

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

61000-5-2

Première édition
First edition
1997-11

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

**Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation –
Section 2: Mise à la terre et câblage**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

**Part 5: Installation and mitigation guidelines –
Section 2: Earthing and cabling**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61000-5-2:1997

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant des amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue 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**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

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.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from the 1st January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

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**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

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.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 3**

**CEI
IEC**

**TECHNICAL
REPORT – TYPE 3**

61000-5-2

Première édition
First edition
1997-11

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

**Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation –
Section 2: Mise à la terre et câblage**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

**Part 5: Installation and mitigation guidelines –
Section 2: Earthing and cabling**

© IEC 1997 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX XB
PRICE CODE

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
INTRODUCTION	12
Articles	
1 Domaine d'application	16
2 Documents de référence	16
3 Définitions.....	16
4 Considérations générales de CEM sur l'implantation des réseaux de terre et des câblages.....	22
4.1 Généralités.....	22
4.2 CEM et prescriptions de sécurité (isolement) de l'installation.....	24
4.3 Accès des matériels et installations	24
5 Mise à la terre et mise au même potentiel	24
5.1 Prescriptions concernant la sécurité	24
5.2 Prescriptions concernant la CEM	26
5.3 Conception du système de terre.....	28
6 Mise au même potentiel	40
6.1 Généralités.....	40
6.2 Conducteurs de mise au même potentiel	42
6.3 Connexions	44
6.4 Mise au même potentiel de matériels spécifiques.....	46
6.5 Procédures destinées aux utilisateurs.....	48
7 Câbles et fils.....	50
7.1 Généralités.....	50
7.2 Circuit de mode différentiel et de mode commun, impédance de transfert Z_t	52
7.3 Règles de CEM pour l'implantation des câbles et des fils	56
7.4 Types de câbles et leur utilisation dans le contexte de la CEM	60
7.5 Types de conducteurs de terre parallèles (PEC).....	62
7.6 Raccordement et mise à la terre des câbles et des conducteurs de terre parallèles	68
7.7 Topologie générale du câblage	70
7.8 Faisceaux de câbles.....	76
7.9 Câbles alimentant des accès de puissance	78
7.10 Câbles alimentant des accès de type signal ou contrôle	80
8 Autres méthodes d'atténuation des perturbations.....	86
8.1 Ferrite de mode commun.....	86
8.2 Séparation électrique.....	88
9 Méthodes de mesure et d'essai	92
9.1 Mise et à la terre et mise au même potentiel.....	92
9.2 Câbles et installation	94

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
INTRODUCTION	13
Clause	
1 Scope	17
2 Reference documents	17
3 Definitions.....	17
4 General EMC considerations on installation of earthing and cabling systems	23
4.1 General	23
4.2 EMC and safety (insulation) installation requirements.....	25
4.3 Equipment and installation ports	25
5 Earthing and bonding	25
5.1 Requirements concerning safety	25
5.2 Requirements concerning EMC.....	27
5.3 Design of the earthing system.....	29
6 Bonding	41
6.1 General	41
6.2 Bonding straps	43
6.3 Connections	45
6.4 Bonding of specific equipment	47
6.5 Procedures for users	49
7 Cables and wires	51
7.1 General	51
7.2 Differential and common mode circuit, transfer impedance Z_t	53
7.3 Set of EMC rules for cable and wire installation.....	57
7.4 Types of cables and their use with regard to EMC	61
7.5 Types of parallel-earthing conductor (PEC).....	63
7.6 Connecting and earthing of cables and parallel earthed conductors.....	69
7.7 General routing of cables.....	71
7.8 Cable bundles	77
7.9 Cables serving power ports.....	79
7.10 Cables serving signal and control ports.....	81
8 Additional interference mitigation methods	87
8.1 Common-mode ferrite choke.....	87
8.2 Electrical separation	89
9 Measuring and testing methods.....	93
9.1 Earthing and bonding.....	93
9.2 Cables and installation.....	95

Figures

1	Démonstration de l'erreur du concept "d'équipotentialité" considéré comme une règle générale	26
2	Schéma d'une prise de terre typique.....	30
3	Mauvaise conception de prises de terre "spécialisées", "indépendantes" ou "isolées" .	30
4	Concept de prise de terre unique.....	32
5	Configuration recommandée pour les prises de terre et le réseau de terre	32
6	Boucles faisant intervenir des lignes de signaux et un réseau de terre	34
7	Schéma tridimensionnel de l'approche recommandée pour le réseau de terre.....	36
8	Principes généraux de connexion des parties conductrices de différents appareils ou systèmes au réseau de terre	38
9	Représentation simplifiée d'un conducteur de mise au même potentiel	40
10	Représentation plus réaliste d'un conducteur de mise au même potentiel	42
11	Conducteurs de mise au même potentiel typiques	44
12	Inductance relative de conducteurs plats et ronds.....	44
13	Inductance relative de connexions de mise au même potentiel rondes, plates et doubles.....	44
14	Exemple de mise au même potentiel constituant une connexion protégée amovible ...	46
15	Exemple de mise au même potentiel optimale d'un câble blindé	48
16	Schéma de bâtis interconnectés par des liaisons de terre et des lignes de signaux	48
17	Circuit de mode commun et circuit de mode différentiel	52
18	Effet de la configuration d'un conducteur de terre parallèle sur l'impédance de transfert	62
19	Fentes dans un conduit ou un chemin de câbles.....	64
20	Disposition recommandée des embranchements d'un chemin de câbles	66
21	Position recommandée pour les câbles, parallèlement à une poutre en H, du point de vue de la CEM	66
22	Traversée d'une paroi par un câble blindé	68
23	Chemin de câbles cloisonné.....	74
24	Exemple de superposition de conduits ou chemins de câbles	74
25	Topologie des circuits avec interrupteurs.....	80
26	Connexion à éviter pour le raccordement d'un câble coaxial	84
27	Utilisations typiques de ferrites de mode commun	86
28	Limites de l'efficacité d'un transformateur d'isolement	90
29	Couplage parasite en haute fréquence	92

Figures

1	Demonstration of the fallacy of the “equipotentiality” concept as a universal rule	27
2	Schematic plan view of a typical earth electrode	31
3	Misconception of “dedicated”, “independent”, or “isolated” earth electrodes	31
4	The concept of a single earth electrode	33
5	Recommended configuration for the earth electrodes and earthing network	33
6	Loops involving signal cables and earthing network	35
7	A three-dimensional schematic of the recommended approach for the earthing network	37
8	General principles for bonding of various apparatus or systems to the earthing network.....	39
9	Simplified representation of a bonding strap	41
10	A more realistic representation of an installed bonding strap.....	43
11	Typical bonding straps	45
12	Relative inductance of flat and round conductors	45
13	Relative inductance of round, flat and double bonding straps	45
14	Example of protected removable connection of a bonding strap	47
15	Example of optimal bonding of a shielded cable to the enclosure	49
16	Schematic of interconnected chassis.....	49
17	Differential mode and common mode circuits with bonding strips and signal cables ...	53
18	Effect of the configuration of a parallel-earthing conductor on the transfer impedance.....	63
19	Slits in conduits and cable trays	65
20	Recommended configuration for cable trays with branches	67
21	Recommended cable positions parallel to an H-shaped beam from the EMC point of view	67
22	Penetration of a shielded cable through an enclosure wall	69
23	Tray with partition.....	75
24	Example of stacking for conduits or trays	75
25	Topology of circuits containing switches	81
26	Undesirable connection of a coaxial cable	85
27	Typical implementations of common-mode ferrite chokes	87
28	Limitations in the effectiveness of an isolation transformer	91
29	Parasitic coupling at high frequencies.....	93

Annexes

A – Exemples de systèmes de terre et d'implantation des câbles	96
B – Application de la théorie des câbles en vue d'améliorer la CEM	108
C – Avantages procurés par des conducteurs supplémentaires placés parallèlement à un câble	124
D – Bibliographie	134

Figures en annexe

A.1 – Exemple de configuration d'un réseau de terre hybride	98
A.2 – Enceinte CEM servant à protéger des dispositifs électroniques sensibles	100
A.3 – Système de terre pour un entraînement à convertisseur et équipement électronique associé	102
A.4 – Système de terre d'un réseau électrique comprenant des dispositifs électroniques ..	102
A.5 – Disposition initiale des câbles d'alimentation et de commande	104
A.6 – Conception améliorée du raccordement des blindages	106
B.1 – Transmission asymétrique de signaux	108
B.2 – Comportement de Z'_t en fonction de la fréquence, pour les configurations de câbles coaxiaux	110
B.3 – Système de transmission asymétrique, mis à la terre à l'une de ses extrémités	112
B.4 – Système de transmission symétrique	112
B.5 – Circuits des courants dans un câble coaxial	114
B.6 – Tension de mode différentiel induite par un champ magnétique dans un câble coaxial à écran tressé	116
B.7 – Courants dans le conducteur externe d'un câble coaxial	118
B.8 – Câble bifilaire perturbé par un fil voisin, à la tension U_{ext}	122
C.1 – Câbles coaxiaux avec conducteurs de terre parallèles	124
C.2 – Câble coaxial avec deux conducteurs externes	126
C.3 – Impédances de transfert dans une paire blindée équilibrée	128
C.4 – Exemple de la variation de l'impédance de transfert en fonction de la fréquence	130
C.5 – Inductance mutuelle et champ magnétique pour un conduit ou chemin de câbles	130
C.6 – Couvercles isolés placés sur un conduit	132

	Page
Annexes	
A – Examples of earthing systems and cable implementation	97
B – Applying cable theory to enhance EMC	109
C – Benefits of additional conductors parallel to a cable	125
D – Bibliography	135
Annex figures	
A.1 – Example of topology for a hybrid earthing system.....	99
A.2 – EMC cabinet for the protection of sensitive electronics.....	101
A.3 – Earthing system for a drive with converter and associated electronics	103
A.4 – Earthing configuration for a power supply system with associated electronics	103
A.5 – Initial arrangement of the power and control cables.....	105
A.6 – Improved design with appropriate shield connections	107
B.1 – Unbalanced transport of signals.....	109
B.2 – Behaviour of Z'_l as function of frequency for several coaxial cable configurations ...	111
B.3 – Unbalanced transmission system connected to earth at one end	113
B.4 – Balanced transmission system	113
B.5 – Current paths in a coaxial cable	115
B.6 – Differential-mode voltage induced by a magnetic field in a cable with braided shield	117
B.7 – Currents in the outer conductor of a coaxial cable	119
B.8 – A two-lead cable perturbed by a nearby lead at the voltage U_{ext}	123
C.1 – Coaxial cables with parallel-earthing conductors	125
C.2 – A coaxial cable with two outer conductors	127
C.3 – Transfer impedances in a shielded balanced pair	129
C.4 – Example of transfer impedance for an aluminum conduit as a function of frequency	131
C.5 – Mutual inductance and magnetic field for a conduit or cable tray	131
C.6 – Insulated covers over a conduit	133

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 5: Installation and mitigation guidelines –
Section 2: Earthing and cabling**

FOREWORD

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

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

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

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

La CEI 61000-5-2, rapport technique de type 3, a été établie par le sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électro-magnétique.

