.



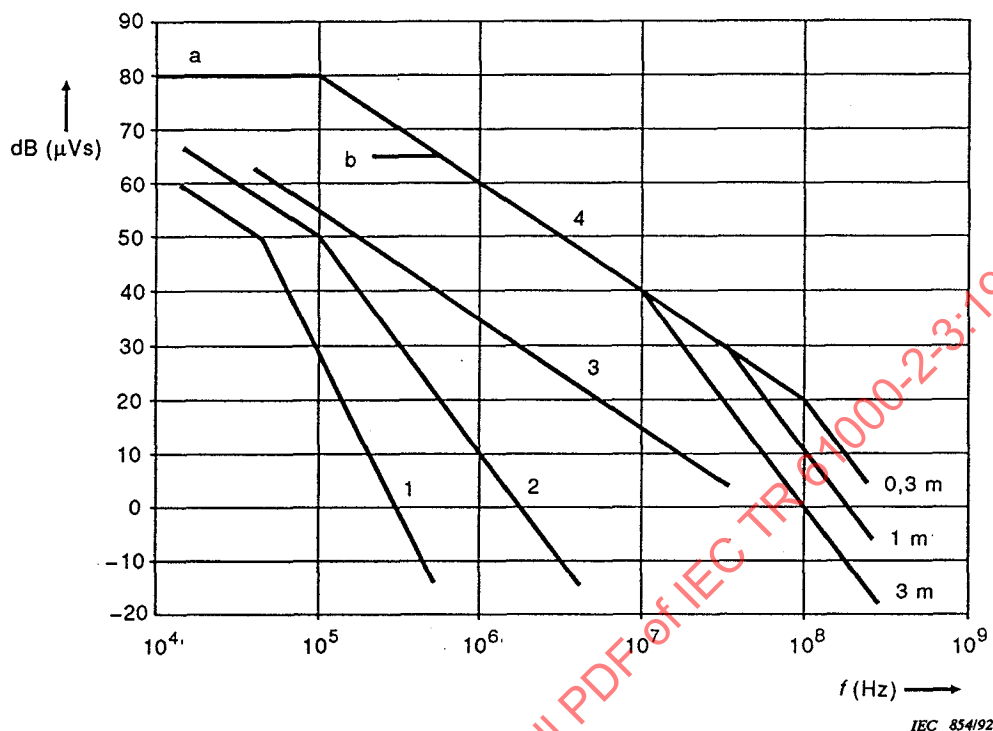
- 1 = interrupteurs à semi-conducteurs avec anti-parasitage
- 2 = interrupteurs à semi-conducteurs sans anti-parasitage
- 3 = fermeture d'un interrupteur mécanique
- 4 = ouverture d'un interrupteur mécanique pour différentes longueurs de lignes (a: charge de force, b: charge faible)

Figure 19 – Amplitudes spectrales produites par différents types d'interrupteurs

a) Commutation de charges capacitives

La mise en circuit de charges capacitives, par exemple lampes fluorescentes à compensation capacitive, a pour effet de provoquer un bref court-circuit sur le secteur. La forme d'onde de la tension du secteur s'écarte de l'onde sinusoïdale et y revient après une oscillation amortie. La tension de crête du transitoire peut atteindre deux fois la tension de crête du secteur. La fréquence d'oscillation s'établit normalement entre 5 kHz et 10 kHz. Dans certains cas, la fréquence peut être plus élevée.

The largest disturbances are caused by the switching on of capacitive loads and the switching off of inductive loads. They may be represented by the spectrum amplitudes shown in figure 19.



- 1 = semiconductor switch with RFI suppression
- 2 = semiconductor switch without RFI suppression
- 3 = mechanical switch closing
- 4 = mechanical switch opening for different lengths of line
- (a: large load, b: small load)

Figure 19 – Range of disturbance voltage spectrum amplitudes for different switches

a) Switching of capacitive loads

Switching on capacitive loads, for example fluorescent lamps with capacitive compensation, effectively introduces a brief short-circuit in the mains. The mains voltage departs from a sine wave and returns with a damped oscillation. The peak voltage of the transient produced can reach twice the peak voltage of the mains. The oscillation frequency is typically between 5 kHz and 10 kHz. In some cases higher frequencies may occur.

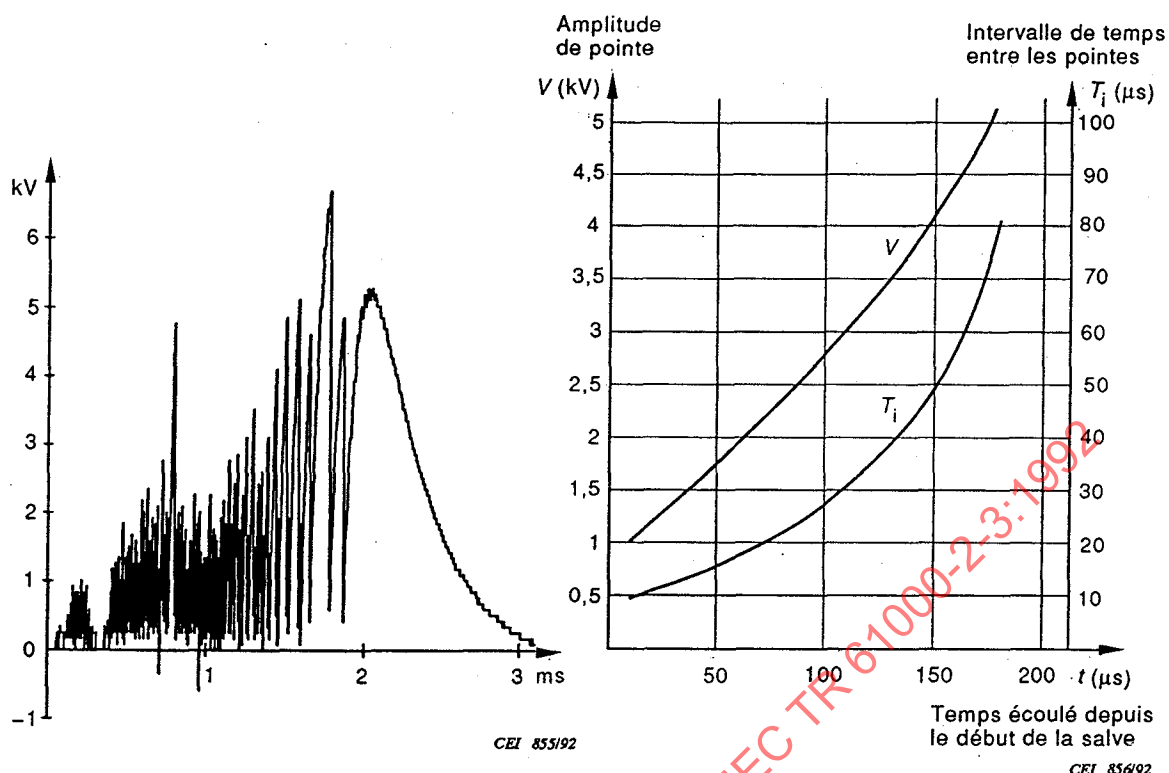


Figure 20a – Forme d'onde des transitoires sur le côté charge du relais

Figure 20b – Relation entre les paramètres de la salve

Figure 20 – Coupure d'une inductance

b) Commutation de charges inductives

La figure 20a montre un exemple de la forme d'onde du côté charge inductive (constante de temps $L/R \approx 30$ ms) de l'interrupteur par la coupure de courant effectuée par un relais de puissance (250 V, 1 A). Les réamorçages produisent des transitoires répétés de montée et de durée très courtes du côté ligne de l'interrupteur, par exemple temps de montée < 1 ns, durée 10 ns.

Les transitoires de commutation, communément appelés transitoires rapides, peuvent aussi être décrits en fonction de la durée de la salve, principalement déterminée par l'énergie emmagasinée dans l'inductance avant la commutation; une autre caractéristique est le taux de répétition d'un transitoire et l'amplitude variable des transitoires composant une salve, principalement déterminés par les caractéristiques mécaniques et électriques du contact (vitesse des contacts à l'ouverture, tension supportée par les contacts dans leur position d'ouverture).

La relation mutuelle entre les paramètres d'un transitoire rapide, pour chaque système de commutation mécanique (et pour une même charge mise en, ou hors circuit), peut être exprimée par un diagramme, comme celui de la figure 20b, qui montre l'amplitude progressive des pointes et l'intervalle de temps qui les sépare au cours de l'action de commutation du relais montré à la figure 20a.

Il convient de noter que des tensions de crête supérieures à 5 kV peuvent être obtenues près de la source avec des impulsions se répétant aussi fréquemment que toutes les 15 μs. Les tensions du côté ligne peuvent normalement atteindre 2,5 kV. Au fur et à mesure que la distance à la source augmente, la forme de l'onde est modifiée à cause des pertes de propagation, dispersion, et réflexions dues aux distorsions provoquées par les charges connectées [12].

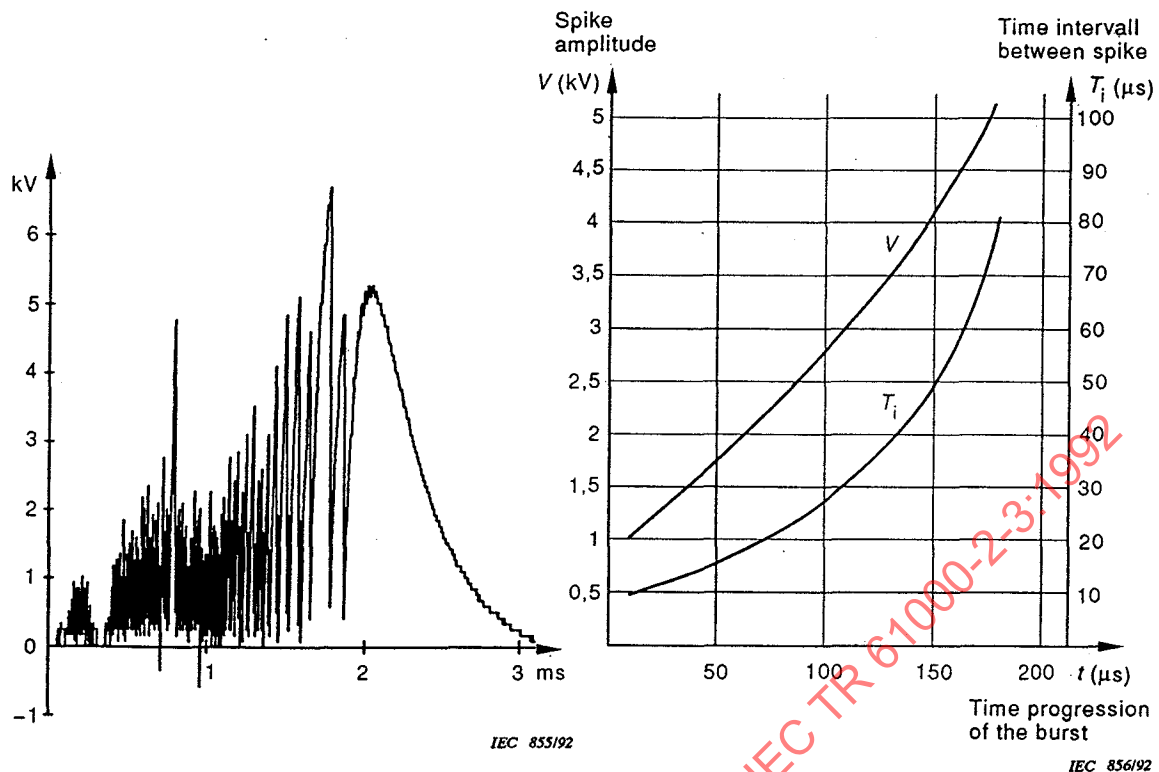


Figure 20a – Waveform on the load side of relay contact

Figure 20b – Relationship between the burst parameters

Figure 20 – Inductance switching

b) Switching of inductive loads

Figure 20a shows an example of the waveform on the inductive load side (time constant $L/R \approx 30$ ms) of the switch caused by current interruption by a power relay contact (250 V, 1 A). The contact re-striking causes repeated transients of a very short rise time and duration on the line side of the switch, for example < 1 ns rise time, duration 10 ns.

The switching transient in the whole, commonly referred to as a fast transient, may be described in terms of duration of the burst, mainly determined by the energy stored in the inductance prior to switching, and in terms of the repetition rate of the singular transients and of the varying amplitude of the transients composing a burst, determined mainly by the mechanical and electrical characteristics of the switching contact (speed of the contacts in the opening operation, voltage withstanding of the contacts in their open condition).

The mutual relation between the parameters of a fast transient, for each mechanical switching device (and for a same switched load) may be expressed by a diagram, as in figure 20b, that describes the progressive amplitude of the spikes and the time interval between them in the progression of the switching action for the same relay of figure 20a.

It should be noted that peak voltages exceeding 5 kV may be obtained close to the source with pulses repeated as frequently as every 15 μs . Voltages on the line side may typically be expected to reach 2,5 kV. As the distance from the source increases, the waveform is modified due to propagation losses, dispersion, and reflections due to distortions caused by the connected loads [12].

La figure 21 montre l'amplitude du spectre de la tension perturbatrice provoquée par un relais de puissance.

