

**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

AVA Documents
Document Sharing Hub

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 procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XB**

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

AVA Documents
Document Sharing Hub

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 (comprenant 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.

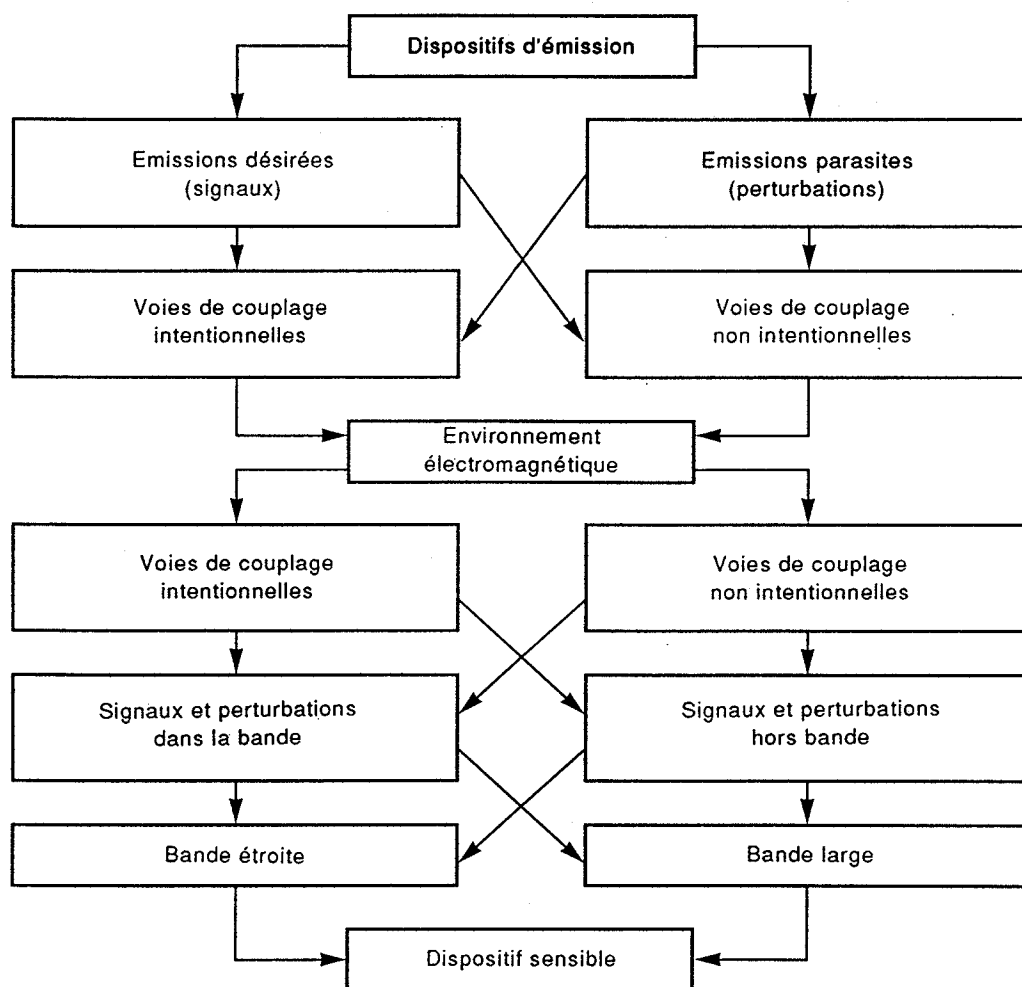
For the above reason, the approach taken in this report is to state the electromagnetic levels expected from particular sources or classes of sources. The level expected at a particular location must then be determined with reference to the sources existing at that location.