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

Projet de comité	Rapport de vote
77B/168/CDV	77B/183/RVC

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

IEC 61000-5-2, which is a technical report of type 3, has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

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

Committee draft	Report on voting
77B/168/CDV	77B/183/RVC

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

INTRODUCTION

La CEI 61000-5 fait partie de la série des normes 61000 de la CEI, selon la répartition suivante:

- Partie 1: Généralités
 - Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)
 - Définitions, terminologies
- Partie 2: Environnement
 - Description de l'environnement
 - Classification de l'environnement
 - Niveaux de compatibilité
- Partie 3: Limites
 - Limites d'émission
 - Limite d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas des comités de produits)
- Partie 4: Techniques d'essai et de mesure
 - Techniques de mesure
 - Techniques d'essai
- Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation
 - Guide d'installation
 - Méthodes et dispositifs d'installation
- Partie 6: Normes génériques
- Partie 9: Divers

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

Ces sections de la CEI 61000-5 seront publiées chronologiquement et numérotées en conséquence.

Les recommandations présentées dans le présent rapport technique portent sur les aspects de l'installation liés à la CEM, et non sur la sécurité de cette installation ou sur l'efficacité du transport de l'électricité au sein de cette installation. Ces deux objectifs essentiels sont néanmoins pris en considération dans les recommandations concernant la CEM. Ils peuvent être atteints parallèlement aux objectifs d'amélioration de la CEM d'appareils ou de systèmes sensibles, sans entraîner de conflit. Pour cela, il s'agit d'appliquer les pratiques recommandées dans le présent rapport technique, d'une part, et les prescriptions de sécurité appropriées, celles figurant dans la CEI 60364, par exemple, d'autre part. Chaque installation étant unique, c'est au concepteur qu'il incombe de choisir les recommandations les mieux appropriées à une installation particulière, et de s'assurer de la mise en oeuvre de ces recommandations par l'installateur.

INTRODUCTION

IEC 61000-5 is part of the IEC 61000 series, according to the following structure:

- Part 1: General
 - General considerations (introduction, fundamental principles)
 - Definitions, terminology
- Part 2: Environment
 - Description of the environment
 - Classification of the environment
 - Compatibility levels
- Part 3: Limits
 - Emission limits
 - Immunity limits (insofar 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 6: Generic standards
- Part 9: Miscellaneous

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

These sections of IEC 61000-5 will be published in chronological order and numbered accordingly.

The recommendations presented in this technical report address the EMC concerns of the installation, not the safety aspects of the installation nor the efficient transportation of power within the installation. Nevertheless, these two prime objectives are taken into consideration in the recommendations concerning EMC. These two primary objectives can be implemented concurrently for enhanced EMC of the installed sensitive apparatus or systems without conflict by applying the recommended practices presented in this technical report and the relevant safety requirements such as those of IEC 60364. As each installation is unique, it is the responsibility of the designer to select the relevant recommendations most appropriate to a particular installation, with corresponding implementation by the installer.

Il importe de noter que les recommandations présentées dans le présent rapport technique ne visent pas à interdire les pratiques d'installation existantes lorsque celles-ci ont fait leurs preuves. En effet, il n'est pas forcément nécessaire d'adopter des méthodes d'atténuation spéciales lorsque les équipements considérés respectent les normes d'émission et d'immunité appropriées. Plus particulièrement, certaines pratiques d'installation, telles que le “réseau en étoile” ou le “réseau de masse isolé”, abordent certes la CEM de façon différente, mais s'avèrent satisfaisantes en relation à des installations spécifiques lorsqu'elles font l'objet d'une application correcte et du maintien de la topologie par des spécialistes compétents. L'approche recommandée dans le présent document est néanmoins plus généralement applicable à tous les types d'ouvrages, en particulier lorsque des signaux sont échangés entre différents appareils.

Les articles 1 à 3 présentent des informations générales communes aux documents de la série CEI 61000 sur la CEM.

L'article 4 constitue un aperçu général et une introduction à l'approche globale concernant l'application des concepts de la CEM à la conception des installations.

L'article 5 expose des recommandations relatives à la conception et à la mise en oeuvre des systèmes de terre, y compris la prise de terre et le réseau de terre.

L'article 6 présente des informations de base sur la conception et la réalisation de la liaison d'appareils ou de systèmes à la terre ou au réseau de terre.

L'article 7 contient des recommandations sur le choix et les pratiques d'implantation et de raccordement des câbles utilisés pour l'alimentation électrique basse tension en courant alternatif ou continu, pour les signaux d'entrée et de sortie desservant des installations de contrôle et de commande, ainsi que pour les signaux utilisés pour d'autres formes de communication à l'intérieur des bâtiments.

L'article 8 fournit des informations sur les techniques d'atténuation liées à ces recommandations.

L'article 9 présente des informations sur les méthodes de vérification et d'essai.

Les annexes informatives contiennent des informations sur les concepts de base, et notamment des sources bibliographiques d'où ont été tirées les recommandations du présent rapport technique.

It is important to note that the recommendations presented in this technical report do not seek to preclude existing installation practices, when they have been shown to perform satisfactorily. Special mitigation methods might not be necessary when the equipment satisfy applicable emissions and immunity standards. In particular, some installation practices such as a "Star Network" or "Isolated Bonding Network" for earthing are based on different approaches to EMC that have been found satisfactory for specific installations when correctly applied and the **topology maintained** by competent specialists. Nevertheless, the approach recommended here is more generally applicable to all types of facilities, especially when signals are exchanged between different apparatus.

Clauses 1-3 provide the usual general information of the IEC 61000 documents on EMC.

Clause 4 provides an overview and introduction of the general approach to applying EMC concepts in the design of installations.

Clause 5 provides recommendations on the design and implementation of the earthing system, including the earth electrode and the earthing network.

Clause 6 provides basic information on the design and implementation of bonding for apparatus or systems to earth or to the earthing network.

Clause 7 provides recommendations on the selection, erection, and connection practices for cables used for low-voltage a.c. and d.c. power supply, for input and output signals serving control and command, as well as those used for other communications within the premises.

Clause 8 provides information on related mitigation techniques.

Clause 9 provides information on verification and test methods.

Informative annexes provide information on the supporting concepts, including bibliographic citations, from which the recommendations of this technical report have been drawn.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique (type 3) présente des recommandations concernant la mise à la terre et le câblage des systèmes et installations électriques et électroniques, destinées à garantir la compatibilité électromagnétique (CEM) entre les appareils ou systèmes électriques et électroniques. Il porte plus particulièrement sur les pratiques de mise à la terre et sur les câbles utilisés dans des environnements industriels, commerciaux et résidentiels. Ce rapport technique est destiné à être utilisé par les installateurs et les utilisateurs et, dans une certaine mesure, par les fabricants d'installations et de systèmes électriques ou électroniques sensibles, ainsi que d'équipements présentant des niveaux élevés d'émission susceptibles de dégrader l'environnement électromagnétique (EM) en général. Il s'applique principalement aux installations nouvelles. Cependant, lorsque les conditions économiques le permettent, il peut également être appliqué en cas de travaux d'extension ou de modification d'ouvrages existants.

2 Documents de référence

CEI 60050(161):1990, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 60050(826):1982, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 826: Installations électriques des bâtiments*

Amendement 1: 1990

Amendement 2: 1995

CEI 61000-2-5: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 5: Classification des environnements électromagnétiques. Publication fondamentale en CEM.*

CEI 61000-5-1:1996, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 1: Considérations générales. Publication fondamentale en CEM.*

CEI 61024-1:1990, *Protection des structures contre la foudre – Partie 1: Principes généraux*

ISO/CEI 11801:1995, *Technologies de l'information – Câblage générique des locaux d'utilisateurs*

Il convient de noter que d'autres documents sont énumérés dans la bibliographie reprise à l'annexe informative D. Cette bibliographie comprend d'autres documents utilisés lors de l'élaboration du présent rapport, ainsi que des documents cités à l'appui d'une recommandation et des documents suggérés comme source complémentaire d'information.

3 Définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les définitions de la CEI 60050(161) et de la CEI 60050(826) s'appliquent, ainsi que les définitions ci-dessous.

Une liste des abréviations est fournie à la fin de cet article.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 5: Installation and mitigation guidelines –

Section 2: Earthing and cabling

1 Scope

This technical report (type 3) covers guidelines for the earthing and cabling of electrical and electronic systems and installations aimed at ensuring electromagnetic compatibility (EMC) among electrical and electronic apparatus or systems. More particularly, it is concerned with earthing practices and with cables used in industrial, commercial, and residential installations. This technical report is intended for use by installers and users, and to some extent, manufacturers of sensitive electrical or electronic installations and systems, and equipment with high emission levels that could degrade the overall electromagnetic (EM) environment. It applies primarily to new installations, but where economically feasible, it may be applied to extensions or modifications to existing facilities.

2 Reference documents

IEC 60050(161):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60050(826):1982, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 826: Electrical installations of buildings*

Amendment 1: 1990

Amendment 2: 1995

IEC 61000-2-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 5: Classification of electromagnetic environments – Basic EMC publication*

IEC 61000-5-1:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 1: General considerations – Basic EMC publication*

IEC 61024-1:1990, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles*

ISO/IEC 11801:1995, *Information technology – Generic cabling for customer premises*

Note that other documents are listed in the Bibliography in informative annex D. This bibliographic listing includes documents that were used in developing the present report, documents cited in support of a recommendation, and documents suggested as further reading for complementary information.

3 Definitions

For the purposes of this technical report, the definitions given in IEC 60050(161) and IEC 60050(826) apply, as well as the definitions listed below.

A list of acronyms is provided at the end of this clause.

3.1

mise au même potentiel

action de relier ensemble des parties conductrices accessibles et les parties conductrices externes d'appareils, systèmes ou installations qui sont au même potentiel [nouveau, GT2]

NOTE – Pour des raisons de sécurité, une liaison équipotentielle implique généralement (mais pas nécessairement) une connexion à l'installation de mise à la terre la plus proche.

3.2

tension en mode commun

moyenne des phaseurs qui représentent les tensions entre chaque conducteur et une référence arbitraire, généralement la terre ou la masse [VEI 161-04-09]

3.3

conversion du mode commun

production d'une tension en mode différentiel en réponse à une tension en mode commun [VEI 161-04-10]

3.4

circuit de mode commun

ensemble de la boucle de courant ou du circuit fermé parcouru par le courant de mode commun; comprend le câble, l'appareil, et les parties adjacentes du réseau de terre [nouveau, GT2]

3.5

tension en mode différentiel

tension entre deux conducteurs donnés d'un ensemble de conducteurs [VEI 161-04-08]

3.6

circuit de mode différentiel

ensemble de la boucle de courant ou du circuit fermé destiné à conduire un signal ou de l'énergie; il comprend un câble et l'appareil qui y est relié aux deux extrémités [nouveau, GT2]

NOTE – Les termes "mode normal" et "mode série" sont parfois utilisés à la place du terme "mode différentiel".

3.7

niveau de perturbation (électromagnétique)

niveau d'une perturbation électromagnétique existant à un endroit donné et résultant de la contribution de toutes les autres sources de perturbation [VEI 161-03-29]

3.8

liaison équipotentielle

liaison électrique mettant au même potentiel, ou à des potentiels voisins, des masses et des éléments conducteurs [VEI 826-04-09]

3.9

terre

masse conductrice de la terre, dont le potentiel électrique en chaque point est pris, par convention, égal à zéro [VEI 826-04-01]

3.10

prise de terre

corps conducteur, ou ensemble de corps conducteurs en contact intime avec le sol et assurant une liaison électrique avec celui-ci [VEI 826-04-02]

3.1**bonding**

the act of connecting together exposed conductive parts and extraneous conductive parts of apparatus, systems, or installations that are at essentially the same potential [new WG2]

NOTE – For safety purposes, bonding generally involves (but not necessarily) a connection to the immediately adjacent earthing system.