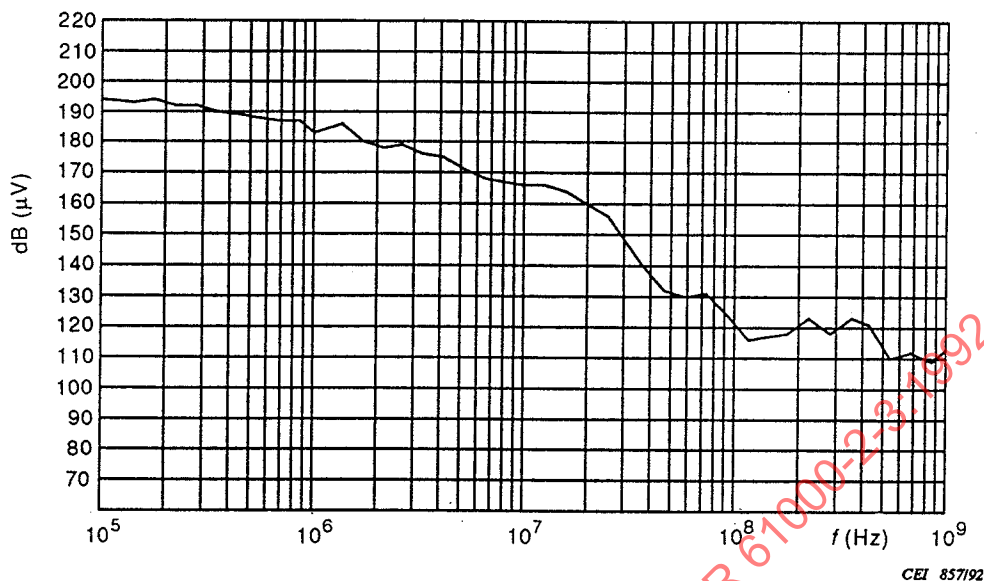


Figure 21 – Amplitude spectrale de la tension perturbatrice d'un relais sur le réseau de puissance

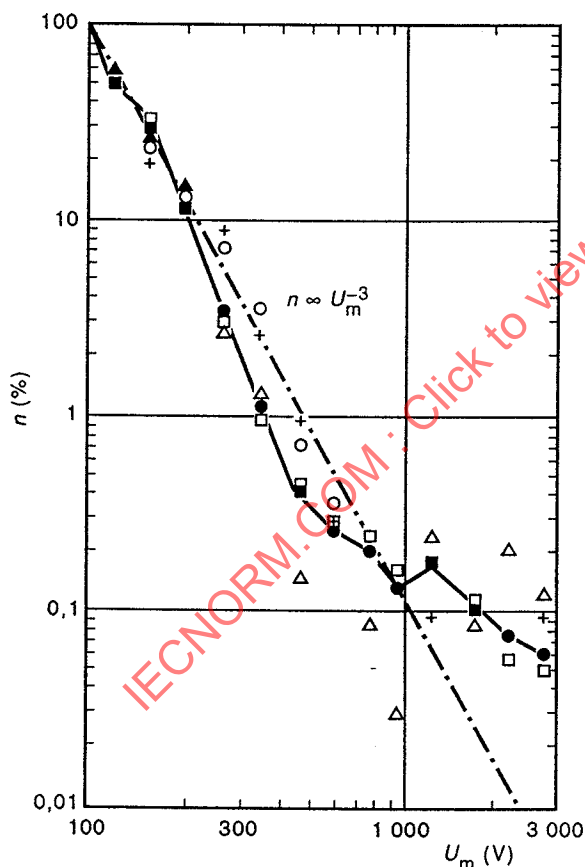


Figure 22a – Nombre relatif de transitoires en fonction de leur amplitude maximale.

- Total ($n = 27811$ trans.),
- industriel ($n = 23054$),
- △ bureau ($n = 3014$),
- résidentiel ($n = 287$),
- + laboratoire ($n = 1069$)

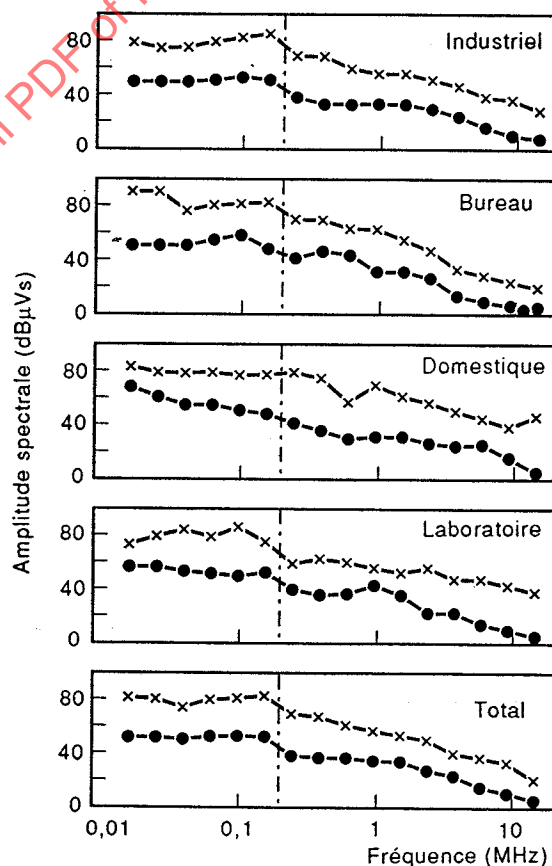


Figure 22b – Evaluation statistique des amplitudes spectrales des transitoires enregistrées dans les classes lieux de la figure 22a. Distribution log-normale: niveau pour 50 %, moyenne $\bar{x}$ (points), et niveau pour 98 %, $\bar{x} + 3 \sigma$ (croix), où σ est l'écart type

Figure 22 – Résultats de mesures de transitoires de commutation

Figure 21 shows the spectrum amplitude of the disturbance voltage caused by a power relay.

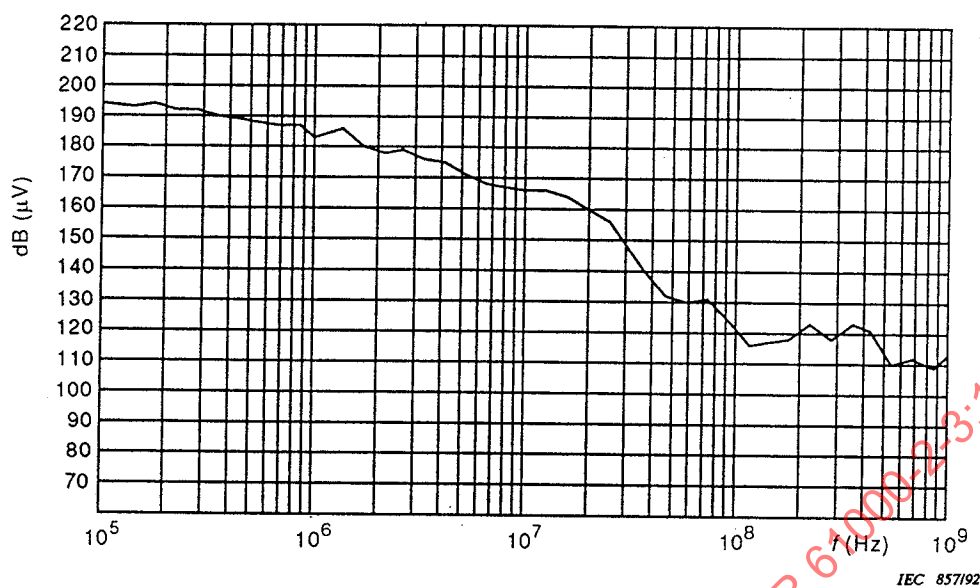


Figure 21 – Spectrum amplitude of disturbance voltage caused by a power relay

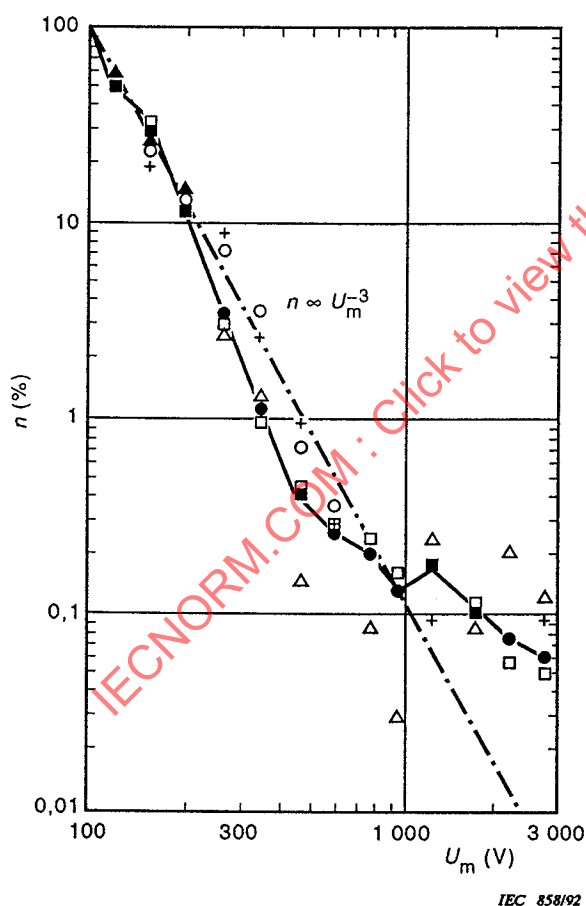


Figure 22a – Relative number of transients as a function of the maximum transient amplitude;
 • Total ($n = 27811$ transients),
 □ industrial ($n = 23054$),
 Δ commercial ($n = 3014$),
 ○ residential ($n = 287$)
 + laboratory ($n = 1069$)

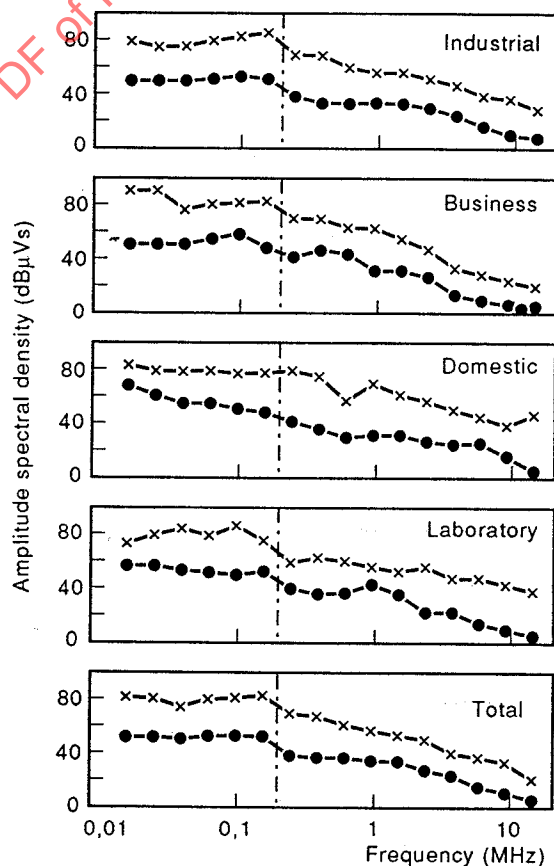


Figure 22b – Statistical evaluation of the recorded amplitude density spectrum of the area classes of figure 22a.
 Log-normal distribution: 50 % level, average $\bar{x}$ (dots), and 98 % level, $\bar{x} + 3\sigma$ (crosses), where σ is the standard deviation

Figure 22 – Results of measurements of switching transients

Les figures 22a et 22b présentent les résultats d'investigations effectuées en Allemagne [13] sur les transitoires de commutation. Au cours de ces recherches, qui ont duré environ 3 400 h, près de 28 000 perturbations transitoires (relevées en 40 points de mesure) furent mesurées entre ligne et conducteur de protection dans des réseaux qui étaient presque tous du type TN [14]. Le câblage des réseaux était enterré, en dehors des bâtiments.

La figure 22a indique le nombre relatif de transitoires, dans diverses zones, en fonction de l'amplitude maximale du transitoire. Les valeurs analysées sont données jusqu'à 3 kV. Quelques cas dépassant 3 kV furent enregistrés. Le nombre relatif décroît avec approximativement le cube de l'amplitude dans toutes les classes, bien que le nombre absolu de cas varie d'une classe à une autre. Une conclusion similaire a été tirée de résultats obtenus par d'autres investigations [15].

Pour environ un tiers des perturbations transitoires mesurées, les analyses de Fourier ont donné des informations dans le domaine fréquentiel, voir figure 22b qui indique la densité du spectre d'amplitude pour les diverses classes. La quantité d'information était suffisante pour conclure que, à toutes les fréquences, la densité spectrale d'amplitude est cohérente avec une distribution log-normale. Il en résulte que ces informations ont une signification statistique.

6.6.3 Transitoires dus à la foudre

Ces transitoires sont produits à la fois directement et indirectement (suite à une action de commutation) par la foudre. Des mesures et des calculs sur les effets de la foudre ont été effectués pour obtenir des informations sur les niveaux pouvant être produits, même si le mécanisme exact de toute surtension particulière est inconnu. Les expériences en vraie grandeur sur les protections foudre ont aussi donné des indications indirectes sur la sévérité des effets de la foudre sur les réseaux haute et basse tension.

Le nombre de transitoires se produisant dans un temps donné varie dans de larges limites selon le réseau d'alimentation. Prédire ce nombre pour un système particulier est toujours difficile, et fréquemment impossible. Il est lié au niveau des surtensions. Les surtensions de faible niveau sont plus fréquentes que les surtensions de niveau élevé [16].