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 susceptibles

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

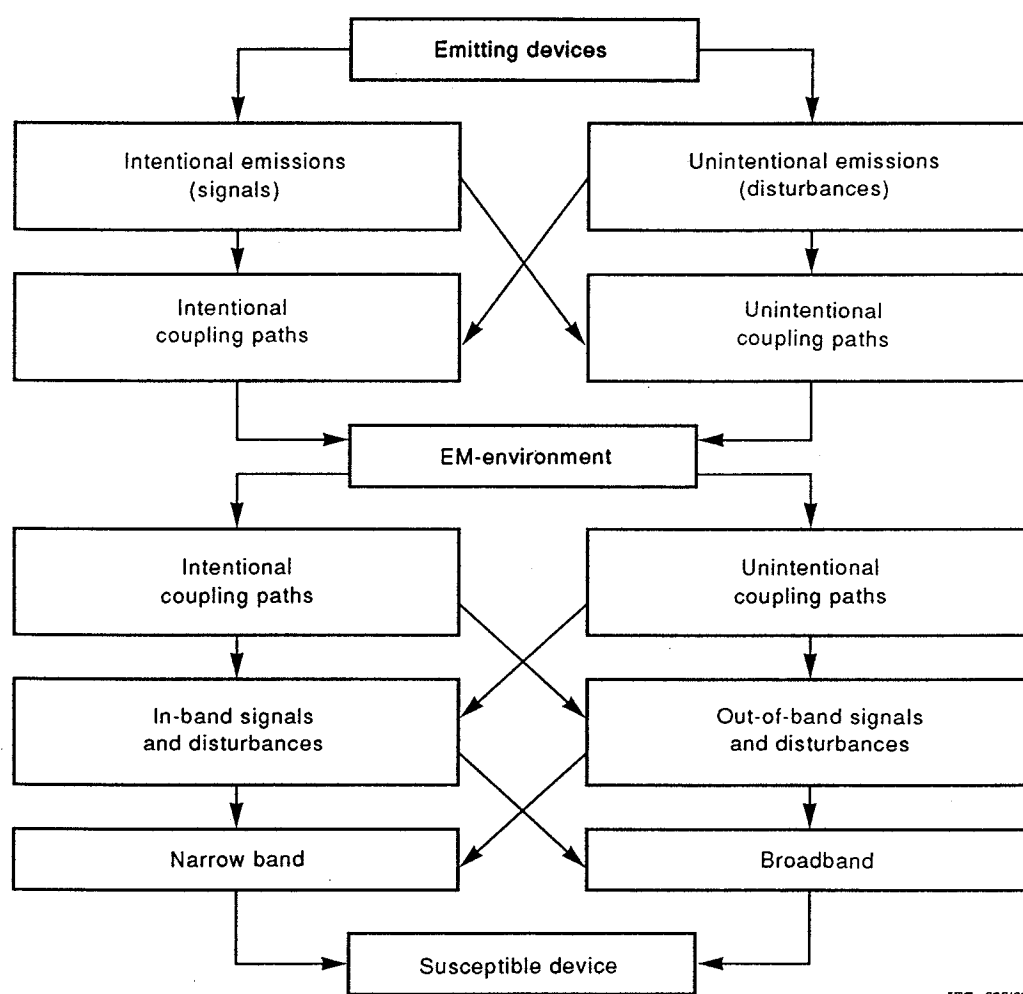
Figure 1 – Voies de couplage entre dispositifs d'émission et appareils sensibles

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 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.

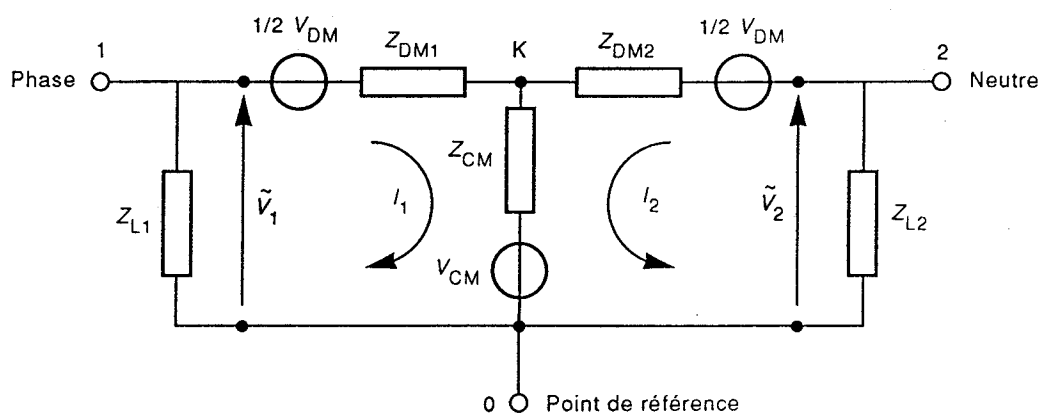
3 Source, coupling and susceptor models, and their limitations

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.



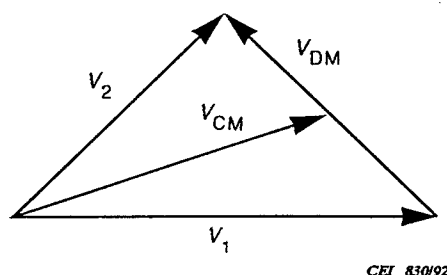
CEI 829/92

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.

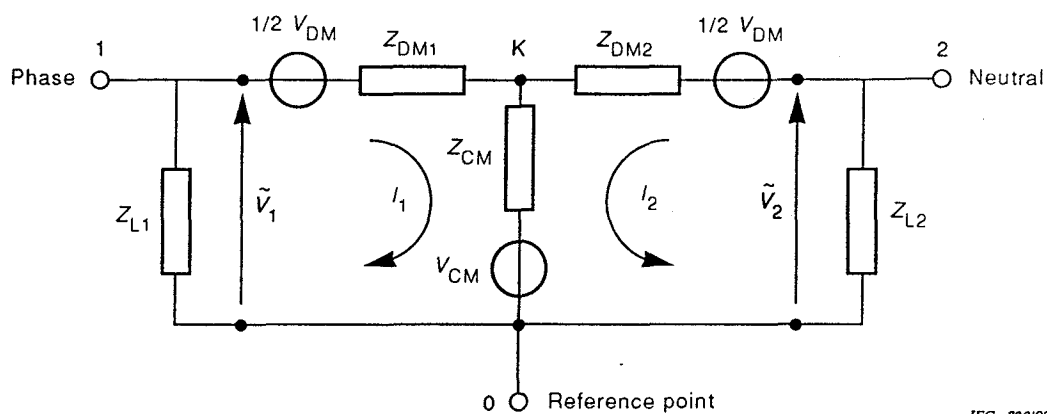
La représentation relativement simple montrée à la figure 2 n'est valable qu'avec des éléments localisés lorsque les points de connexion 1, 2 et 0 sont à des distances courtes telles qu'à toutes les fréquences considérées, aucun effet de longueur d'onde ou d'induction de champ ne joue un rôle perceptible. 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



