

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61786

Première édition
First edition
1998-08

**Mesure de champs magnétiques et électriques
à basse fréquence dans leur rapport à l'exposition
humaine – Prescriptions spéciales applicables
aux instruments et recommandations
pour les procédures de mesure**

**Measurement of low-frequency magnetic
and electric fields with regard to exposure
of human beings – Special requirements for
instruments and guidance for measurements**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61786:1998

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
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

61786

Première édition
First edition
1998-08

**Mesure de champs magnétiques et électriques
à basse fréquence dans leur rapport à l'exposition
humaine – Prescriptions spéciales applicables
aux instruments et recommandations
pour les procédures de mesure**

**Measurement of low-frequency magnetic
and electric fields with regard to exposure
of human beings – Special requirements for
instruments and guidance for measurements**

© 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
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XC

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 Définitions	10
4 Symboles	20
5 Mesure des champs magnétiques alternatifs	22
5.1 Spécifications relatives aux instruments	22
5.2 Etalonnage	30
5.3 Incertitude de mesure	38
5.4 Enregistrement et consignation des résultats de mesure	40
5.5 Méthode de mesure	42
6 Mesure des champs électriques alternatifs	44
6.1 Spécifications relatives aux instruments	44
6.2 Etalonnage	48
6.3 Incertitude de mesure	54
6.4 Enregistrement et consignation des résultats de mesure	54
6.5 Méthode de mesure	56
Annexes	
A (normative) Méthodes d'étalonnage	60
B (normative) Sources d'incertitude de mesure	82
C (informative) Caractéristiques générales des champs électriques et magnétiques	104
D (informative) Capteurs d'induction magnétique (capteurs de champ magnétique) – Recommandations pour les mesures	112
E (informative) Capteurs de champ électrique – Recommandations pour les mesures ..	142
F (informative) Instruments de mesure de champs magnétiques statiques	164
G (informative) Unités	166
H (informative) Bibliographie	168

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	11
4 Symbols	21
5 Measurement of alternating magnetic fields	23
5.1 Instrumentation specifications	23
5.2 Calibration	31
5.3 Measurement uncertainty	39
5.4 Recording and reporting measurement results	41
5.5 Measurement procedure	43
6 Measurement of alternating electric fields	45
6.1 Instrumentation specifications	45
6.2 Calibration	49
6.3 Measurement uncertainty	55
6.4 Recording and reporting measurement results	55
6.5 Measurement procedure	57
Annexes	
A (normative) Calibration methods	61
B (normative) Sources of measurement uncertainty	83
C (informative) General characteristics of quasi-static magnetic and electric fields	105
D (informative) Magnetic flux density meters (magnetic field meters) – Guidance for measurements	113
E (informative) Electric field strength meters (electric field meters) – Guidance for measurements	143
F (informative) Static magnetic field-measuring instrumentation	165
G (informative) Units	167
H (informative) Bibliography	169

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MESURE DE CHAMPS MAGNÉTIQUES ET ÉLECTRIQUES À BASSE FRÉQUENCE DANS LEUR RAPPORT À L'EXPOSITION HUMAINE – PRESCRIPTIONS SPÉCIALES APPLICABLES AUX INSTRUMENTS ET RECOMMANDATIONS POUR LES PROCÉDURES DE MESURE

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 61786 a été établie par le comité d'études 85 de la CEI: Appareillage de mesure des grandeurs électromagnétiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
85/191/FDIS	85/193/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 et B font partie intégrante de cette norme.

Les annexes C, D, E, F, G et H sont données uniquement à titre d'information.

Les termes en caractères **gras** sont définis à l'article 3.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT OF LOW-FREQUENCY MAGNETIC AND ELECTRIC FIELDS
WITH REGARD TO EXPOSURE OF HUMAN BEINGS –
SPECIAL REQUIREMENTS FOR INSTRUMENTS AND
GUIDANCE FOR MEASUREMENTS**

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 61786 has been prepared by IEC technical committee 85: Measuring equipment for electromagnetic quantities.

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

FDIS	Report on voting
85/191/FDIS	85/193/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 and B form an integral part of this standard.

Annexes C, D, E, F, G and H are for information only.

Words in **bold** in the text are defined in clause 3.

INTRODUCTION

L'intérêt croissant pour caractériser l'exposition des êtres humains aux champs magnétiques et électriques quasi statiques dans bon nombre d'environnements a conduit au développement et à la commercialisation d'un grand nombre d'instruments de mesure de champs avec une grande variété de spécifications. Parmi les sources de **champs quasi statiques** figurent des dispositifs qui fonctionnent à la fréquence industrielle (50/60 Hz) et qui produisent des champs à la fréquence industrielle et à ses harmoniques, ainsi que des dispositifs qui produisent des champs indépendants de la fréquence industrielle. Parmi les exemples de dispositifs appartenant à cette dernière catégorie, il est possible de citer les écrans d'affichage vidéo (champ magnétique de balayage vertical), les chemins de fer électriques ($16^{2/3}$ Hz et 25 Hz), les systèmes de transport en commun (0 Hz à 3 kHz selon les caractéristiques des systèmes d'entraînement à vitesse variable), les avions commerciaux (400 Hz), les appareils de chauffage à induction (50 Hz à 9 kHz), et les automobiles électriques. En raison des différences existant entre les caractéristiques des champs générés par les sources dans les divers environnements, par exemple les composantes fréquentielles, les variations temporelles et spatiales, la polarisation et l'amplitude, les prescriptions applicables aux instruments et les procédures de mesure seront différentes dans les divers environnements. Il existe, dans le commerce, des instruments pour mesurer l'exposition des êtres humains à l'amplitude des champs ainsi qu'à d'autres paramètres qui caractérisent les champs. Le présent document traite essentiellement des instruments et des méthodes de mesure dans le rapport qu'ils peuvent avoir à l'exposition humaine. Il convient cependant de préciser que les paramètres décrivant les **champs quasi statiques** et leurs mécanismes d'interaction avec les êtres humains lors d'expositions aux champs magnétiques et électriques restent encore inconnus.

Parmi les utilisateurs visés par la présente Norme internationale figurent les fabricants d'instruments ainsi que des groupes ou des individus intéressés par la caractérisation de l'exposition des êtres humains aux champs magnétiques et électriques quasi statiques. On suppose que les utilisateurs qui envisagent d'effectuer des mesures ont une certaine connaissance des instruments ainsi que des sources de champs et de leurs caractéristiques. Si tel n'est pas le cas, il est vivement conseillé de suivre une formation. La présente norme peut servir de support de formation en raison des informations techniques contenues dans les annexes.

INTRODUCTION

The increasing interest in characterizing human exposure to quasi-static magnetic and electric fields in a number of environments has led to the development and marketing of many field meters with a range of specifications. Sources of **quasi-static fields** include devices that operate at power frequencies (50/60 Hz) and produce power frequency and power frequency harmonic fields, as well as devices which produce fields that are independent of the power frequency. Examples in the latter category include video display terminals (vertical scan magnetic field), electric railroads ($16^{2/3}$ Hz and 25 Hz), mass transportation systems (0 Hz to 3 kHz depending on characteristics of adjustable speed drive), commercial airplanes (400 Hz), induction heaters (50 Hz to 9 kHz), and electric automobiles. Because of differences in the characteristics of the fields from sources in the various environments, e.g. frequency content, temporal and spatial variations, polarization, and magnitude, the instrumentation requirements and measurement procedures will be different in the various environments. Commercially available instrumentation exists to measure human exposure to the field levels as well as to other parameters that characterize the fields. The instrumentation and measurement methods, as they may pertain to human exposure, are the focus of this document. It should be noted that the parameters that describe **quasi-static fields** and the mechanisms for their interaction with humans during magnetic and electric field exposure are still unknown.

The intended users of this International Standard include manufacturers of instrumentation and groups or individuals interested in characterizing quasi-static magnetic and electric fields as they relate to human exposure. It is assumed that users intending to perform measurements have some knowledge of the instrumentation as well as field sources and their characteristics. In the absence of such knowledge, it is strongly advised that some training be received. This standard may serve as a textbook for the training process because of the technical information provided in the annexes.

Withhold

MESURE DE CHAMPS MAGNÉTIQUES ET ÉLECTRIQUES À BASSE FRÉQUENCE DANS LEUR RAPPORT À L'EXPOSITION HUMAINE – PRESCRIPTIONS SPÉCIALES APPLICABLES AUX INSTRUMENTS ET RECOMMANDATIONS POUR LES PROCÉDURES DE MESURE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des recommandations pour la mesure des valeurs efficaces en régime entretenu des champs magnétiques et électriques quasi statiques avec des composantes fréquentielles comprises entre 15 Hz et 9 kHz. Parmi les sources possibles de **champs quasi statiques** figurent des dispositifs qui fonctionnent aux fréquences industrielles et qui produisent des champs à ces fréquences industrielles et aux fréquences harmoniques des fréquences industrielles, ainsi que des dispositifs qui produisent des champs indépendants de la fréquence industrielle. Les plages d'amplitudes couvertes par la présente norme vont respectivement de 100 nT à 100 mT et de 1 V/m à 50 kV/m pour les champs magnétiques et les champs électriques. Lorsque des mesures sont effectuées en dehors de cette plage, la plupart des dispositions de la présente norme restent applicables, mais il est possible que certaines dispositions, telles que l'incertitude et la procédure d'étalonnage spécifiées, nécessitent une modification. De façon spécifique, la présente norme

- définit la terminologie;
- identifie les spécifications requises pour les capteurs de champ;
- indique les méthodes d'étalonnage;
- définit les prescriptions applicables à l'incertitude des instruments;
- décrit les caractéristiques générales des champs;
- étudie les principes de fonctionnement des instruments de mesure;
- décrit les méthodes de mesure permettant d'atteindre les objectifs définis quant à l'exposition des êtres humains.

Les sources d'incertitude, pendant l'étalonnage et les mesures, sont également identifiées et des recommandations sont données sur la manière dont il convient de les combiner pour déterminer l'**incertitude de mesure** totale. En ce qui concerne les mesures de champs électriques, la présente norme considère uniquement la mesure du champ électrique non perturbé en un point de l'espace (c'est-à-dire le champ électrique avant l'intervention du capteur du champ et de l'opérateur) ou sur des surfaces conductrices.

NOTE – En raison des exigences liées aux formats, il n'a pas été possible d'éviter une certaine séparation entre les prescriptions normatives applicables aux mesures dans les articles 5 et 6 d'une part, et les protocoles de mesure cités en exemple et les recommandations pour les mesures dans les annexes D et E d'autre part.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions de la présente Norme internationale. 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 Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

CEI 61000-3-2: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 2: Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils ≤16 A par phase)*

MEASUREMENT OF LOW-FREQUENCY MAGNETIC AND ELECTRIC FIELDS WITH REGARD TO EXPOSURE OF HUMAN BEINGS – SPECIAL REQUIREMENTS FOR INSTRUMENTS AND GUIDANCE FOR MEASUREMENTS

1 Scope

This International Standard provides guidance for measuring the steady-state root-mean-square (r.m.s.) values of quasi-static magnetic and electric fields which have a frequency content in the range 15 Hz to 9 kHz. Sources of **quasi-static fields** include devices that operate at power frequencies and produce power frequency and power frequency harmonic fields, as well as devices that produce fields independent of the power frequency. The magnitude ranges covered by this standard are 100 nT to 100 mT and 1 V/m to 50 kV/m for magnetic fields and electric fields, respectively. When measurements outside this range are performed, most of the provisions of this standard will still apply, but certain provisions such as specified uncertainty and calibration procedure may need modification. Specifically, this standard

- defines terminology;
- identifies requisite field meter specifications;
- indicates methods of calibration;
- defines requirements on instrumentation uncertainty;
- describes general characteristics of fields;
- surveys operational principles of instrumentation;
- describes measurement methods that achieve defined goals pertaining to human exposure.

Sources of uncertainty during calibration and measurements are also identified and guidance is provided on how they should be combined to determine total **measurement uncertainty**. In regard to electric field measurements, this standard considers only the measurement of the unperturbed electric field strength at a point in space (i.e. the electric field prior to the introduction of the field meter and operator) or on conducting surfaces.

NOTE – Some separation between the normative measurement requirements in clauses 5 and 6 and the example measurement protocols and guidance for measurements in annexes D and E is unavoidable because of format requirements.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard 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 61000-3-2:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤16 A per phase)*

CEI 61000-4-2: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 2: Essais d'immunité aux décharges électrostatiques*. Publication fondamentale en CEM

CEI 61000-4-3: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 3: Essais d'immunité aux champs électromagnétiques, rayonnés, aux fréquences radioélectriques*

CEI 61000-4-4: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 4: Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves*. Publication fondamentale en CEM

CEI 61000-4-6:1996, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 6: Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

CEI 61000-4-8:1993, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 8: Essais d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau*. Publication fondamentale en CEM

CISPR 11:1990, *Limites et méthodes de mesure des caractéristiques de perturbations électromagnétiques des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) à fréquence radioélectrique*

ISBN 92-67-01075-1:1993, *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie*, Organisation internationale de normalisation

ISBN 92-67-10188-9:1995, ISO TAG, ISO Technical Advisory Group on Metrology, Groupe de travail 3, *Directive pour l'expression de l'incertitude de mesure*

IEEE Std 539:1990, *Norme IEEE, Définitions de termes se rapportant aux effluves et aux effets de champs dus aux lignes d'alimentation aériennes*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent:

NOTE – Dans la présente norme, les termes «induction magnétique» et «champ magnétique» seront considérés comme des synonymes.