Il est essentiel de savoir que les surtensions observées dans un système d'alimentation peuvent résulter soit de la tension d'origine, soit de la tension limitée par décharge disruptive dans le système. Il en découle que l'expression «circuit non protégé» doit être comprise comme désignant non pas un circuit ne possédant pas de dispositif de protection basse tension, mais dans lequel une décharge disruptive peut, le cas échéant, limiter la tension maximale [12].

La répartition des niveaux de surtension est, par conséquent, influencée par le mécanisme producteur de surtensions aussi bien que par les tensions de claquage dans le système. Cette distinction entre la surtension d'excitation réelle et la tension limitée par disruption est particulièrement importante à l'interface entre matériels extérieurs et matériels intérieurs. Les matériels extérieurs ont généralement des distances d'isolement plus grandes et, par conséquent, des tensions de claquage plus élevées: un niveau de 10 kV peut être normal, mais un niveau de 20 kV est possible. Par comparaison, la plupart des installations prévues pour 120 V et 230 V ont des tensions d'isolement d'environ 6 kV. On peut donc choisir ce niveau de 6 kV comme une valeur typique de l'amplitude des surtensions se produisant dans les systèmes d'alimentation intérieurs [16].

Figures 22a and 22b present the results of an investigation in Germany on switching transients [13]. During a measurement time of about 3 400 h, nearly 28 000 transient disturbances (appearing at 40 measuring places) were measured between the phase and the protective earth conductors in low-voltage networks which are nearly all of the TN type [14]. At the sites of this survey, the network cabling is buried outside the buildings.

Figure 22a gives the relative number of transients in various classes of locations as a function of the maximum transient amplitude. Analyzed values are given up to 3 kV. Some occurrences exceeding 3 kV were recorded. The relative number decreases approximately with the third power of the amplitude in all location classes, although the absolute rate of occurrence varied from class to class. These results are consistent with the results of other investigations [15].

Fourier analysis of about one third of the transient disturbances measured yielded information in the frequency domain. Figure 22b shows the amplitude spectral density for different location classes. The number of data was sufficient to conclude that at all frequencies the density follows a log-normal distribution. As a result, the data have a statistical significance.

6.6.3 *Lightning transients*

Transients are produced both directly and indirectly (through subsequent switching action) by lightning. Measurements and calculations of lightning effects have been made to yield data on what levels can be expected, even if the exact mechanism of any particular surge is unknown. Field experience of lightning diverters also provides an indirect indication of the severity of lightning effects on high-voltage and low-voltage systems.

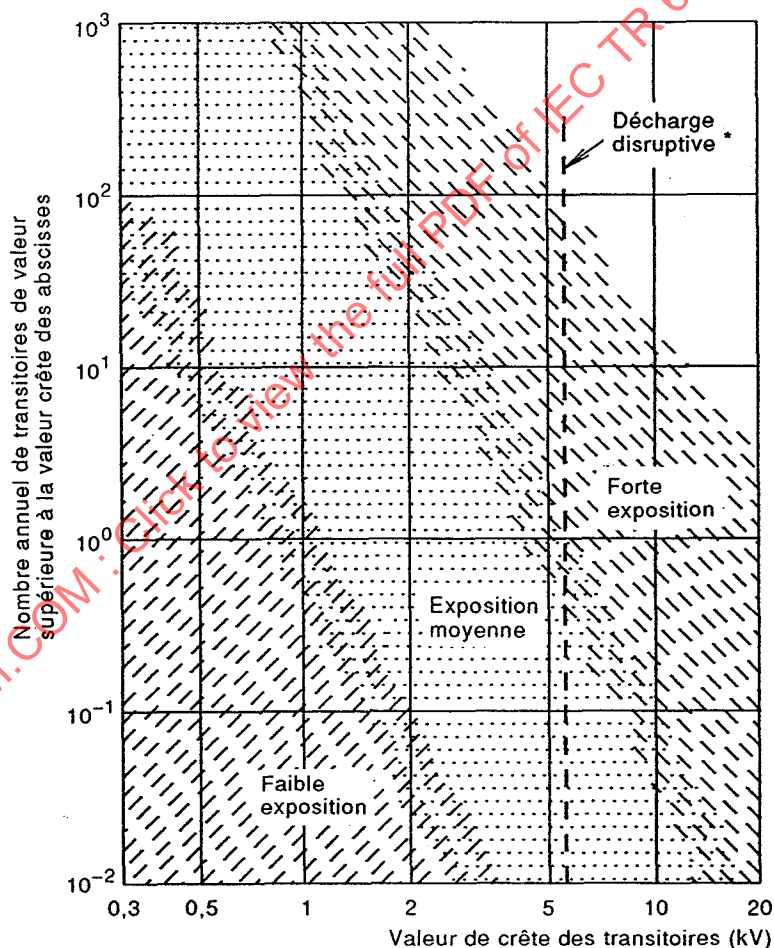
The rate of occurrence of transients varies over wide limits depending upon the particular power system. Prediction of the rate for a particular system is always difficult and frequently impossible. Rate is related to the level of the surges; low-level surges are more prevalent than high-level surges [16].

It is essential to recognize that the surge voltage observed in a power system can be either the driving voltage or the voltage limited by the sparkover of some clearance in the system. Hence, the term "unprotected circuit" must be understood to be a circuit in which no low-voltage protective device has been installed but in which clearance sparkover will eventually limit the maximum voltage [12].

The distribution of surge levels, therefore, is influenced by the surge producing mechanisms as well as by the sparkover level of clearances in the system. This distinction between actual driving voltage and voltage limited by sparkover is particularly important at the interface between outdoor equipment and indoor equipment. Outdoor equipment has generally higher clearances, hence higher sparkover levels: 10 kV may be typical, but 20 kV is possible. In contrast, most indoor installation used in 120 V and 230 V systems has sparkover levels of about 6 kV; this 6 kV level, therefore, can be selected as a typical cutoff for the occurrence of surges in indoor power systems [16].

Les données obtenues lors de nombreuses campagnes de mesure au sujet de la fréquence d'apparition des surtensions en fonction du niveau de tension ont permis d'établir le diagramme de la figure 23. Le diagramme de la figure 23 ne montre avec certitude qu'une fréquence «relative» de cas alors que le nombre «absolu» ne peut donner lieu qu'à un classement en «faible exposition», «moyenne exposition» ou «forte exposition». On peut définir ces niveaux d'exposition d'une façon générale ainsi qu'il suit:

- «faible exposition» Réseaux de régions géographiques connues comme présentant une faible activité orageuse, ou ayant un réseau de distribution enterré;
- «moyenne exposition» Réseaux de régions géographiques connues comme présentant une forte activité orageuse, ou ayant un réseau de distribution aérien;
- «forte exposition» Réseaux rares mais réels alimentés par de longues lignes aériennes sujettes à réflexions à leurs extrémités, et où les caractéristiques d'installation créent des niveaux élevés sans l'effet limiteur des dispositifs de protection



CEI 860/92

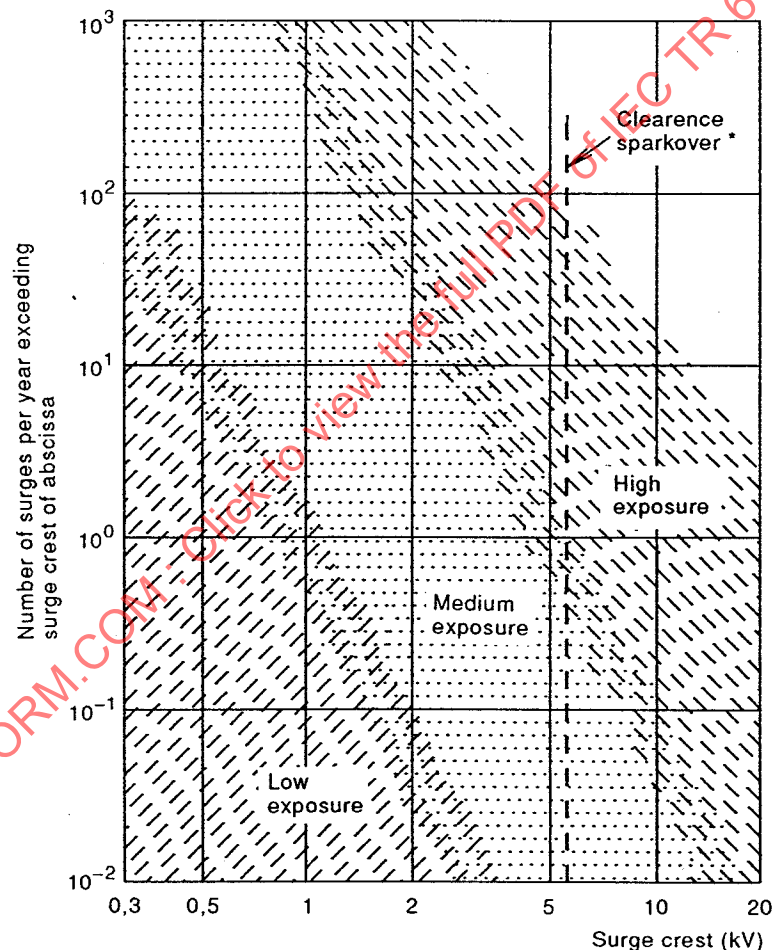
* Dans certains lieux, des décharges disruptives sur les distances d'isolement peuvent limiter les surtensions.

Figure 23 – Plages d'apparition de transitoires en fonction du niveau de tension

Parce qu'elle représente un cas extrême, la zone à forte exposition doit être reconnue mais elle ne doit pas être appliquée sans discrimination à tous les réseaux. Cela pénaliserait la grande majorité des installations pour lesquelles le niveau d'exposition est moins élevé.

Data on rate of occurrence versus voltage level collected from many surveys have led to the plot shown in figure 23. This plot shows with certainty only a "relative" frequency of occurrence, while the "absolute" number of occurrences can be described only in terms of "low-exposure", "medium-exposure", or "high-exposure". These exposure levels can be defined in general terms as follows:

- "low-exposure" System in geographical areas known for low lightning activity, or with underground distribution systems;
- "medium-exposure" System in geographical areas known for high lightning activity, or with overhead distribution systems;
- "high-exposure" Rare but real systems supplied by long overhead lines and subject to reflections at line ends, where the characteristics of the installation produce high levels without the limiting effect of clearances.



IEC 860/92

* In some locations, sparkover of clearances may limit the overvoltages.

Figure 23 – Ranges of surge occurrence versus voltage level

Because it represents an extreme case, the high-exposure area needs to be recognized, but it should not be indiscriminately applied to all systems. Such application would penalize the vast majority of installations, where the exposure is lower.

Sur la base des valeurs relatives de la figure 23, on peut citer deux niveaux types pour applications pratiques. Premièrement les prévisions de cas de transitoires de 3 kV sont de 0,01 à 10 par an en un lieu donné, chiffre qui est suffisamment élevé pour justifier de recommander une aptitude à supporter 3 kV au minimum. Deuxièmement, la décharge disruptive des systèmes de câblage indique qu'une faculté de supporter 6 kV peut être suffisante pour assurer la survie des appareils situés dans les habitations mais qu'une faculté de supporter 10 kV, ou plus, peut être nécessaire à l'extérieur.

La forme d'onde type pour les lignes d'alimentation extérieures est une impulsion unidirectionnelle avec un temps de montée de l'ordre de 1 μ s et une durée de plusieurs dizaines de microsecondes. L'onde de courant associée à cette onde de tension, lorsqu'on l'applique à un dispositif de protection non linéaire est typiquement 8/20 μ s (cette onde est dite onde unidirectionnelle «hybride» ou «combinée»).

La forme d'onde type représentative des lignes basse tension pour l'intérieur est une onde oscillatoire amortie, même si l'onde originelle de la foudre est unidirectionnelle. Dans un bâtiment, les oscillations naturelles des éléments du circuit et les multiples réflexions modifient la perturbation initiale [17]. En fonction des dimensions du système, la fréquence des oscillations varie de 5 kHz à 500 kHz, avec un temps de montée initial de l'ordre d'une fraction de microseconde.

A l'interface du bâtiment et du réseau de distribution, une description représentative devra inclure à la fois l'onde oscillatoire amortie et l'onde unidirectionnelle. Des phénomènes secondaires dus aux décharges disruptives dans le réseau peuvent se produire et modifier fortement le temps de montée et, à un moindre niveau, la durée.

Les valeurs données en bibliographie sont des valeurs typiques avec une forte probabilité d'apparition.

6.7 Lignes de signaux et de contrôle

Les lignes de signaux et de contrôle ne sont normalement pas considérées comme des émetteurs puisque ce sont des dispositifs passifs. Cependant elles sont des moyens de couplage importants entre sources actives et dispositifs susceptibles. Deux phénomènes de base peuvent être observés:

- a) fuite d'énergie intentionnellement conduite le long de cette ligne,
- b) énergie induite sur la ligne et par conséquence appliquée à l'armoire d'un matériel ou aux circuits internes de l'armoire.

Un point important dans l'évaluation des effets de ces phénomènes est de savoir si la ligne est blindée ou non. Si la ligne n'est pas blindée, l'émission provient de la propagation en mode différentiel mais dans la plupart des cas, excepté lorsque des puissances relativement importantes sont transmises, les niveaux produits sont faibles. A hautes fréquences (supérieures à 100 kHz) il peut y avoir une conversion de mode différentiel en mode commun significative. Si la ligne est blindée les phénomènes d'émission et d'induction sont du type mode commun. Les niveaux d'émission peuvent être évalués en utilisant les techniques présentées en 3.2. Lorsque des blindages existent il peut être vital de déterminer l'efficacité du blindage. Ces techniques sont décrites dans la littérature.

