

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

61000-2-10

Première édition
First edition
1998-11

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 2-10:

**Environnement – Description de l'environnement
IEMN-HA – Perturbations conduites**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 2-10:

**Environment – Description of
HEMP environment – Conducted disturbance**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61000-2-10:1998

Numéros des publications

Depuis le 1er 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 les 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 des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

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*.

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

Numbering

As from 1 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 subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

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*.

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE

CEI
IEC

INTERNATIONAL
STANDARD

61000-2-10

Première édition
First edition
1998-11

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 2-10:

**Environnement – Description de l'environnement
IEMN-HA – Perturbations conduites**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 2-10:

**Environment – Description of
HEMP environment – Conducted disturbance**

© IEC 1998 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
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives.....	8
3 Généralités	10
4 Définitions	12
5 Description de l'environnement IEMN-HA, paramètres conduits	18
5.1 Remarques introductives.....	18
5.2 Environnement externe conduit généré par l'IEMN-HA initiale	20
5.3 Environnement externe généré par l'IEMN-HA intermédiaire	24
5.4 Environnement externe conduit généré par l'IEMN-HA finale.....	26
5.5 Courants antennaires	28
5.6 Environnements conduits internes dus à l'IEMN-HA.....	38
Annexe A (informative) Discussion du couplage de l'IEMN-HA initiale avec des lignes longues	42
Annexe B (informative) Discussion du couplage de l'IEMN-HA intermédiaire avec des lignes longues	48
Annexe C (informative) Réponses des antennes simples à l'environnement IEMN-HA initial défini par la CEI	52
Annexe D (informative) Mesures de courants couplés sur des câbles à l'intérieur de bâtiments abritant des centraux téléphoniques.....	84

CONTENTS

	Page
FOREWORD	v
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 General	11
4 Definitions	13
5 Description of HEMP environment, conducted parameters.....	19
5.1 Introductory remarks	19
5.2 Early-time HEMP external conducted environment.....	21
5.3 Intermediate-time HEMP external conducted environment	25
5.4 Late-time HEMP external conducted environment.....	27
5.5 Antenna currents.....	29
5.6 HEMP internal conducted environments	39
Annex A (informative) Discussion of early-time HEMP coupling for long lines	43
Annex B (informative) Discussion of intermediate-time HEMP coupling for long lines	49
Annex C (informative) Responses of simple linear antennas to the IEC early-time HEMP environment.....	53
Annex D (informative) Measured cable currents inside telephone buildings.....	85

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 2-10: Environnement – Description de l'environnement IEMN-HA – Perturbations conduites

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 ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 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 Norme internationale CEI 61000-2-10 a été établie par le sous-comité 77C: Immunité à l'impulsion électromagnétique nucléaire à haute altitude (IEMN-HA), du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
77C/61/FDIS	77C/65/RVD

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

Les annexes A, B, C et D sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 2-10: Environment – Description of HEMP environment –
Conducted disturbance**

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.

International Standard IEC 61000-2-10 has been prepared by subcommittee 77C: Immunity to high altitude nuclear electromagnetic pulse (HEMP), of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

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

FDIS	Report on voting
77C/61/FDIS	77C/65/RVD

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

Annexes A, B, C and D are for information only.

INTRODUCTION

La CEI 61000 est publiée sous la forme de plusieurs parties séparées conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

Limites d'immunité (dans la mesure où ces limites 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

Guides d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en plusieurs parties publiées soit comme Normes internationales, soit comme rapports techniques, dont certaines ont déjà été publiées en tant que sections. D'autres seront publiées avec le numéro de la partie suivi d'un tiret et d'un second chiffre identifiant la subdivision.

INTRODUCTION

IEC 61000 is published in separate parts according to the following structure:

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)
Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment
Classification of the environment
Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits
Immunity limits (insofar as these limits 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 several parts, published either as International Standards or technical reports, some of which have already been published as sections. Others will be published with the part number followed by a dash and a second number identifying the subdivision.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 2-10: Environnement – Description de l'environnement IEMN-HA – Perturbations conduites

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit l'environnement IEMN-HA conduit (l'impulsion électromagnétique à haute altitude) consécutif à une explosion nucléaire à haute altitude.

Deux cas sont généralement étudiés:

- les explosions nucléaires à haute altitude;
- les explosions nucléaires à basse altitude.

Pour les systèmes civils, le cas le plus important est celui des explosions nucléaires à haute altitude. Dans ce cas, les autres effets de l'explosion nucléaire: souffle, onde de choc au sol, effet thermique et rayonnements ionisants nucléaires n'existent pas au niveau du sol.

Toutefois, l'impulsion électromagnétique associée à l'explosion peut perturber et endommager les systèmes de communication, les systèmes électroniques ainsi que le réseau électrique, mettant par là même en péril l'équilibre de la société moderne.

Le but de cette norme est d'établir une référence commune sur l'environnement IEMN-HA conduit permettant de définir des contraintes réalistes à appliquer aux équipements victimes afin d'évaluer leurs performances.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivant contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61000. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61000 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050(161):1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 61000-2-9:1996, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 9: Description de l'environnement IEMN-HA – Perturbations radiantes* – Publication fondamentale en CEM

CEI 61000-4-24:1997, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 24: Méthodes d'essais pour les dispositifs de protection pour perturbations conduites IEMN-HA*. Publication fondamentale en CEM

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 2-10: Environment – Description of HEMP environment – Conducted disturbance

1 Scope

This International Standard defines the high-altitude electromagnetic pulse (HEMP) conducted environment that is one of the consequences of a high-altitude nuclear explosion.