3.2**common mode voltage**

the mean of the phasor voltages appearing between each conductor and a specified reference, usually earth or frame [IEV 161-04-09]

3.3**common mode conversion**

the process by which a differential mode voltage is produced in response to a common mode voltage [IEV 161-04-10]

3.4**common mode circuit**

the full current loop or closed circuit for the CM current, including the cable, the apparatus, and the nearby parts of the earthing system [new WG2]

3.5**differential mode voltage**

the voltage between any two of a specified set of active conductors [IEV 161-04-08]

3.6**differential mode circuit**

the full current loop or closed circuit for the intended signal or power, including a cable and the apparatus connected to it at both ends [new WG2]

NOTE – Instead of “differential mode”, the terms “normal mode” and “serial mode” are sometimes used.

3.7**(electromagnetic) disturbance level**

the level of an electromagnetic disturbance existing at a given location, which results from all contributing disturbance sources [IEV 161-03-29]

3.8**equipotential bonding**

electrical connection putting various exposed conductive parts and extraneous conductive parts at a substantially equal potential [IEV 826-04-09]

3.9**earth; ground (USA)**

the conductive mass of the earth, whose electric potential at any point is conventionally taken as equal to zero [IEV 826-04-01]

3.10**earth electrode**

a conductive part or a group of conductive parts in intimate contact with and providing an electrical connection with earth [IEV 826-04-02]

3.11

réseau de terre

ensemble des conducteurs du système de terre, non en contact avec le sol, connectant les appareils, systèmes ou installations à la prise de terre ou à d'autres moyens de mise à la terre [nouveau, GT2]

3.12

mise à la terre

action de relier des parties métalliques accessibles (masses) ou d'autres conducteurs d'appareils, systèmes ou installations à la prise de terre ou à l'installation de mise à la terre [nouveau, GT2]

3.13

système de terre

circuit électrique tridimensionnel qui réalise la mise à la terre [nouveau, GT2]

NOTE – Le système de terre comprend deux parties: la prise de terre et le réseau de terre.

3.14

prises de terre électriquement distinctes (prises de terre indépendantes)

prises de terre suffisamment éloignées les unes des autres pour que le courant maximal susceptible d'être écoulé par l'une d'entre elles ne modifie pas sensiblement le potentiel des autres [VEI 826-04-04]

3.15

niveau de compatibilité (électromagnétique)

niveau de perturbation électromagnétique utilisé comme niveau de référence pour assurer la coordination de l'établissement des limites d'émission et d'immunité [VEI 161-03-10]

3.16

ouvrage

quelque chose (comme un hôpital, une usine, une machine...) qui est construit, installé ou destiné à effectuer une fonction particulière ou à servir ou atteindre un but particulier [nouveau, GT2]

3.17

marge d'immunité

rapport de la limite d'immunité au niveau de compatibilité électromagnétique [VEI 161-03-16]

3.18

niveau d'immunité

niveau maximal d'une perturbation électromagnétique de forme donnée, agissant sur un dispositif, un appareil ou un système particulier d'une manière spécifiée, de manière à n'engendrer aucune dégradation du fonctionnement [VEI 161-03-14]

3.19

conducteur de terre parallèle (PEC)

conducteur généralement placé le long du câblage afin de constituer une connexion à faible impédance entre les systèmes de terres situés aux extrémités du câblage [nouveau, GT2]

3.20

accès

interface particulière de l'appareil spécifié avec l'environnement électromagnétique extérieur

3.11**earthing network**

conductors of the earthing system, not in contact with the soil, connecting apparatus, systems, or installations to the earth electrode or to other means of earthing [new WG2]

3.12**earthing**

the act of connecting exposed conductive parts of apparatus, systems or installations to the earth electrode or other elements of the earthing system [new WG2]

3.13**earthing system**

the three-dimensional electrical circuit which performs the earthing [new WG2]

NOTE – The earthing system includes two parts: the earth electrode and the earthing network.

3.14**electrically independent earth electrodes**

earth electrodes located at such a distance from one another that the maximum current likely to traverse one of them does not significantly affect the potential of the others [IEV 826-04-04]

3.15**(electromagnetic) compatibility level**

the specified electromagnetic disturbance level used as a reference level for co-ordination in the setting of emission and immunity limits [IEV 161-03-10]

3.16**facility**

something (as a hospital, factory, machinery...) that is built, constructed, installed or established to perform some particular function or to serve or facilitate some particular end [new WG2]

3.17**immunity margin**

the ratio of the immunity limit to the electromagnetic compatibility level [IEV 161-03-16]

3.18**immunity level**

the maximum level of a given electromagnetic disturbance, incident in a specified way on a particular device, equipment or system, at which no degradation of operation occurs [IEV 161-03-14]

3.19**parallel-earthing conductor (PEC)**

a conductor usually laid along the cable route to provide a low-impedance connection between the earthing arrangements at the ends of the cable route [new WG2]

3.20**port**

specific interface of the specified apparatus with the external electromagnetic environment

3.21**impédance linéique de transfert (d'une ligne coaxiale)**

quotient de la tension induite par unité de longueur, dans le conducteur central d'une ligne coaxiale, par le courant dans le conducteur extérieur [VEI 161-04-15]

3.22**impédance de transfert (Z_t)**

rapport de la tension couplée sur un circuit au courant apparaissant dans un autre circuit ou une autre partie du même circuit [nouveau, GT2]

NOTE 1 – Pour les besoins du présent rapport technique, les circuits distincts peuvent être des câbles séparés, mais proches, ou bien les mêmes câbles fonctionnant dans modes différents.

NOTE 2 – Le câble lui-même et l'appareil sont la source de différentes contributions localisées.

3.23**abréviations**

BF	basse fréquence	HF	haute fréquence
c.a.	courant alternatif	MI	mode intermédiaire
c.c.	courant continu	MC	mode commun
CEM	compatibilité électromagnétique	MD	mode différentiel
EM	électromagnétique	PEC	conducteur de terre parallèle
		TP	terre de protection

4 Considérations générales de CEM sur l'implantation des réseaux de terre et des câblages

4.1 Généralités

Il existe différents types de normes définissant des conditions de respect des prescriptions de compatibilité électromagnétique applicables aux produits électriques et électroniques, qui vont des normes fondamentales aux normes de produits spécifiques. Cependant, ces documents ne sont pas forcément suffisants ou appropriés lorsqu'il s'agit de la CEM appliquée aux installations sensibles. Il importe donc d'établir des recommandations d'installations adaptées au plus grand nombre possible de situations. On peut éventuellement se passer de méthodes d'atténuation lorsque l'équipement concerné possède lui-même un ou des niveaux d'immunité suffisants.

En ce qui concerne la CEM, trois grands ensembles peuvent être pris en considération:

- les sources: sources des perturbations, influencées par la conception de l'appareil;
- les vecteurs de couplage: influencés par les pratiques d'installation;
- les récepteurs: victimes potentielles, influencées par la conception de l'appareil.

Selon les besoins, il convient de mettre en oeuvre trois types de mesures pour garantir la CEM:

- au niveau de la source des perturbations: réduction des émissions;
- au niveau du couplage: réduction du couplage;
- au niveau du récepteur: amélioration de l'immunité.

Le présent rapport technique porte principalement sur l'atténuation qui peut être obtenue par la réduction du couplage grâce à des pratiques appropriées quant à la réalisation du système de terre et de la mise à la terre, ainsi que par le choix et l'installation des différents câbles utilisés dans les ouvrages envisagés.

3.21**surface transfer impedance (of a coaxial line)**

the quotient of the voltage induced in the centre conductor of a coaxial line per unit length by the current on the external surface of the coaxial line [IEV 161-04-15]

3.22**transfer impedance (Z_t)**

the ratio of the voltage coupled into one circuit to the current appearing in another circuit or another part of the same circuit [New WG2]

NOTE 1 – For the purposes of this technical report, the separate circuits may be physically separated but closely spaced cables, or the same cables operating in different modes.

NOTE 2 – Different localized contributions stem from the cable proper and from the apparatus.

3.23**acronyms**

a.c.	alternating current	HF	high frequency
CM	common mode	IM	intermediate mode
d.c.	direct current	LF	low frequency
DM	differential mode	PE	protective earth
EM	electromagnetic	PEC	parallel-earthing conductor
EMC	electromagnetic compatibility		

4 General EMC considerations on installation of earthing and cabling systems**4.1 General**

Different types of standards are available to define conditions for compliance with EMC requirements for electrical and electronic products, ranging from basic standards to dedicated product standards. However, these standards might not be sufficient, or appropriate, when EMC for sensitive installations is concerned. Therefore, installation guidelines are necessary to adapt to a maximum of situations. Mitigation methods might not be necessary when the equipment themselves have sufficiently high immunity levels.

Three main areas can be considered with regard to EMC:

- emitters: the source of the disturbances, influenced by the apparatus design;
- coupling paths: influenced by installation practices;
- susceptors: the potential victims, influenced by the apparatus design.

In order to assure EMC, three types of steps should be applied as necessary:

- at the source of disturbances: reduction of emissions;
- at the coupling: reduction of coupling;
- at the victim: increase of immunity.

This technical report addresses principally the mitigation achievable by reduction of the coupling through appropriate practices on the implementation of earthing and bonding, and the selection and installation of the various cables used in the facility.

4.2 CEM et prescriptions de sécurité (isolement) de l'installation

Il convient de noter que la protection relative à la CEM et les prescriptions d'isolement et de sécurité peuvent présenter des aspects communs: la mise à la terre et la protection contre les surtensions et les coups de foudre, par exemple. A cet égard, il importe de garder à l'esprit que les procédures de sécurité destinées à garantir la protection du personnel ont priorité sur les procédures de protection relevant de la CEM. Dans certains cas, on pourrait penser qu'il existe un conflit entre les procédures de sécurité et les procédures de CEM. ***La sécurité doit toujours l'emporter. Dans ces cas, il faut donc rechercher d'autres solutions pour la CEM.***

4.3 Accès des matériels et installations

Il peut être utile de se pencher sur le concept d'accès, présenté dans la CEI 61000-5-1, pour fournir une transition entre, d'une part, le concept général de couplage entre l'environnement et l'appareil et, d'autre part, les aspects spécifiques de la CEM. L'identification de ces accès permet de présenter des mesures de protection spécifiquement liées à la nature du phénomène EM, à son trajet de couplage et à son incidence sur les éléments fonctionnels de l'appareil (immunité) ou sur l'environnement (émissions).

Les documents de la CEI 61000-5 traitent en détail des pratiques d'installation et d'atténuation en tenant compte des accès et des phénomènes CEM qui les affectent. Dans le présent rapport technique, les articles 5 et 6 traitent de l'accès de mise à la terre, et l'article 7 des accès de puissance et de commande.

5 Mise à la terre et mise au même potentiel

5.1 Prescriptions concernant la sécurité

La fonction principale d'un réseau de terre consiste à assurer la sécurité du personnel et la protection des installations contre les sinistres. Deux phénomènes importants doivent être pris en considération: les coups de foudre et les défauts du réseau électrique. En effet, ils peuvent se traduire par la circulation de courants forts, susceptibles de générer des tensions dangereuses dans les structures des installations. Il importe de noter que ces deux phénomènes sont en général extérieurs à ces installations et que la terre (le sol) constitue la seule voie de retour de ces courants à leur source. Dans certains cas, ces courants peuvent également transiter par le conducteur de neutre.