From the relative values of figure 23, two typical levels can be cited for practical applications. Firstly, the expectation of 3 kV transient occurrence ranges from 0,01 to 10 per year at a given location – a number sufficiently high to justify the recommendation of a minimum 3 kV withstand capability. Secondly, the sparkover of wiring devices indicates that a 6 kV withstand capability may be sufficient to ensure device survival indoors, but a withstand capability of 10 kV, or greater, may be required outdoors.

For outdoor power lines the typical representative lightning waveform is an unidirectional pulse with a rise time of about 1 μ s and a duration up to tens of microseconds. The current waveform associated with this voltage waveform, when applied to a non-linear surge-protective device is typically 8/20 μ s (called "hybrid" or "combined" unidirectional wave).

The typical representative waveform for transients found in indoor low-voltage lines is a damped oscillatory wave, even if the original lightning waveform is unidirectional. Within a building, natural oscillations of the circuit elements and multiple reflections modify the initial disturbance [17]. Depending on the dimensions of the structure, the frequency of the oscillations ranges from about 5 kHz to about 500 kHz, with an initial rise time of a fraction of a microsecond.

At the interface of the power connection to the building, a representative description would include both the damped oscillatory wave and the combined unidirectional wave. Secondary phenomena due to sparkover in the system may occur and greatly modify the rise time and, to a lesser extent, the duration.

The values given in the references are typical values with a high degree of occurrence.

6.7 Signal and control lines

Signal and control lines are not normally considered to be emitters as they are passive devices. However they may form an important means of coupling between active sources and susceptible devices. Two basic phenomena are recognized:

- a) leakage of energy intentionally conducted along the line,
- b) energy induced on the line and subsequently impressed on an equipment cabinet or circuits internal to the cabinet.

Of particular interest in evaluating the effects of these phenomena is to know whether the line is shielded or unshielded. If unshielded, emission is usually from a differential propagation mode, but in most cases, except where relatively high powers are being transmitted, the levels produced are small. At higher frequencies (greater than about 100 kHz) there may be significant differential to common mode conversion. If the line is shielded, both emission and induction phenomena are likely to be in the common mode. Emission levels can be predicted using the techniques presented in 3.2. Where shields are present it may be vital to determine the effectiveness of the shield. Such techniques are available in published literature.

6.8 Appareils

Cette catégorie comprend de nombreux matériels individuels qui peuvent produire toutes formes de perturbations par conduction et par rayonnement.

6.9 Moteurs

Les perturbations dues aux moteurs peuvent provenir de leur mise en, et hors, service et de leur fonctionnement. La commutation produit des transitoires qui sont discutés en 6.5.2. Normalement, les moteurs à induction à courant alternatif produisent peu ou pas du tout de perturbations. Une source importante de perturbations est celle qui est produite par les moteurs à collecteur, qu'ils soient du type à courant alternatif ou à courant continu.

Emission conduite

La figure 24a montre des niveaux de perturbation pour un générateur à courant continu de 0,5 kW dans la bande de fréquence allant de 1 kHz à 15 kHz. Ces mesures ont été réalisées avec une bande d'analyse de 60 Hz. La figure 24b montre des résultats similaires pour une dynamo. Dans ce cas la bande de mesure était 5 kHz.

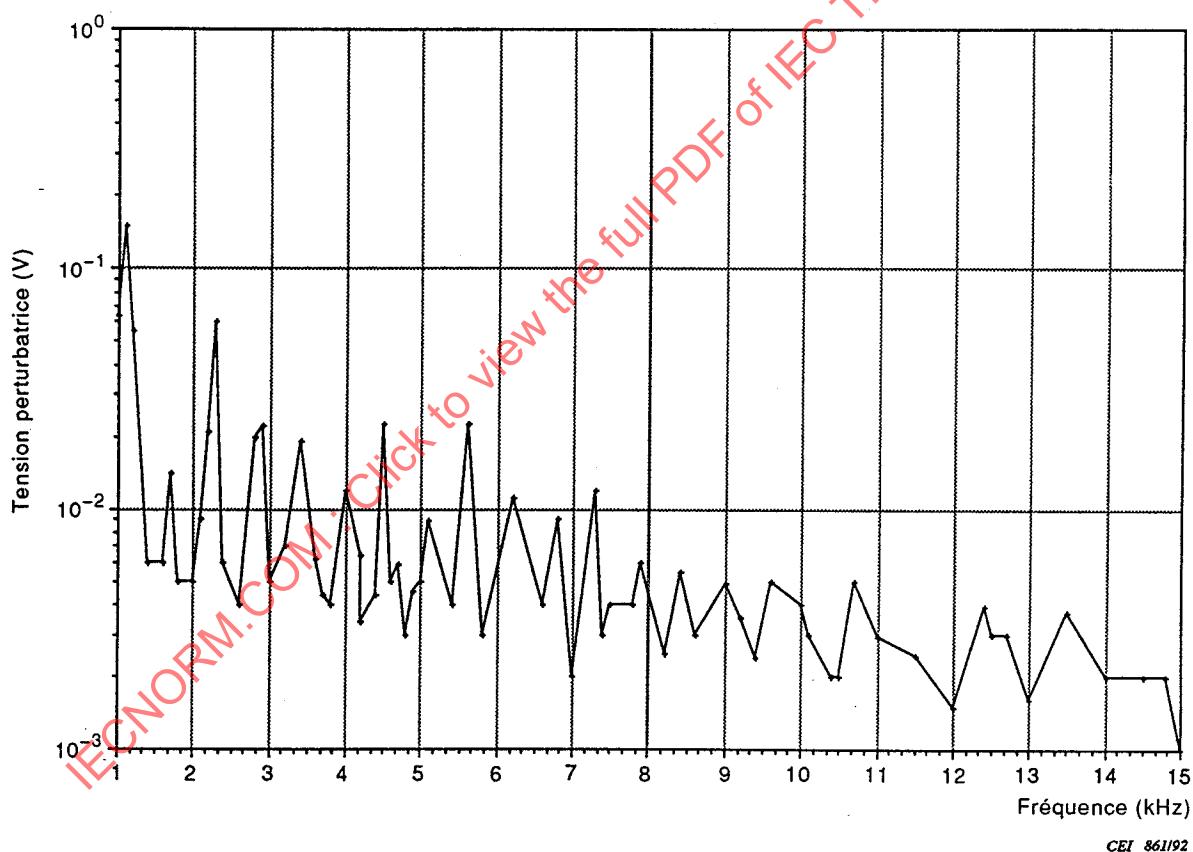


Figure 24a – Tension de bruit conduit d'une génératrice c.c. de 500 W à pleine charge
(1 725 t.p.m., 115 V c.c. 4,4 A, R = 2,76 Ω)

6.8 Appliances

In this category are many so-called "free standing units" capable of producing many forms of disturbance through the various phenomena of conduction and radiation.

6.9 Motors

Disturbances due to motors can arise from switching the motor on or off, and from running. Switching produces transients which are discussed in 6.5.2. Normally, a.c. induction motors otherwise produce little or no disturbances. The largest disturbances are produced by commutator motors of either a.c. or d.c. types.

Conducted emission

Figure 24a shows disturbance levels for a 0,5 kW d.c. generator in the frequency range of 1 kHz to 15 kHz. The measurements were made with a bandwidth of 60 Hz. Figure 24b shows similar results for a dynamotor. In this base the bandwidth was 5 kHz.

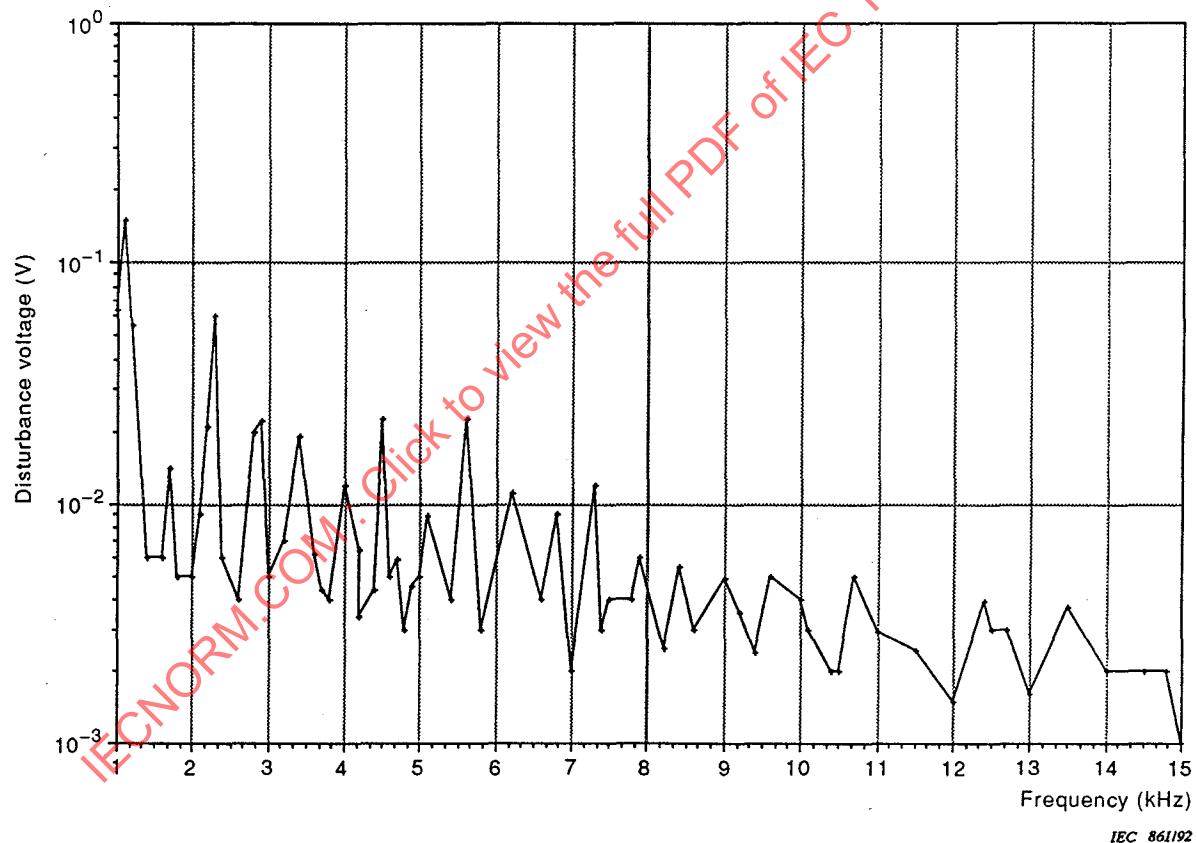


Figure 24a – Conducted noise voltage from a 500 W d.c. generator at full load
(1 725 r.p.m., 115 V d.c., 4,4 A, $R = 2,76 \Omega$)

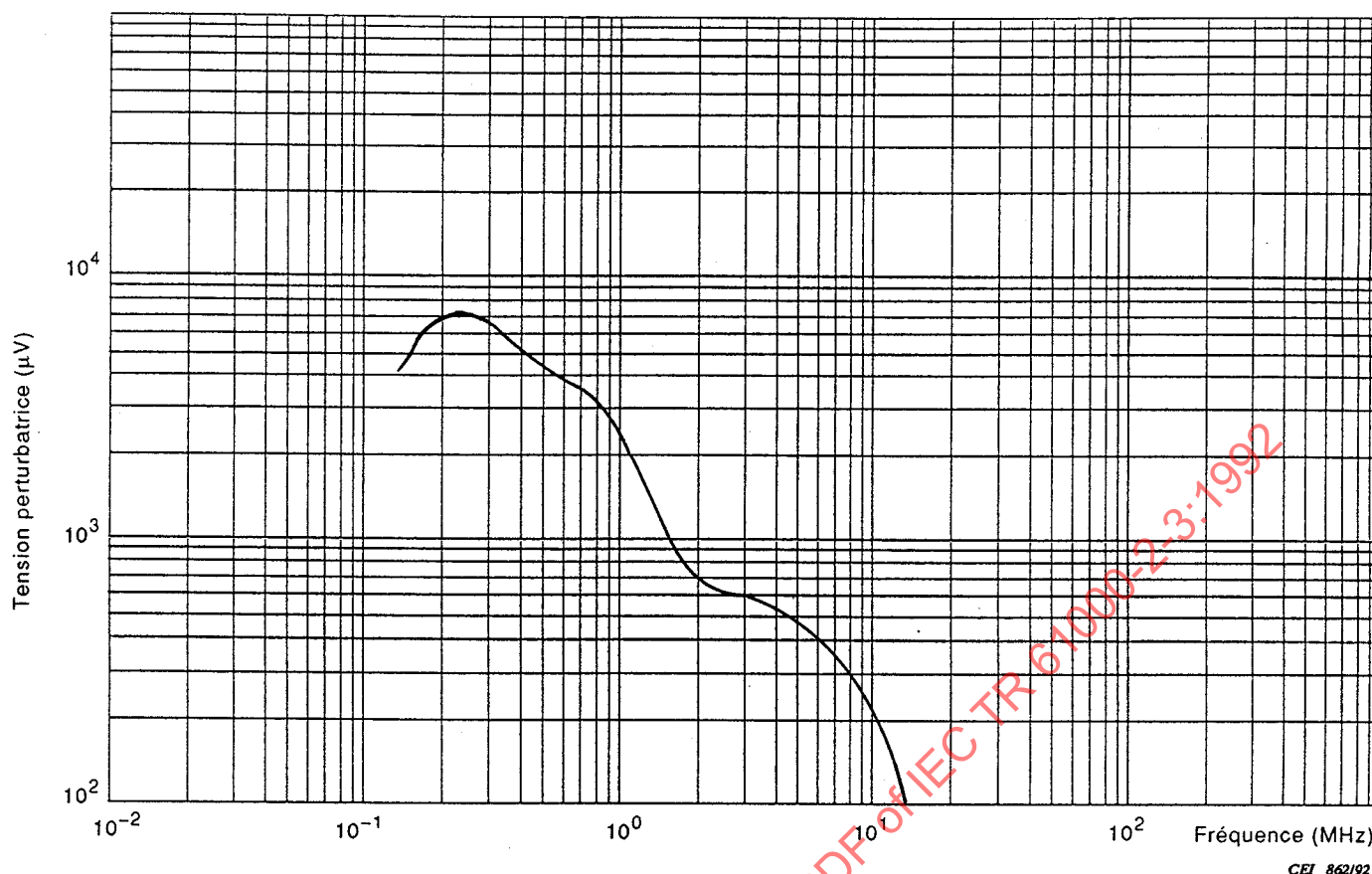


Figure 24b – Tension perturbatrice conduite entre ligne et terre par une commutatrice 14-250 V c.c.