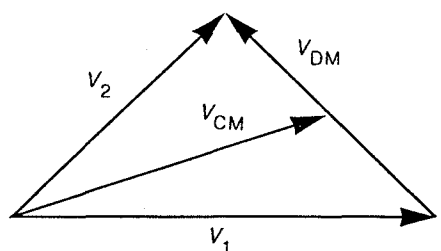
IEC 829/92

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 .

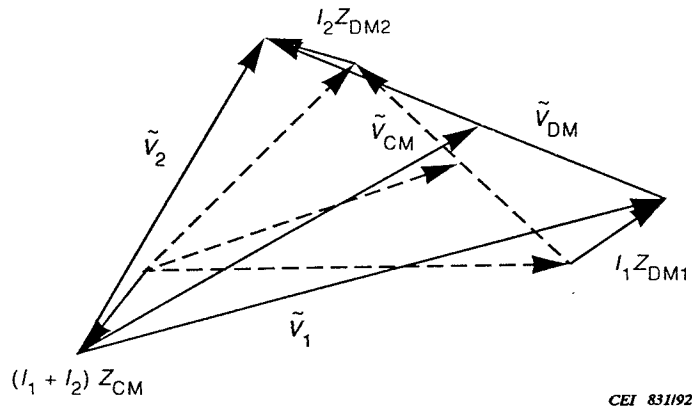
An example of the relation between the open-circuit voltages V_{DM} , V_{CM} , V_1 and V_2 is given in figure 3.



IEC 830/92

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.

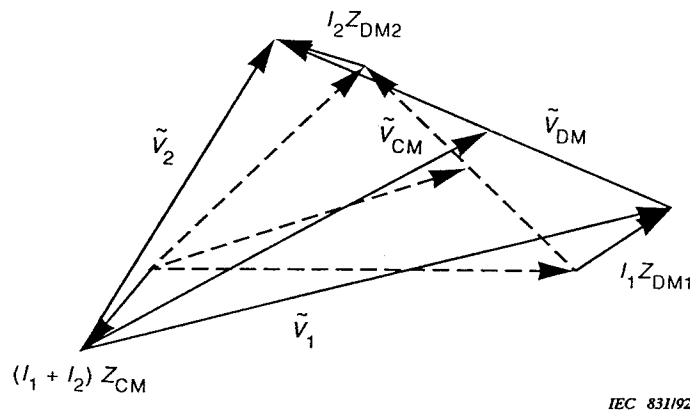
C'est pourquoi l'on doit constater que les mesures d'émission des sources ont un caractère limité. Par exemple, pour déterminer la conformité à une limite d'émission conduite, la mesure est faite en utilisant une impédance de charge spécifiée. On ne mesure pas directement l'impédance de la source. Ainsi, 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 $50 \, \Omega // 50 \, \mu\text{H}$ or $50 \, \Omega // 5 \, \mu\text{H}$. 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 $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ and $\text{dB}(\mu\text{A/m})$. 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.

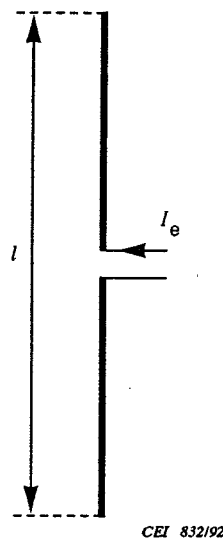


Figure 5a – Dipôle électrique
d'intensité = $l \cdot I_e$

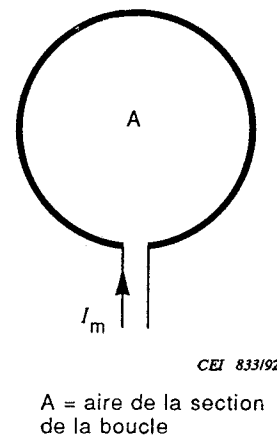


Figure 5b – Dipôle magnétique
d'intensité = $A \cdot I_m$

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.