Those dealing with this subject consider two cases:

- high-altitude nuclear explosions;
- low-altitude nuclear explosions.

For civil systems the most important case is the high-altitude nuclear explosion. In this case, the other effects of the nuclear explosion: blast, ground shock, thermal and nuclear ionizing radiation are not present at the ground level.

However, the electromagnetic pulse associated with the explosion may cause disruption of, and damage to, communication, electronic and electric power systems thereby upsetting the stability of modern society.

The object of this standard is to establish a common reference for the conducted HEMP environment in order to select realistic stresses to apply to victim equipment for evaluating their performance.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61000. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 61000 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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

IEC 61000-2-9:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 1: Description of HEMP environment – Radiated disturbance* – Basic EMC publication

IEC 61000-4-24:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 24: Test methods for protective devices for HEMP conducted disturbance* – Basic EMC publication

3 Généralités

Une explosion nucléaire à haute altitude (supérieure à 30 km) engendre trois types d'impulsions électromagnétiques que l'on peut observer à la surface de la terre:

- IEMN-HA initiale (rapide);
- IEMN-HA intermédiaire (moyenne);
- IEMN-HA finale (lente).

Dans le passé, on s'est surtout intéressé à l'impulsion IEMN-HA initiale appelée simplement alors IEMN-HA. Nous utiliserons ici indifféremment «IEM à haute altitude» ou «IEMN-HA» pour désigner les trois types d'impulsions. Le terme «IEMN» ¹⁾ désigne de nombreuses catégories d'impulsions électromagnétiques nucléaires, y compris celles qui sont produites par des explosions en surface (SREMP) ²⁾ ou sur des systèmes spatiaux (SGEMP) ³⁾.

L'impulsion IEMN-HA étant produite par une explosion à haute altitude, nous n'observons pas à la surface de la terre d'autres phénomènes propres à l'environnement nucléaire militaire tels que rayons gamma, dégagement de chaleur et ondes de choc. Des impulsions IEMN-HA ayant des incidences sur des équipements électroniques éloignés du lieu de l'explosion ont été signalées lors d'essais nucléaires américains à haute altitude dans le Pacifique Sud et en URSS au début des années 1960.

La présente norme décrit l'environnement conduit induit par l'IEMN-HA sur les câbles ou lignes d'énergie externes et internes aux installations et sur des antennes externes.

¹⁾ IEMN: Impulsion électromagnétique nucléaire.

²⁾ SREMP: Impulsion électromagnétique nucléaire de la région source.

³⁾ SGEMP: Impulsion électromagnétique nucléaire générée par le système.

3 General

A high-altitude (above 30 km) nuclear burst produces three types of electromagnetic pulses which are observed on the earth's surface:

- early-time HEMP (fast);
- intermediate-time HEMP (medium);
- late-time HEMP (slow).

Historically most interest has been focused on the early-time HEMP which was previously referred to as simply HEMP. Here we will use the term high-altitude EMP or HEMP to include all three types. The term NEMP ¹⁾ covers many categories of nuclear EMPs including those produced by surface bursts (SREMP) ²⁾ or created on space systems (SGEMP) ³⁾.

Because the HEMP is produced by a high-altitude detonation, we do not observe other nuclear weapon environments such as gamma rays, heat and shock waves at the earth's surface. HEMP was reported from high-altitude nuclear tests in the South Pacific by the US and over the USSR during the early 1960s, producing effects on electronic equipment far from the burst location.

This standard presents the conducted HEMP environment induced on metallic lines, such as cables or power lines, external and internal to installations, and external antennas.

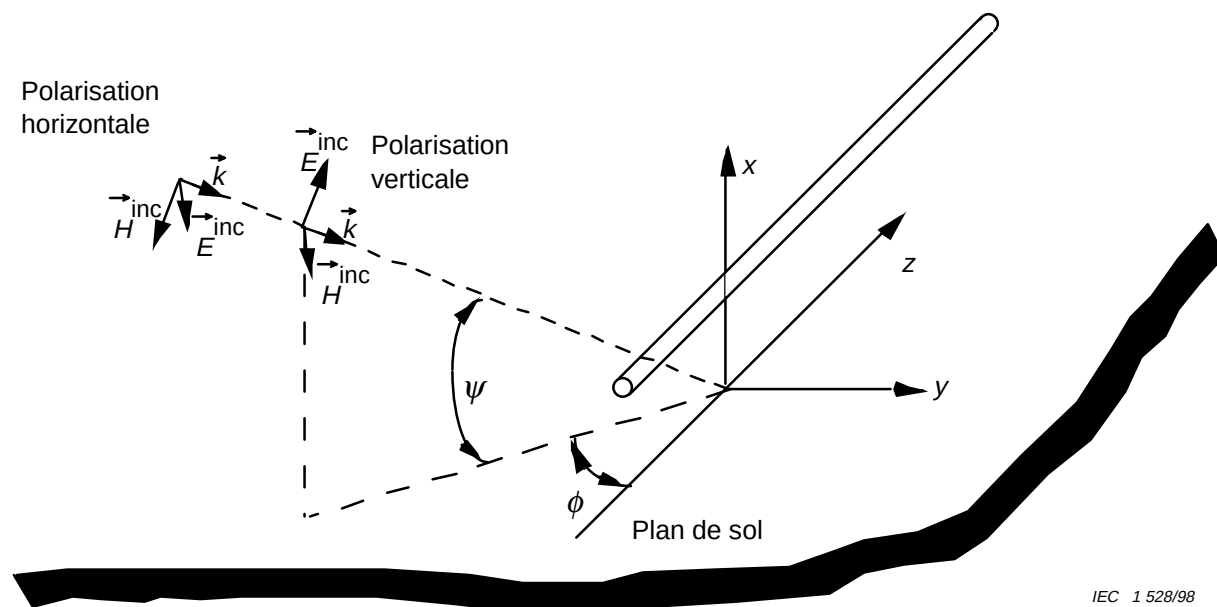
¹⁾ NEMP: Nuclear electromagnetic pulse.