L'amplitude des courants générés par les défauts du réseau électrique et les coups de foudre est comprise entre quelques ampères et quelques dizaines de milliers d'ampères. En ce qui concerne le spectre de fréquence, ces deux phénomènes produisent des signaux dont les fréquences sont comprises entre 50/60 Hz et quelques mégahertz.

Dans ces conditions, le réseau de terre doit constituer un chemin qui permette à ces courants d'atteindre le sol tout en maintenant à un niveau aussi bas que possible les différences de tension entre deux points donnés d'une installation (tension de toucher et tension de pas). Les réglementations nationales spécifient généralement des tensions maximales compatibles avec la sécurité du personnel et prévoient notamment des dispositions pour les pratiques concernant les conducteurs de terre de protection. Cependant, ces conducteurs ne peuvent en général pas satisfaire à eux seuls les exigences de CEM.

4.2 EMC and safety (insulation) installation requirements

Attention is drawn to the fact that EMC protection and insulation/safety requirements can have common aspects, such as earthing and protection against overvoltages and lightning. It is important to bear in mind that the safety aspects procedures for personnel protection take precedence over EMC protection procedures. In some cases, there might be an alleged conflict between safety-related procedures and EMC-related procedures. ***Safety must always prevail, so that in such cases alternate EMC-related measures must be sought.***

4.3 Equipment and installation ports

To provide a transition from the overall concept of coupling between environment and apparatus to the detailed specifics, it is useful to consider the concept of “ports”, as discussed in IEC 61000-5-1. By identifying such ports, protective steps can be specifically related to the nature of the EM phenomenon, its coupling path, and its impact on the functional elements of the apparatus (immunity) or its impact on the environment (emissions).

The IEC 61000-5 documents address in detail the mitigation and installation practices with consideration the ports and the associated EM phenomena. In the present technical report, clauses 5 and 6 deal with the earth port, and clause 7 deals with the power ports and the signal and control ports.

5 Earthing and bonding

5.1 Requirements concerning safety

The primary goal of an earthing system is to assure personnel safety and protection of installations against damage. Two important phenomena are lightning and power system faults. These can cause circulation of large currents, which might create hazardous voltages in installation structures. An important point to be noted is that these two phenomena are external to installations (as a general rule for the power system) and the earth (soil) is the only path for currents to return to the sources. In some countries the neutral conductor is also a path for these currents.

The amplitude of currents is comprised between a few amperes and tens of kiloamperes for power system faults and lightning. From the frequency spectrum viewpoint, these two phenomena produce signals whose frequencies are between 50/60 Hz to several megahertz.

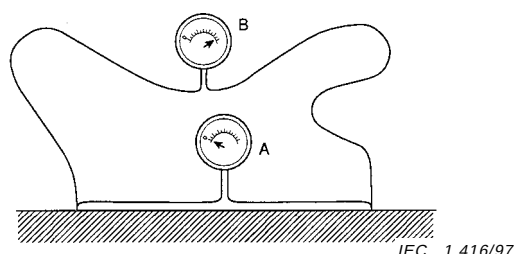
The task of the earthing system, in these conditions, is to be a path to the soil for currents, while maintaining voltage differences between any two points of an installation (touch and step voltages) as low as possible. Generally, national regulations specify maximum voltage values for personnel safety including provision for protective earth (PE) conductor practices. However, these PE conductors alone are generally not sufficient to fulfill the EMC requirements.

Par le passé, on définissait généralement le réseau de terre en fonction du courant de défaut du réseau (Kouteynikoff, 1980 [1]; Kuussaari, 1978 [2]; Lu, 1981 [3])¹. Cette situation a entraîné une conséquence fâcheuse: la résistance de ce circuit est devenue le critère usuel en la matière. Cette approche reste bien correcte pour les phénomènes de fréquence typique 50 Hz ou 60 Hz, mais elle ne convient pas aux phénomènes à haute fréquence, lorsque les phénomènes inductifs peuvent être prédominants dans le circuit. Aujourd'hui, il serait préférable de caractériser le système de terre par son impédance.

5.2 Prescriptions concernant la CEM

La seconde fonction d'un réseau de terre consiste, pour les installations comportant des systèmes électroniques et électriques sensibles et interconnectés, à servir de référence commune de tension et à contribuer à l'atténuation des perturbations.

Comme le montre la figure 1 (cas A), l'objectif attendu d'un système de terre, qui présente, quelle que soit la situation, une référence absolue de tension, ne peut être atteint qu'en théorie. Il arrive que l'on tente de décrire l'objectif idéal d'une différence de zéro volt entre deux points donnés au moyen du terme "équipotentiel". En fait, le concept de potentiel ne peut être appliqué qu'en électricité statique et en courant continu. En pratique, la tension entre deux points donnés est plus grande que zéro du fait de l'induction. Dans le cas B de la figure 1, le chemin parcouru par les fils du voltmètre ajoute ainsi une tension inductive à la tension proche de zéro du cas A. De même, les connexions reliant des équipements séparés par une certaine distance mais exigeant une référence commune, peuvent être acheminées comme dans le cas A ou comme dans le cas B. La tension parasite induite dans la boucle du cas B peut alors produire une différence de potentiel reflétant l'acheminement des câbles. Même lorsque la fréquence est de 50 Hz ou 60 Hz, cette situation se rencontre déjà dans les systèmes de terre. En théorie, la tension de référence ne pourrait se concevoir que mesurée sur un plan étendu, massif et bon conducteur. Cette condition ne serait en outre mesurable que si les fils du voltmètre étaient placés immédiatement sur ce plan de référence. Ce concept sera envisagé plus loin et appliqué à l'article 7.



NOTE – Dans le cas A, les fils du voltmètre sont maintenus à proximité du plan de référence et la différence de tension affichée par le voltmètre est faible. Dans le cas B, le long chemin parcouru par les fils du voltmètre permet l'induction d'une tension d'origine extérieure dans la boucle.

Figure 1 – Démonstration de l'erreur du concept "d'équipotentialité" considéré comme une règle générale, en particulier pour les hautes fréquences

Le système de terre contribue à l'atténuation des perturbations en ceci qu'il constitue, d'une part, le chemin de retour des courants entre une source de perturbations (voir la CEI 61000-2-5 pour une liste et une description des sources) et des appareils ou systèmes électroniques sensibles et, d'autre part, une référence de tension pour les dispositifs de protection (filtres, par exemple). En d'autres termes, les perturbations peuvent être décrites en termes de courants et ce, même en cas de champs rayonnés dans lesquels l'énergie électromagnétique est transformée en courant par les appareils ou systèmes sensibles qui fonctionnent comme des antennes.

En ce qui concerne la CEM, les appareils ou systèmes électroniques modernes sont sensibles à des courants et à des tensions inférieurs de plusieurs ordres de grandeur à ceux pris en considération pour la sécurité du personnel. Il convient de tenir compte de cette différence de point de vue, en particulier dans le cadre de technologies utilisant des signaux à bas niveau

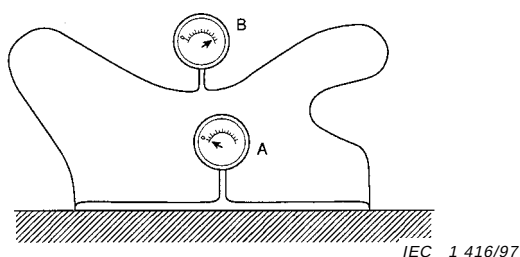
¹ Les chiffres entre crochets renvoient à l'annexe D – Bibliographie.

In the past, the power system fault current was generally used to define the earthing system (Kouteynikoff, 1980 [1]; Kuussaari, 1978 [2]; Lu, 1980 [3])¹. An unfortunate consequence of this situation is the fact that the resistance of this path became the usual criterion. This approach may still be correct for phenomena with a typical frequency of 50 Hz or 60 Hz but is certainly inappropriate for high-frequency aspects, where the inductive phenomena along the path may be predominant. Today, it would be better to characterize the earthing system by its impedance.

5.2 Requirements concerning EMC

The secondary goal of an earthing system is to serve as a common voltage reference and to contribute to the mitigation of disturbances in installations with sensitive and interconnected electronic and electrical systems.

The objective of an earthing system which presents, in all situations, an absolute voltage reference is obtainable only in theory, as shown in figure 1 (case A). Sometimes, an attempt is made to describe the ideal objective of zero volt voltage difference between any two points by the word "equipotential". However, the concept of potential is applicable to static electricity and d.c. only. In practice, induction makes the voltage between any two points greater than zero. In the case B of figure 1, the path followed by the voltmeter leads adds an inductive voltage to the near-zero voltage of case A. Likewise, interconnections between equipment, located some distance away from each other, and depending upon having a common reference, might be routed as in case A or as in case B. The extraneous voltage induced in the loop of case B can then produce a shift in the reference voltages which will depend on the actual routing. Even at 50 Hz or 60 Hz, this situation already exists in earthing systems. In theory, only a large, solid, well-conducting plane could be considered as a voltage reference. This condition would be measurable only if the voltmeter leads were run tightly against the reference plane. This concept will be discussed further and applied in clause 7.



NOTE – In case A, the voltmeter leads are maintained close to the reference plane, and the difference of voltage indicated by the voltmeter is low. In case B, the lengthy path of the voltmeter leads allows induction of an extraneous voltage in the loop.

Figure 1 – Demonstration of the fallacy of the "equipotentiality" concept as a universal rule, especially at high frequency

The earthing system contributes to the mitigation of disturbances by the fact it is the path for return currents, between a source of disturbances (see IEC 61000-2-5 for a list and description of sources) and sensitive electronic apparatus or systems and also a voltage reference for protective devices (filters, etc...). In other words, disturbances may be described in terms of currents, even in the case of radiated fields where the electromagnetic energy is transformed into current by the sensitive apparatus or systems which act as an antenna.

For the EMC aspects, modern electronic apparatus or systems are sensitive to currents and voltages many decades lower than those taken in consideration for personnel safety. This difference of point of view should be recognized, especially for technologies depending on low-level signals.

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

5.3 Conception du système de terre

Les prescriptions mentionnées en 5.1 et 5.2, à savoir la dérivation des courants de défaut à la fréquence industrielle et des courants à haute fréquence, d'une part, et la réduction de la différence de tension entre deux points de l'installation, d'autre part, valent aussi bien pour:

- les coups de foudre;
- la sécurité du personnel;
- la protection de l'installation;
- la CEM.

Chacun de ces quatre domaines à considérer fait peser des contraintes sur la conception:

- les coups de foudre et la sécurité du personnel jouent sur la conception de la prise de terre;
- la sécurité du personnel et la protection de l'installation dictent les dimensions des conducteurs de mise à la terre;
- les exigences en matière de CEM déterminent la topologie du réseau de terre.

5.3.1 Prise de terre

La première étape de la conception de la prise de terre consiste à connaître la résistivité du sol. Celle-ci dépend notamment de la nature et de l'homogénéité du sol, des conditions climatiques, etc. La résistivité du sol varie très fortement en fonction de la nature du sol: de quelques ohm·mètres à 10 000 $\Omega\cdot\text{m}$. Pour plus de détails, voir la bibliographie (annexe D).

Il convient d'adapter la géométrie de la prise de terre à l'importance de l'installation. Une prise de terre de faible importance (un câble ou un piquet, par exemple) ne peut être utilisée que dans le cas d'installations de très petite taille: un local, un appareil ou un système séparé, par exemple.