3.1 Essais

3.1.1

essais de réception

essai contractuel ayant pour objet de prouver au client que le dispositif répond à certaines conditions de sa spécification

3.1.2

essai de type

essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications

NOTE – Cet essai est normalement effectué par le concepteur/fabricant du dispositif.

IEC 61000-4-2:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 2: Electrostatic discharge immunity test* – Basic EMC Publication

IEC 61000-4-3:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 61000-4-4:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 4: Electrical fast transient/burst immunity test* – Basic EMC publication

IEC 61000-4-6:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 6: Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

IEC 61000-4-8:1993, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 8: Power frequency magnetic field immunity test* – Basic EMC Publication

CISPR 11:1990, *Limits and methods of measurement of electromagnetic disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment*

ISBN 92-67-01075-1:1993, *International vocabulary of basic and general terms in metrology*, International Organization for Standardization.

ISBN 92-67-10188-9:1995, ISO TAG, ISO Technical Advisory Group on Metrology, Working Group 3, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

IEEE Std 539:1990, *IEEE Standard Definitions of Terms Relating to Corona and Field Effects of Overhead Power Lines*.

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.

NOTE – Throughout this standard, the words "magnetic flux density" and "magnetic field" will be considered synonymous.

3.1 Tests

3.1.1 acceptance tests

contractual test to prove to the customer that the device meets certain conditions of its specifications

3.1.2

type test

test of one or more devices made to a certain design to show that the design meets certain specifications

NOTE – This test is normally performed by the designer/manufacture of the device.

3.2 Capteurs

3.2.1

capteur de champ électrique alternatif

appareil destiné à mesurer des champs électriques alternatifs. Il existe trois types de capteurs de champ électrique: **capteurs d'espace libre**, **capteurs de paroi**, **capteurs électro-optiques**.

NOTE – Les capteurs de champ électrique se composent de deux parties: la sonde ou partie sensible au champ, et le détecteur qui traite le signal provenant de la sonde et indique la valeur efficace du champ électrique sur un dispositif d'affichage analogique ou numérique.

3.2.2

capteur électro-optique

appareil servant à mesurer le champ électrique par l'intermédiaire des variations de transmission de la lumière à travers une fibre ou un cristal, sous l'effet du champ électrique

NOTE – Bien qu'il existe plusieurs méthodes électro-optiques permettant de mesurer les champs électriques, par exemple l'effet Pockels, l'effet Kerr, et des techniques interférométriques, la présente norme ne traite que des **capteurs électro-optiques** qui utilisent l'effet Pockels.

3.2.3

capteur d'espace libre

appareil servant à mesurer le champ électrique en un point situé au-dessus du sol et qui est soutenu dans l'espace sans contact électrique avec la terre

NOTE – Les capteurs d'espaces libres sont habituellement destinés à mesurer le courant induit entre deux parties isolées d'un corps conducteur. Etant donné que le courant induit est proportionnel à la dérivée par rapport au temps du champ électrique, le circuit détecteur du capteur contient souvent un étage intégrateur permettant de restituer la forme d'onde du champ électrique. La forme d'onde intégrée du courant coïncide également avec celle de la charge induite. L'étage d'intégration est aussi souhaitable, notamment pour la mesure de champs électriques avec un taux d'harmoniques, parce que cet étage (c'est-à-dire sa propriété d'intégration) élimine la pondération excessive des composantes harmoniques dans le signal du courant induit.

3.2.4

magnétomètre à noyau saturable

instrument servant à mesurer les champs magnétiques en utilisant les caractéristiques magnétiques non linéaires d'une sonde ou d'un capteur ayant un noyau ferromagnétique

3.2.5

capteur de paroi

appareil servant à mesurer le champ électrique à la surface d'une paroi ou d'un sol, ou près de cette surface, et dont le principe de fonctionnement repose souvent sur la mesure du courant induit ou de la charge induite oscillant entre une électrode isolée et le sol. L'électrode isolée est habituellement une plaque située au niveau de la surface du sol ou légèrement au-dessus de celle-ci.

NOTE – Les **capteurs de paroi** destinés à mesurer le courant induit contiennent souvent un circuit intégrateur destiné à compenser la relation de dérivation entre le courant induit et le champ électrique.

3.2.6

capteur d'induction magnétique

appareil destiné à mesurer l'induction magnétique

NOTE 1 – Les capteurs de champ magnétique se composent de deux parties: la sonde ou partie sensible au champ, et le détecteur qui traite le signal provenant de la sonde et indique la valeur efficace du champ magnétique sur un dispositif d'affichage analogique ou numérique.

NOTE 2 – Divers types d'appareils sont d'usage courant, par exemple les capteurs de champ munis de sondes inductives, les capteurs munis de **sondes à effet Hall**, et les capteurs associant deux **bobines** à un noyau ferromagnétique, comme dans le cas d'un **magnétomètre à noyau saturable**.

3.2.7

dosimètre

capteur de faible poids, alimenté par des batteries, donnant une lecture en temps réel et pouvant être tenu dans la main pour effectuer des mesures de contrôle dans divers endroits

3.2 Meters

3.2.1

alternating electric field strength meter

meter designed to measure alternating electric fields. Three types of electric field strength meters are available: **free-body meter**, **ground reference meter**, **electro-optic meter**.

NOTE – Electric field meters consist of two parts: the probe or field-sensing element, and the detector which processes the signal from the probe and indicates the r.m.s. value of the electric field with an analogue or digital display.

3.2.2

electro-optic meter

meter that measures the electric field strength by changes in the transmission of light through a fibre or crystal which are due to the influence of the electric field

NOTE – While there are several electro-optic methods that can be used for measuring electric fields, e.g. the Pockels effect, the Kerr effect, and interferometric techniques, this standard only considers electro-optic field meters that utilize the Pockels effect.

3.2.3

free-body meter

meter that measures the electric field strength at a point above the ground and is supported in space without conductive contact to earth

NOTE – **Free-body meters** are commonly constructed to measure the induced current between two isolated parts of a conductive body. Since the induced current is proportional to the time derivative of the electric field strength, the meter's detector circuit often contains an integrating stage in order to recover the waveform of the electric field. The integrated current waveform also coincides with that of the induced charge. The integrating stage is also desirable, particularly for the measurement of electric fields with harmonic content, because this stage (i.e. its integrating property) eliminates the excessive weighting of the harmonic components in the induced current signal.

3.2.4

fluxgate magnetometer

instrument designed to measure magnetic fields by making use of the non-linear magnetic characteristics of a probe or sensing element that has a ferromagnetic core

3.2.5

ground reference meter

meter that measures the electric field at or close to the surface of the ground, frequently implemented by measuring the induced current or charge oscillating between an isolated electrode and ground. The isolated electrode is usually a plate located level with or slightly above the ground surface.

NOTE – **Ground reference meters** measuring the induced current often contain an integrator circuit to compensate for the derivative relationship between the induced current and the electric field.

3.2.6

magnetic flux density meter

meter designed to measure the magnetic flux density

NOTE 1 – Magnetic field meters consist of two parts: the probe or field-sensing element, and the detector which processes the signal from the probe and indicates the r.m.s. value of the magnetic field with an analogue or digital display.

NOTE 2 – Several types of meters are in common use, e.g. field meters with **coil probes**, meters with **Hall-effect probes**, and meters that combine two coils with a ferromagnetic core as in a **fluxgate magnetometer**.

3.2.7

survey meter

lightweight battery-operated meter that gives a real time read-out and that can be held conveniently by hand in order to conduct survey type measurements in different locations

3.2.8

sonde à bobine (ou bobine)

capteur d'induction magnétique comprenant une bobine en fil qui produit une tension induite proportionnelle à la dérivée temporelle du champ magnétique

NOTE 1 – Etant donné que la tension induite est proportionnelle à la dérivée temporelle de l'induction magnétique, il est nécessaire que le circuit détecteur du capteur contienne un étage intégrateur destiné à restituer la forme d'onde de l'induction magnétique.

NOTE 2 – Cette sonde peut également servir à mesurer l'induction magnétique statique (c.c.) si la sonde est mise en rotation.

3.2.9

sonde à effet Hall

capteur d'induction magnétique contenant un élément qui utilise l'effet Hall pour produire une tension proportionnelle à l'induction magnétique.

NOTE – Les **sondes de Hall** sont capables de capter aussi bien des inductions magnétiques statiques que des inductions magnétiques à variation temporelle. En raison de leur sensibilité limitée et des problèmes de saturation rencontrés lorsqu'on tente de mesurer des inductions magnétiques de faible niveau à la fréquence industrielle en présence d'un champ géomagnétique statique d'importance appréciable, les **sondes à effet Hall** ont rarement été utilisées pour mesurer des champs magnétiques de lignes d'alimentation en courant alternatif.

3.3 Caractéristiques des capteurs

3.3.1

facteur de crête

pour des fonctions périodiques, rapport entre la valeur de crête du signal (pic, maximum) et sa valeur efficace

3.3.2

diaphonie

bruit ou signal parasite généré par des signaux alternatifs ou des impulsions dans des circuits adjacents

3.3.3

réponse en fréquence

réponse (lecture) d'un capteur de champ à un champ d'amplitude constante en fonction de la fréquence

3.3.4

bande passante

(1) (transmission de données) plage du spectre de fréquence qui peut passer en étant faiblement atténuée

(2) (circuits et systèmes) bande de fréquences qui passe à travers un filtre avec une faible atténuation (par rapport à d'autres bandes de fréquences telles qu'une bande atténuée)

3.3.5

détecteur de valeur redressée (étalonné en valeur efficace) (voir 3.3.6)

circuit détecteur qui redresse le signal provenant de la sonde et qui est étalonné pour donner la valeur efficace correcte d'un champ sinusoïdal à une fréquence donnée

NOTE – S'il y a des harmoniques dans le champ, un capteur de champ muni d'un **détecteur de valeur redressée** (efficace) n'indiquera pas la vraie valeur efficace du champ si le signal provenant de la sonde est proportionnel à la dérivée temporelle du champ. Si le détecteur contient un étage intégrateur, l'erreur est réduite. L'erreur dépendra également de la relation de phase entre les composantes harmoniques et la fondamentale du champ [36],[61].

3.3.6

détecteur de valeur efficace vraie (voir détecteur de valeur redressée (étalonné en valeur efficace))

détecteur qui contient un élément de circuit qui effectue l'opération mathématique

3.2.8

coil probe

magnetic flux density sensor comprised of a coil of wire that produces an induced voltage proportional to the time derivative of the magnetic field

NOTE 1 – Since the induced voltage is proportional to the time derivative of the magnetic flux density, the detector circuit of the sensor requires an integrating stage to recover the waveform of the magnetic flux density.

NOTE 2 – This probe can also be used to measure static (d.c.) magnetic flux density if the probe is rotated.

3.2.9

Hall effect probe

magnetic flux density sensor containing an element exhibiting the Hall effect to produce a voltage proportional to the magnetic flux density

NOTE – **Hall effect probes** respond to static as well as time-varying magnetic flux densities. Due to limited sensitivity and saturation problems sometimes encountered when attempting to measure small power frequency flux densities in the presence of the substantial static geomagnetic flux of the earth, **Hall-effect probes** have seldom been used to measure magnetic fields of a.c. power lines.

3.3 Meter characteristics

3.3.1

crest factor

for periodic functions, the ratio of the waveform crest (peak, maximum) value to its r.m.s. value

3.3.2

crosstalk

noise or extraneous signal caused by a.c. or pulse-type signals in adjacent circuits

3.3.3

frequency response

response (reading) of a field meter to a field of constant amplitude but different frequencies

3.3.4

pass-band

- (1) (data transmission) a range of frequency spectra which can pass at low attenuation
- (2) (circuits and systems) a band of frequencies that pass through a filter with little attenuation (relative to other frequency bands such as a stop-band)

3.3.5

rectified average (calibrated in r.m.s.) detector (see 3.3.6)

detector circuit that rectifies the signal from the probe and is calibrated to give the correct r.m.s. value of a sinusoidal field at a given frequency

NOTE – If there are harmonics in the field, a field meter with a **rectified average (r.m.s.) detector** will not indicate the true r.m.s. value of the field if the signal from the probe is proportional to the time derivative of the field. If the detector contains a stage of integration, the error is reduced. The error will also be a function of the phase relation between the harmonic and fundamental field components [36], [61].

3.3.6

true r.m.s. detector (see rectified average (calibrated in r.m.s.) detector)

detector that contains a circuit component that performs the mathematical operation

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt} \quad (1)$$

par rapport à un signal périodique $v(t)$, où T est la période du signal.

NOTE 1 – Si $v(t)$ est proportionnel à la dérivée temporelle du champ, il est nécessaire que le circuit détecteur contienne également un étage intégrateur avant l'opération donnant la valeur efficace afin de restituer la forme d'onde de l'induction magnétique [25], [61]. Ce type de détecteur donne la valeur efficace vraie d'un champ contenant des harmoniques, à condition que la **réponse en fréquence** du détecteur soit plate sur la plage de fréquences concernée.