²⁾ SREMP: Source region EMP.

³⁾ SGEMP: System generated EMP.

4 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions données dans la CEI 60050(161) ainsi que les suivantes s'appliquent:



IEC 1528/98

Figure 1 – Géométrie utilisée pour la définition de la polarisation et des angles de site ψ et d'azimut ϕ

4.1

angle de site dans le plan vertical (angle d'élévation), ψ

angle ψ mesuré dans le plan vertical, compris entre une surface horizontale plane telle que le sol et le vecteur de propagation (voir figure 1)

4.2

angle d'azimut, ϕ

angle compris entre la projection du vecteur de propagation sur le sol et l'axe principal de l'objet atteint (axe z pour la ligne de transmission de la figure 1)

4.3

onde composite

onde maximalisant les caractéristiques importantes d'un groupe d'ondes

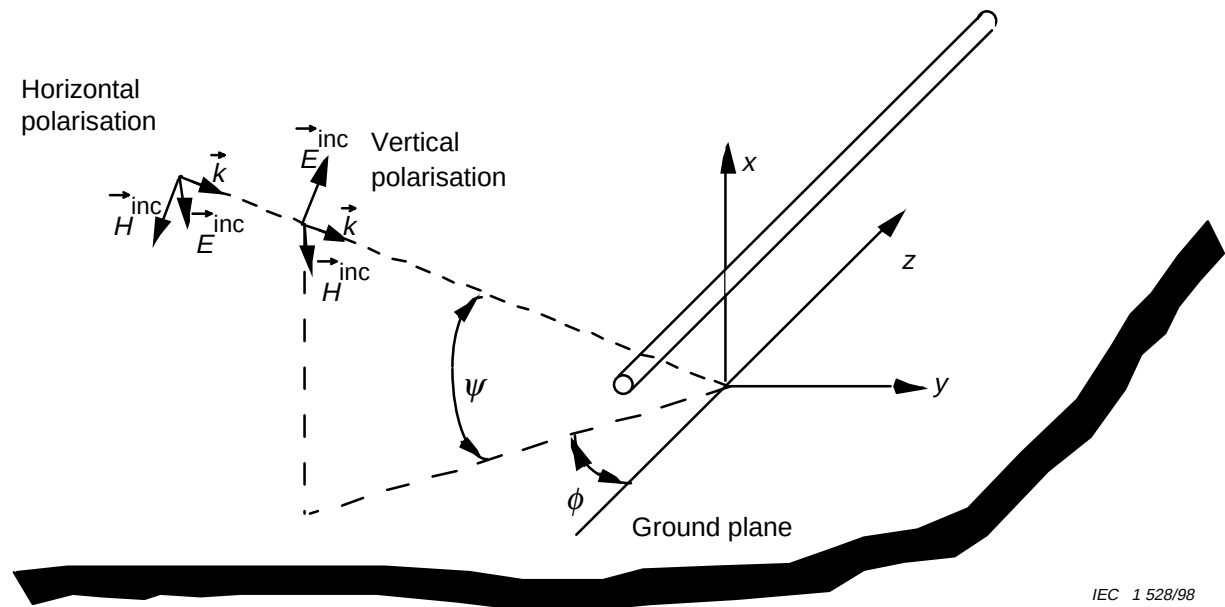
4.4

couplage

interaction du champ IEMN-HA avec un système, produisant des courants et tensions à la surface du système et dans ses câbles. Les tensions sont produites par des charges induites. Elles ne sont définies qu'aux basses fréquences ayant des longueurs d'onde supérieures aux dimensions des surfaces ou aux longueurs d'entrefer

4 Definitions

For the purpose of this International Standard, the definitions given in IEC 60050(161) apply, as well as the following definitions:



IEC 1528/98

Figure 1 – Geometry for the definition of polarization and of the angles of elevation ψ and azimuth ϕ

4.1

angle of elevation in the vertical plane, ψ

angle ψ measured in the vertical plane between a flat horizontal surface such as the ground and the propagation vector (see figure 1)

4.2

azimuth angle, ϕ

angle between the projection of the propagation vector on the ground plane and the principal axis of the victim object (z axis for the transmission line of figure 1)

4.3

composite waveform

waveform which maximizes the important features of a waveform

4.4

coupling

interaction of the HEMP field with a system to produce currents and voltages on system surfaces and cables. Voltages result from the induced charges and are only defined at low frequencies with wavelengths larger than the surface or gap dimensions

4.5

sens de propagation des ondes électromagnétiques

sens du vecteur de propagation $\vec{k}$, perpendiculairement au plan contenant les vecteurs des champs électrique et magnétique (voir figure 2)