6.10 Systèmes et dispositifs numériques

Les dispositifs et les systèmes numériques engendrent un bruit continu à fréquences discrètes. Les sources principales sont les horloges, les circuits de distribution ainsi que les convertisseurs d'alimentation. La grande majorité des fréquences d'horloge est comprise entre 1 MHz et 30 MHz. En raison de la brièveté du temps de montée et de descente des signaux, des harmoniques s'élevant jusqu'à 1 GHz peuvent exister. La fréquence de fonctionnement des convertisseurs de puissance est comprise entre 2 kHz et plusieurs centaines de kHz dans la plupart des cas. Il existe de très forts harmoniques perturbateurs jusqu'au domaine du MHz.

Emissions conduites

Les interfaces de conduction avec l'environnement s'effectuent par les lignes secteur, les lignes de signaux, les lignes de données et les lignes de télécommunication.

Les limites pour les émissions conduites sont spécifiées par le CISPR. Seules les lignes de secteur ont été traitées à ce jour. La figure 8 de ce rapport montre les limites à observer. Ces limites sont inscrites sous le titre Appareil de Traitement de l'Information (ATI). Elles sont divisées en:

- ATI classe B valeur moyenne
- ATI classe B quasi-crête
- ATI classe A valeur moyenne
- ATI classe A quasi-crête

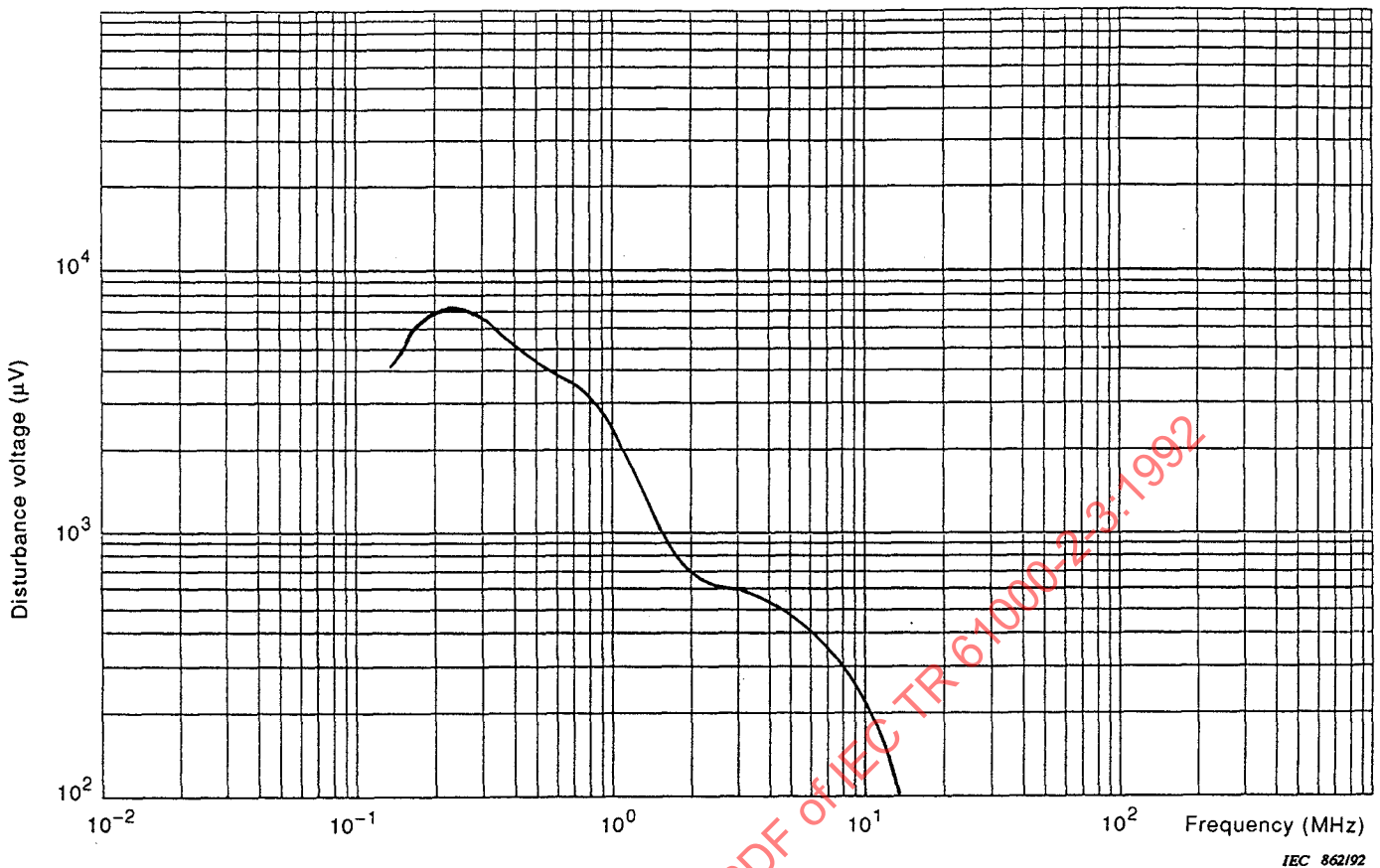


Figure 24b – Dynamotor (14-250 V d.c.), conducted disturbance voltage line to ground

6.10 Digital devices and systems

Digital devices and systems generate continuous noise at discrete frequencies. The main sources are the clock generation and distribution circuits as well as the power converters. Most of the clock frequencies lie between 1 MHz and 30 MHz. Due to the short rise and fall times of the clock signal, harmonics up to 1 GHz can be obtained. The operating frequency of the converters is between 2 kHz and several hundred kHz in most cases. Severe disturbing harmonics exist up to the MHz range.

Conducted emission

The conduction interfaces with the environment are the power leads, signal lines, data lines, and telecommunication cables.

Limits for conducted emissions are specified by CISPR. Figure 8 shows the limits of interest. They are labelled as information technology equipment (ITE). The limits are divided as follows:

- ITE average class B
- ITE quasipeak class B
- ITE average class A
- ITE quasipeak class A

Pour l'emploi sans restriction des matériels ATI, les limites de la classe B doivent être respectées. Dans des cas spéciaux – zones industrielles, emplacements définis – on peut appliquer les limites de la classe A. En outre, il existe une différence dans l'évaluation des résultats des mesures d'émission entre bande étroite (valeur moyenne) et bande large (quasi-crête).

Pour respecter les limites des spécifications, la suppression des perturbations des émissions conduites est nécessaire dans la plupart des cas. L'emploi de dispositifs ou de systèmes non certifiés, ou l'absence de suppression des perturbations, peuvent engendrer des niveaux de bruit de 30 fois à 100 fois plus élevés.

Emissions rayonnées

Les limites des émissions rayonnées sont spécifiées par le CISPR. La figure 9 de ce rapport, montre les limites pour les Appareils de Traitement de l'Information (ATI) et pour les équipements Industriels, Scientifiques et Médicaux (ISM). Dans certaines installations où les limites du CISPR peuvent ne pas s'appliquer, par exemple dans les centres de commutation des télécommunications, les niveaux peuvent excéder sensiblement les limites du CISPR.

6.11 Récepteurs de télévision et de radio, moniteurs et magnétoscopes

Les récepteurs de télévision et de radio et les moniteurs engendrent des émissions de nature sinusoïdale (bande étroite) dues aux oscillateurs locaux et à leurs harmoniques. Les harmoniques des oscillateurs de déviation horizontale des tubes cathodiques se manifestent également dans le cas des récepteurs de télévision et des moniteurs.

Les émissions supérieures à 150 kHz émanant des récepteurs de radio et de télévision sont généralement réglementées dans les divers pays.

Emissions conduites

Les limites des émissions conduites provenant de récepteurs de télévision et de radio sont spécifiées jusqu'à la fréquence de 1 GHz. La tension de bruit aux extrémités des antennes est également limitée (voir figure 8, courbes 7 à 9).

Emissions rayonnées

A l'intérieur des récepteurs et moniteurs, les principales sources de perturbation sont les oscillateurs horizontaux. Les bobines de déflexion des tubes cathodiques produisent de forts champs magnétiques (voir figure 25).

For the general use of ITE equipment, class B limits apply. In special cases – industrial areas, registered locations – class A limits are allowed. Furthermore there is a difference in the evaluation of the measurement results between narrow-band (average) and broadband (quasi-peak) emissions.

To meet the limits of the specifications disturbance suppression for conducted emissions is necessary in most cases. Uncertified devices and systems or failure of suppression can cause noise levels 30 to 100 times higher to be generated.

Radiated emission

Limits for radiated emission are specified by CISPR. Figure 9 shows limits for information technology equipment (ITE) and industrial, scientific and medical equipment (ISM). In certain installations where CISPR limits may not apply, for example telecommunication switching centres, the levels may substantially exceed CISPR limits.

6.11 Radio and television receivers, monitors and video recorders

Television and radio receivers and monitors generate emissions of a sinusoidal nature (narrow-band) due to the local oscillators and their harmonics. Harmonics of the horizontal deflection oscillators of cathode ray tubes are also present in the case of television receivers and monitors.

Emissions from radio and television receivers above 150 kHz are generally controlled by radio regulations in the various countries.

Conducted emission

The limits for conducted emission for radio and television receivers are specified up to the frequency of 1 GHz. The noise voltage at the antenna terminations is also limited (see figure 8, curves 7 to 9).

Radiated emission

The major sources of disturbance from television receivers and monitors are the horizontal oscillators. The cathode ray deflection coils produce strong magnetic fields (see figure 25).

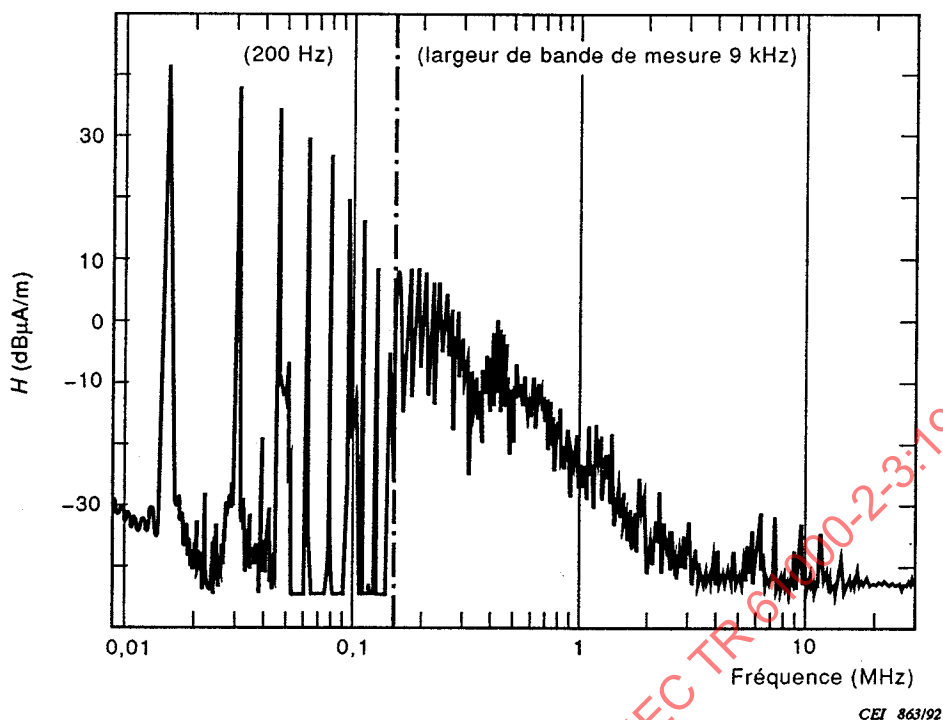


Figure 25 – Champ magnétique produit par les bobines de déflection d'un moniteur vidéo (mesuré à 10 m)

On peut considérer que les niveaux maximaux produit par l'oscillateur local dans la gamme des fréquences supérieures à 150 kHz sont voisins de ceux qui sont indiqués à la figure 9.

Pour les récepteurs de télévision présentant une haute définition, une limite d'un niveau plus élevé dans la gamme de fréquences située en dessous de 150 kHz est à l'étude.