NOTE 2 – Si des niveaux importants d'harmoniques sont présents dans le signal $v(t)$, il convient de prêter une attention particulière à la possible saturation de l'amplificateur si l'intégration suit un ou plusieurs étages d'amplification.

3.4 Caractéristiques des champs

3.4.1

valeur efficace maximale du champ électrique (champ électrique maximal)

mesure de champs électriques et magnétiques quasi statiques à polarisation elliptique. En un point donné, valeur efficace du demi-grand axe de l'ellipse du champ électrique

3.4.2

valeur efficace maximale du champ magnétique (champ magnétique maximal)

mesure des champs électriques et magnétiques à des fréquences industrielles. En un point donné, valeur efficace du demi-grand axe de l'ellipse du champ magnétique

3.4.3

champ perturbé

champ dont l'amplitude ou la direction a changé, ou les deux à la fois, sous l'effet de l'introduction d'un objet

NOTE – Le champ électrique à la surface de l'objet est, en général, fortement perturbé par la présence de l'objet. Aux fréquences industrielles, l'induction magnétique n'est pas, en général, fortement perturbée par la présence d'objets exempts de matériaux magnétiques. Il existe toutefois des exceptions à cela, parmi lesquelles les régions proches de la surface de conducteurs électriques épais et les régions éloignées des conducteurs épais, si le conducteur est proche de la source de champ magnétique. Dans ces cas, la perturbation est due à des champs magnétiques opposés produits par les courants de Foucault dans les conducteurs.

3.4.4

champ non perturbé

champ qui aurait dû exister en un point, en l'absence de personnes ou d'objets mobiles

3.4.5

champ quasi statique

champ qui satisfait à la condition $f \ll c/l$, où f est la fréquence du champ, c est la vitesse de la lumière, et l est une dimension caractéristique de la géométrie de mesure, par exemple la distance entre la source de champ et le point de mesure

NOTE – Les champs magnétiques et électriques à la fréquence industrielle, à proximité de lignes d'alimentation d'énergie et d'appareils électriques, constituent des exemples de **champs quasi statiques**.

3.4.6

champ électrique résultant

champ électrique donné par l'expression

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (2)$$

où E_x , E_y , et E_z sont les valeurs efficaces des trois composantes orthogonales du champ

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt} \quad (1)$$

to a periodic signal $v(t)$, where T is the period of the signal.

NOTE 1 – If $v(t)$ is proportional to the time-derivative of the field, the detector circuit also requires a stage of integration prior to the r.m.s. operation in order to recover the waveform of the magnetic flux density [25], [61]. This type of detector gives the true r.m.s. value of a field containing harmonics provided that the **frequency response** of the detector is flat over the frequency range of interest.

NOTE 2 – If significant levels of harmonics are present in $v(t)$, particular attention should be given to the possibility of amplifier saturation effects if the integration follows one or more stages of amplification.

3.4 Field characteristics

3.4.1

maximum r.m.s. value of electric field (maximum electric field)

measurement of elliptically polarized quasi-static electric and magnetic fields. At a given point, the root-mean-square (r.m.s.) value of the semi-major axis of the electric field ellipse

3.4.2

maximum r.m.s. value of magnetic field (maximum magnetic field)

measurement of power frequency electric and magnetic fields. At a given point, the root-mean-square (r.m.s.) value of the semi-major axis of the magnetic field ellipse

3.4.3

perturbed field

field that is changed in magnitude or direction, or both, by the introduction of an object

NOTE – The electric field at the surface of the object is, in general, strongly perturbed by the presence of the object. At power frequencies, the magnetic flux density is not, in general, greatly perturbed by the presence of objects that are free of magnetic materials. Exceptions to this include regions near the surface of thick electrical conductors and regions far from thick conductors, if the conductor is close to the magnetic field source. The perturbation in these instances is due to opposing magnetic fields produced by eddy currents in the conductors.

3.4.4

unperturbed field

field at a point that would exist in the absence of persons or movable objects

3.4.5

quasi-static field

field that satisfies the condition $f \ll c/l$, where f is the frequency of the field, c is the speed of light, and l is a characteristic dimension of the measurement geometry, e.g. the distance between the field source and the measurement point

NOTE – Power frequency magnetic and electric fields near power lines and appliances are examples of **quasi-static fields**.

3.4.6

resultant electric field

electric field given by the expression

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (2)$$

where E_x , E_y , and E_z are the r.m.s. values of the three orthogonal field components

Le **champ électrique résultant** est également donné par l'expression

$$E_R = \sqrt{E_{\max}^2 + E_{\min}^2} \quad (3)$$

où $E_{\max}$ et $E_{\min}$ sont les valeurs efficaces respectives du demi-grand axe et du demi-petit axe de l'ellipse du champ électrique. Le champ résultant E_R est toujours $\geq E_{\max}$. Si le champ électrique est polarisé linéairement, $E_{\min} = 0$ et $E_R = E_{\max}$. Si le champ électrique est polarisé circulairement, $E_{\max} = E_{\min}$ et $E_R \approx 1,41 E_{\max}$.

NOTE – La définition de «intensité efficace du champ» dans le projet de norme ENV 50166-1 du CENELEC [5] équivaut à celle du **champ magnétique résultant** ou à celle du **champ électrique résultant**, selon le cas.

3.4.7

champ magnétique résultant

champ magnétique donné par l'expression

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (4)$$

où B_x , B_y , et B_z sont les valeurs efficaces des trois composantes orthogonales du champ.

Le **champ magnétique résultant** est également donné par l'expression

$$B_R = \sqrt{B_{\max}^2 + B_{\min}^2} \quad (5)$$

où $B_{\max}$ et $B_{\min}$ sont les valeurs efficaces respectives du demi-grand axe et du demi-petit axe de l'ellipse du champ magnétique. Le **champ magnétique résultant** B_R est toujours $\geq B_{\max}$. Si le champ magnétique est polarisé linéairement, $B_{\min} = 0$ et $B_R = B_{\max}$. Si le champ magnétique est polarisé circulairement, $B_{\max} = B_{\min}$ et $B_R \approx 1,41 B_{\max}$.

NOTE – La définition de l'«intensité efficace du champ» dans le projet de norme ENV 50166-1 du CENELEC [5] équivaut à celle du **champ magnétique résultant** ou à celle du **champ électrique résultant**, selon le cas applicable.

3.5 Mesures

3.5.1

facteur de correction

facteur numérique par lequel on multiplie le résultat brut d'un mesurage pour compenser une erreur connue

NOTE – Puisque l'erreur connue ne peut être déterminée parfaitement, la compensation ne peut être complète.

3.5.2

facteur de couverture

facteur numérique utilisé comme un coefficient multiplicatif de l'**incertitude standard** totale afin d'obtenir une **incertitude de mesure** étendue

NOTE – Pour une grandeur z décrite par une distribution normale avec une espérance mathématique μ_z et un écart-type σ , l'intervalle $\mu_z \pm k\sigma$ englobe 68,27, 95,45 et 99,73 pourcentage de la distribution pour un **facteur de couverture** $k = 1, 2$, et 3 , respectivement.

3.5.3

facteur d'échelle

facteur par lequel la lecture de l'instrument est multipliée pour obtenir sa grandeur d'entrée

The **resultant electric field** is also given by the expression

$$E_R = \sqrt{E_{\max}^2 + E_{\min}^2} \quad (3)$$

where $E_{\max}$ and $E_{\min}$ are the r.m.s. values of the semi-major and semi-minor axes of the electric field ellipse, respectively. The resultant E_R is always $\geq E_{\max}$. If the electric field is linearly polarized, $E_{\min} = 0$ and $E_R = E_{\max}$. If the electric field is circularly polarized, $E_{\max} = E_{\min}$ and $E_R \approx 1,41 E_{\max}$.

NOTE – The definition of "effective field strength" in CENELEC prestandard ENV 50166-1 [5] is equivalent to the **resultant magnetic field** or **resultant electric field**, as the case may be.

3.4.7

resultant magnetic field

magnetic field given by the expression

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (4)$$

where B_x , B_y , and B_z are the r.m.s. values of the three orthogonal field components

The **resultant magnetic field** is also given by the expression

$$B_R = \sqrt{B_{\max}^2 + B_{\min}^2} \quad (5)$$

where $B_{\max}$ and $B_{\min}$ are the r.m.s. values of the semi-major and semi-minor axes of the magnetic field ellipse, respectively. The resultant B_R is always $\geq B_{\max}$. If the magnetic field is linearly polarized, $B_{\min} = 0$ and $B_R = B_{\max}$. If the magnetic field is circularly polarized, $B_{\max} = B_{\min}$ and $B_R \approx 1,41 B_{\max}$.

NOTE – The definition of "effective field strength" in CENELEC prestandard ENV 50166-1 [5] is equivalent to the **resultant magnetic field** or **resultant electric field**, as the case may be.

3.5 Measurements

3.5.1

correction factor

numerical factor by which the uncorrected result of a measurement is multiplied to compensate for a known error

NOTE – Since the known error cannot be determined perfectly, the compensation cannot be complete.

3.5.2

coverage factor

numerical factor used as a multiplier of the combined **standard uncertainty** in order to obtain an expanded uncertainty

NOTE – For a quantity z described by a normal distribution with expectation μ_z and standard deviation σ , the interval $\mu_z \pm k\sigma$ encompasses 68,27, 95,45, and 99,73 percent of the distribution for a **coverage factor** $k = 1, 2$, and 3, respectively.

3.5.3

scale factor

factor by which the instrument reading is multiplied to obtain its input quantity

3.5.4

mesure ponctuelle (mesure en un point à un instant donné)

mesure effectuée à un instant donné et en un point donné dans l'espace, qui ne fournit pas d'informations sur les variations temporelles ou spatiales du champ

3.5.5

incertitude standard

incertitude du résultat d'une mesure, exprimée comme un écart-type

3.5.6

incertitude de mesure

paramètre, associé au résultat d'une mesure, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande

NOTE – L'incertitude de mesure comprend généralement plusieurs composantes. Certaines peuvent être évaluées à partir de la distribution statistique des résultats de séries de mesures et peuvent être caractérisées par des écarts-types expérimentaux. Les estimations d'autres composantes peuvent être fondées sur l'expérience ou sur d'autres informations.

4 Symboles

a	= rayon de la sonde à bobine ; rayon d'une sonde de champ électrique sphérique
$2a, 2b$	= dimensions des côtés d'une bobine rectangulaire
B	= vecteur d'induction magnétique
B_f	= amplitude de l'induction magnétique (fréquence fondamentale)
B_j	= amplitude de l'induction magnétique à la $j^{\text{ème}}$ fréquence ($j = 1$ pour la fréquence fondamentale)
B_{RLj}	= niveau de référence CENELEC de l'induction magnétique à la $j^{\text{ème}}$ fréquence
B_0	= amplitude de champ magnétique alternatif
B_R	= champ magnétique résultant
B_z	= induction magnétique axiale
$B_{x,y,z}$	= valeurs efficaces des composantes orthogonales d'une induction magnétique
$B_{\max}, B_{\min}$	= valeurs efficaces du demi-grand axe et du demi-petit axe de l'ellipse du champ magnétique
C	= capacité parasite d'une sonde à bobine
c_e	= coefficient électro-optique du cristal de Pockels
d	= espacement de plaques parallèles; distance par rapport à la source de champ électromagnétique
D	= vecteur de déplacement électrique
E	= champ électrique
E_i	= champ électrique à la $i^{\text{ème}}$ fréquence ($i = 1$ pour la fréquence fondamentale)
E_{RLi}	= niveau de référence CENELEC du champ électrique à la $i^{\text{ème}}$ fréquence
E_R	= champ électrique résultant
E_0	= champ électrique uniforme
E'	= champ électrique dans un cristal de Pockels
$E_{x,y,z}$	= valeurs efficaces des composantes orthogonales d'un champ électrique
$E_{\max}, E_{\min}$	= valeurs efficaces du demi-grand axe et du demi-petit axe de l'ellipse d'un champ électrique

3.5.4**spot measurement (point-in-time measurement)**

measurement that is performed at some instant and point in space, that does not provide information regarding temporal or spatial variations of the field

3.5.5**standard uncertainty**

uncertainty of the result of a measurement expressed as a standard deviation

3.5.6**uncertainty of measurement**

parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand

NOTE – **Uncertainty of measurement** generally comprises many components. Some of these components may be estimated on the basis of the statistical distribution of the results of series of measurements, and can be characterized by experimental standard deviations. Estimates of other components can be based on experience or other information.