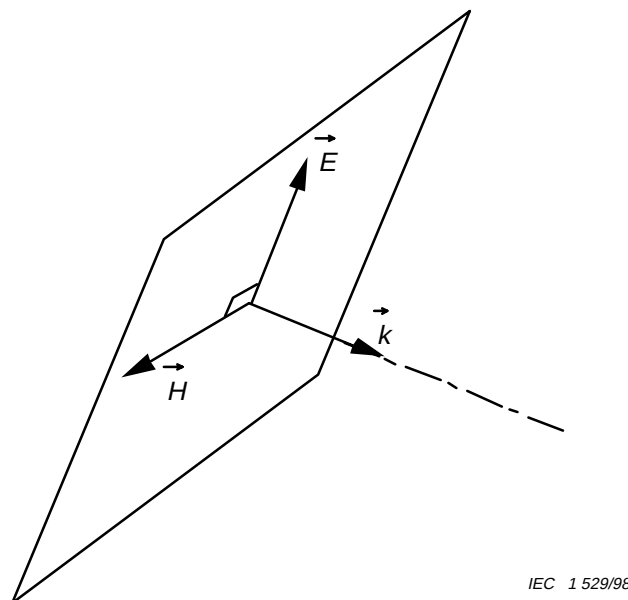


Figure 2 – Géométrie utilisée pour la définition de l'onde plane

4.6

E1, E2, E3

termes utilisés pour les champs électriques des ondes IEMN-HA initiale, intermédiaire et finale

4.7

IEM

toute impulsion électromagnétique, description générale

4.8

angle d'inclinaison géomagnétique, θ_{dip}

angle d'inclinaison formé par le vecteur d'induction géomagnétique $\vec{B}_e$ mesuré par rapport à l'horizontale locale dans le plan magnétique nord/sud. $\theta_{\text{dip}} = 90^\circ$ au pôle nord magnétique et -90° au pôle sud magnétique (voir figure 3)

4.5**direction of propagation of the electromagnetic wave**

direction of the propagation vector $\vec{k}$, perpendicular to the plane containing the vectors of the electric and the magnetic fields (see figure 2)

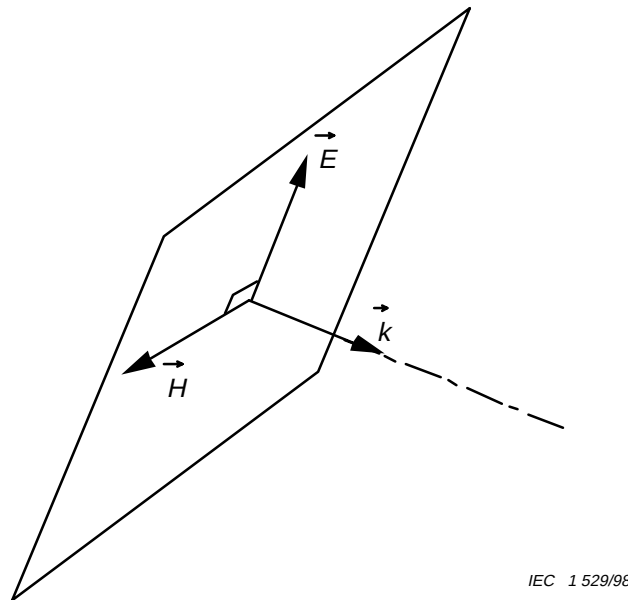


Figure 2 – Geometry for the definition of the plane wave

4.6**E1, E2, E3**

terminology for the early, intermediate and late-time HEMP electric fields

4.7**EMP**

any electromagnetic pulse, general description

4.8**geomagnetic dip angle, θ_{dip}**

dip angle of the geomagnetic flux density vector $\vec{B}_e$, measured from the local horizontal in the magnetic north-south plane. $\theta_{\text{dip}} = 90^\circ$ at the magnetic north pole, -90° at the magnetic south pole, (see figure 3)

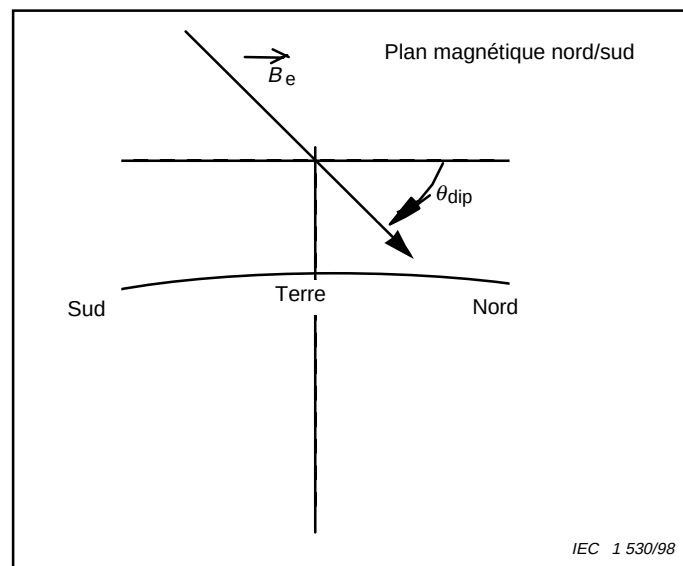


Figure 3 – Angle d'inclinaison géomagnétique

4.9

IEMN-HA

impulsion électromagnétique nucléaire haute altitude

4.10

haute altitude (explosion nucléaire)

altitude d'explosion supérieure à 30 km

4.11

polarisation horizontale

une onde électromagnétique est polarisée horizontalement lorsque le vecteur du champ magnétique se trouve dans le plan d'incidence et le vecteur du champ électrique perpendiculaire au plan d'incidence, et donc parallèle au plan du sol (voir figure 1). (Ce type de polarisation est également appelé polarisation électrique perpendiculaire ou transverse électrique (TE).)