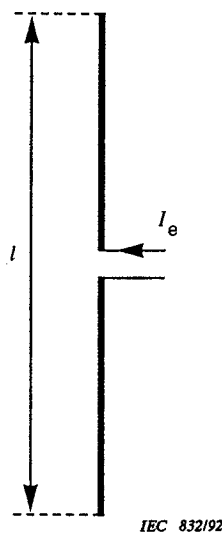


Figure 5a – Electric dipole
strength = $l \cdot I_e$

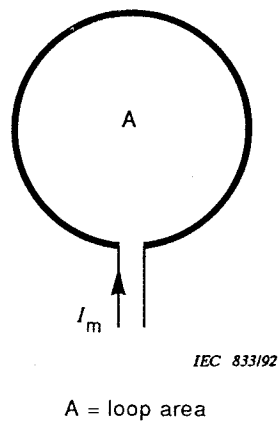


Figure 5b – Magnetic dipole
strength = $A \cdot I_m$

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 permeability 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.

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:

$$X_L = \omega L_L$$

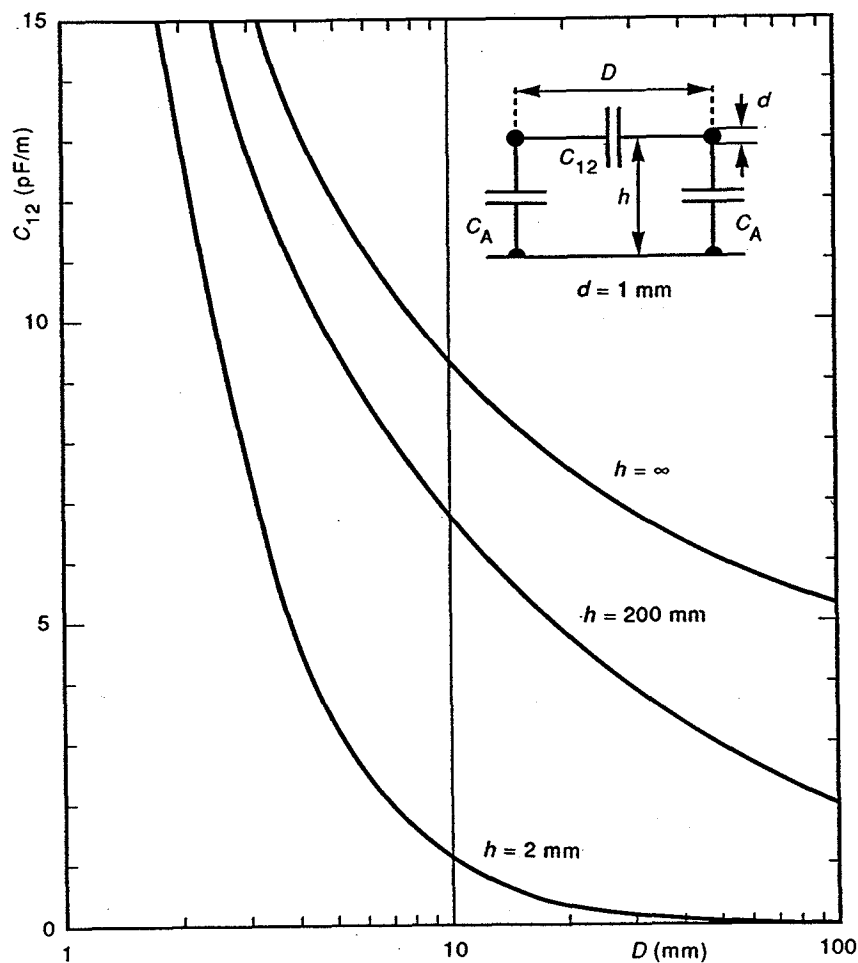
where L_L is the inductance of the conductor. The value of L_L depends on the shape of the current loop and its surroundings. However, as a rule of thumb, one can say that $L_L \approx 1 \mu\text{H/m}$ (or 1 nH/mm). In many electromagnetic interference problems $X_L \gg R_c$. For transient events, this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

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.