4 Symbols

a	= radius of coil probe ; radius of spherical electric field probe
$2a, 2b$	= side dimensions of rectangular coil
B	= magnetic flux density vector
B_f	= magnetic flux density (fundamental frequency)
B_j	= magnetic flux density at j th frequency ($j = 1$ for fundamental frequency)
B_{RLj}	= CENELEC magnetic flux density reference level at j th frequency
B_0	= amplitude of alternating magnetic field
B_R	= resultant magnetic field
B_z	= axial magnetic flux density
$B_{x,y,z}$	= r.m.s. values of orthogonal components of magnetic flux density
$B_{\max}, B_{\min}$	= r.m.s. values of semi-major and semi-minor axes of magnetic field ellipse
C	= stray capacitance of coil probe
c_e	= electro-optic coefficient of Pockels crystal
d	= spacing of parallel plates; distance from electromagnetic field source
D	= electric displacement vector
E	= electric field strength
E_i	= electric field at i th frequency ($i = 1$ for fundamental frequency)
E_{RLi}	= CENELEC electric field reference level at i th frequency
E_R	= resultant electric field
E_0	= uniform electric field strength
E'	= electric field in Pockels crystal
$E_{x,y,z}$	= r.m.s. values of orthogonal components of electric field
$E_{\max}, E_{\min}$	= r.m.s. values of semi-major and semi-minor axes of electric field ellipse

I	= courant circulant dans des bobines de champ magnétique
I_i	= flux lumineux incident (capteur de champ électro-optique)
I_t	= flux lumineux transmis (capteur de champ électro-optique)
l	= épaisseur d'un cristal de Pockels
L	= inductance d'une sonde à bobine
n	= indice de réfraction
N	= nombre de spires (système de bobine de champ magnétique)
Q	= charge induite
r	= distance entre une source de champ magnétique et un point de mesure; résistance d'une sonde à bobine et de conducteurs
R	= impédance d'entrée approximative d'un circuit détecteur (capteur de champ magnétique)
S	= surface d'électrode (capteur de champ électrique)
t	= temps
T	= période de signal périodique
V	= tension
$v(t)$	= signal électrique périodique
v_p	= tension fournie par la sonde à bobine
W	= rapport entre la tension v_p fournie et la tension V induite dans une sonde à bobine
Z	= impédance dans un circuit d'injection de courant
α_j	= fraction de la $j^{\text{ème}}$ harmonique dans un champ magnétique
$\Delta B_{\max 1}$	= la plus grande différence en pourcentage entre le champ magnétique au centre d'une sonde mono-axiale et le champ moyen maximum (moyenne sur la surface de la sonde), la sonde étant placée dans un champ créé par un dipôle magnétique
$\Delta B_{\max 3}$	= la plus grande différence en pourcentage entre le champ magnétique résultant moyen et le champ magnétique au centre d'une sonde tri-axiale, la sonde étant placée dans un champ créé par un dipôle magnétique
ϵ_0	= permittivité de l'espace libre
λ	= longueur d'onde de la lumière
μ_0	= perméabilité de l'espace libre
ϕ	= flux magnétique
ω	= pulsation de champ alternatif

5 Mesure des champs magnétiques alternatifs

5.1 Spécifications relatives aux instruments

Les divers types d'instruments disponibles pour caractériser des champs magnétiques quasi statiques sont décrits à l'article D.1. Les instruments doivent être accompagnés d'une quantité d'informations suffisante, y compris les spécifications relatives aux instruments et d'une notice d'instructions clairement rédigée pour permettre aux utilisateurs de déterminer la conformité aux prescriptions de la présente norme, pour les aider à faire fonctionner correctement le capteur de champ, et pour évaluer l'utilité du dispositif en vue d'une application par l'utilisateur.

I	= current to magnetic field coils
I_i	= incident light (electro-optic field meter)
I_t	= transmitted light (electro-optic field meter)
l	= Pockels crystal thickness
L	= inductance of coil probe
n	= index of refraction
N	= number of turns of wire (magnetic field coil system)
Q	= induced charge
r	= distance between magnetic field source and measurement location; resistance of coil probe and leads
R	= approximate input impedance of detector circuit (magnetic field meter)
S	= electrode surface area (electric field meter)
t	= time
T	= period of periodic signal
V	= voltage
$v(t)$	= periodic electrical signal
V_p	= coil probe voltage
W	= ratio of coil probe voltage to induced voltage
Z	= impedance in current injection circuit
α_i	= fraction of i th harmonic in magnetic field
$\Delta B_{\max 1}$	= largest difference in percentage between magnetic field at centre of single-axis probe and average field (across area of probe) at maximum reading in dipole magnetic field
$\Delta B_{\max 3}$	= largest difference in percentage between average resultant magnetic field and magnetic field at centre of three-axis probe in dipole magnetic field
ϵ_0	= permittivity of free space
λ	= wavelength of light
μ_0	= permeability of free space
ϕ	= magnetic flux
ω	= angular frequency of alternating field

5 Measurement of alternating magnetic fields

5.1 Instrumentation specifications

The various types of instrumentation available for characterizing quasi-static magnetic fields are described in D.1. Sufficient information shall be provided with the instrumentation, including instrument specifications and a clearly written instruction manual, to enable users to determine compliance with this standard, to aid them in the proper operation of the field meter, and to assess the usefulness of the device for the user's application. Complicated operating

Il convient d'éviter les procédures de fonctionnement compliquées. Les spécifications relatives aux instruments qu'il convient de fournir et /ou de satisfaire sont indiquées ci-après.

NOTE – Il est possible d'utiliser des instruments non conformes aux spécifications ci-après, si l'on est en mesure de démontrer que, dans les conditions où l'instrument est utilisé, il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus à l'aide de cet instrument et ceux obtenus à l'aide d'un capteur conforme à cette norme. Par exemple, il n'est possible d'utiliser un capteur muni d'un **détecteur de valeur redressée**, avec ou sans étage intégrateur, que si l'on est en mesure de démontrer que les harmoniques présentes dans le champ sont négligeables, et uniquement si l'instrument a été étalonné pour la fréquence fondamentale dans le champ.

5.1.1 Incertitude des instruments

Il est souhaitable que le système de mesure des champs magnétiques alternatifs indique la valeur efficace des champs magnétiques uniformes avec une incertitude inférieure à $\pm(10\% \text{ de la lecture} + 20 \text{ nT})$ après avoir appliqué, si nécessaire, des **facteurs de correction**.

NOTE 1 – L'incertitude de l'instrument est déterminée à partir de plusieurs composantes, telles que l'incertitude d'étalonnage, la dérive de température des composants électroniques, la stabilité et les sources de bruit externes. L'incertitude ci-dessus est associée à la conception et au fonctionnement du **capteur d'induction magnétique** dans un champ presque uniforme. L'élément de 10 % se rapporte à l'incertitude, pendant l'étalonnage, sur toute la plage de fréquences (**bande passante**) spécifiée pour l'instrument et comprend des incertitudes dans la valeur de l'induction magnétique ainsi que des incertitudes supplémentaires, pendant le processus d'étalonnage (se reporter en 5.2.2). Le **facteur de couverture** est 2. L'inclusion de 20 nT prévoit des incertitudes liées aux instruments lors de l'étalonnage des échelles les plus sensibles et lors de mesures de champs de l'ordre de 0,1 μT .

NOTE 2 – D'autres sources d'**incertitude de mesure** et des recommandations sur la manière de traiter les incertitudes sont respectivement données à l'article B.1 et en 5.3.

5.1.2 Plage d'amplitudes

La plage d'amplitudes pour laquelle l'instrument fonctionne dans les limites de l'incertitude spécifiée doit être clairement indiquée.

5.1.3 Bande passante

L'instrument doit être accompagné de données ou de spécifications d'étalonnage permettant à l'utilisateur d'évaluer l'incertitude relative à la détermination des niveaux des champs lorsque l'instrument est utilisé dans des champs contenant différentes fréquences. Il est souhaitable que ces informations contiennent également la sensibilité de l'instrument à des fréquences au-delà de celles pour lesquelles il est prévu, par exemple les points à -3 dB . La **réponse en fréquence** de l'instrument doit être telle que l'exigence applicable à l'incertitude de l'instrument (voir 5.1.1) est remplie dans toute la plage de fréquences pour lequel il est prévu.

NOTE – L'incertitude admissible pour les instruments, associée à la **réponse en fréquence**, est augmentée à $\pm 20\%$ (**facteur de couverture** 2) pour des petits **dosimètres** individuels, dispositifs qui peuvent être portés à même le corps permettant d'enregistrer périodiquement le **champ magnétique résultant** à la fréquence industrielle et à ses harmoniques (voir article D.1).

5.1.4 Plage de température de fonctionnement et plage d'humidité de fonctionnement

Il est souhaitable que les plages de température et d'humidité relative, pour lesquelles l'instrument fonctionne dans les limites de l'incertitude spécifiée, ne soient pas inférieures aux plages comprises entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ et entre 5% et 95% , respectivement. Il est recommandé d'éviter des variations brutales de température susceptibles de produire de la condensation dans l'instrument (voir article B.1).

5.1.5 Alimentation en énergie

Si des piles (ou batteries) sont utilisées, il convient de prévoir un moyen pour indiquer si l'état de la pile permet un fonctionnement correct du capteur de champ. Il est souhaitable que les **dosimètres** individuels puissent fonctionner pendant au moins 8 h dans les limites de l'incertitude assignée, avant qu'il soit nécessaire de remplacer ou de recharger les piles. Si les piles utilisées sont rechargeables, il est recommandé de ne pas faire fonctionner les

procedures should be avoided. The instrument specifications that should be provided and/or satisfied are given below.

NOTE – Instruments not complying with the specifications below may be used if it can be demonstrated that, under the conditions the instrument is used, the results obtained will not differ significantly from those obtained with a meter which is in compliance with this standard. For example, a meter with a **rectified average detector** with or without an integrating stage may be used if it can be shown that the harmonics in the field are negligible, and if the instrument has been calibrated for the fundamental frequency in the field.

5.1.1 Instrumental uncertainty

The measuring system for alternating magnetic fields should indicate the r.m.s. value of uniform magnetic fields with an uncertainty of less than $\pm(10\% \text{ of reading} + 20 \text{ nT})$ after **correction factors** have been applied, if appropriate.

NOTE 1 – The uncertainty of the instrument is determined from several components such as the calibration uncertainty, temperature drift of the electronics, stability and external noise sources. The above uncertainty is associated with the design and functioning of the **magnetic flux density meter** in a nearly uniform field. The 10 % element refers to the uncertainty during calibration over the frequency range (**pass-band**) specified for the instrument and includes uncertainties in the value of the magnetic flux density and additional uncertainties during the calibration process (see 5.2.2). The **coverage factor** is 2. The inclusion of 20 nT anticipates instrumental uncertainties during the calibration of the most sensitive scales and when fields in the order of 0,1 μT are measured.

NOTE 2 – Other sources of **measurement uncertainty** and guidelines on the treatment of uncertainties are given in clause B.1 and 5.3, respectively.

5.1.2 Magnitude range

The magnitude range over which the instrument operates within the specified uncertainty shall be clearly indicated.

5.1.3 Pass-band

The instrument shall be provided with calibration data or specifications that enable the user to assess the uncertainty in determining field levels when using the instrument in fields containing different frequencies. This information should also include the sensitivity of the instrument to frequencies beyond the intended useful range, e.g. the -3 dB points. The **frequency response** of the instrument shall be such that the requirement of the instrumental uncertainty (see 5.1.1) is fulfilled over the frequency range for which it is intended.

NOTE – The permitted instrumental uncertainty associated with the **frequency response** is increased to $\pm 20\%$ (**coverage factor** 2) for small personal **exposure meters**, devices that can be worn, and which periodically record the power frequency and power frequency harmonic **resultant magnetic field** (see clause D.1).

5.1.4 Operating temperature and humidity ranges

The temperature and relative humidity ranges over which the instrument operates within the specified uncertainty should be no less than $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 5 % to 95 %, respectively. Sudden temperature changes that can lead to condensation in the instrument should be avoided (see clause B.1).

5.1.5 Power supplies

If batteries are used, provision should be made to indicate whether the battery condition is adequate for proper operation of the field meter. Instruments used to record personal exposure should be capable of at least 8 h operation within their rated uncertainty before replacement or recharging of the batteries becomes necessary. If rechargeable batteries are used, it is recommended that the instrumentation is not operated while connected to the mains voltage.

instruments alors qu'ils sont reliés à l'alimentation du réseau. Lorsque de tels raccordements sont nécessaires, il convient de démontrer que les champs parasites provenant du chargeur de pile, les perturbations conduites provenant de la tension du réseau, et les couplages électromagnétiques établis par l'intermédiaire des conducteurs de raccordement (au chargeur de pile) n'affectent pas la mesure (voir 5.1.8).

NOTE – Si les piles utilisées dans les **dosimètres** sont des piles à enveloppes ferromagnétiques, il est nécessaire de veiller à ce que les enveloppes n'influencent pas de façon significative les lectures faites par l'instrument (voir article B.1).

5.1.6 Lisibilité des échelles de graduation

Il est souhaitable que les dimensions des cadrans ou des afficheurs numériques des capteurs de champ magnétique soient suffisamment grandes pour permettre de lire facilement les valeurs lorsque l'appareil est tenu à bout de bras. Si plusieurs plages de sensibilité sont prévues, il convient d'indiquer la valeur à pleine échelle de la plage choisie, et il est souhaitable que les unités soient facilement interprétables. Pour ce qui est des instruments à sélection automatique du calibre, la plage d'amplitudes peut être indiquée ailleurs, par exemple dans la notice d'utilisation. Il est souhaitable que les instruments indiquent clairement les unités affichées.