4.12

plan d'incidence

plan formé par le vecteur de propagation et la normale au plan du sol

4.13

basse altitude (explosion nucléaire)

altitude d'explosion inférieure à 1 km

4.14

IEMN

impulsion électromagnétique (IEM) nucléaire; tout type d'onde IEM provoqué par une explosion nucléaire

4.15

point d'entrée (PdE)

point (localisation physique) d'une barrière électromagnétique, où l'énergie électromagnétique peut entrer ou sortir d'un volume topologique, à moins qu'un dispositif de protection adéquate du PdE ne soit mis en place. Un PdE ne se limite pas à un point géométrique. Les PdE sont classés en PdE de type ouverture ou PdE de type conduit selon le mode de pénétration. Ils sont aussi classés en PdE architecturaux, mécaniques, structurels ou électriques selon la fonction qu'ils desservent

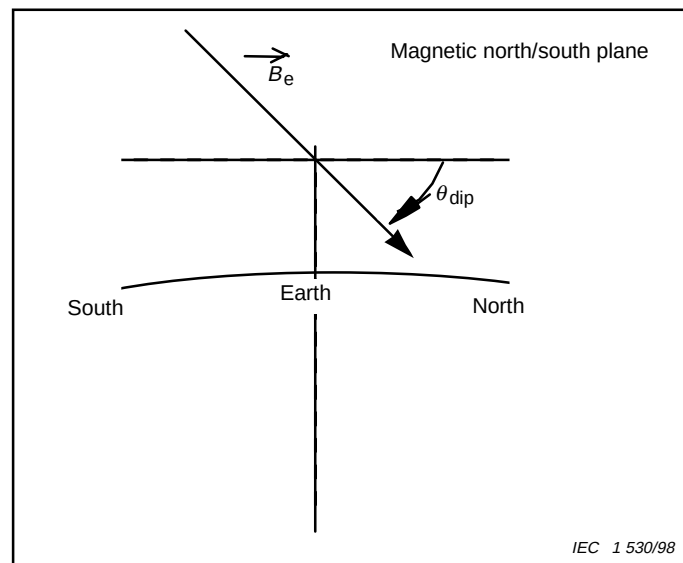


Figure 3 – Geomagnetic dip angle

4.9**HEMP**

high-altitude nuclear EMP

4.10**high-altitude (nuclear explosion)**

height of burst above 30 km altitude

4.11**horizontal polarization**

an electromagnetic wave is horizontally polarized if the magnetic field vector is in the incidence plane and the electric field vector is perpendicular to the incidence plane and thus parallel to the ground plane (see figure 1). (This type of polarization is also called perpendicular or transverse electric (TE).)

4.12**incidence plane**

plane formed by the propagation vector and the normal to the ground plane

4.13**low-altitude (nuclear explosion)**

height of burst below 1 km altitude

4.14**NEMP**

nuclear EMP; all types of EMP produced by a nuclear explosion

4.15**point-of-entry (PoE)**

the physical location (point) on an electromagnetic barrier, where EM energy may enter or exit a topological volume, unless an adequate PoE protective device is provided. A PoE is not limited to a geometrical point. PoEs are classified as aperture PoEs or conductive PoEs according to the type of penetration. They are also classified as architectural, mechanical, structural or electrical PoEs, according to the functions they serve

4.16

largeur d'impulsion

sauf définition contraire, il s'agit de l'intervalle de temps entre les points du front montant et du front descendant d'une impulsion pour lesquels la valeur instantanée de l'amplitude est égale à 50 % de l'amplitude crête

4.17

impulsion rectifiée (IR)

intégrale de la valeur absolue de l'amplitude d'une forme d'onde temporelle sur un intervalle de temps spécifié

4.18

temps de montée (d'une impulsion)

sauf définition contraire, il s'agit de l'intervalle de temps entre le moment où l'amplitude instantanée d'une impulsion atteint pour la première fois une valeur basse et une valeur haute préalablement spécifiées, habituellement 10 % et 90 % de l'amplitude crête de l'impulsion

4.19

courant de court-circuit

valeur du courant lorsque les bornes de sortie d'un circuit sont mises en court-circuit. Il est généralement intéressant de connaître ce courant lorsque l'on teste les performances des dispositifs de protection contre les impulsions

4.20

impédance de source

impédance présentée par une source d'énergie aux bornes d'entrée d'un équipement ou d'un réseau

4.21

polarisation verticale

une onde électromagnétique est polarisée verticalement lorsque le vecteur du champ électrique se trouve dans le plan d'incidence et le vecteur du champ magnétique perpendiculaire au plan d'incidence, et donc parallèle au plan du sol (voir figure 1). (Ce type de polarisation est également appelé polarisation magnétique parallèle ou transverse magnétique (TM).)

5 Description de l'environnement IEMN-HA, paramètres conduits

5.1 Remarques introductives

Le champ électromagnétique généré par une explosion nucléaire à haute altitude tel que décrit dans la CEI 61000-2-9 induit des tensions et des courants dans toutes les structures métalliques. Ces courants et ces tensions qui se propagent dans des conducteurs constituent l'environnement conduit. L'environnement conduit est donc un phénomène secondaire qui découle du seul champ rayonné.

Toutes les structures métalliques (câbles, conducteurs, tuyaux, canalisations, fils, etc.) seront affectées par l'IEMN-HA. L'environnement conduit est important parce qu'il peut amener l'énergie de l'IEMN-HA sur les électroniques sensibles par l'intermédiaire des interconnexions: signaux, énergie et masse. Il existe deux catégories de conducteurs: les conducteurs externes et les conducteurs internes (d'un immeuble et à toute autre enceinte). Bien qu'elle puisse paraître simpliste, cette distinction est primordiale en ce qui concerne les informations fournies dans la suite de cette norme.