6.12 Lampes fluorescentes

On peut distinguer deux catégories principales de lampes fluorescentes:

- 1) lampes fonctionnant à la fréquence du secteur avec un ballast passif;
- 2) lampes fonctionnant dans la gamme de fréquence de 20 kHz à 50 kHz avec un ballast à semiconducteur actif.

Les données d'émission dépendent de plusieurs paramètres tels que: ballast symétrique ou asymétrique, stabilisation inductive ou capacitive du courant de la lampe, lampes avec ou sans «starter», une ou plusieurs lampes par luminaire, atténuation des fréquences radio provoquées par le luminaire, diagramme de rayonnement de l'ensemble lampe plus luminaire, etc.

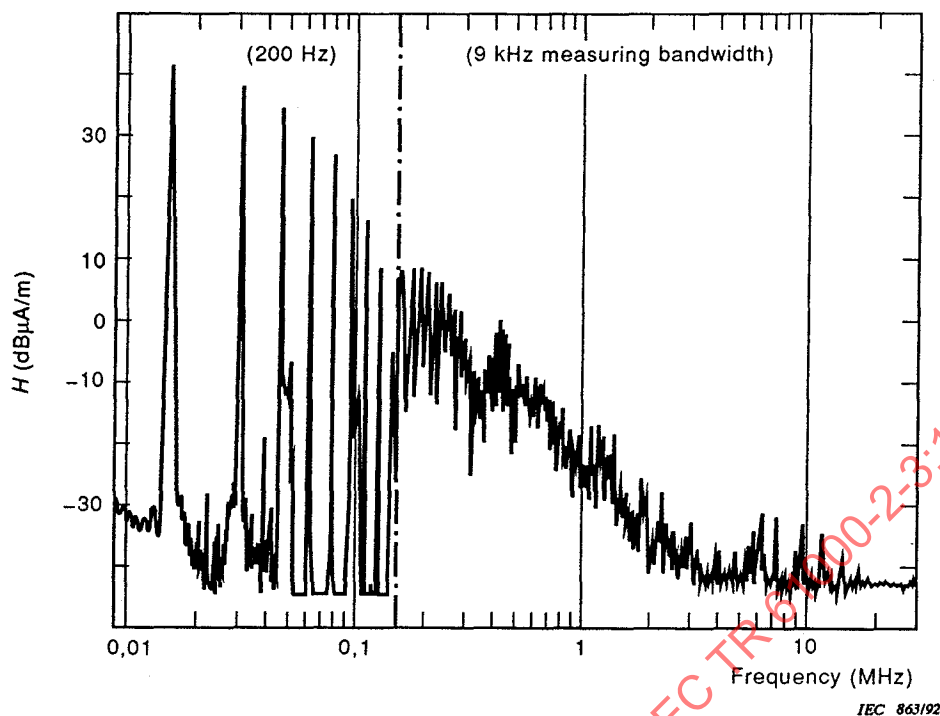


Figure 25 – Magnetic field produced by deflection coils of a video display unit (measuring distance 10 m)

The maximum levels produced by the local oscillator in the frequency range above 150 kHz can be assumed to be at or near the levels given by figure 9.

For television receivers with high resolution, a limit at a higher level in the frequency range below 150 kHz is under consideration.

6.12 Fluorescent lamps

Two major categories of fluorescent lamps can be distinguished:

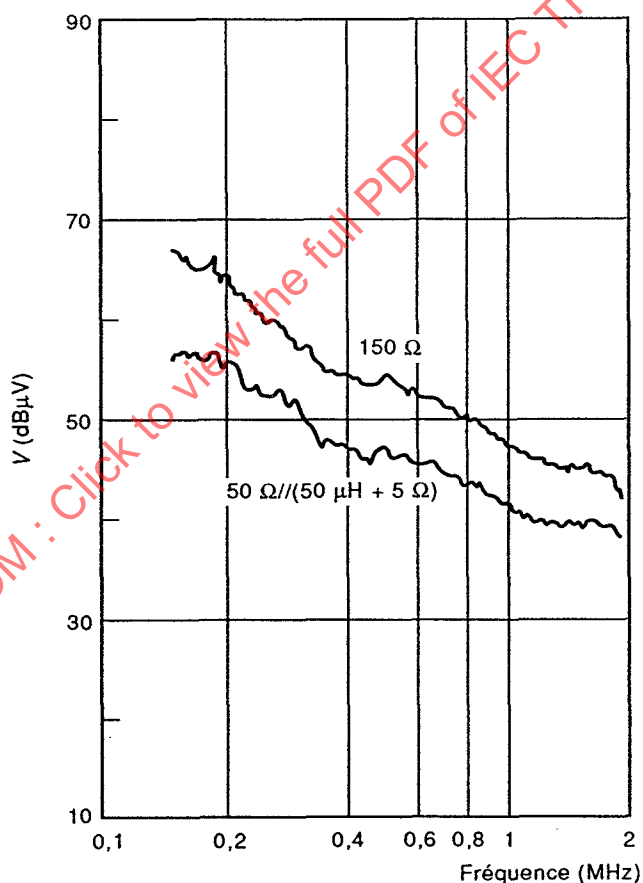
- 1) lamps operating at the mains frequency, using a passive ballast;
- 2) lamps operating in the frequency range 20 kHz to 50 kHz, using an active solid-state ballast.

Emission data depend on several parameters, such as symmetrical or asymmetrical ballast, inductive or capacitive stabilization of the lamp current, lamps with or without starters, one or more lamps per luminaire, RF-attenuation caused by the luminaire, antenna-pattern of lamp plus luminaire, etc.

Emissions conduites

Pendant le fonctionnement normal d'une lampe fluorescente, un bruit à large bande résulte du bruit de réallumage et d'extinction à la cathode du tube, et des oscillations de plasma à l'anode du tube. Quand la puissance d'émission d'électrons de l'électrode devient faible, un double bruit peut se faire entendre du côté cathode.

Dans la plupart des cas, les composantes des bruits radioélectriques (150 kHz – 1,6 MHz) sont limitées par l'atténuation recommandée du luminaire [18], à un niveau correspondant plus ou moins à celui indiqué en [19]. La figure 26a montre les résultats types (mesurés comme en [20]), pour une lampe de type 1 utilisant deux valeurs de l'impédance du réseau fictif. On peut en conclure qu'une lampe de type 1 dans son luminaire se comporte comme une source de courant (une forte impédance de source comparée aux impédances de mesure), puisque la différence entre les deux courbes est de l'ordre de 10 dB. Les lampes de type 2 produisent un mélange de bruit large bande et bande étroite. La figure 26b montre les résultats types pour une lampe de type 2. D'autres informations pour des groupes de lampes de type 1 et 2 sont données par les figures 27a et 27b [21] et dans ce cas le courant était mesuré à l'aide d'une sonde de courant placée sur l'un des conducteurs de l'alimentation.



CEI 864/92

Figure 26a – Tension perturbatrice aux bornes d'une lampe de type 1 (mesurée selon CISPR)

Conducted emission

During normal operation of the fluorescent lamp, broadband noise results from the ignition and extinction noise at the cathode end of the tube and plasma oscillations at the anode end of the tube. When the electron emitting power of the electrode becomes low, so-called twin-noise may be present at the cathode end.

In most cases RF-noise components (150 kHz to 1,6 MHz) are limited by the recommended attenuation of the luminaire [18], to a level more or less corresponding to that given in [19]. Figure 26a shows an example of the V-terminal voltage (defined and measured as in [20]) for a category 1 lamp using two values of the artificial mains impedance, as indicated. It can be concluded that the luminaire of a category 1 lamp behaves as a current source (high source impedance compared to the measurement impedances) since the difference between the two curves is about 10 dB. Category 2 lamps produce a mixture of broadband and narrow-band noise. An example is given in figure 26b. Results for groups of category 1 and 2 lamps are given in figures 27a and 27b [21], where the current was measured with a current probe clamped to the phase conductor of the power supply.

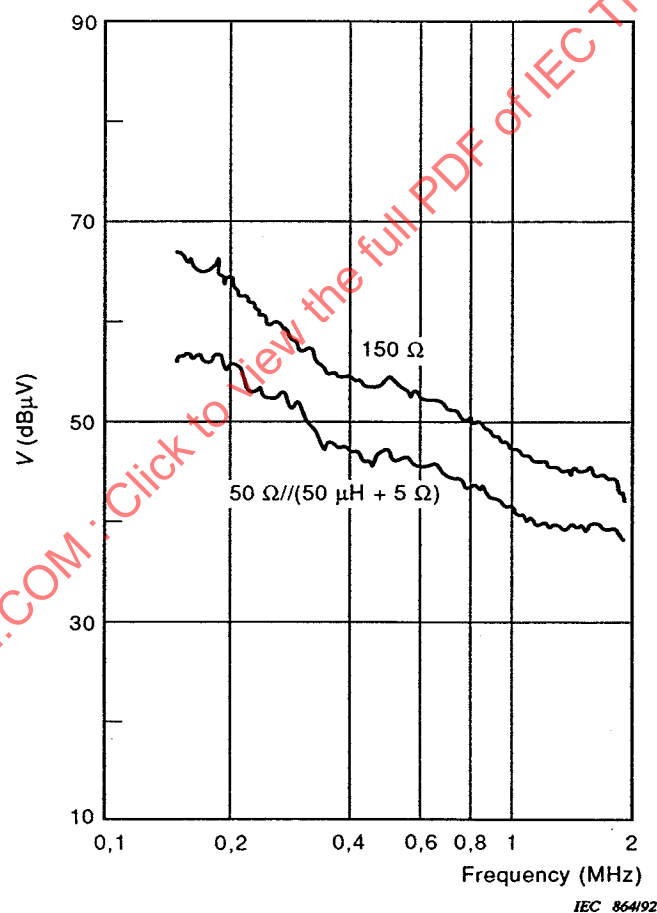


Figure 26a – V-terminal voltage of a category 1 lamp
(measured according to CISPR)

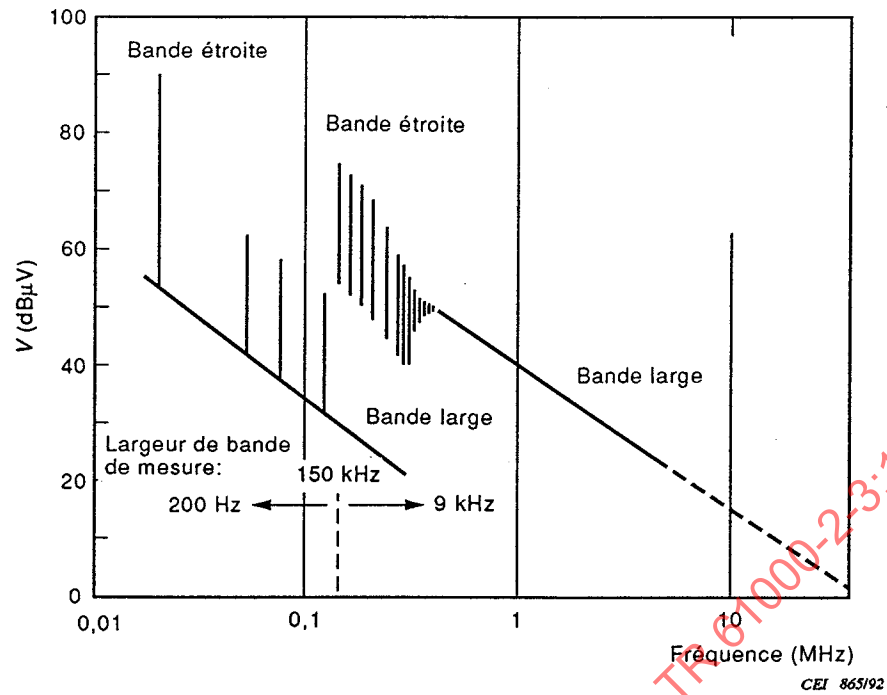
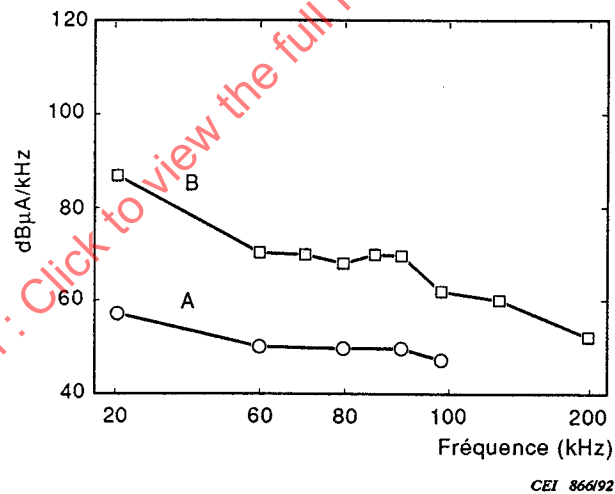


Figure 26b – Tension perturbatrice aux bornes d'une lampe de type 2 sans anti-parasitage additionnel (mesurée selon CISPR)



- A Ballasts classiques
- B Ballasts transistorisés

Figure 27a – Perturbations électromagnétiques conduites dans une suite directoriale avec 36 luminaires à deux lampes