En général, la meilleure solution concernant la prise de terre des bâtiments ou des usines est constituée par un réseau maillé enterré dans les fondations et autour du bâtiment ou de l'usine en question. Dans les bâtiments anciens, pour lesquels cet objectif est difficile à atteindre, il faudra recourir à d'autres mesures et prêter une plus grande attention aux impératifs de CEM. Il convient toutefois de noter que la présente recommandation n'a pas pour objet de remettre en cause les pratiques d'installation existantes lorsque celles-ci ont apporté la preuve de leur efficacité.

Le réseau maillé de la prise de terre est souvent complété par des câbles radiaux et/ou des piquets de terre placés aux points de connexion des câbles provenant de paratonnerres, d'appareils ou de systèmes sous haute tension et d'appareils ou de systèmes présentant d'importants courants de défaut qui doivent retourner à leur source via le système de terre.

En règle générale, il convient de placer la prise de terre dans le sol naturel, et si possible dans de la terre humide et non pas dans des matériaux de remblayage. La figure 2 donne un exemple du schéma de principe d'une prise de terre pour un environnement industriel.

Certains aspects pratiques sont importants dans la mesure où ils influencent la qualité de la prise de terre au cours du temps:

- Il est préférable d'utiliser des conducteurs pleins dans la mesure où ceux-ci sont moins sujets à la corrosion que les conducteurs toronnés.
- Pour la même raison (corrosion), les connexions entre les conducteurs sont soudées et non pas faites par des pinces mécaniques. Certains bâtiments possèdent une prise de terre noyée dans du béton. Cette électrode est logée à l'intérieur – et dans la partie inférieure – d'un élément de fondation placé en contact direct avec le sol. Cette solution, qui convient aux usages résidentiels et aux immeubles de bureaux, ne satisfait pas forcément à elle seule aux exigences applicables aux bâtiments industriels.

5.3 Design of the earthing system

The requirements described in 5.1 and 5.2, that is, shunting of unwanted power-frequency and high-frequency currents, and lowering the voltage difference between two points of the system, are the same for:

- lightning;
- personnel safety;
- installation protection;
- EMC.

Each one of these considerations places constraints on the design:

- lightning and personnel safety dictate the design of the earth electrode;
- safety and installation protection dictate the size for the earthing conductors;
- the EMC behaviour requirements determine the layout of the earthing network.

5.3.1 Earth electrode

For the earth electrode design, the first step should be the knowledge of the resistivity of the soil. This resistivity is a function of nature and homogeneity of soil, climatic conditions etc. Soil resistivity values versus nature of soil vary on a large scale, from a few ohm·meters to 10 000 $\Omega\cdot\text{m}$. For more details see the documents listed in the bibliography (annex D).

The earth electrode geometry should be adapted to the importance of the installation. A limited earth electrode (such as a cable or rod) may be used only in the case of very small installations such as a room or stand-alone apparatus or system.

In general, for buildings or plants, the best solution for the electrode is a meshed network buried under and around the building or the plant. In old buildings where these objectives may be difficult to attain, other measures and more careful attention to EMC concerns will be necessary. It is important to note that this recommendation does not seek to preclude existing installation practices, when they have shown to perform satisfactorily.

The meshed network of the earth electrode is often complemented by radial cables and/or earth rods at connection points of cables coming from lightning rods, high-voltage apparatus or systems, and apparatus or systems with large fault currents returning through the earthing system.

The earth electrode as a general rule should be set in natural soil, not in backfill materials and, if possible, in damp earth. Figure 2 gives an example of an earth electrode principle diagram for a plant.

Some practical points are important because they influence the long-term electrode quality.

- Solid conductors are preferably used because they are less subject to corrosion than stranded conductors.
- For the same reason (corrosion), connections between conductors are welded and not implemented by mechanical clamping. Some buildings have a concrete-encased earth electrode. This electrode is located within, and near the bottom of a concrete foundation that is in direct contact with the soil. This solution, correct for residential or office buildings, might not, on its own, have the performances required for industrial buildings.

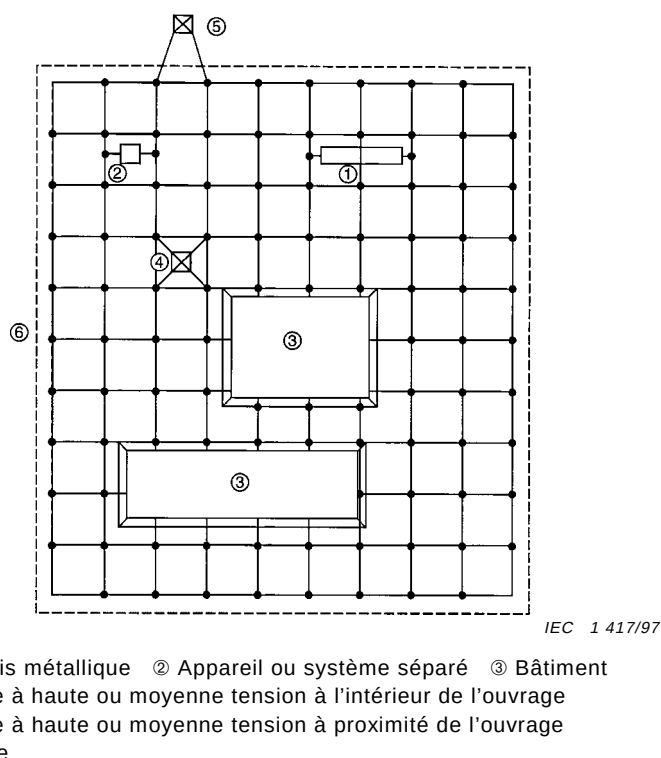
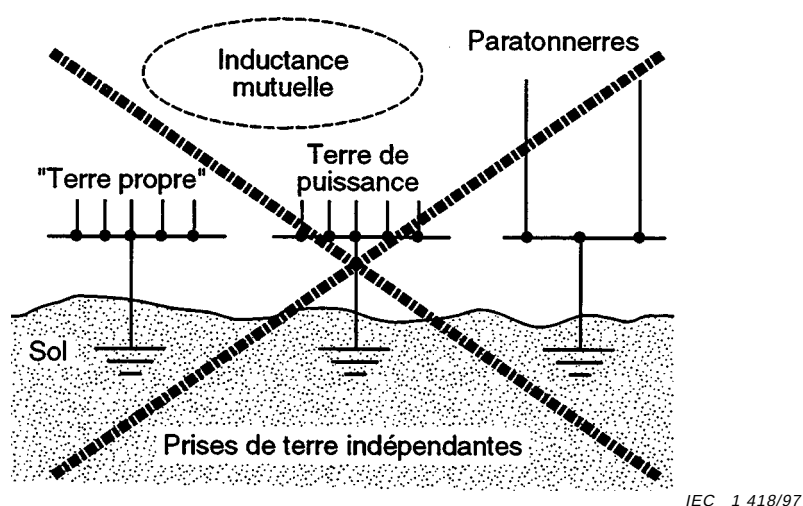


Figure 2 – Schéma d'une prise de terre typique

L'utilisation de prises de terre indépendantes et "isolées" (voir la définition de ce terme en 3.14) destinées aux systèmes informatiques ou électroniques (figure 3) n'est pas recommandée (et peut être interdite dans certains pays). En effet il existe toujours dans l'installation des liaisons électriques, par le sol ou par des éléments parasites (capacités et inductances mutuelles). En cas de coup de foudre ou de défaut sur le réseau d'énergie, des tensions transitoires dangereuses (pour la sécurité du personnel comme pour la CEM) peuvent alors se manifester entre ce système de terre isolé et d'autres parties de l'installation.



NOTE – Dans une tentative d'obtenir un réseau de terre "propre" destiné à servir, par exemple, de référence pour des signaux, les prises de terre n'ont pas été reliées. Cette approche ne satisfait pas aux exigences de la CEM et constitue un risque pour la sécurité. De fait, les codes réglementaires de certains pays interdisent cette configuration.

Figure 3 – Mauvaise conception de prises de terre "spécialisées", "indépendantes" ou "isolées"

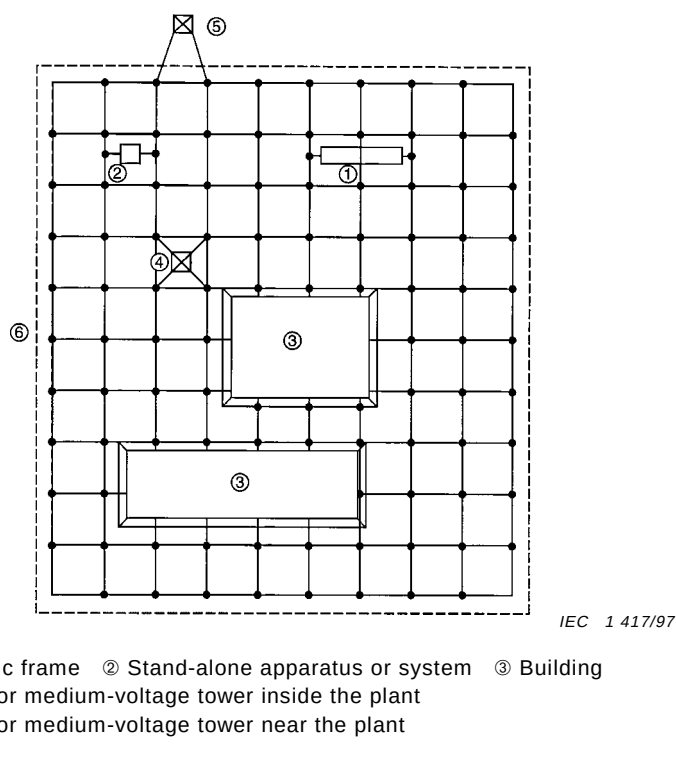
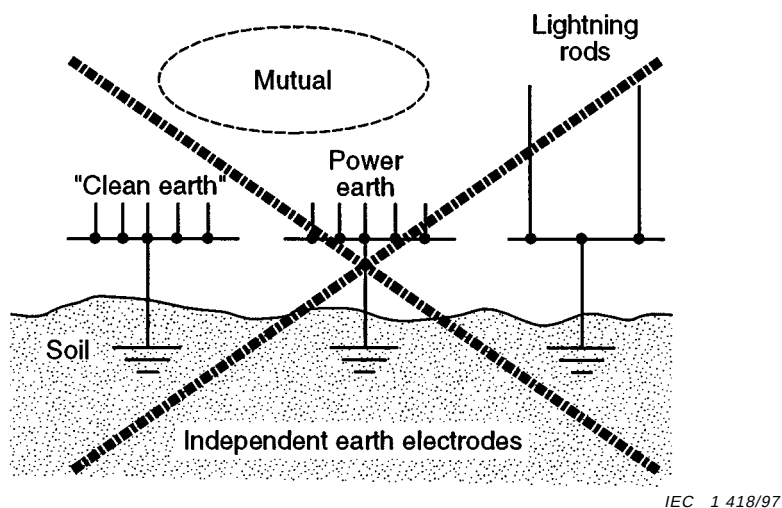


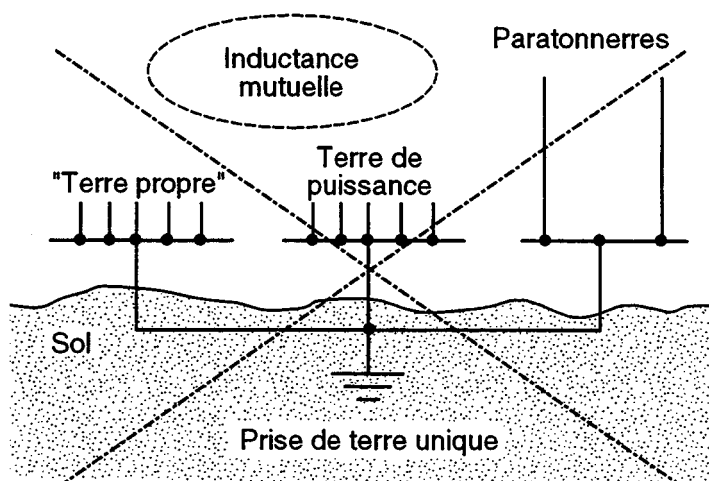
Figure 2 – Schematic plan view of a typical earth electrode

The use of independent, "isolated" (see definition in 3.14) earth electrodes for computer or electronic systems (figure 3) is not recommended (and may be forbidden in some countries). There are always links by the soil or by parasitic elements (capacitances and mutual inductances) in the installation. In case of lightning or power system fault, dangerous transient voltages (for personnel safety and for EMC) can occur between this isolated earthing system and other parts of the installation.