4.16**pulse width**

the time interval between the points on the leading and trailing edges of a pulse at which the instantaneous value is 50 % of the peak pulse amplitude, unless otherwise stated

4.17**rectified impulse (RI)**

the integral of the absolute value of a time waveform's amplitude over a specified time interval

4.18**rise time (pulse)**

the time interval between the instants in which the instantaneous amplitude of a pulse first reaches specified lower and upper limits, namely 10 % and 90 % of the peak pulse amplitude, unless otherwise stated

4.19**short-circuit current**

the value of current that flows when the output terminals of a circuit are shorted. This current is normally of interest when checking the performance of surge protection devices

4.20**source impedance**

the impedance presented by a source of energy to the input terminals of a device or network

4.21**vertical polarization**

an electromagnetic wave is vertically polarized if the electric field vector is in the incidence plane, and the magnetic field vector is perpendicular to the incidence plane and thus parallel to the ground plane (see figure 1). (This type of polarization is also called parallel or transverse magnetic (TM).)

5 Description of HEMP environment, conducted parameters

5.1 Introductory remarks

The electromagnetic field generated by a high-altitude nuclear explosion described in IEC 61000-2-9 can induce currents and voltages in all metallic structures. These currents and voltages propagating in conductors represent the conducted environment. This means that the conducted environment is a secondary phenomenon, a consequence of the radiated field alone.

All metallic structures (i.e. wires, conductors, pipes, ducts, etc.) will be affected by the HEMP. The conducted environment is important because it can direct the HEMP energy to sensitive electronics through signal, power, and grounding connections. It should be noted that there are two distinct categories of conductors: external and internal conductors (with regard to a building or any other enclosure). While this may seem simplistic, this separation is critical in terms of the information to be provided in this standard.

La topologie électromagnétique permet d'expliquer les différences entre ces deux types de conducteurs. En général, les conducteurs externes sont situés à l'extérieur d'un bâtiment et sont soumis complètement à l'environnement IEMN-HA total. Cette catégorie inclut les câbles d'alimentation, les lignes métalliques de communication, les câbles d'antennes ainsi que les tuyaux d'eau ou de gaz (s'ils sont métalliques). Dans cette norme, les conducteurs peuvent être aériens (à une certaine distance du sol) ou enterrés. Les conducteurs internes sont situés dans un bâtiment partiellement ou entièrement blindé, qui a réduit les champs électromagnétiques dus à l'IEMN-HA. C'est une situation beaucoup plus complexe. En effet, les formes d'onde du champ dû à l'IEMN-HA seront significativement modifiées par le blindage du bâtiment. Ainsi, le couplage aux fils et câbles internes est très difficile à calculer bien que certains résultats d'essais de simulation de l'IEMN-HA soient utilisables.

Dans cette norme, les environnements conduits en mode commun sur les conducteurs externes sont calculés en utilisant des géométries simplifiées pour ces conducteurs et les environnements IEMN-HA spécifiés pour les formes d'ondes initiale, intermédiaire et finale. Les environnements externes conduits sont destinés à évaluer la performance des dispositifs de protection à l'extérieur d'un bâtiment; à cause des variations dans les systèmes d'alimentation, les effets des transformateurs et des répartiteurs téléphoniques ne sont pas pris en considération ici. Cette méthode permet d'obtenir des formes d'onde approximatives mais bien définies qui sont susceptibles d'être utilisées pour tester de manière normative des éléments de protection sur des conducteurs externes. En ce qui concerne les conducteurs internes, une procédure permettant d'estimer les environnements conduits appropriés aux tests sur les équipements est définie. Pour les câbles multifilaires non blindés, les courants circulaires des lignes vers le sol sont supposés égaux au courant de mode commun.

5.2 Environnement externe conduit généré par l'IEMN-HA initiale

Le champ électrique intense de l'IEMN-HA initiale se couple de manière efficace avec les antennes ainsi qu'avec toutes les lignes exposées telles les lignes téléphoniques et les lignes de transport d'énergie. Le mécanisme de couplage à une antenne est extrêmement variable et dépend fortement des paramètres de l'antenne. Dans de nombreux cas, il est recommandé d'effectuer des tests en onde entretenue (CW) sur une antenne et de combiner la fonction de réponse de l'antenne avec l'environnement IEMN-HA incident. Toutefois, le paragraphe 5.5 contient des équations simples qui permettent de calculer la réponse d'antennes minces. Pour les lignes longues, il est possible d'effectuer une série complète de calculs en mode commun qui sont fiables et dépendent seulement de quelques paramètres. Ces paramètres comprennent la longueur du conducteur, la situation (au-dessus du sol ou enterré) et la conductivité du sol en surface (épaisseur comprise entre 0 m et 5 m). En outre, le couplage de l'IEMN-HA dépendant de l'angle de site et de la polarisation (voir figure 1), il est possible d'évaluer statistiquement la probabilité d'obtenir un niveau de courant donné.

Le tableau 1 ci-dessous décrit les courants de court-circuit en mode commun (valeurs calculées) et les impédances de source du modèle de Thévenin équivalent (utilisées pour calculer les tensions de circuit ouvert), en fonction du niveau de sévérité, de la position et de la longueur du conducteur ainsi que de la conductivité du sol. Ces résultats conviennent pour calculer les courants de mode commun circulant sur des fils nus, sur des câbles aériens isolés et sur les blindages des câbles blindés ou des coaxiaux. Pour les câbles blindés, il convient d'utiliser l'impédance de transfert mesurée ou spécifiée afin de déterminer les courants et les tensions sur les fils internes. Bien que la forme d'onde varie en fonction de l'orientation, une seule forme d'onde est spécifiée pour les lignes aériennes. L'onde est définie par son temps de montée (10 % à 90 %) et sa durée à mi-hauteur; lorsque le temps de montée et la durée à mi-hauteur d'une impulsion sont décrits ensemble, la notation suivante $\Delta t_r / \Delta t_{pw}$ est généralement employée.