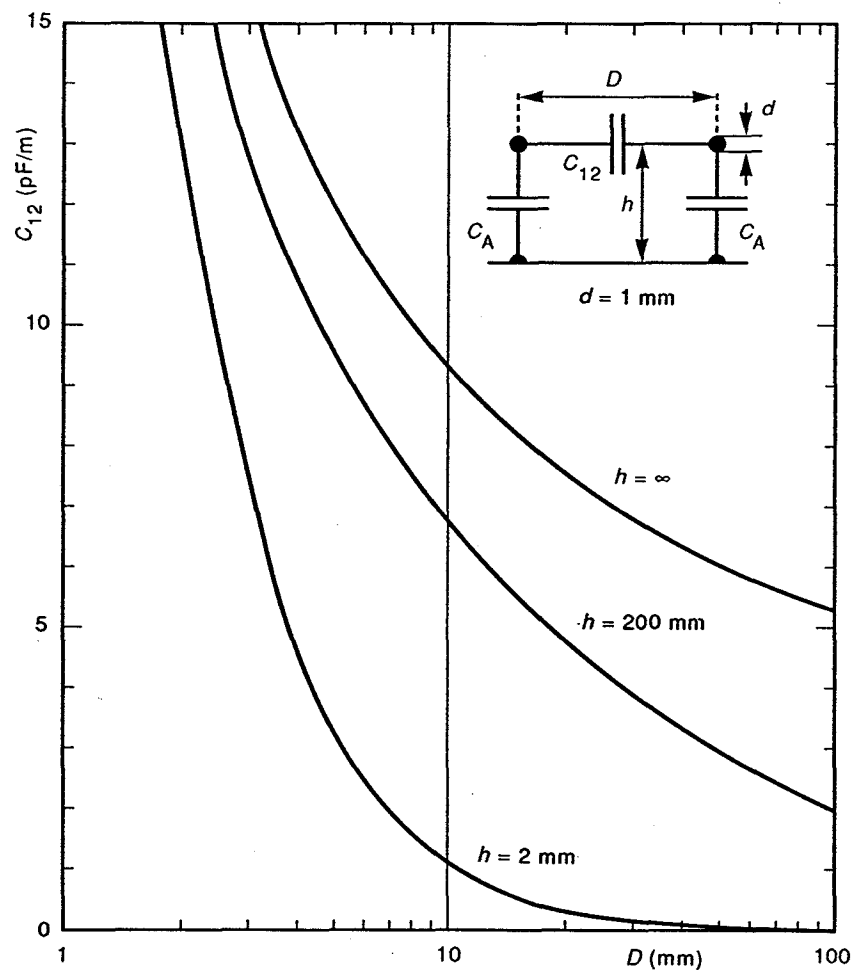


CEI 834/92

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:

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

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.

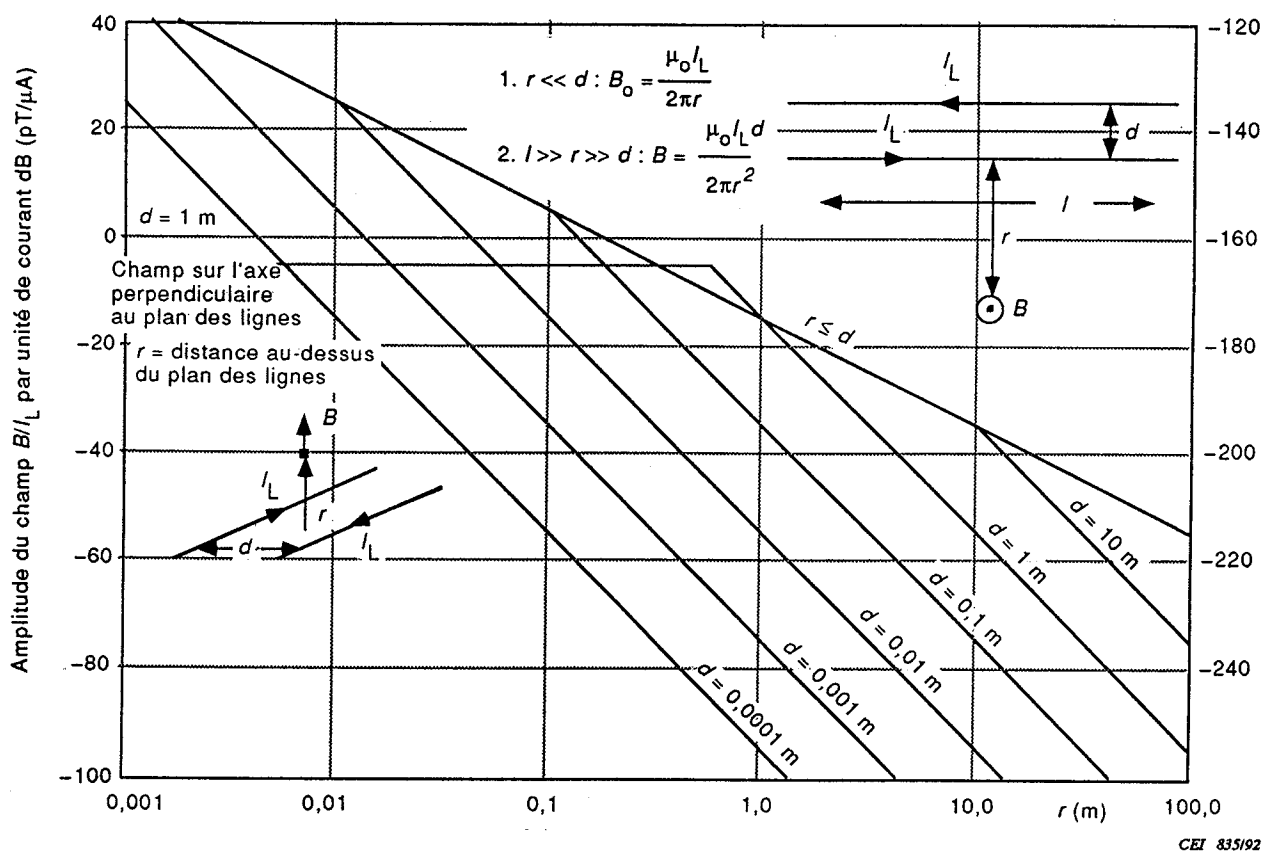


Figure 7 – Amplitude du champ magnétique produite par des conducteurs parallèles

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.