NOTE – Pour que des instruments, commercialisés avant la publication de la présente norme et n'indiquant pas les unités, soient conformes à la présente norme, il est souhaitable que ces instruments soient munis d'une étiquette adéquate indiquant les unités. Pour cela, l'utilisateur peut appliquer une étiquette au corps du capteur de champ. En variante, l'utilisateur peut appliquer une étiquette fournie par le fabricant.

5.1.7 Dimensions des instruments

Il convient de prévoir des dimensions adéquates pour l'enveloppe contenant le circuit détecteur et d'éventuels câbles de liaison. Il est souhaitable que la taille des sondes ou parties sensibles soit adaptée à la variation spatiale du champ mesuré (voir article B.1). Il est préférable que les parties sensibles aient une surface égale ou inférieure à 0,01 m². Avec des instruments tri-axiaux, les trois parties sensibles peuvent être concentriques (c'est-à-dire des **sondes à bobine** ayant un point central commun) ou, si la taille des parties sensibles est inférieure à 0,05 m, il convient de les placer aussi près que possible les unes des autres (voir article B.1). Il est souhaitable que la dimension maximale du volume contenant les trois **bobines** associées ne soit pas supérieure à 0,2 m. Il est souhaitable que les **sondes à bobine** aient une section transversale circulaire ou carrée; des petits écarts par rapport à ces formes, comme par exemple lorsque des **bobines** concentriques se croisent entre elles, sont admis.

Il est souhaitable que les emplacements et les orientations des sondes contenues dans les boîtiers des capteurs de champ magnétique soient clairement indiqués sur l'instrument ou dans la notice d'utilisation.

5.1.8 Compatibilité électromagnétique

5.1.8.1 Immunité

a) Champ électrique à fréquence industrielle

Il est souhaitable que des instruments, destinés à être utilisés au voisinage d'équipements sous haute tension fonctionnant à des fréquences industrielles, ne soient pas affectés de manière significative par des champs électriques ambiants pouvant atteindre 20 kV/m, c'est-à-dire qu'il est souhaitable que l'influence du champ électrique sur la lecture du champ magnétique soit inférieure à 20 nT. Il est possible que cette valeur requise d'immunité soit augmentée pour certains environnements extrêmes dans lesquels il peut y avoir des champs électriques atteignant 100 kV/m, par exemple à proximité des conducteurs de lignes de transmission sous haute tension.

NOTE 1 – Les essais relatifs à l'immunité aux champs électriques à fréquences industrielles peuvent être effectués à l'aide des systèmes de plaques parallèles décrits à l'article A.2.

NOTE 2 – L'effet de proximité de l'utilisateur de l'instrument (voir article B.2) peut atténuer ou accentuer le champ électrique, selon la géométrie du champ et la position du capteur de champ magnétique par rapport à l'utilisateur.

When such connections are necessary, it should be demonstrated that stray fields from the battery charger, conducted disturbances from the mains voltage, and electromagnetic coupling via the connecting leads (to the battery charger) do not affect the measurement (see 5.1.8).

NOTE – If batteries with ferromagnetic jackets are used in **exposure meters**, care must be exercised that the jackets do not significantly influence readings by the instrument (see clause B.1).

5.1.6 Readability of scale

The meter dial markings or digital displays of magnetic field **survey meters** should be large enough to be easily read at arm's length. If more than one range of sensitivity is provided, the full scale value of the selected range should be indicated, and the units should be readily interpretable. For auto-ranging instrumentation, the magnitude range may be indicated elsewhere, e.g. in the user manual. The instrumentation should provide a clear indication of the units being displayed.

NOTE – To comply with this standard, instrumentation marketed prior to the issue of this standard, which does not indicate the units, should be provided with an appropriate label indicating the units. This may be accomplished by the user applying a label to the body of the field meter. Alternatively, a label provided by the manufacturer to the user may be applied by the user.

5.1.7 Instrument dimensions

The dimensions of the enclosure containing the detector circuit and any connecting cables should be provided. The size of the probes or sensing elements should be appropriate to the spatial variation of the field measured (see clause B.1). The sensing elements should be of area 0,01 m², or smaller. With three-axis instruments, the three sensing elements may be concentric (i.e. **coil probes** that have a common central point) or, if the sensing elements are no larger than 0,05 m, they should be as close together as possible (see clause B.1). The maximum dimension of the volume containing the three **coil probes** combined should not exceed 0,2 m. **Coil probes** should be either circular or square in cross-section; small deviations from these shapes, for example where concentric coils cross each other, are permitted.

The locations and orientations of probes that are contained within the housings of magnetic field meters should be clearly indicated on the instrument or in the instruction manual.

5.1.8 Electromagnetic compatibility

5.1.8.1 Immunity

a) Power frequency electric field

Instrumentation intended for use in the vicinity of high-voltage equipment operating at power frequencies should not be affected significantly by ambient electric fields as large as 20 kV/m, i.e. the influence of the electric field on the magnetic field reading should be less than 20 nT. This immunity requirement may need to be increased for some extreme environments where electric fields as large as 100 kV/m may exist, e.g. near high-voltage transmission line conductors.

NOTE 1 – Tests for immunity to power frequency electric fields may be performed using the parallel plates systems described in clause A.2.

NOTE 2 – The proximity effect of the instrument user (see clause B.2) can shield or enhance the electric field, depending on the geometry of the field and the location of the magnetic field meter relative to the user.

b) Champs électromagnétiques rayonnés

Le fonctionnement des instruments ne doit pas être affecté par un rayonnement électromagnétique compris entre 80 MHz et 1 GHz pour un niveau de champ électrique de 3 V/m efficaces. Il convient d'effectuer les essais relatifs aux instruments conformément aux méthodes décrites dans la CEI 61000-4-3.

Le fonctionnement des instruments ne doit pas être affecté par un rayonnement électromagnétique compris entre 150 kHz et 80 MHz. Il convient d'effectuer les essais conformément aux méthodes décrites dans la CEI 61000-4-6 à une tension de 3 V efficaces. Il est souhaitable que les instruments continuent à fonctionner normalement au cours des deux essais décrits ci-dessus.

NOTE 1 – Il n'est pas nécessaire de soumettre aux essais décrits dans la CEI 61000-4-6 les équipements qui fonctionnent avec des piles (dimension $< \lambda/4$), qui n'ont aucune liaison avec la terre ni avec aucun autre équipement (non isolé) et qui ne seront pas utilisés pendant le chargement des piles.

NOTE 2 – Il est important de réaliser les tests d'immunité sur toute la plage de fréquence de 26 MHz à 1 GHz. La fréquence limite basse est importante car il existe une forte probabilité que l'instrument soit soumis à des champs dans la bande des 27 MHz (Citizen's band).

NOTE 3 – Il peut être nécessaire d'augmenter les valeurs requises d'immunité dans certaines conditions, par exemple lorsqu'on effectue des mesures à proximité d'antennes de radiodiffusion et de téléphones mobiles (voir article B.1, tableau B.2).

c) Immunité aux transitoires

Il convient également de vérifier que les spécifications relatives aux instruments utilisés pour effectuer des mesures et branchés sur le réseau d'alimentation soient conformes aux prescriptions de la CEI 61000-4-4 (transitoires électriques rapides) pour une tension de crête de 2 kV au niveau de l'entrée de l'alimentation alternative (interface du capteur de champ avec la source d'alimentation externe ou avec le réseau). Une dégradation temporaire des performances au cours de l'essai est acceptable, à condition que les performances reviennent automatiquement à leur niveau normal.

d) Décharges électrostatiques (DES)

Pendant la plupart des mesures effectuées, on ne prévoit pas les décharges électrostatiques subies par les instruments ou générées par ceux-ci. Cependant, l'enveloppe des instruments doit pouvoir supporter une tension de contact ou de décharge d'au moins 2 kV et cette enveloppe doit être contrôlée conformément aux méthodes décrites dans la CEI 61000-4-2. Aucune dégradation des performances ne doit être observée.

5.1.8.2 Emission

a) Emission harmonique

L'émission d'harmonique des instruments ayant une puissance nominale supérieure ou égale à 50 W doit être limitée conformément aux prescriptions de la CEI 61000-3-2.

b) Perturbations conduites – 0,15 MHz à 30 MHz (instruments reliés au réseau)

Il est possible de caractériser les limites relatives aux tensions perturbatrices aux bornes d'alimentation du réseau en utilisant des détecteurs de quasi-crêtes ou des détecteurs de valeurs moyennes; ces limites sont données ci-après en fonction de la fréquence (voir CISPR 11, classe B).

Tableau 1 – Limites des tensions perturbatrices aux bornes du réseau

Bande de fréquences MHz	Quasi-crête dB(μV)	Valeur moyenne dB(μV)
0,15 – 0,50	66 Décroît jusqu'à 56 en même temps que le logarithme de la fréquence	56 Décroît jusqu'à 46 en même temps que le logarithme de la fréquence
0,50 – 5	56	46
5 – 30	60	50

b) Radiated electromagnetic fields

The operation of instrumentation shall not be affected by electromagnetic radiation between 80 MHz and 1 GHz for an electric field level of 3 V/m r.m.s. Testing of instrumentation should be in accord with the methods described in IEC 61000-4-3.

The operation of instrumentation shall not be affected by electromagnetic radiation between 150 kHz and 80 MHz. Tests should be conducted according to the methods described in IEC 61000-4-6 at a voltage level of 3 V r.m.s. The instrumentation should continue to operate normally during both of the above tests.

NOTE 1 – Battery-powered equipment (dimension $<\lambda/4$) which has no connection(s) to the ground nor to any other (non-insulated) equipment, and which will not be used during battery charging, does not need to be tested according to IEC 61000-4-6.

NOTE 2 – It is important to perform the radiated immunity tests over the entire frequency range from 26 MHz to 1 GHz. The lower frequency boundary is important because of the high probability that the instruments will experience radiation in the 27 MHz citizen's band.

NOTE 3 – The immunity requirements may need to be increased under certain conditions, e.g. during measurements near radio-broadcasting antennas and mobile telephones (see clause B.1, table B.2).

c) Immunity to transients

Specifications for instrumentation connected to the mains in order to carry out measurements should also be tested at the a.c. power port (interface of field meter with external power source or mains) for compliance with IEC 61000-4-4 (electrical fast transient) for a peak voltage of 2 kV. A temporary degradation of performance during the test which is self-recoverable is acceptable.

d) Electrostatic discharge (ESD)

During most measurement applications, electrostatic discharges to or from the instrumentation are not anticipated. However, the enclosure port of the instrumentation shall be immune to a contact or discharge voltage of at least 2 kV and tested in accordance with the methods described in IEC 61000-4-2. No degradation of performance shall occur.

5.1.8.2 Emissions

a) Harmonic emissions

The harmonic emissions of instrumentation with a power rating of 50 W or greater shall be restricted according to the requirements of IEC 61000-3-2.

b) Conducted disturbances – 0,15 MHz to 30 MHz (instrumentation connected to mains)

The limits for mains terminal disturbance voltages may be characterized using quasi-peak or average detectors and are given below as a function of frequency (see CISPR 11, class B).

Table 1 – Mains terminal disturbance voltage limits

Frequency band MHz	Quasi-peak dB(μ V)	Average dB(μ V)
0,15 – 0,50	66 Decreasing with logarithm of frequency to 56	56 Decreasing with logarithm of frequency to 46
0,50 – 5	56	46
5 – 30	60	50

Il convient d'effectuer les essais relatifs aux instruments en procédant conformément aux méthodes décrites dans le CISPR 11.

c) Perturbations rayonnées – 30 MHz à 1 000 MHz

Les émissions électromagnétiques provenant d'instruments contenant des dispositifs fonctionnant à des fréquences de 9 kHz ou plus doivent être limitées aux valeurs ci-après (voir CISPR 11, classe B).

30 dB (μV/m) à 10 m 30 MHz à 230 MHz

37 dB (μV/m) à 10 m 230 MHz à 1 000 MHz

Il convient d'effectuer les essais relatifs aux instruments en procédant conformément aux méthodes décrites dans le CISPR 11.

NOTE – Les prescriptions d'essai ci-dessus proviennent du CISPR 11 et sont sujettes à révision. Il convient d'effectuer les essais conformément à l'édition la plus récente de cette norme.

5.1.9 Facteur de crête

Il est souhaitable que le système mesure correctement la valeur efficace vraie du champ, même lorsque le **facteur de crête** du champ magnétique est 3 (voir article B.1).

NOTE – Dans la pratique, de nombreux champs présentent un **facteur de crête** élevé et la présence d'un **facteur de crête** élevé peut entraîner une saturation indésirable dans les étages amplificateurs du détecteur.

5.1.10 Robustesse

Il est souhaitable que le capteur et autres composants du système soient suffisamment robustes pour supporter les vibrations et les chocs subis lors du transport. L'utilisation d'une mallette de transport est souhaitable.

5.1.11 Poids

Le poids des instruments doit être étudié. Il est souhaitable que le poids des instruments portatifs soit maintenu aussi faible que possible pour permettre l'utilisation manuelle des instruments dans des conditions limites, par exemple dans certains environnements industriels.