NOTE – In an attempt to obtain a "clean" earthing network, for example to be used as a reference for signals, the earth electrodes have not been bonded. This approach is not suitable for EMC, and is a safety hazard; in fact, regulatory codes prohibit this practice in some countries.

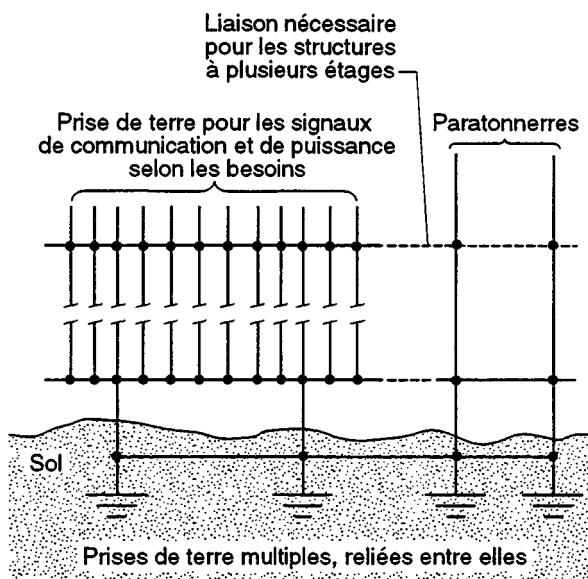
Figure 3 – Misconception of "dedicated", "independent", or "isolated" earth electrodes



IEC 1 419/97

NOTE – Dans une tentative d'obtenir un réseau de terre "propre" ou "électronique" destiné à servir, par exemple, de référence pour les signaux, le réseau de terre est séparé en un réseau de terre de signaux et un réseau de terre de puissance. Cette approche peut s'avérer satisfaisante, sous réserve d'une mise en oeuvre appropriée et du ***maintien de cette topologie***. Cependant, sa généralisation n'est pas recommandée. Si elle est satisfaisante du point de vue de la sécurité (B la fréquence industrielle), elle ne l'est généralement pas du point de vue de la CEM à haute fréquence.

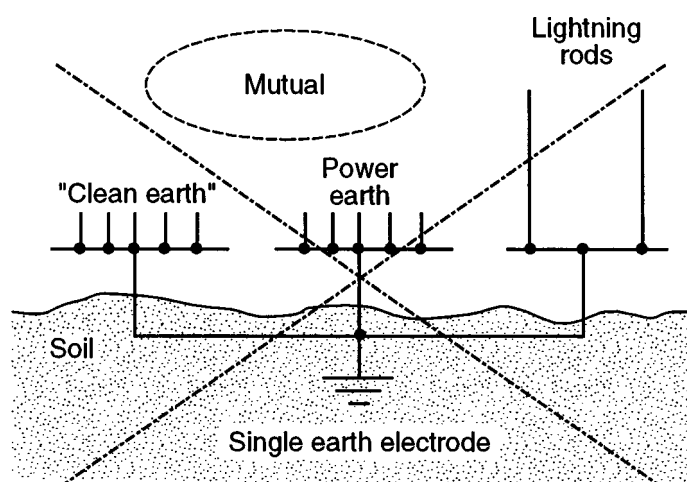
Figure 4 – Concept de prise de terre unique



IEC 1 420/97

NOTE – Cette représentation conceptuelle bidimensionnelle, de format similaire à celui des figures 3 et 4, constitue en réalité un réseau tridimensionnel, comme le montre la figure 7. Cette approche est celle recommandée dans le cas général pour assurer la sécurité comme la CEM. Toutefois, comme mentionné dans le cas de la figure 4, elle n'exclut pas le recours à d'autres configurations particulières ayant fait leurs preuves et dont la topologie est respectée.

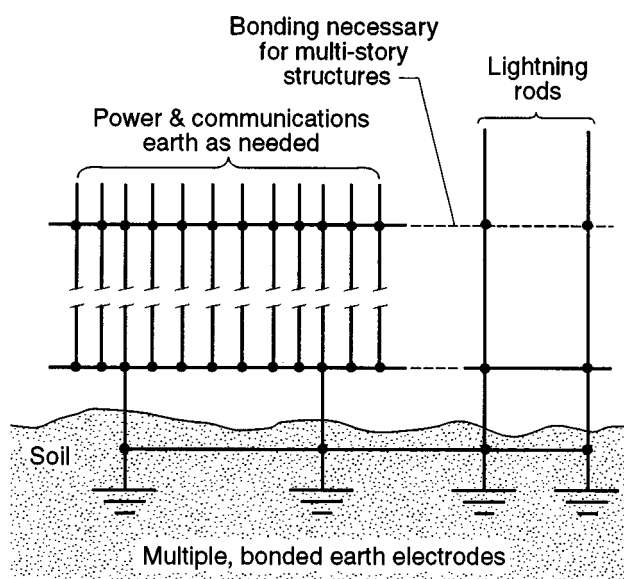
Figure 5 – Configuration recommandée pour les prises de terre et le réseau de terre



IEC 1 419/97

NOTE – In an attempt to obtain a so-called "clean" or "instrument" earthing network, for example to be used as a reference for signals, the earthing network is separated into a signal and a power earthing network. When properly installed **and the topology maintained**, this approach has been found satisfactory, but it is not recommended for general use. It is suitable for safety (at power frequencies); it is generally not suitable for high-frequency EMC concerns.

Figure 4 – The concept of a single earth electrode



IEC 1 420/97

NOTE – This two-dimensional conceptual representation, similar in format to figures 3 and 4, is actually a three-dimensional network, as shown in figure 7. It is the recommended approach in the general case, for safety as well as for EMC. As noted for figure 4, this recommendation does not exclude other, well-demonstrated and well-maintained special configurations.

Figure 5 – Recommended configuration for the earth electrodes and earthing network

5.3.2 Réseau de terre

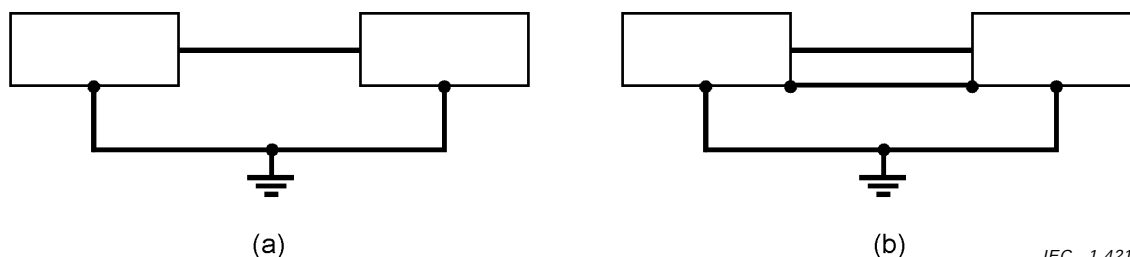
En règle générale, le réseau de terre conçu et réalisé par le constructeur du bâtiment doit avoir une impédance aussi faible que possible, de façon à pouvoir détourner les courants de défaut ainsi que les courants à haute fréquence des appareils ou systèmes électroniques. Différentes configurations de réseaux de terre sont susceptibles de donner satisfaction à leurs utilisateurs. Néanmoins, pour être pleinement efficaces, certaines de ces configurations supposent que des conditions spécifiques soient satisfaites. Ainsi, une grande administration ou grande entreprise disposant des structures adéquates peut concevoir et gérer tous les aspects d'un système de terre: des mesures de la résistivité du sol au contrôle final. Plus particulièrement, certaines pratiques de mise à la terre, telles que le "réseau en étoile" ou le "réseau de masse isolé", abordent certes la CEM de façon différente, mais s'avèrent satisfaisantes sur des installations spécifiques ***lorsqu'elles font l'objet d'une application correcte et du maintien de la topologie, assurés par des spécialistes compétents.***

Néanmoins, ces conditions particulières ne sont généralement pas remplies par l'utilisateur type d'une installation. Les conseils donnés dans le présent rapport technique sont donc destinés à cet utilisateur type, plutôt qu'aux organismes ayant mis en place des approches confirmées et réussies.

L'approche consistant à utiliser des prises de terre indépendantes et spécialisées (par exemple selon la définition de 3.14, illustrée par la figure 3) desservant chacune un réseau de terre distinct est une erreur de conception qui, non seulement, ne garantit pas la CEM, mais constitue en outre un grave risque pour la sécurité. Les codes de certains pays interdisent cette disposition. Par ailleurs, l'utilisation séparée d'un réseau de terre "propre" pour les signaux électroniques et d'un réseau de terre "sale" pour l'énergie électrique n'est pas non plus recommandée pour assurer la CEM et ce, même en recourant à une prise de terre unique (figure 4). Même s'il n'est pas accepté universellement, le paragraphe 3.1.2 b) de la CEI 61024-1 prescrit des mises au même potentiel "à des espacements verticaux non supérieurs à 20 m sur les structures de plus de 20 m de hauteur. Les barres de liaison doivent être reliées au ceinturage horizontal raccordant les descentes entre elles". La figure 5 représente une illustration schématique de cette disposition.

De fait, certaines des recommandations du présent rapport technique peuvent se révéler difficiles à réaliser dans un bâtiment ancien. Certaines améliorations peuvent néanmoins être apportées au réseau de masse. On peut, par exemple, utiliser un faux plancher avec un réseau de terre maillé placé en dessous, ou interconnecter tous les châssis des appareils échangeant des signaux (figure 6). Ces solutions peuvent être complétées par d'autres méthodes d'atténuation.

Une critique souvent adressée aux réseaux de terre maillés consiste à observer que cette configuration se traduit par la formation de boucles de terre, situation souvent considérée comme indésirable du fait de problèmes de bruit électrique. De fait, ces problèmes peuvent être limités par les méthodes décrites à l'article 7. En tout état de cause, l'idée selon laquelle il est nécessaire de séparer les réseaux de terre pour éviter les problèmes de bruit ne doit jamais conduire à adopter des pratiques dangereuses.



IEC 1 421/97

NOTE – La boucle figurée en (a) est formée au moyen du blindage de la ligne de signaux, ce qui n'est pas souhaitable. La boucle figurée en (b) entre les châssis atténue le rôle du blindage de la ligne de signaux.