The difference between these two types of conductors is explained by electromagnetic topology. In general, external conductors are those which are located outside of a building and are completely exposed to the full HEMP environment. This category includes power, metallic communication lines, antenna cables, and water and gas pipes (if metallic). For the purposes of this standard the conductors can be elevated above the ground or buried in the earth. Internal conductors are those which are located in a partially or completely shielded building where the HEMP fields have been reduced by the building. This is a much more complex situation, because the HEMP field waveforms will be significantly altered by the building shield, and the coupling to internal wires and cables is consequently very difficult to calculate, although some measured data are available from simulated HEMP tests.

In this standard the external conducted common mode environments are calculated using simplified conductor geometries and the specified HEMP environments for the early, intermediate, and late-time waveforms. These conducted external environments are intended to be used to evaluate the performance of protection devices outside of a building, and because of variations in telecom and power systems, the effects of transformers and telephone splice boxes are not considered here. This process results in approximate, but well-defined waveforms that are needed to test protective elements on external conductors in a standardized manner. For the internal conductors, a procedure is defined to estimate the conducted environments appropriate for equipment testing. For unshielded multiconductor wires, it is assumed that the line-to-ground currents are equal to the common-mode current.

5.2 Early-time HEMP external conducted environment

For the early-time HEMP, the high-amplitude electric field couples efficiently to antennas and to any exposed lines such as power and telephone lines. The antenna coupling mechanism is extremely variable and dependent on the details of the antenna design. In many cases, it is advisable to perform continuous wave (CW) testing of an antenna and to "combine" the response function of the antenna with the incident HEMP environment using a convolution technique. We have, however, provided simple equations to compute the response of thin antennas (see 5.5). For long lines, it is possible to perform a comprehensive set of common mode calculations that are reliable and depend only upon a few parameters. These parameters include conductor length, exposure situation (above ground or buried), and the surface ground conductivity (for depths between 0 m and 5 m). In addition, because the HEMP coupling is dependent on angle of elevation and polarization (see figure 1), it is possible to statistically examine the probability of producing particular levels of current.

Table 1 below describes the calculated, coupled, common-mode short-circuit currents and the Thévenin equivalent source impedances (used to determine the open-circuit voltages) as functions of severity level, length of conductor, and ground conductivity. These results are appropriate for the common-mode currents flowing on bare wires, overhead insulated wires, and the shields of shielded cables or coaxial transmission lines. For shielded cables one should use measured or specified cable transfer impedances to determine internal wire currents and voltages. Although some waveform variation occurs for different exposure geometries, a single time waveform is specified for elevated lines. The waveform is defined in terms of the rise time (10 % to 90 %) and the pulse width (at half maximum); when the pulse characteristics of rise time and pulse width are described together, the usual description is $\Delta t_r/\Delta t_{pw}$.

Dans le tableau 1, un niveau de sévérité de 99 % indique que 99 % des courants induits seront inférieurs à ce niveau. Les courants calculés sur les lignes enterrées varient beaucoup moins avec l'angle d'incidence et dénotent une très large distribution de probabilité (peu de différences entre les niveaux de sévérité de 10 % et 90 %), c'est pourquoi ils ne sont pas décrits en termes de niveaux de sévérité; les variations sont définies par rapport à la conductivité du sol. Les courants sur les conducteurs aériens décrits dans le tableau 1 sont valables pour des hauteurs supérieures à 5 m et les courants sur les conducteurs enterrés le sont pour des conducteurs légèrement ($h < 30$ cm) au-dessus ou au-dessous du sol. Pour des hauteurs de conducteurs inférieures à 5 m, les valeurs obtenues pour les câbles aériens dans le tableau 1 peuvent être interpolées linéairement (entre 0,3 m et 5 m). Dans le cas où des lignes aériennes pénètrent dans le sol (transition par aérosouterrain), les courants ressembleront d'abord à ceux de la forme d'onde 1 puis décroîtront en fonction de la longueur de la partie enterrée jusqu'à atteindre la forme d'onde 2 (cela demande environ 20 m). Pour plus d'informations sur l'obtention de ces formes d'onde, voir l'annexe A.

Tableau 1 – Courants de court-circuit en mode commun générés par l'IEMN-HA initiale, la valeur crête I_{pk} et la forme temporelle étant fonction du niveau de sévérité de la longueur L en mètres et de la conductivité du sol σ_g

Tableau 1a – Conducteur aérien

Sévérité (%) ¹⁾	I_{pk} A		
	$L > 200$ m	$100 \leq L \leq 200$ m	$L < 100$ m
50	500	500	$5,0 \times L$
90	1 500	$7,5 \times L$	$7,5 \times L$
99	4 000	$20 \times L$	$20 \times L$
¹⁾ Pourcentage de courants dont la valeur est inférieure à la valeur indiquée. Forme d'onde 1: 10/100 ns. Impédance de source: $Z_s = 400 \Omega$.			

Tableau 1b – Conducteur enterré

σ_g S/m	I_{pk} A
	Toutes longueurs > 10 m
10^{-2}	200
10^{-3}	300
10^{-4}	400
Forme d'onde 2: 25/500 ns. Impédance de source: $Z_s = 50 \Omega$.	