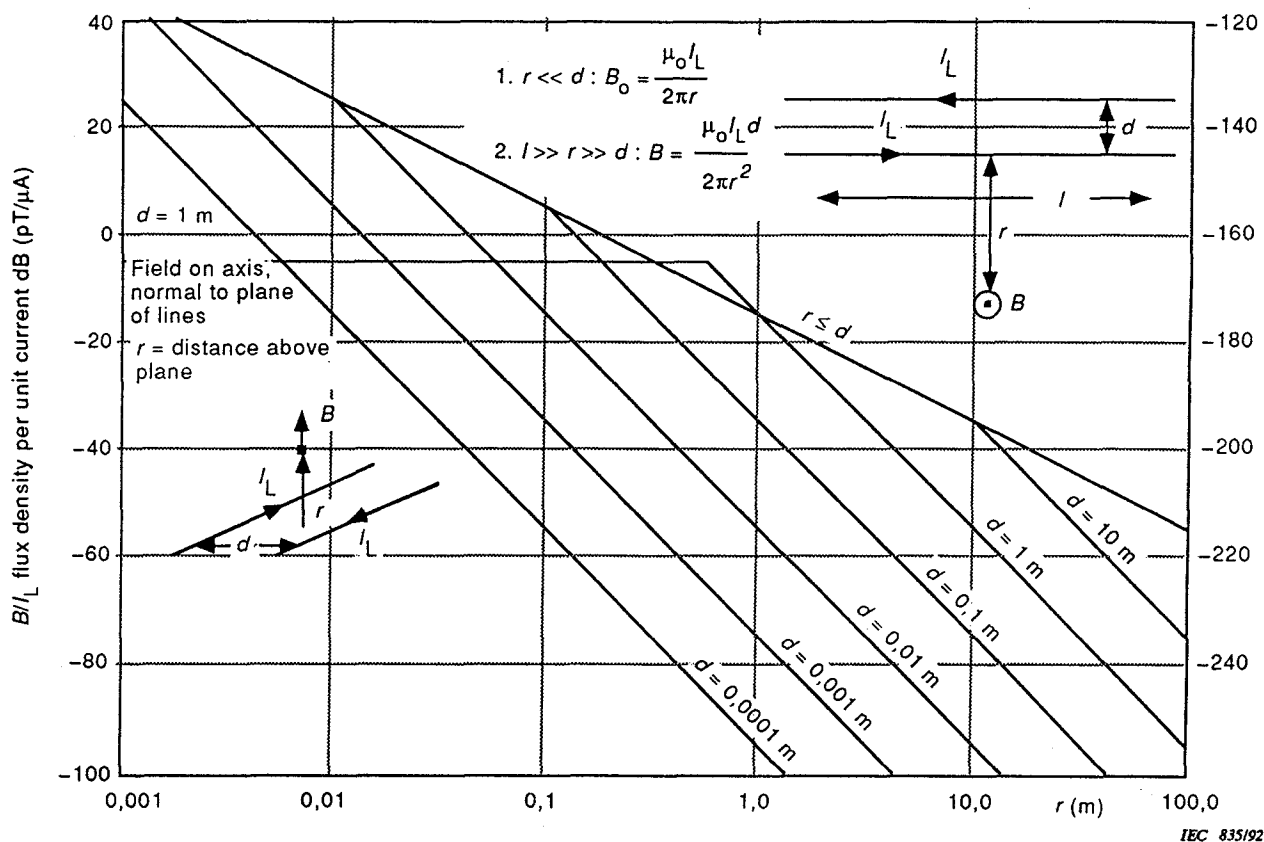


Figure 7 – Flux density from parallel conductors

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.