5.2 Etalonnage

5.2.1 Généralités

Les systèmes de mesure doivent être soumis à des étalonnages et à des vérifications de leur étalonnage pendant toute leur durée de vie. Les essais d'étalonnage mentionnés dans la présente norme sont des **essais de type** et des **essais de réception**. Les **essais de type** sont normalement effectués par le fabricant sur un ou plusieurs dispositifs. Les **essais de réception** sont normalement effectués une seule fois par le fabricant sur chaque capteur de champ. Il est nécessaire de répéter les **essais de réception** si le capteur de champ a fait l'objet de modifications ou de réparations importantes. Les essais de vérification sont effectués périodiquement pendant l'utilisation de l'instrument (voir 5.2.4). Il convient d'assurer la traçabilité de tous les étalonnages effectués à partir des étalons nationaux et internationaux via une chaîne ininterrompue d'étalonnages, tous ayant des incertitudes spécifiées.

Ces trois méthodes d'étalonnage suivantes sont couvertes par la présente norme:

- a) étalonnage par introduction de la sonde du capteur de champ dans un champ magnétique calculé (après avoir mesuré les dimensions des bobines et l'intensité du courant circulant dans les bobines);
- b) étalonnage utilisant une technique d'injection de tension, et
- c) étalonnage par comparaison avec un système de mesure de référence (voir article A.1).

Testing of instrumentation should be in accordance with the methods described in CISPR 11.

c) Radiated disturbances – 30 MHz to 1 000 MHz

The electromagnetic emissions from instrumentation containing devices operating at frequencies of 9 kHz or higher shall be limited to the values listed below (see CISPR 11, class B).

30 dB ($\mu\text{V/m}$) at 10 m 30 MHz to 230 MHz

37 dB ($\mu\text{V/m}$) at 10 m 230 MHz to 1 000 MHz

Testing of instrumentation should be in accordance with the methods described in CISPR 11.

NOTE – The above test requirements have been taken from CISPR 11 and are subject to revision. Tests should be conducted according to the most recent edition of that standard.

5.1.9 Crest factor

The measuring system should measure correctly the true r.m.s. value of the field, even when the **crest factor** of the magnetic field is 3 (see clause B.1).

NOTE – Many practical fields exhibit a large **crest factor** and the presence of a large **crest factor** may lead to unwanted saturation in the amplifier stages of the detector.

5.1.10 Durability

The indicating meter and other system components should be rugged enough to withstand vibration and shock resulting from transport. A carrying case is desirable.

5.1.11 Weight

The weight of the instrumentation should be provided. The weight of portable instrumentation should be kept as low as is practical to permit hand-held operation under restrictive conditions, e.g. in some industrial environments.

5.2 Calibration

5.2.1 General

Measurement systems are required to undergo calibration and verification of their calibration throughout their service life. The calibration tests referred to in this standard are **type tests** and **acceptance tests**. **Type tests** are normally performed by the manufacturer on one or more devices. **Acceptance tests** are normally performed only once by the manufacturer on each field meter. **Acceptance tests** need to be repeated if major changes or repairs of the instrument have been made. Verification tests are performed at time intervals during use of the instrument (see 5.2.4). All calibrations should be traceable to national and international standards through an unbroken chain of calibrations, all having stated uncertainties.

The following three methods of calibration are covered by this standard:

- a) calibration by introduction of the field meter probe into a calculated magnetic field (following measurements of coil dimensions and current to the coil system);
- b) calibration using a voltage injection technique, and
- c) calibration by comparison with a reference measurement system (see clause A.1).

5.2.2 Procédure d'étalonnage

Les étalonnages sont prescrits comme faisant partie des **essais de type**, des **essais de réception** (voir 5.2.1), et des essais de vérification périodique (voir 5.2.4). Il convient de suivre, selon le cas approprié, les procédures de la présente section. Pendant l'étalonnage des plages d'amplitudes plus élevées (c'est-à-dire des plages qui ne sont pas influencées de façon significative par les champs magnétiques parasites), il convient de placer la sonde dans un champ presque uniforme généré par un système de **bobines** (voir article A.1). Il est souhaitable que l'axe de la sonde coïncide avec l'axe du système de **bobines** et que le plus grand écart de champ par rapport à la valeur centrale soit inférieur à 1 % sur toute la section transversale de la sonde.

NOTE 1 – Des informations concernant des champs générés par des systèmes de boucles rectangulaires, carrées et circulaires (y compris des **bobines** de Helmholtz) sont données en [17], [35], [56], [69] et A.1. Par exemple l'induction magnétique produite par une seule boucle carrée (composée de plusieurs tours de fil) de 1 m × 1 m remplira la condition d'uniformité pour une sonde ayant un diamètre de 0,10 m (voir article A.1). Il est possible d'augmenter ou de réduire la taille de la boucle respectivement pour des sondes de plus grandes dimensions ou des sondes de plus faibles dimensions, afin de maintenir le niveau d'uniformité indiqué à travers la sonde. Il est également possible de procéder à l'étalonnage en utilisant la technique d'injection de tension ou en comparant les résultats obtenus avec ceux d'un capteur de champ magnétique de référence (voir article A.1).

NOTE 2 – Il est possible de déroger à l'exigence concernant l'uniformité du champ pendant l'opération d'étalonnage, pour des sondes utilisées pour déterminer des valeurs moyennes de champs non uniformes et/ou pour des applications dans lesquelles les exigences relatives à la résolution spatiale ne sont pas considérées comme très importantes. Dans ce cas, il est souhaitable que le plus grand écart du champ étalon par rapport à la valeur centrale soit $\leq 1,5$ % sur toute la section transversale de la sonde. Par exemple, le champ produit par une boucle carrée de 1,3 m × 1,3 m répondra à cette exigence d'uniformité pour une sonde ayant un diamètre de 0,20 m.

Il convient de procéder aux étalonnages des capteurs mono-axiaux et de chacun des trois axes des capteurs de champ tri-axiaux en utilisant des champs magnétiques sinusoïdaux ou leurs tensions équivalentes (technique d'injection de tension), aux niveaux et aux fréquences indiqués par les spécifications des instruments.

Il est souhaitable que l'induction magnétique dans le système de **bobines** soit connue avec une incertitude inférieure à ± 3 % (**facteur de couverture** 1). L'amplitude peut être déterminée par un calcul effectué à partir des mesures des dimensions des **bobines**, du nombre de spires dans la ou les **bobines**, et de l'intensité du courant dans les **bobines** (voir article A.1), ou par mesure directe en utilisant un **capteur d'induction magnétique** de référence avec une **incertitude de mesure** suffisamment faible. Si la technique d'injection de tension est utilisée en tant que partie intégrante de la procédure d'étalonnage (voir article A.1, selon le modèle de l'instrument, il se peut que cela ne soit possible que pendant les **essais de type**), l'induction magnétique équivalente est déterminée par la tension injectée.

L'incertitude de l'étalonnage sera déterminée par des facteurs tels que l'incertitude dans la valeur de l'induction magnétique dans le système d'étalonnage (± 3 %; voir article A.1), ou l'incertitude dans la tension injectée, la résolution dans la lecture de l'instrument soumis à l'essai, et la variation de la lecture si l'instrument soumis à l'essai est placé à plusieurs reprises dans le système d'étalonnage. D'autres facteurs tels que des champs magnétiques parasites ambiants peuvent aussi compromettre l'incertitude de l'étalonnage. Il est souhaitable que l'incertitude totale du procédé d'étalonnage (**facteur de couverture** 1) ne soit pas supérieure à $\pm(5\% + 10\text{ nT})$. Il convient d'utiliser un **facteur de couverture** de 2 lors de la spécification de l'incertitude des instruments, c'est-à-dire que, dans ce cas, l'incertitude des instruments devrait être $\leq \pm(10\% + 20\text{ nT})$. Il convient d'assurer la traçabilité de l'étalonnage par rapport à des étalons nationaux et/ou internationaux. Des recommandations sur la manière de traiter toutes les incertitudes et une liste de sources d'incertitude sont respectivement en 5.3 et à l'article B.1.

En ce qui concerne les instruments munis d'un dispositif d'affichage analogique, il convient d'enregistrer au moins trois niveaux de champ magnétique pour chaque plage du capteur de champ, ces trois niveaux devant suffire à couvrir de 30 % à 90 % de la pleine échelle. Pour les capteurs munis d'un dispositif d'affichage numérique, il convient d'obtenir au moins quatre

5.2.2 Calibration procedure

Calibrations are required as part of **type tests**, **acceptance tests** (see 5.2.1), and periodic verification tests (see 5.2.4). The procedures of this section should be followed, as appropriate, in all cases. For calibration of the higher magnitude ranges (i.e. ranges not significantly influenced by background magnetic fields), the magnetic field probe should be placed in a nearly uniform field produced by a coil system (see clause A.1). The probe axis should coincide with the axis of the coil system and the largest departure of the field from the central value should be less than 1 % over the cross-sectional area of the probe.

NOTE 1 – Information on fields generated by rectangular, square, and circular loop systems (including Helmholtz coils) is given in [17], [35], [56], [69] and A.1. For example, the magnetic flux density produced by a single square loop (of many turns of wire) $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ will satisfy the uniformity requirement for a probe with a 0,10 m diameter (see clause A.1). The loop size may be scaled upwards or downwards for larger or smaller probes, respectively, to maintain the indicated level of uniformity across the probe. The calibration may also be performed using the voltage injection technique or by comparison with a reference magnetic field meter (see clause A.1).

NOTE 2 – The field uniformity requirement during calibration may be relaxed for large probes that are used for determining average values of non-uniform fields and, or for applications where spatial resolution requirements are not considered important. In this case, the largest departure of the calibration field from the central value should be $\leq 1,5\%$ over the cross-sectional area of the probe. For example, the field produced by a square loop $1,3\text{ m} \times 1,3\text{ m}$ will satisfy this uniformity requirement for a probe with a 0,20 m diameter.

Calibrations of single-axis field meters and each axis of three-axis field meters should be performed with sinusoidal magnetic fields or their equivalent voltages (voltage injection technique) at the levels and frequencies indicated by the instrument specifications.

The magnetic flux density in the coil system should be known with an uncertainty of less than $\pm 3\%$ (**coverage factor 1**). The magnitude may be determined by calculation based on measurements of the coil dimensions, the number of turns in the coil(s), and the current in the coils (see clause A.1), or by direct measurement with a calibrated reference **magnetic flux density meter** with sufficiently low **measurement uncertainty**. If the voltage injection technique is used as part of the calibration (see clause A.1, depending on instrument design, this may only be possible during **type tests**), the equivalent magnetic flux density is determined by the injected voltage.

The uncertainty of the calibration will be determined by such factors as the uncertainty in the value of the magnetic flux density in the calibration system ($\pm 3\%$; see clause A.1) or the uncertainty in the injected voltage, the resolution in the reading of the instrument under test, and the variation of the reading if the instrument under test is repeatedly placed into the calibration system. Other factors such as ambient background magnetic fields may further compromise the uncertainty of the calibration. The overall uncertainty of the calibration process (**coverage factor 1**) should be no greater than $\pm(5\% + 10\text{ nT})$. A **coverage factor** of 2 should be used when specifying instrumental uncertainty, i.e. the instrumental uncertainty would be in this case $\leq \pm(10\% + 20\text{ nT})$. The calibration should be traceable to national and/or international standards. Guidelines on the treatment of all uncertainties and a listing of the sources of uncertainty are given in 5.3 and clause B.1, respectively.

At least three magnetic field levels for each range of the field meter, sufficient to span 30 % to 90 % of the full scale, should be recorded for meters with analogue displays. At least four points, sufficient to span 10 % to 90 % of the full scale, should be obtained with field meters with digital displays. Field meters with auto-ranging capabilities should be calibrated on each

points suffisants pour couvrir de 10 % à 90 % de la pleine échelle. En ce qui concerne les instruments à sélection automatique du calibre, il convient de les étalonner sur chaque plage de mesure, en au moins trois points représentatifs qui couvrent la majeure partie de la plage. Sur la plage la plus sensible, il est souhaitable que l'un des points d'étalonnage se situe à environ 10 % de la valeur maximale *pour cette plage*. Sur la plage la moins sensible, il est souhaitable que l'un des points d'étalonnage se situe à 90 % de la valeur maximale *pour cette plage*. Pour au moins un niveau de champ magnétique, il convient d'effectuer les étalonnages à trois fréquences qui couvrent la **bande passante**, c'est-à-dire à la fréquence la plus élevée, à la fréquence la plus faible, et à une fréquence intermédiaire.

Lors de l'étalonnage de chaque axe de sondes tri-axiales, il convient de vérifier l'orthogonalité des axes entre eux ainsi que la **diaphonie** entre les circuits du détecteur de chaque sonde. Il est souhaitable que la configuration de la sonde tri-axiale et du champ magnétique soit telle que l'axe de chaque sonde est aligné avec la direction du champ magnétique. Pour chaque alignement des sondes, il convient de mesurer la valeur fournie par les deux sondes restantes et cette valeur doit normalement être inférieure à 3 % du signal provenant de la sonde alignée. Il n'est besoin d'effectuer ce contrôle de l'orthogonalité des **bobines** qu'à un seul niveau de champ. Il convient également de contrôler l'étalonnage des capteurs de champ magnétique à l'aide de sondes tri-axiales pour une orientation (à une fréquence et à un niveau de champ) lorsque toutes les **bobines** sont traversées par pratiquement le même flux.