In table 1 a severity level of 99 % indicates that 99 % of the currents produced will be less than this value. The buried line currents calculated vary much less with angle of incidence and indicate a very broad probability distribution (small differences between 10 % and 90 % severity) and therefore are not described in terms of severity levels; variations are shown for ground conductivity. In terms of applicability for table 1, the elevated conductor currents are accurate for heights above 5 m while the buried currents can be used for conductors slightly ($h < 30$ cm) above the surface and below the surface. For conductor heights below 5 m, the values in table 1 may be linearly interpolated (between 0,3 m and 5 m). For cases where the lines from an elevated geometry enter the ground in an insulated manner, the currents will initially resemble waveform 1, decreasing as a function of burial distance until waveform 2 is reached (requires approximately 20 m). Consult annex A for further information regarding the derivation of these waveforms.

Table 1 – Early-time HEMP conducted common-mode short-circuit currents including the time history and peak value I_{pk} as a function of severity level, length L in metres and ground conductivity σ_g

Table 1a – Elevated conductor

Severity (%) ¹⁾	I_{pk} A		
	$L > 200$ m	$100 \leq L \leq 200$ m	$L < 100$ m
50	500	500	$5,0 \times L$
90	1 500	$7,5 \times L$	$7,5 \times L$
99	4 000	$20 \times L$	$20 \times L$
¹⁾ Percentage of currents smaller than the indicated value. Waveform 1: 10/100 ns. Source impedance: $Z_s = 400 \Omega$.			

Table 1b – Buried conductor

σ_g S/m	I_{pk} A
	All lengths > 10 m
10^{-2}	200
10^{-3}	300
10^{-4}	400
Waveform 2: 25/500 ns. Source impedance: $Z_s = 50 \Omega$.	

5.3 Environnement externe généré par l'IEMN-HA intermédiaire

L'IEMN-HA intermédiaire ne se couple efficacement que sur les conducteurs d'une longueur supérieure à 1 km. C'est pourquoi elle n'est à prendre en compte que sur les conducteurs externes tels que les lignes de transport d'énergie ou les lignes de télécommunication. La largeur de l'impulsion de l'IEMN-HA intermédiaire étant beaucoup plus importante que celle de l'IEMN-HA initiale, le couplage de cette onde varie moins en fonction de l'angle de site. Cela signifie que la variation statistique est moins importante que dans le cas du couplage avec l'onde initiale. Par contre, la conductivité du sol est plus importante et affecte le couplage sur les lignes aériennes aussi bien que sur les lignes enterrées. Voir annexe B pour plus d'informations.

Le tableau 2 décrit l'environnement externe conduit en fonction du type de ligne, de la conductivité du sol (à des profondeurs de 1 km) et de la longueur de la ligne.

Tableau 2 – Courants de court-circuit (mode commun) induits par l'IEMN-HA intermédiaire, la valeur crête I_{pk} et la forme temporelle étant fonction de la longueur L en m et de la conductivité du sol σ_g

Tableau 2a – Conducteur aérien

σ_g S/m	I_{pk} A			
	$L > 10\,000\text{ m}$	$1\,000 \leq L \leq 10\,000\text{ m}$	$100 \leq L \leq 1\,000\text{ m}$	$L < 100\text{ m}$
10^{-2}	150	75	$0,05 \times L$	0
10^{-3}	350	200	$0,15 \times L$	0
10^{-4}	800	600	$0,45 \times L$	0
Forme d'onde 3: 25/1 500 μs . Impédance de source: $Z_s = 400\ \Omega$.				

Tableau 2b – Conducteur enterré

σ_g S/m	I_{pk} A		
	$L > 1\,000\text{ m}$	$100 \leq L \leq 1\,000\text{ m}$	$L < 100\text{ m}$
10^{-2}	50	$0,05 \times L$	0
10^{-3}	150	$0,15 \times L$	0
10^{-4}	450	$0,45 \times L$	0
Forme d'onde 3: 25/1 500 μs . Impédance de source: $Z_s = 50\ \Omega$.			

5.3 Intermediate-time HEMP external conducted environment

The intermediate-time HEMP environment only couples efficiently to long conductors in excess of 1 km. It is therefore of interest primarily for external conductors such as power and communication lines. Because the pulse width of this environment is much wider than that of the early-time environment, the coupling varies less as a function of angle of elevation. This means that the statistical variation is less important than in the case of the early-time coupling. On the other hand, the ground conductivity is more important here affecting the coupling to elevated lines in addition to buried lines. See annex B for a more detailed discussion.

Table 2 describes the conducted external environment as a function of line length and ground conductivity (to depths of 1 km).

Table 2 – Intermediate-time HEMP conducted common-mode short-circuit currents including the time history and peak value I_{pk} as a function of length L in metres and ground conductivity σ_g

Table 2a – Elevated conductor

σ_g S/m	I_{pk} A			
	$L > 10\,000\text{ m}$	$1\,000 \leq L \leq 10\,000\text{ m}$	$100 \leq L \leq 1\,000\text{ m}$	$L < 100\text{ m}$
10^{-2}	150	75	$0,05 \times L$	0
10^{-3}	350	200	$0,15 \times L$	0
10^{-4}	800	600	$0,45 \times L$	0
Waveform 3: 25/1 500 μs . Source impedance: $Z_s = 400\ \Omega$.				

Table 2b – Buried conductor

σ_g S/m	I_{pk} A		
	$L > 1\,000\text{ m}$	$100 \leq L \leq 1\,000\text{ m}$	$L < 100\text{ m}$
10^{-2}	50	$0,05 \times L$	0
10^{-3}	150	$0,15 \times L$	0
10^{-4}	450	$0,45 \times L$	0
Waveform 3: 25/1 500 μs . Source impedance: $Z_s = 50\ \Omega$.			