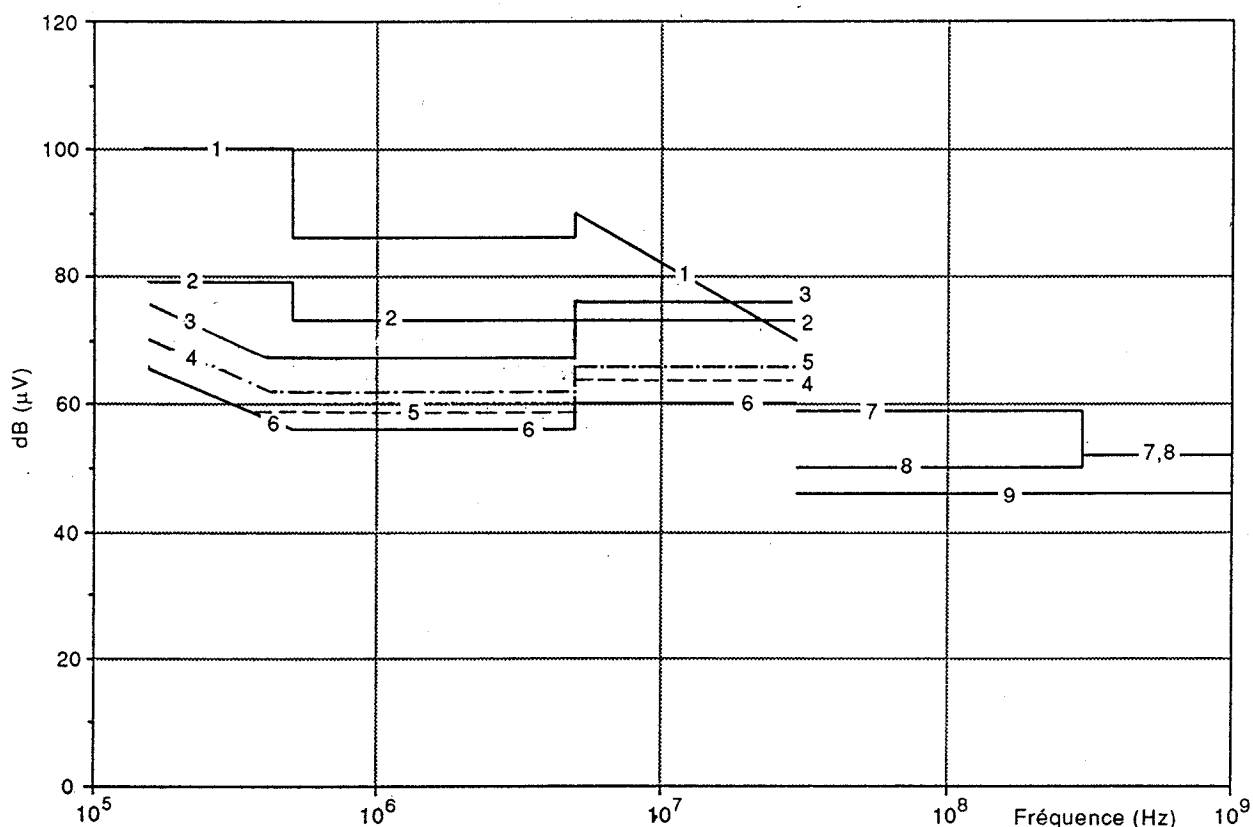
4.6 *Environment implied by invoking of standard limits*

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

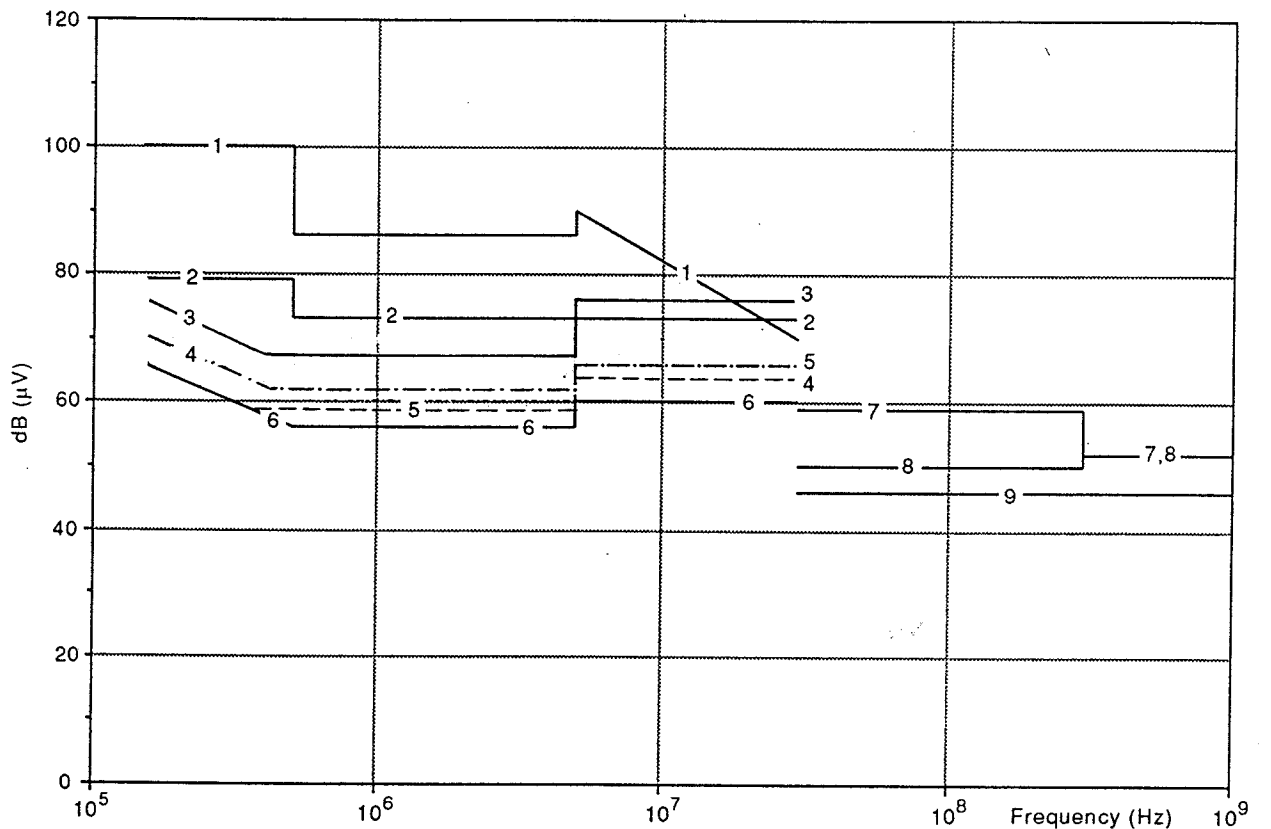
- 1) Appareils ISM du groupe 2, classe A, quasi-crête
- 2) Appareils ISM du groupe 1, classe A, quasi-crête, et ATI, classe A, quasi-crête
- 3) Outils portatifs (1 000 W à 2 000 W)
- 4) Outils portatifs (700 W à 1 000 W)
- 5) Outils portatifs (<700 W)
- 6) Appareils ISM de classe B, quasi-crête, et ATI, 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.