Pendant les **essais de type**, il convient de déterminer le bruit de fond (voir article B.1) pour chaque échelle en cours d'étalonnage. Si l'amplitude du bruit de fond est significative, il convient de la réduire ou de la combiner avec d'autres sources d'incertitudes liées à l'instrument. Il convient d'effectuer cette opération pour les capteurs de champ mono-axiaux et pour chaque axe des capteurs de champ tri-axiaux.

Il est souhaitable que la fréquence de résonance de la boucle d'étalonnage soit largement supérieures aux fréquences d'étalonnage afin que les étalonnages ne soient pas affectés par le phénomène de résonance (voir article A.1).

Il convient de réduire, au point de les rendre négligeables (voir article A.1), les perturbations du champ étalon dues aux courants – images dans les plans voisins et aux effets de proximité de matériaux ferromagnétiques.

Il est souhaitable que le courant traversant les **bobines** d'étalonnage soit pratiquement exempt de composantes harmoniques (<1 %).

5.2.3 Documentation relative aux essais

Il est souhaitable que les fabricants de capteurs de champ fournissent des documents contenant les résultats d'essai et, en plus des données relatives aux spécifications des instruments (voir 5.1.1 à 5.1.11), les renseignements suivants:

- identification de l'appareillage d'essai;
- identification du client;
- identification du modèle d'instrument et de son numéro de série;
- un numéro unique de rapport d'essai;
- la ou les dates de l'essai ou des essais;
- identification de la ou des personnes acceptant la responsabilité technique concernant le rapport d'essai.

Il est également souhaitable que les fabricants fournissent des documents décrivant leurs procédures d'étalonnage et indiquant tous les renseignements suivants, selon le cas applicable:

range at no less than three representative points which span most of the range. On the most sensitive range, one of the calibration points should be near 10 % of the maximum value *for that range*. On the least sensitive scale, one of the calibration points should be 90 % of the maximum value *for that range*. For at least one magnetic field level, calibrations should be performed at three frequencies which span the **pass-band**, i.e. at the highest and lowest frequencies, and one intermediate frequency.

When calibrating each axis of three-axis probes, checks for the orthogonality of the probes as well as for **crosstalk** between the detector circuitry for each probe should be made. The three-axis probe and magnetic field should be configured so that the axis of each probe can be aligned with the magnetic field direction in succession. For each alignment of the probes, the output from the remaining two probes should be measured and should be less than 3 % of the signal from the aligned probe. This examination for orthogonality of the **coil probes** need be performed at only one field level. The calibration of magnetic field meters with three-axis probes should also be checked for one orientation (at one frequency and field level) where approximately the same flux passes through all the coils.

During **type tests**, the noise floor (see clause B.1) should be determined for each scale that is being calibrated. If significant in magnitude, it should be reduced or combined with other sources of instrument uncertainty. This should be done for single-axis field meters and each axis of three-axis field meters.

The resonant frequency of the calibration loop should be substantially greater than the calibration frequencies so that calibrations are not affected by the resonance phenomenon (see clause A.1).

Perturbations of the calibration field due to image currents in nearby ground planes and proximity effects of ferromagnetic materials should be made negligible (see clause A.1).

The current to the calibration coils should be nearly free (<1 %) of harmonic content.

5.2.3 Test documentation

Manufacturers of field meters should document the results of tests and provide, in addition to the data for the instrument specifications (see 5.1.1 to 5.1.11), the following information:

- identification of the test facility;
- identification of the client;
- identification of the instrument model and serial number;
- a unique test report number;
- the date(s) of the test(s);
- identification of (the) person(s) accepting technical responsibility for the test report.

Instrument manufacturers should also document their calibration procedures, indicating all of the following information as may be applicable:

- la géométrie et les dimensions des **bobines** de champ magnétique;
- la fréquence de résonance du système de **bobines**;
- les instruments de mesure du courant délivré au système de **bobines**; l'incertitude des instruments; la date de la dernière vérification de l'étalonnage;
- les instruments utilisés pour mesurer la tension (technique d'injection de tension); l'incertitude des instruments; la date de la dernière vérification de l'étalonnage;
- le rapport du diviseur de tension (technique d'injection de tension, voir article A.1); la variation du rapport de division en fonction de la fréquence; l'incertitude sur la valeur du rapport de division;
- l'incertitude du système de mesure de référence; les dimensions des sondes; la **bande passante**; la date de la dernière vérification de l'étalonnage.

Il convient de tenir ces renseignements à la disposition des clients sur simple demande de leur part. En ce qui concerne les instruments destinés à être utilisés dans des situations litigieuses, il est recommandé de vérifier l'étalonnage des instruments pour la plage d'amplitudes et pour la plage de fréquences concernées, en utilisant un autre appareillage d'étalonnage.

Il est souhaitable que les laboratoires d'essai soient également conformes aux prescriptions ci-dessus, selon le cas applicable. Les opérateurs manipulant les appareils d'étalonnage sont invités à utiliser un système qualité conforme au Guide 25 de l'ISO [31].

5.2.4 Essais de vérification

Dans la mesure du possible, il est souhaitable que les utilisateurs des instruments analysent la réponse de leurs capteurs de champ en utilisant la technique d'injection de tension, quand le capteur est étalonné dans un champ connu ou peu de temps après. Cette pratique devrait permettre d'utiliser la technique d'injection de tension comme un moyen de vérification d'étalonnage lorsque l'on ne dispose pas de systèmes de **bobines**.

Il existe une autre méthode pour vérifier périodiquement l'étalonnage d'un capteur de champ à une fréquence donnée; cette méthode consiste à analyser la réponse du capteur pour les différentes échelles lorsqu'il est placé dans un champ magnétique qui peut être fidèlement reproduit à l'aide d'un système de **bobines** de dimensions convenables. Cette méthode suppose que la géométrie du système de **bobines**/des sondes reste inchangée et que les niveaux de champs magnétiques parasites ne sont pas significatifs.

Il n'est pas nécessaire que les vérifications de l'étalonnage par l'utilisateur des instruments soient aussi exhaustives que les **essais de réception**. Par exemple, à la fréquence qui convient pour l'application de mesure, il suffira d'effectuer des vérifications en un ou deux points pour chaque plage du capteur de champ qui sera utilisé pour les mesures, afin de vérifier le **facteur d'échelle**.

NOTE – Il est recommandé que l'un des points d'essai se situe dans la moitié supérieure d'une plage donnée.

Il convient de documenter les résultats des essais de vérification et de les tenir à disposition. Il est souhaitable que les documents indiquent la date des essais et le nom de la personne ou des personnes qui ont effectué les essais.

Il convient de procéder, à intervalles réguliers, à la vérification de l'étalonnage sur les plages d'amplitudes que l'on compte utiliser. Un intervalle initial de douze mois est suggéré. Cet intervalle peut être modifié en fonction de la dérive de la réponse du capteur de champ entre deux vérifications. Il convient également d'envisager des vérifications avant et après de longues périodes d'utilisation du capteur de champ, par exemple si des mesures sont effectuées sur une période allant de quelques jours à une semaine. Cette pratique revêt une importance particulière lorsqu'il est difficile d'un point de vue logistique de se rendre ultérieurement aux endroits où les mesures ont été effectuées.

- magnetic field coil geometry and dimensions;
- resonance frequency of coil system;
- instrumentation for measurement of current to coil system; instrumental uncertainty; date of last calibration verification;
- instrumentation used for voltage measurement (voltage injection technique, see clause A.1); instrumental uncertainty; date of last calibration verification;
- voltage divider ratio (voltage injection technique, see clause A.1); dependence of ratio on frequency; uncertainty in ratio value;
- uncertainty of reference measurement system; probe dimensions; **pass-band**; date of last calibration verification.

This information should be made available to clients upon request. As regards instrumentation intended for use in situations where litigation is anticipated, it is recommended that the instrument calibration be verified for the relevant magnitude range and frequency range by a second independent facility.

Testing laboratories should also comply with the above requirements, as applicable. Operators of calibration facilities are encouraged to use a quality system that conforms to ISO Guide 25 [31].

5.2.4 Verification tests

When possible, it is desirable for instrument users to examine the response of their field meters using the voltage injection technique at the time when the meter is calibrated in a known field or shortly thereafter. This practice would enable the use of the voltage injection technique as a means of verifying the calibration when a coil system is not available.

A second approach to the periodic verification of the field meter calibration at a given frequency is to examine its response for the different scales when placed in a magnetic field that can be faithfully reproduced using a coil system of convenient size. This approach assumes that the coil system/probe geometry remains the same and background magnetic field levels are not significant.

Verifications of the calibration by the instrument user need not be as exhaustive as **acceptance tests**. For example, at frequencies relevant to the measurement application, checks at one or two points for each range of the field meter that will be used for measurements will be adequate for verifying the **scale factor**.

NOTE – It is recommended that one test point be in the upper half of a given range.

The results of verification tests should be documented and readily accessible. The documentation should include the date of the tests and identification of the person(s) performing the tests.

Verification of the calibration on the magnitude ranges intended for use should be performed at regular intervals. An initial interval of twelve months is suggested. This interval may be altered depending on the drift of the field meter response between verifications. Verifications should also be considered prior to and after extended periods of field meter use, e.g. if measurements are performed over a period of several days to a week. This practice is particularly important when there are logistical difficulties in returning to the measurement location at a later time.

5.3 Incertitude de mesure

Afin de déterminer l'incertitude totale associée aux valeurs efficaces mesurées de l'induction magnétique dans différents environnements de mesure, il convient de tenir raisonnablement compte des diverses sources d'incertitude. Les sources d'incertitude suivantes figurent parmi les sources potentielles d'incertitude identifiées en 5.2 et à l'article B.1:

- incertitude de l'étalonnage;
- effets de moyennage des **bobines** pendant les mesures de champs non uniformes (voir tableau B.1);
- erreurs de positionnement de la sonde dans des champs non uniformes;
- limitations de la **réponse en fréquence** ou de la **bande passante**;
- blindage inadéquat du champ électrique;
- bruit de fond;
- orthogonalité des **bobines** tri-axiales;
- **diaphonie**;
- constante de temps de l'instrument;
- température.

Certaines sources d'incertitude peuvent être réduites à des niveaux négligeables. Par exemple, un blindage correct permet de réduire, à un niveau négligeable, la sensibilité aux champs électriques à la fréquence industrielle et aux perturbations électromagnétiques [24]. De la même manière, il est possible d'utiliser des supports réalisés en matériaux isolants pour assurer un positionnement précis de la sonde dans des champs particulièrement non uniformes.

NOTE – Il peut y avoir des environnements de mesure extrêmes pour lesquels il sera difficile d'assurer une protection adéquate contre les perturbations électromagnétiques, par exemple à proximité d'installations de radiodiffusion à très haute fréquence (VHF) et à ultra haute fréquence (UHF).

Il convient d'appliquer des **facteurs de correction** connus (voir article A.1) aux lectures obtenues avec des **capteurs d'induction magnétique**. Si l'application de **facteurs de correction** n'est pas possible, il convient de traiter l'influence des **facteurs de correction** comme une **incertitude de mesure** ajoutée.

Il convient de faire preuve de discernement lors du calcul de l'incertitude. Si, par exemple, un champ magnétique contient des harmoniques, la valeur efficace vraie de l'induction magnétique est donnée par:

$$B = B_f \sqrt{1 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \dots} \quad (6)$$

où

B_f est la valeur efficace de la composante du champ à la fréquence fondamentale;

α_i est la contribution de la $i^{\text{ème}}$ harmonique.

Si l'amplitude des harmoniques décroît à des fréquences plus élevées et si la **bande passante** du capteur de champ est inadéquate pour donner la valeur totale des harmoniques élevées, la valeur efficace vraie de l'induction magnétique peut encore ne pas être trop affectée par la **réponse en fréquence** limitée en raison de la somme donnée dans l'équation (6).

De la même manière, il convient de reconnaître que des incertitudes, apparaissant pendant la mesure de champs magnétiques produits par d'autres appareils ou des équipements électriques, en fonction de la distance par rapport à la source, peuvent prendre des valeurs

5.3 Measurement uncertainty

In order to determine the total uncertainty associated with r.m.s. measurements of the magnetic flux density in different measurement environments, there should be an appropriate accounting of the various sources of uncertainty. Possible sources of uncertainty identified in 5.2 and B.1 are as follows:

- calibration uncertainty;
- averaging effects of **coil probes** during non-uniform field measurements (see table B.1);
- errors in positioning the probe in non-uniform fields;
- **frequency response** or **pass-band** limitations;
- inadequate electric field shielding;
- the noise floor;
- orthogonality of three-axis coils;
- **crosstalk**;
- instrument time constant;
- temperature .

Some sources of uncertainty can be reduced to negligible levels. For example, proper shielding can reduce susceptibility to power frequency electric fields and electromagnetic interference to negligible levels [24]. Similarly, stands fabricated from insulating materials may be used for precise positioning of the field meter probe in highly non-uniform fields.

NOTE – There can be extreme measurement environments for which adequate shielding against electromagnetic interference will be difficult, e.g. near very high-frequency (VHF) and ultra-high (UHF) broadcast facilities.

Known **correction factors** (see clause A.1) should be applied to readings obtained with **magnetic flux density meters**. If it is impractical to apply **correction factors**, the influence of the **correction factors** should be treated as an added **measurement uncertainty**.