Figure 6 – Boucles faisant intervenir des lignes de signaux et un réseau de terre

5.3.2 Earthing network

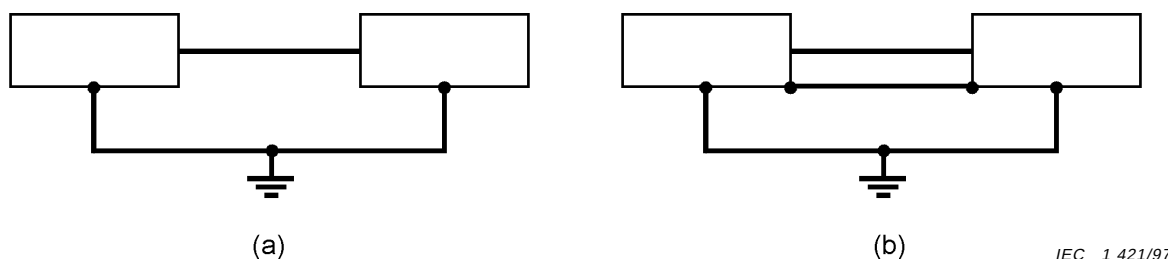
The earthing network is generally designed and implemented by the facility builder to have an impedance as low as possible in order to divert the power fault currents as well the HF currents without passing through the electronic apparatus or systems. Different earthing network layouts exist and may give satisfaction to their users. But some of these earthing network layouts require observing specific conditions to be effective. For example, a central administration or large organization with appropriate structures may design and maintain every aspect of an earthing system from soil resistivity measurement to the final control. In particular, some installation practices such as a "Star Network" or "Isolated Bonding Network" for earthing are based on different approaches to EMC that have been found satisfactory for specific installations **when correctly applied and the topology maintained by competent specialists.**

These specific conditions are generally not fulfilled by the typical user of an installation. Therefore, the guidance given in this technical report is intended for this typical user, rather than the organizations with established and successful approaches.

The concept of independent, dedicated earth electrodes (presumably in accordance with definition 3.14, illustrated by figure 3), each serving a separate earthing network, is a misconception that not only will not promote EMC, but is a serious safety hazard. In some countries, national codes prohibit such practice. The use of a separate "clean" electronic earthing network and a "dirty" power earthing network is not recommended to achieve EMC, even with the use of a single earth electrode (figure 4). Although not universally accepted, IEC 61024-1 subclause 3.1.2b) requires bonding *"at vertical intervals not exceeding 20 m for structures of more than 20 m in height. Bonding bars shall be connected to the horizontal ring conductors which bond the down-conductors"*. This arrangement is shown schematically in figure 5.

It is recognized that some of the recommendations of this technical report might be difficult to implement in an old building. Nevertheless, some improvements of the earthing network are possible. Examples include a raised floor with meshed earthing network underneath, or the interconnection of all the chassis of the apparatus exchanging signals (figure 6). Other installation mitigation methods can also complement these.

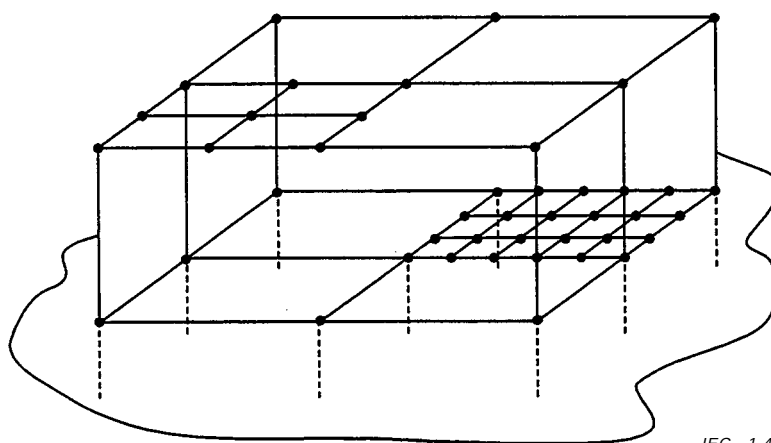
One often-cited objection to a meshed earthing network is that this approach results in earth loops, a situation viewed as undesirable because of noise problems. In fact, the noise problems can be reduced by the methods described in clause 7. In any event, a perceived need for separating earthing networks because of noise problems should never lead to adopting unsafe practices.



NOTE – In (a), a loop is formed that involves the signal cable shield, an undesirable situation. In (b), the loop between the two chassis mitigates the involvement of the signal cable.

Figure 6 – Loops involving signal cables and earthing network

Sachant qu'une installation typique peut s'étendre sur de nombreux étages, il convient que chaque niveau dispose de son propre réseau de terre (généralement maillé, voir figure 7). Il convient que ces réseaux soient ensuite reliés les uns aux autres et à la prise de terre. Le nombre minimal de connexions nécessaires est de deux (redondance intrinsèque) afin de garantir qu'aucune partie du réseau de terre ne se trouve isolée en cas de rupture d'un conducteur. En pratique, le nombre de connexions est supérieur à deux, ce qui permet une meilleure symétrie de la circulation du courant, une réduction des différences de tension et une baisse de l'impédance globale entre deux étages.



IEC 1 422/97

NOTE – Chaque étage dispose d'un réseau maillé, ces réseaux étant interconnectés en différents points situés entre les étages. Certaines parties des réseaux sont également renforcées, afin de satisfaire aux besoins particuliers de certains locaux.

Figure 7 – Schéma tridimensionnel de l'approche recommandée pour le réseau de terre

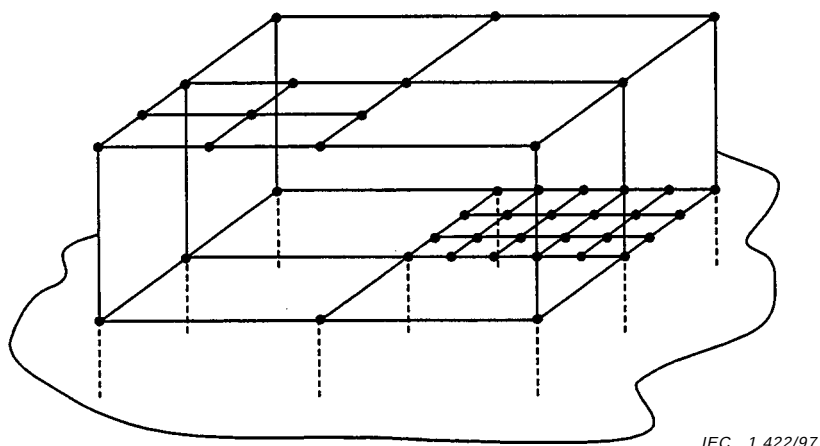
Ces multiples liaisons en parallèle présentent différentes fréquences de résonance. De ce fait, s'il existe, pour une fréquence donnée, une liaison à haute impédance, celle-ci a toutes les chances d'être shuntée par une autre liaison dont la fréquence de résonance est différente. Globalement, sur un spectre de fréquence étendu (du c.c. à plusieurs dizaines de mégahertz) l'existence d'une multitude de liaisons permet d'aboutir à un système à faible impédance.

Il convient que chaque pièce du bâtiment dispose de conducteurs de terre permettant de relier les appareils ou les systèmes, les chemins de câbles et les structures (armature du béton des bâtiments, conduites d'eau, gouttières, supports, charpentes, etc.). Dans certains cas particuliers, salle de commande ou local informatique avec plancher surélevé, par exemple, il est possible d'utiliser un plan de terre de référence ou des interconnexions de terre à proximité de systèmes électroniques pour améliorer la mise à la terre des appareils sensibles et pour protéger les câbles d'interconnexions.

La mise en place dans le bâtiment d'appareils ou de systèmes sensibles ou de forte puissance peut nécessiter de renforcer localement le réseau de terre. C'est par exemple le cas dans une salle de commande, ou d'un local informatique à proximité d'un transformateur de puissance. Le couplage entre les sources de brouillage électromagnétique et un appareil peut, par exemple, être réduit par la distance. Il convient d'appliquer ce principe au réseau de terre. Il convient ainsi de créer des zones différentes: zone électronique, zone des machines, etc. Ces zones sont ensuite interconnectées au moyen du réseau de terre, mais la topologie de l'installation doit faire en sorte que la distance soit aussi grande que possible entre les sources et les appareils ou systèmes sensibles. C'est ce que montre la figure 8.

Il est recommandé de ne pas relier un moteur électrique susceptible de générer un fort courant de défaut à un conducteur de mise à la terre également partagé par des appareils ou systèmes électroniques sensibles (le couplage par une impédance commune doit être soigneusement évité). Pour améliorer les performances en CEM de l'installation, il convient de relier les différents appareils aux nœuds du réseau de terre.

As a typical installation may have many floors, each floor should have its own earthing network (generally implemented as a mesh, see figure 7), and all these networks should be connected to one another and to the earth electrode. A minimum of two connections are required (redundancy should be built-in) to be sure, in case one of the conductors breaks, that no part of the earthing network becomes isolated. Practically, more than two connections are used to have a better symmetry for current circulation, to minimize voltages differences, and to decrease the global impedance between two floor levels.



NOTE – Each floor has its mesh grid, the grids are interconnected at several points between floors, and some floor grids are reinforced as needed in some areas.

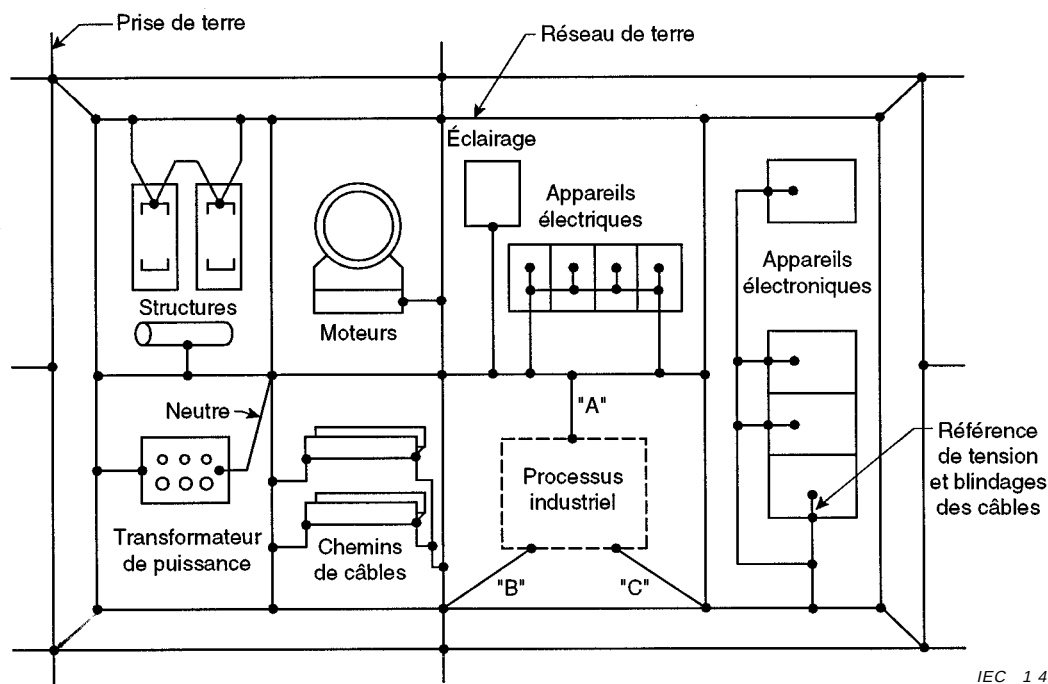
Figure 7 – A three-dimensional schematic of the recommended approach for the earthing network

These multiple and parallel paths have different resonance frequencies. So, if there is for a given frequency a path with a high impedance, this path is certainly shunted by another which has not the same resonance frequency. Globally, over a large frequency spectrum (d.c. to tens of megahertz), a multitude of paths gives a low impedance system.