IEC 836/92

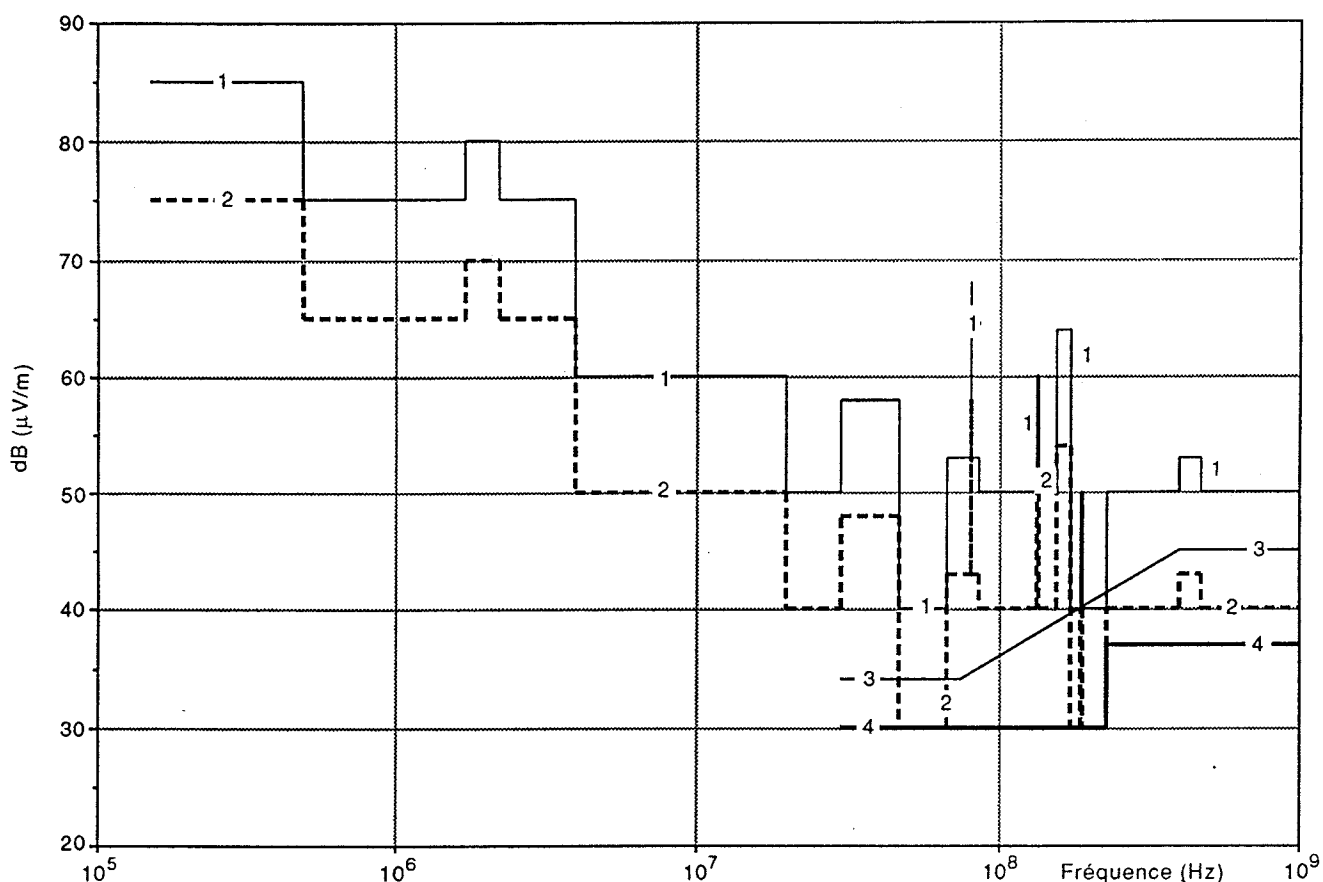
- 1) Group 2 ISM equipment, class A, quasi-peak
- 2) Group 1 ISM equipment, class A, quasi-peak, and ITE, class A, quasi-peak
- 3) Portable tools (1 000 W to 2 000 W)
- 4) Portable tools (700 W to 1 000 W)
- 5) Portable tools (<700 W)
- 6) Class B ISM equipment, quasi-peak, and ITE, class B, quasi-peak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

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)