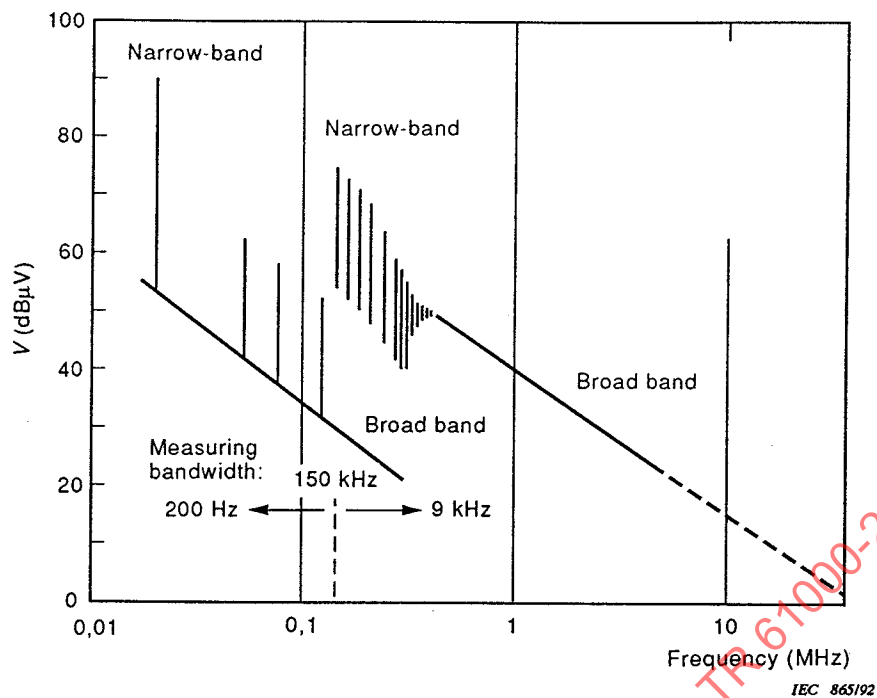
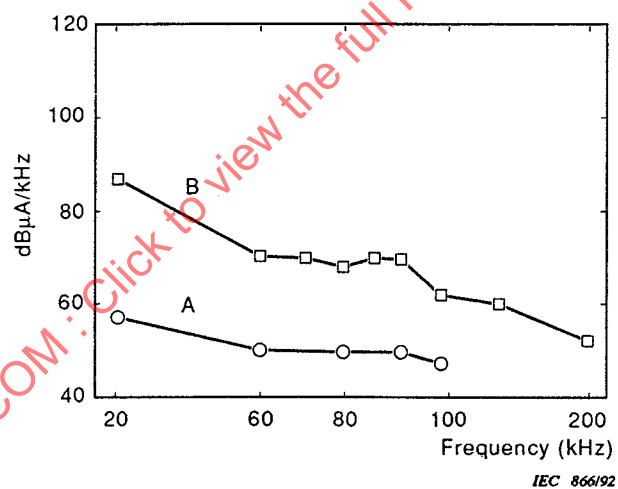


Figure 26b – V-terminal voltage of a category 2 lamp without additional disturbance suppression (measured according to CISPR)



- A Conventional ballasts
- B Solid-state ballasts

Figure 27a – Conducted EMI data for a director's suite with 36 two-lamp fixtures

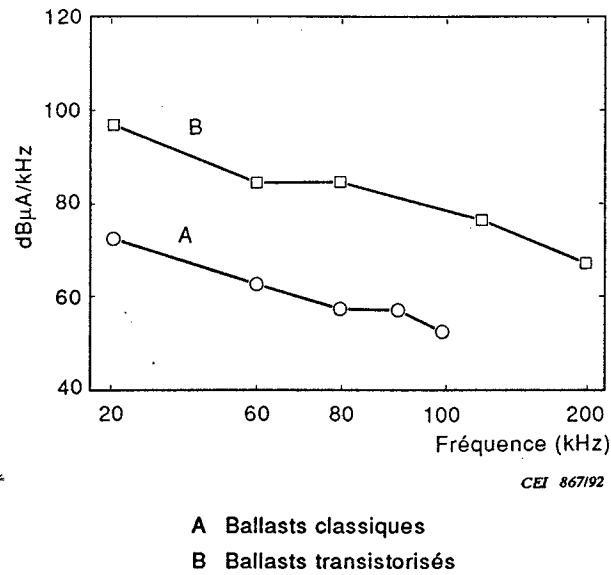


Figure 27b – Perturbations électromagnétiques conduites dans une clinique ambulatoire avec 140 luminaires à deux lampes

Un type particulier de bruit à large bande est provoqué par la mise en circuit et hors circuit de telles lampes (transitoires de commutation). Dans ce cas les lampes de type 1 doivent être considérées de façon particulière si le luminaire possède une capacité de suppression des perturbations afin de satisfaire aux recommandations d'atténuation des fréquences radio des luminaires. Un exemple typique de transitoire mesuré entre la phase et le neutre aux bornes d'un luminaire est donné à la figure 28. Des valeurs crêtes de 10 kV ont été mesurées directement sur ces bornes. Des tensions asymétriques jusqu'à 1 kV ont été mesurées sur les prises murales de maisons d'habitation. Aucune étude systématique de ces transitoires de commutation n'est connue. La forme d'onde en tension peut être décrite en considérant un circuit résonnant constitué de l'inductance du ballast (de l'ordre de 0,75 H) et de la capacité de suppression des perturbations (typiquement 22 nF). La tension crête est proportionnelle au courant de la lampe au moment où l'arc de l'interrupteur s'éteint. En l'absence de capacité de suppression, la tension crête est déterminée de manière prépondérante par la tension de claquage des contacts de l'interrupteur.

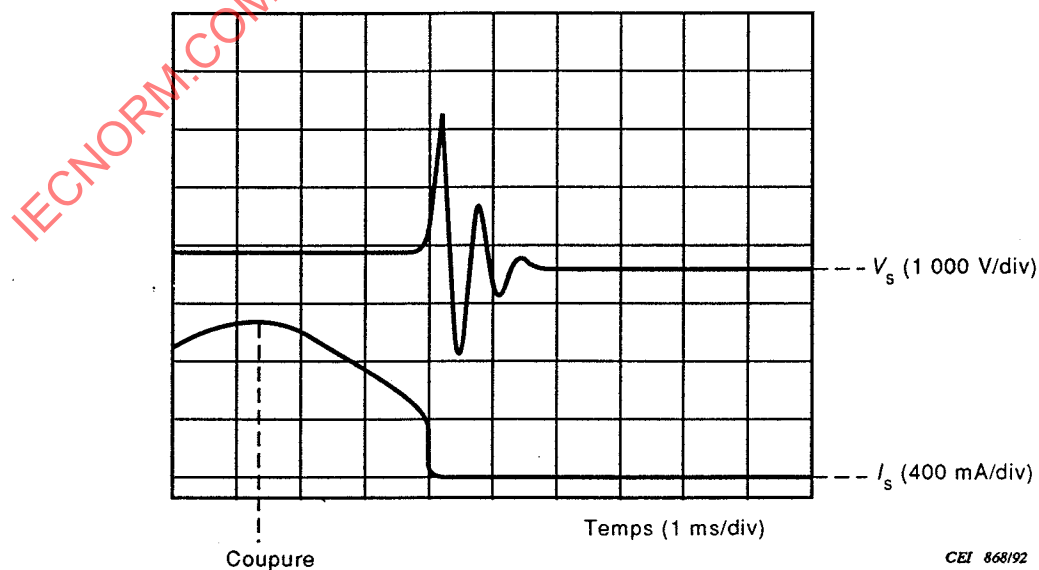
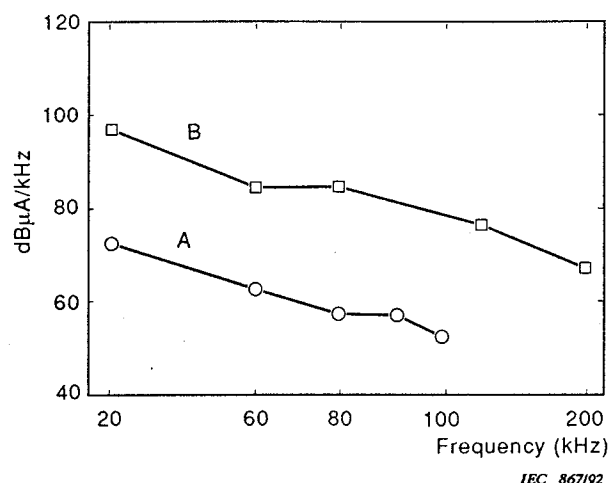


Figure 28 – Exemple de transitoire provoqué par une lampe fluorescente de type 1



A Conventional ballasts
B Solid-state ballasts

Figure 27b – Conducted EMI for out-patient clinic with 140 two-lamp fixtures

A particular type of broadband noise is caused by switching the lamp on and off (switching transients). Here category 1 lamps have to be considered if their luminaire is equipped with a disturbance suppression capacitor to meet the recommended luminaire radio-frequency attenuation. A typical example of such a transient measured between the phase and neutral at the luminaire terminals is given in figure 28. Peak values up to 10 kV have been measured directly across these terminals. Unsymmetric voltages up to 1 kV have been measured at the wall sockets of residential houses. No systematic review of these switching transients is known. The voltage waveform can be described assuming a resonant circuit consisting of the inductance of the ballast (about 0,75 H) and the disturbance capacitor (typically 22 nF). The peak voltage is proportional to the lamp current at the moment the arc across the switch is extinguished. In the absence of a disturbance suppression capacitor the peak voltage is determined predominantly by the breakdown voltage of the switch contact.

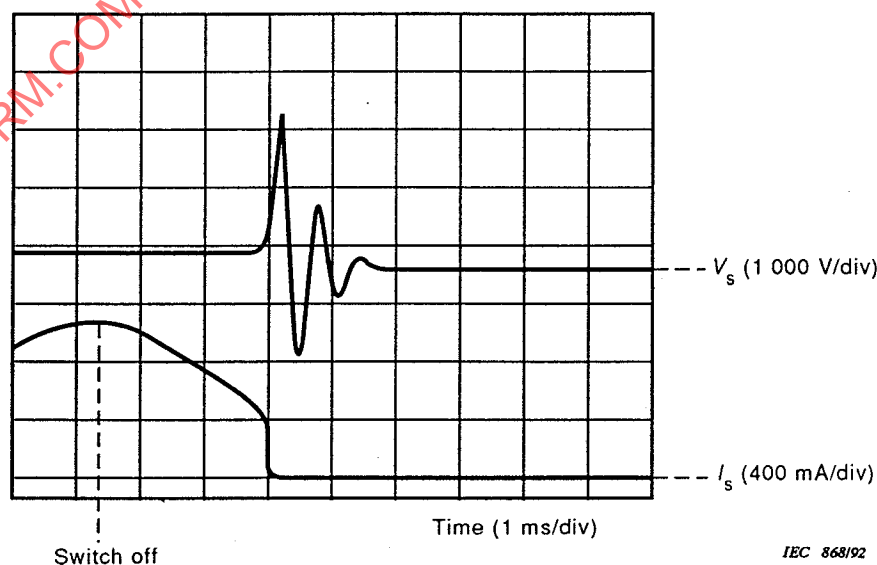


Figure 28 – Example of transient caused by a category 1 fluorescent lamp

Emissions rayonnées

Le bruit à bande étroite peut être divisé en deux parties, les harmoniques à la fréquence du réseau et le bruit non lié à la fréquence du réseau.

Les lampes de type 1, incluant les structures de câblage et de mise à la terre, émettent une quantité appréciable de champ magnétique à l'harmonique de courant de rang 3. Des densités de flux magnétique d'environ 100 dB(pT) ont été mesurées à 1 m au-dessus d'un sol en béton armé, (ferraillage mis à la terre), et des valeurs 14 dB plus fortes ont été trouvées près du sol, montrant ainsi l'influence de la mise à la terre. On ne possède pas d'information sur le champ magnétique à basse fréquence pour les lampes de type 2.

Les lampes de type 2 émettent des champs électriques et magnétiques non liés à la fréquence du réseau. A partir d'une distance supérieure à la longueur du tube fluorescent les caractéristiques de l'émission sont bien voisines de celles d'un dipôle magnétique dans lequel le courant de la lampe circulerait. La constante de proportionnalité K, voir figure 29, entre l'amplitude du champ magnétique et le courant de la lampe dépend du type de luminaire. Un exemple de courant de lampe en fonction de la fréquence est aussi donné à la figure 29. Un exemple d'amplitude de champ électrique est donné à la figure 30, où la courbe A concerne le bruit à large bande et la courbe B est l'enveloppe du bruit à bande étroite. Le champ électrique E a été mesuré à l'aide d'une antenne monopôle de 1 m dont le plan de sol était situé approximativement à 1 m sous le luminaire. Celui-ci contenait deux lampes de type 2 (de 1,2 m chacune).