Each room of the building should have earthing network conductors to allow bonding of apparatus or systems, cable trays, structures: slab reinforcement of buildings, water pipes, gutters, supports, frames etc. In particular cases, such as control or computer rooms with raised floor, an earth reference plane or earthing straps in the area of electronic systems can be used to improve the earthing of sensitive equipment and to protect the interconnecting cables.

The arrangement of sensitive or high-power apparatus or system to be installed in the building may require local reinforcement of the earthing network, for example: in control or computer rooms, near a power transformer, etc. A way to decrease coupling between electromagnetic interference (EMI) sources and a sensitive device is distance. This principle should be also applied to the earthing network. Different zones should be created, for example: electronic zone, machine zone, etc. These zones are interconnected by the earthing network, but layout of the installation should be such that distance should be as large as possible between sources and sensitive apparatus or systems as shown in figure 8.

A motor with a potentially large fault current should not be bonded on the same earthing conductor as sensitive electronics (common impedance coupling should be carefully avoided). It is recommended to connect the various apparatus at the nodes of the earthing network in order to improve the EMC performance of the installation.



NOTE – La topologie des raccordements "B" et "C" est plus efficace du point de vue de la CEM que la topologie "A". Le détail des raccordements peut varier selon les cas.

Figure 8 – Principes généraux de connexion des parties conductrices de différents appareils ou systèmes au réseau de terre

Certains organismes ou entreprises disposant d'une ingénierie centralisée, qui permet de contrôler de près la conception et la réalisation, appliquent avec succès une démarche dans laquelle chaque étage possède son propre réseau de terre maillé isolé, appelé "terre hybride" (Montandon, 1992 [4]) (voir figure A.1). Cette configuration se caractérise par un concept rigoureux de la topologie du câblage, qui exige que tous les câbles entrent dans le système considéré par une seule interface, comme dans l'exemple de la figure A.2 (topologiquement équivalente). Cette approche présente l'avantage de réduire les problèmes de bruit parfois associés à la présence d'un réseau maillé intégral. Elle impose néanmoins de maintenir soigneusement l'isolation entre les différents réseaux maillés isolés et les éléments conducteurs étrangers à l'installation.

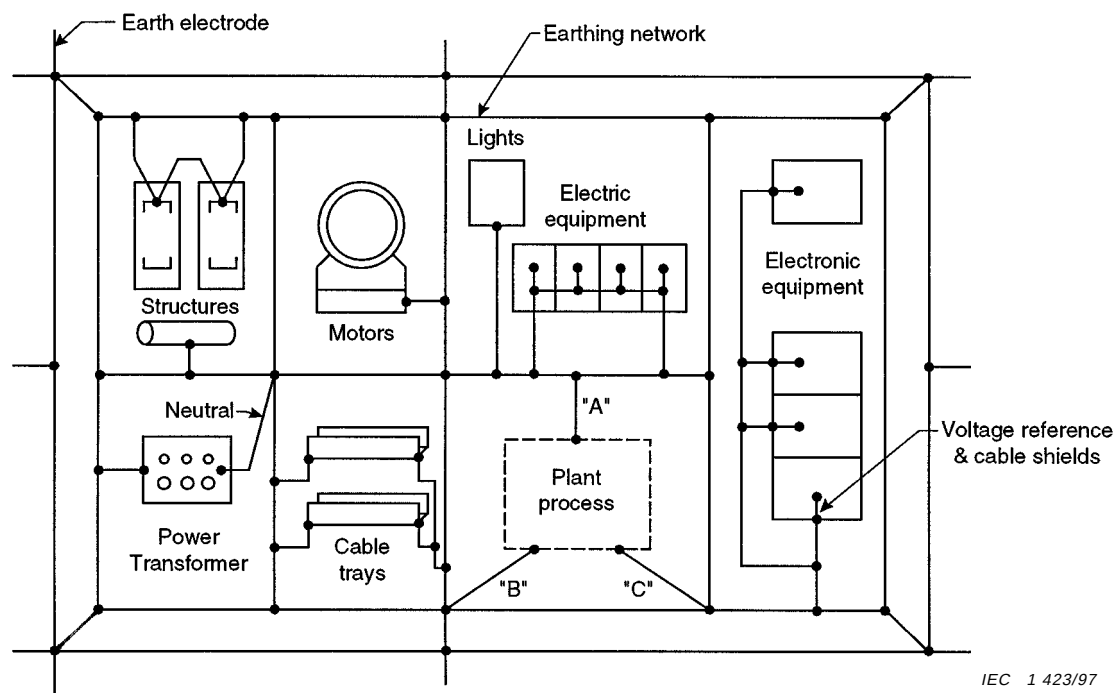
Sur le plan matériel, la principale différence entre la prise de terre et le réseau de terre concerne leur réalisation. Il y a (généralement) peu de risques de corrosion à l'intérieur des bâtiments, ce qui permet l'utilisation de câbles toronés en guise de conducteurs et de fixations mécaniques pour le raccordement des conducteurs.

5.3.3 Conducteurs de descente de paratonnerres

Ces conducteurs, qui font partie du réseau de terre, sont spécifiques à bien des égards. L'amplitude et les fréquences équivalentes des courants de foudre imposent de mettre en place au moins deux conducteurs pour chaque paratonnerre:

- pour diminuer l'impédance de la liaison;
- pour limiter le courant traversant un conducteur;
- pour éviter le risque que la liaison entre un paratonnerre et le conducteur de descente ne soit interrompue.

Sur le plan de la CEM, ces conducteurs multiples ont pour avantage de limiter les effets inductifs à l'intérieur du bâtiment, si la configuration de l'installation est telle que ces conducteurs ne sont pas trop proches d'appareils ou de systèmes électroniques sensibles (l'atténuation des champs électriques et magnétiques procurée par les murs des bâtiments est généralement médiocre).



NOTE – The topology of connections "B" and "C" provides better EMC performance than the topology "A". Details of connections may vary with specific cases.

Figure 8 – General principles for bonding of various apparatus or systems to the earthing network

Some organizations, where central engineering has made tight control of the design and implementation possible, have successfully applied an approach where each floor has its own isolated meshed earthing network, the so-called "Hybrid-Earth" [4] (see figure A.1). A main feature is the strict cable routing concept which demands that all cables enter the specific system at one interface, similar to the example of figure A.2 (which is topologically equivalent). This approach offers the advantage of minimizing noise problems sometimes associated with an integral meshed network, but it requires carefully maintaining the isolation between the specific isolated meshed network and extraneous conductive parts.

The main physical difference between the earth electrode and the earthing network concerns their implementation. There is little risk of corrosion inside buildings (generally) so that it is possible to use stranded cables for conductors and mechanical tightening for the connection of conductors.

5.3.3 Lightning rod down-conductors

These conductors, which are part of the earthing network, are specific for many reasons. The amplitude and the equivalent frequencies of the lightning currents require that more than one down conductor be used for each lightning rod:

- to decrease the impedance of the path;
- to limit the current in one conductor;
- to avoid the risk of a lightning rod becoming disconnected from the down conductor.

From the EMC point of view, these multiple conductors present the advantage of limiting the inductive effects inside the building if the layout of the installation is such that these conductors are not too close to sensitive electronic apparatus or systems (there is generally poor attenuation from building walls for electric and magnetic fields).

Ces éléments étant généralement placés à l'extérieur du bâtiment, on utilise des conducteurs pleins (massifs), qui présentent une meilleure résistance à la corrosion. Normalement, pour les bâtiments ayant un petit nombre d'étages, la prise de terre est le seul élément de raccordement entre les paratonnerres et le réseau de terre implanté à l'intérieur du bâtiment (principe de la distance). Cette disposition peut être difficile à obtenir dans le cas de bâtiments industriels à structures métalliques ou de bâtiments possédant un grand nombre d'étages. Dans ces cas particuliers, il est préférable, pour la CEM, de ne pas isoler les conducteurs de descente des structures et de les relier au réseau de terre de chaque étage, ou au moins tous les quelques étages (voir figure 5).

Dans cette dernière configuration, compte tenu du fait que le courant de foudre est un courant transitoire, la majeure partie du courant de foudre restera sur les conducteurs externes de descente du fait de l'interaction des champs électromagnétiques. Seuls des courants faibles, strictement nécessaires pour "l'égalisation des potentiels", s'écouleront à l'intérieur du bâtiment, excluant ainsi le risque d'amorçage latéral entre les conducteurs de descente d'un paratonnerre et des appareils reliés à la terre à l'intérieur du bâtiment. Ce dernier point relève certes davantage du domaine de la sécurité que de celui de la CEM, mais on peut créer une situation dangereuse en tentant de maintenir, du fait de préoccupations de CEM, les courants de foudre **totale**ment à l'extérieur du bâtiment.

En outre, il convient de garder à l'esprit que dans la plupart des bâtiments à usage commercial ou industriel, de nombreux objets reliés à la terre (éclairage, climatisation, ventilation, antennes de communication, etc.) sont situés au sommet du bâtiment et peuvent donc agir de façon intempestive comme des paratonnerres, avec la foudre utilisant leurs conducteurs de communication, d'énergie ou de terre de protection comme des conducteurs de descente au lieu de ceux prévus à cet effet.

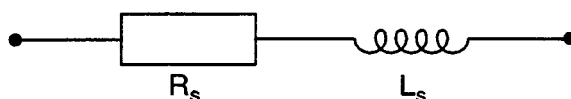
L'interaction électromagnétique entre les champs engendrés par les courants de foudre s'écoulant dans plusieurs conducteurs de descente répartis autour du bâtiment permet de garantir que la majeure partie de la composante haute fréquence du courant de foudre s'écoule via les conducteurs externes, c'est-à-dire par les conducteurs de descente *ad hoc*, par l'acier de construction ou par les barres d'armature, plutôt que via les conducteurs internes, qui ne sont donc parcourus que par une très faible partie du front d'impulsion du courant de foudre (Schnetzer et Fischer, 1992 [5]).

6 Mise au même potentiel

La liaison de toutes les parties métalliques conductrices d'une installation et leur connexion au réseau de terre permet de satisfaire aux exigences de sécurité (tensions de contact et de pas). Sur le schéma de la figure 8, envisagée plus haut, différents appareils ou systèmes sont reliés au réseau de terre dans une installation industrielle. Cette connexion peut être réalisée de façon à permettre non seulement de satisfaire aux prescriptions de sécurité, mais aussi d'améliorer les performances de l'installation en termes de CEM.

6.1 Généralités

Les interconnexions entre les appareils ou systèmes et le réseau de terre peuvent être représentées par le circuit équivalent de la figure 9. R_s et L_s représentent le conducteur de mise au même potentiel lui-même. Néanmoins, des éléments parasites, tels que les capacités C_p des appareils ou des systèmes par rapport au réseau de terre, ou les impédances de contact des interconnexions, Z_c , viennent compliquer cette situation (figure 10).



IEC 1 424/97

Figure 9 – Représentation simplifiée d'un conducteur de mise au même potentiel