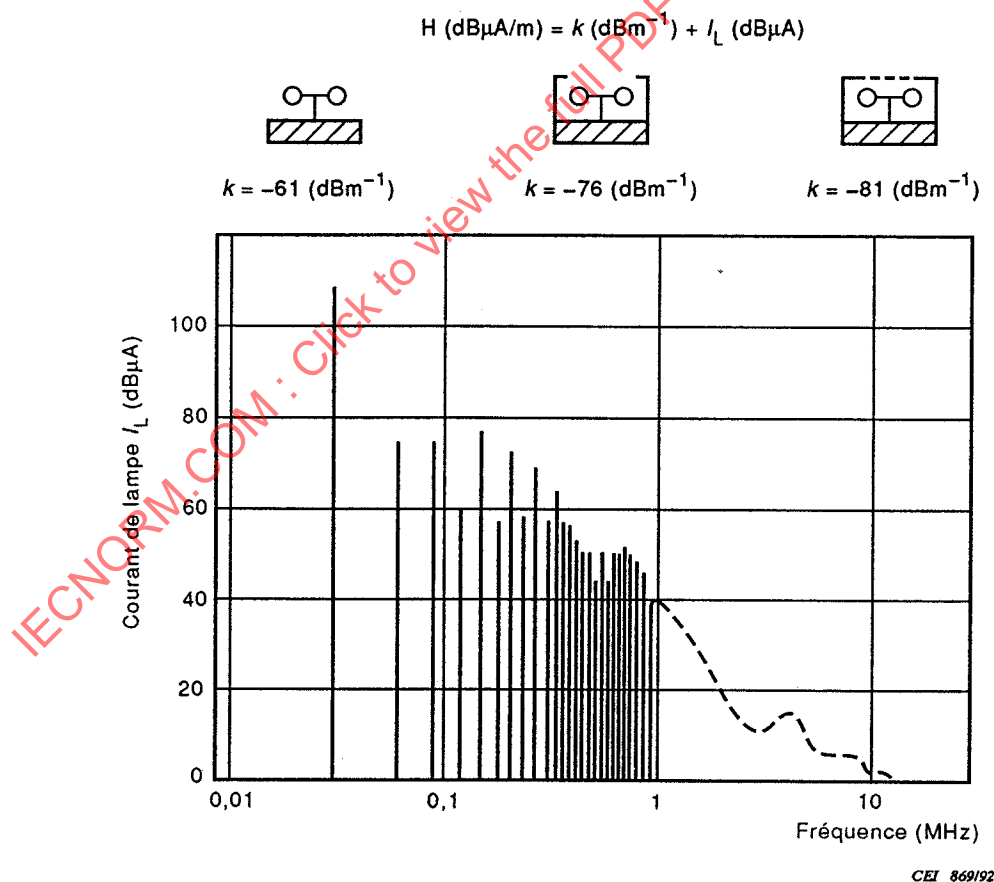


Figure 29 – Courant de lampe/champ magnétique d'une lampe de type 2 de divers luminaires (mesuré à 1 m)

Radiated emission

Narrow-band noise can be divided into two parts, mains-frequency related harmonics and non-mains-frequency related narrow-band noise.

Category 1 lamps, including cabling and earthing structures, emit a noticeable amount of third harmonic magnetic field produced by the third harmonic mains current. Magnetic flux densities of about 100 dB(pT) have been measured at 1 m distance above the steel reinforced (earthing structure) concrete floor in a large building equipped with these lamps, while about 14 dB higher values were found close to the floor, indicating the influence of the earthing structure. No data is available for category 2 lamps.

Category 2 lamps emit non-mains-frequency related magnetic fields and electric fields. At distances larger than the length of the fluorescent tube the emission properties are well approximated by those of a magnetic dipole in which the lamp current flows. The constant of proportionality K , see figure 29, between the magnetic field strength and the lamp current depends on the type of luminaire. An example of the lamp current as a function of frequency is also given in figure 29. An example of the electric field strength is given in figure 30, where curve A refers to broadband noise and curve B is the envelope of the narrow-band noise. The E -field was measured with a 41 inch monopole antenna with a ground plane whose midpoint was located approximately 1 m under a luminaire containing two category 2 lamps (each 1,2 m long).

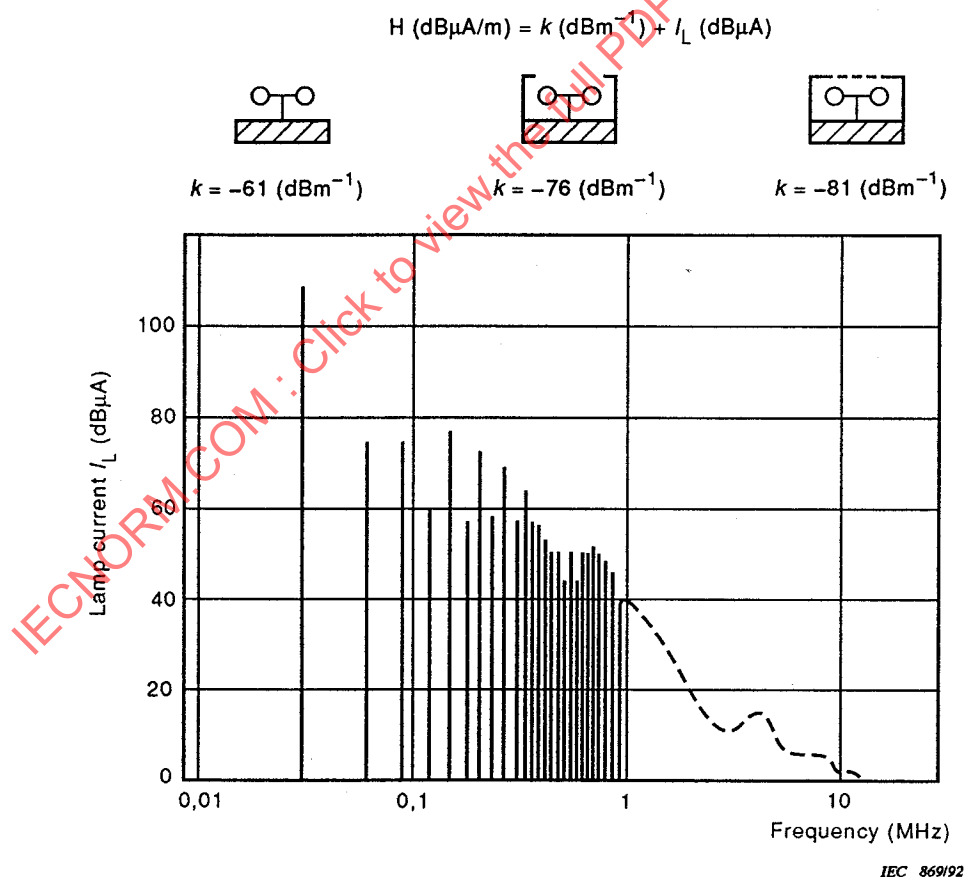


Figure 29 – Lamp current/magnetic field of category 2 lamp for different fixtures (measuring distance 1 m)

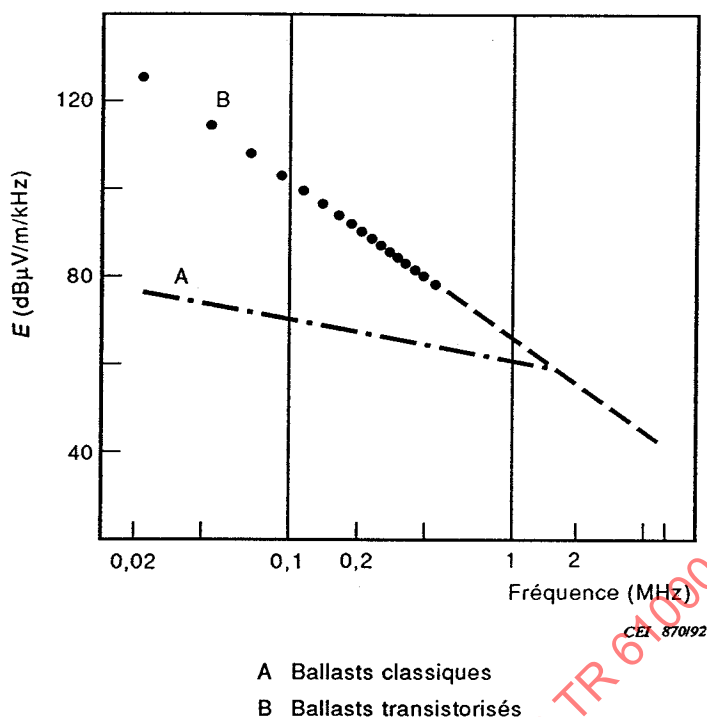
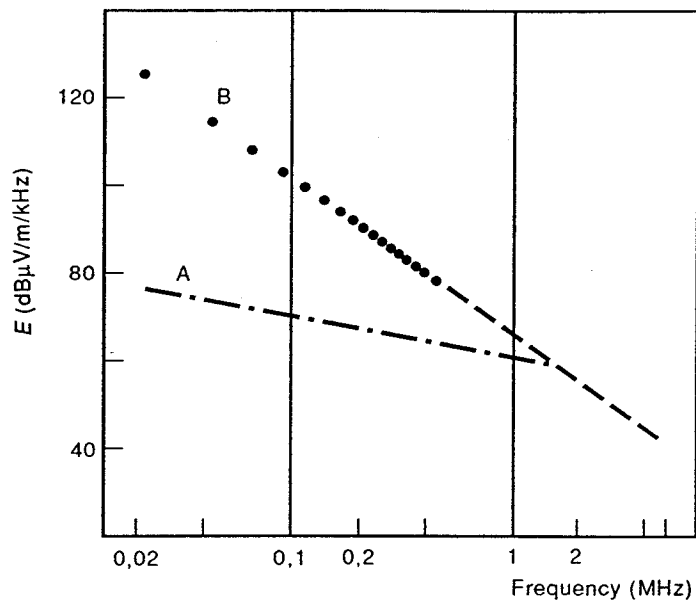


Figure 30 – Champ électrique d'une lampe de type 2

6.13 Matériel industriel

6.13.1 Matériel ISM

Dans ce rapport, les matériels industriels, scientifiques et médicaux (ISM) sont ceux dans lesquels une énergie radioélectrique est engendrée intentionnellement pour le traitement externe de matériaux. On peut les distinguer des matériels dans lesquels l'énergie est nécessaire pour le fonctionnement interne des matériels comme le cas des lampes fluorescentes de type 2 (voir en 6.12). Comme exemples on peut citer: le matériel industriel de chauffage, soudage et collage, la production de plasma, la diathermie médicale. Bien des équipements ISM, mais pas tous, fonctionnent dans les bandes de fréquence définies par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), voir [22]. Ces matériels ne sont pas soumis aux limites fixées par le CISPR ni à celles indiquées à la figure 9. Un exemple de matériel ISM fonctionnant selon des fréquences non définies par l'UIT est un matériel de chauffage industriel fonctionnant sur une fréquence fondamentale comprise entre 50 kHz et 500 kHz.



A Conventional ballasts
B Solid-state ballasts

Figure 30 – Electric field from category 2 lamp

6.13 Industrial equipment

6.13.1 ISM equipment

Industrial, scientific, and medical (ISM) equipment is equipment in which RF energy is generated intentionally for the external treatment of material. It can be distinguished from equipment where the RF energy is necessary for the internal functioning of the equipment such as in the case of type 2 fluorescent lamps (discussed in 6.12). Examples are industrial heating, welding, and gluing equipment; scientific-plasma-excitation; medical diathermy. Most, but not all ISM equipment operates in International Telecommunications Union (ITU) designated ISM frequency bands, see [22]. Such equipment is not subject to CISPR or other limits as given in figure 9. An example of ISM equipment operating at a non-ITU designated frequency is industrial heating equipment operated at a fundamental frequency between 50 kHz and 500 kHz.

Emissions conduites

Aucune donnée de mesures en large bande n'est disponible. En général, les perturbations de bande étroite domineront alors que des perturbations de large bande pourront être causées par les redresseurs et les moteurs dans le matériel.

Les niveaux d'émissions de bande étroite, à des fréquences autres que celles définies par l'UIT, sont supposées respecter les limites mentionnées en [22]. Cependant, on sait que beaucoup ne les respectent pas. La figure 31 montre un exemple de mesures effectuées aux bornes d'un réseau en V sur un matériel de diathermie de 27 MHz avec utilisation d'une sonde de 150 Ω .

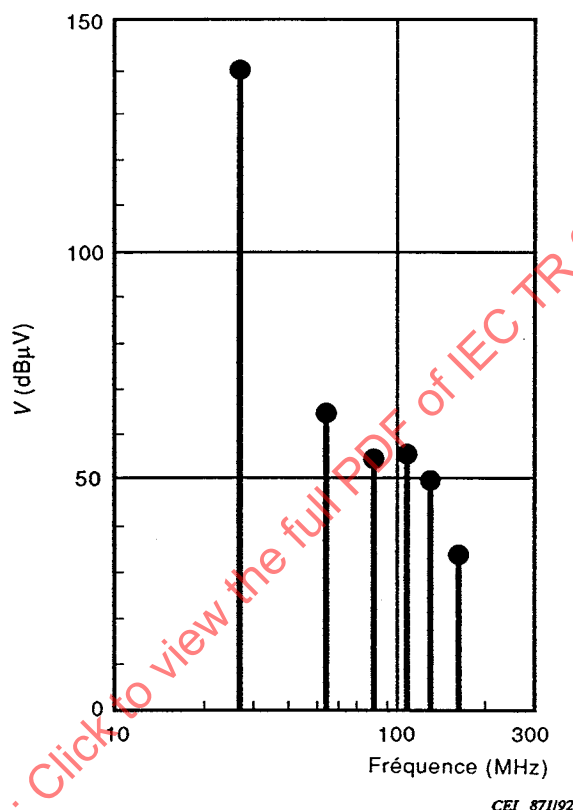


Figure 31 – Perturbations conduites par un équipement de diathermie 27 MHz

La valeur importante de la composante fondamentale conduite, montrée à la figure 31, résulte du niveau élevé du champ émis qui se couple directement avec le réseau d'alimentation extérieur. Dans ce cas, un filtre d'alimentation n'est pas efficace.

Les harmoniques montrés à la figure 31 sont relativement bas parce qu'une charge résistive fictive était utilisée. Cependant, les divers types de charges réelles, les diverses manières de les connecter au générateur et le niveau des composantes engendrées peuvent considérablement affecter le niveau des émissions harmoniques [23].