Some judgement is called for when performing the uncertainty calculation. If, for example, a magnetic field contains harmonics, the true r.m.s. value of the magnetic flux density is given by

$$B = B_f \sqrt{1 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \dots} \quad (6)$$

where

B_f is the r.m.s. value of the fundamental field component;

α_i is the fraction of the i th harmonic.

If the harmonics decrease in amplitude at higher frequencies and the **pass-band** of the field meter is inadequate to give full value to the higher harmonics, the true r.m.s. value of the magnetic flux density may still not be greatly affected by the limited **frequency response** because of the summation given in equation (6).

Similarly, it should be recognized that uncertainties during the measurement of magnetic fields from appliances or other electrical equipment, as a function of the distance from the source, can become very great (e.g. exceeding 100 %) as the field level from the source approaches

très élevées (par exemple supérieures à 100 %) au fur et à mesure que le niveau du champ par rapport à la source se rapproche de la valeur du champ magnétique parasite. Dans ce cas, il convient d'inclure dans l'incertitude un terme supplémentaire, «pourcentage parasite», noté «% parasite», où «% parasite» est égal à $(\text{champ parasite}/\text{champ mesuré}) \times 100 \%$.

Il convient d'évaluer les incertitudes, en procédant conformément à l'ISO TAG 4, WG3 qui exige que l'écart-type associé à chaque grandeur influençant la mesure, soit déterminé sur la base de mesures précédemment effectuées ou sur l'expérience. L'écart-type combiné doit être obtenu comme la racine carrée de la somme des variances (c'est-à-dire la racine carrée de la somme des carrés des écarts-types). L'incertitude étendue (totale) doit être égale à k fois l'écart-type combiné, où k est le **facteur de couverture**. Le **facteur de couverture** doit être égal à 2, ce qui correspondra, pour des distributions gaussiennes, à un intervalle de confiance d'environ 95 %.

5.4 Enregistrement et consignation des résultats de mesure

Les renseignements nécessaires lors de l'enregistrement et de la consignation des résultats de mesure peuvent varier selon les objectifs des mesures. Il convient d'indiquer clairement les objectifs des mesures au début du document. Dans tous les cas, il convient de fournir les informations suivantes concernant les instruments et les mesures:

- identification du fabricant;
- identification du modèle;
- date des mesures;
- durée des mesures;
- **incertitude de mesure** totale;
- une indication claire concernant le champ mesuré, par exemple **champ magnétique maximal**, **champ magnétique résultant**, la composante verticale du champ, la moyenne pondérée dans le temps (TWA: Time-weighted average), la valeur efficace, etc. (Il convient d'utiliser les unités du système international; les unités usuelles peuvent être exprimées entre parenthèses);
- géométrie et dimensions de la sonde;
- date du dernier étalonnage/essai de vérification.

Les informations qu'il convient de fournir, selon le cas, sont les suivantes:

- **bande passante** de l'instrument;
- fréquence d'échantillonnage;
- descriptions de l'activité humaine lorsque des données relatives à l'exposition humaine aux champs sont présentées;
- dessins décrivant la zone et les endroits où les mesures sont effectuées;
- données statistiques, par exemple la plus grande valeur et la plus petite valeur du champ, la valeur intermédiaire, la moyenne géométrique, etc;
- résolution spectrale pour des champs contenant plusieurs fréquences;
- endroits où sont effectuées les mesures; identification des sources, conditions atmosphériques;
- identification des personnes qui effectuent les mesures;
- conditions de la source, par exemple courant de charge.

the value of the background magnetic field. For this case, the uncertainty should include an additional term, "percentage of background," abbreviated as "%background", where "%background" is equal to $(\text{background field/measured field}) \times 100 \%$.

Evaluation of uncertainties should be made in accordance with ISO TAG 4, WG 3 which requires that the standard deviation associated with each quantity influencing the measurement shall be determined on the basis of measurements performed or on the basis of experience. The combined standard deviation shall be obtained as the square root of the sum of the variances (i.e. the square root of the sum of the squares of the standard deviations). The expanded (total) uncertainty shall be k times the combined standard deviation, where k is the **coverage factor**. The **coverage factor** shall be taken as 2 which, for Gaussian distributions, will correspond to a confidence interval of approximately 95 %.

5.4 Recording and reporting measurement results

The information that is required when recording and reporting the results of measurements can vary depending on the goals of the measurements. A clear indication of the measurement goals should be provided at the outset. The following information pertaining to the instrumentation and measurements should also be provided in all cases:

- identification of manufacturer;
- identification of instrument model;
- date of measurements;
- time of measurements;
- total **measurement uncertainty**;
- a clear indication of what field quantity is being reported, e.g. the **maximum magnetic field**, the **resultant magnetic field**, the vertical field component, time-weighted average (TWA), r.m.s. value, etc. (SI units should be used; common units may be expressed in parentheses);
- probe size/geometry;
- date of last calibration/verification test.

Other information which should be provided, when appropriate, includes:

- instrument **pass-band**;
- sampling frequency;
- descriptions of human activity when human exposure data is presented;
- drawings which describe the area and locations where measurements are performed;
- statistical information, e.g. the largest and smallest field values, median, geometric mean, etc.;
- frequency resolution of spectra for fields containing multiple frequencies;
- measurement locations; source identification; weather conditions;
- identification of personnel performing the measurements;
- source conditions, i.e. current loading.

5.5 Méthode de mesure

5.5.1 Généralités

Il convient de mesurer les inductions magnétiques à l'aide d'instruments tri-axiaux et il est souhaitable que la mesure porte sur le **champ magnétique résultant**, sauf lorsqu'il existe une raison particulière pour utiliser des instruments mono-axiaux. Parmi les raisons pour lesquelles on peut être amené à utiliser des instruments mono-axiaux, on peut citer les cas où l'on souhaite connaître la direction du champ, le **champ magnétique maximal**, l'orientation et la forme de l'ellipse du champ magnétique et lorsque la direction d'un champ polarisé linéairement est déjà connue.

NOTE – Certains instruments tri-axiaux peuvent également déterminer ces paramètres de champ (voir article D.1).

Il est également possible d'utiliser des instruments mono-axiaux pour déterminer le **champ magnétique résultant** à l'aide des équations (3) ou (4) lorsque le niveau du champ reste stable. Dans ce cas, l'utilisation d'un support, réalisé à partir de matériaux non conducteurs, pour orienter la sonde dans des directions orthogonales, facilitera le processus de mesure.

La taille de la sonde ou parties sensibles doit tenir compte de la variation spatiale du champ mesuré. Il est souhaitable que la surface des parties sensibles soit égale ou inférieure à 0,01 m² (voir 5.1.7 et article B.1.1).

La **bande passante** de l'instrument doit être adaptée au contenu fréquentiel du champ mesuré. Lorsque le champ est tel que la **bande passante** de l'instrument pourrait influencer de façon significative le résultat de lecture (c'est-à-dire, lorsqu'il y a plusieurs fréquences dans le champ), il convient d'enregistrer et de consigner la **bande passante** en même temps que les résultats.

Lorsque le champ magnétique est produit par un système de puissance, les fréquences présentes sont normalement la fréquence fondamentale (50 Hz ou 60 Hz) plus les quelques premières harmoniques. Il est souhaitable que la **bande passante** minimale utilisée pour mesurer de tels champs s'étende de la fréquence fondamentale jusqu'à 500 Hz. Une **bande passante** plus étroite ne peut être utilisée que s'il est possible de démontrer que le taux d'harmoniques est suffisamment faible pour ne faire varier que de façon négligeable le résultat de mesure, par exemple à proximité de lignes de puissance, ou s'il y a une raison particulière pour mesurer une bande de fréquences plus étroite.

NOTE – Lors de l'évaluation de la conformité aux exigences du projet de norme ENV 50166-1 du CENELEC [5], il est nécessaire de mesurer le champ sur des **bandes passantes** étroites contenues dans la **bande passante** globale.

Il convient d'arrêter ou de ne pas utiliser des équipements portatifs qui émettent des champs électromagnétiques (par exemple des téléphones portatifs) lorsqu'on effectue des mesures de champs magnétiques.

Si les mesures portent sur les champs produits par des sources autres que le système de puissance, il est nécessaire de choisir une **bande passante** spécifique. Des champs produits par certains systèmes de traction ont une fréquence fondamentale plus faible, alors que les postes de chauffage par induction, les écrans de visualisation, les avions commerciaux, les navires et les harmoniques produites par des moteurs à vitesse réglable peuvent produire des champs avec des fréquences plus élevées. Lors de l'extension de la **bande passante** à des fréquences plus faibles, il est nécessaire de faire très attention pour éviter des erreurs provoquées par le déplacement des **sondes à bobine** dans des champs statiques. En général, de telles erreurs peuvent être évitées en immobilisant la bobine (voir note de B.1.5).

5.5 Measurement procedure

5.5.1 General

Magnetic flux density measurements should be made with three-axis instruments and should be of the **resultant magnetic field**, except where there is a particular reason for using single-axis instruments. Reasons for using single-axis instruments include the desirability to know the direction of the field and the **maximum magnetic field**, the wish to investigate the orientation and shape of the magnetic field ellipse, and cases when the direction of a linearly polarized field is already known.

NOTE – Some three-axis instrumentation can also determine these field parameters (see clause D.1).

Single-axis instruments may also be used to determine the **resultant magnetic field** using equations (3) or (4) when the field level remains stable. For this case, use of a fixture made from non-conducting materials for orienting the probe in orthogonal directions will expedite the measurement process.

The size of the probe or sensing elements shall be appropriate to the spatial variation of the field that is measured. It is recommended that the sensing elements should be of area 0,01 m² or smaller (see 5.1.7 and clause B.1.1).

The **pass-band** of the instrument shall be appropriate to the frequency content of the field being measured. Where the field is such that the **pass-band** of the instrument could significantly affect the reading (i.e. where more than one frequency is present in the field), the **pass-band** should be recorded and reported with the results.

When the magnetic field is produced by a power system, the frequencies present will usually be the fundamental (50 Hz or 60 Hz), plus the first few harmonics. The minimum **pass-band** used for measuring such fields should extend from the fundamental frequency to 500 Hz. A narrower **pass-band** may be used only if it can be demonstrated that the harmonic content is sufficiently small for the measurement result to be negligibly different, e.g. near power lines, or if there is a specific reason for measuring a narrower range of frequencies.

NOTE – When assessing compliance with CENELEC prestandard ENV 50166-1 [5], it is necessary to measure the field over particular narrow frequency **pass-bands** within the overall **pass-band**.

Portable equipment that radiates electromagnetic fields (e.g. mobile telephones) should be turned off or not be used when performing magnetic field measurements.

When measuring the fields produced by sources other than the power system, the **pass-band** will need to be chosen appropriately. Fields produced by some traction systems have a lower fundamental frequency, while induction heaters, video display terminals, commercial airplanes, ships, and the harmonics produced by variable speed motors can produce fields with higher frequencies. When extending the **pass-band** to lower frequencies, care shall be taken to avoid errors caused by the motion of **coil probes** in static fields. Such errors can generally be avoided by holding the coil stationary (see note on B.1.5).

5.5.2 Mesure de l'exposition des êtres humains

Il convient de reconnaître que des mesures effectuées dans un champ magnétique à peu près uniforme correspondent à l'exposition globale des êtres humains, si des êtres humains sont présents sur les lieux au moment où sont effectuées les mesures. Les mesures de champs magnétiques dans des champs non uniformes ont une interprétation plus restrictive lors de la détermination de l'exposition des êtres humains, c'est-à-dire que les mesures de champs ne représentent l'exposition des êtres humains que pour la partie de l'anatomie qui coïnciderait avec l'emplacement où sont effectuées les mesures. Le choix de l'emplacement ou des endroits où sont effectuées les mesures peut varier en fonction de la source de champ et de la position relative du sujet humain, par exemple tenir compte des différences entre des rasoirs électriques, des sèche-cheveux, des machines à coudre et des postes de soudage.

Dans le cadre du processus d'élaboration d'un protocole de mesure visant à déterminer l'exposition des champs magnétiques sur les êtres humains, il convient d'indiquer clairement les objectifs et les méthodes de mesure. Une définition claire des objectifs est nécessaire pour déterminer les prescriptions applicables aux instruments et à l'étalonnage, par exemple la **bande passante** des instruments, la plage d'amplitudes, et les points d'étalonnage des fréquences. Il est souhaitable que le protocole de mesure indique le ou les paramètres du champ à mesurer, les endroits où les mesures doivent être effectuées, et la manière dont les mesures doivent être effectuées. Il convient d'insister sur le fait que, de façon générale, un seul protocole de mesure ne conviendra pas pour toutes les situations dans lesquelles les mesures sont effectuées. L'article D.3 donne des indications supplémentaires sur les objectifs et les méthodes permettant de caractériser des champs magnétiques. L'article D.4 fournit un exemple de protocole de mesure de champs magnétiques qui permet de vérifier si l'exposition des inductions magnétiques sur les êtres humains dans des postes sont conformes aux prescriptions du projet de norme ENV 50166-1 du CENELEC [5].

6 Mesure des champs électriques alternatifs

6.1 Spécifications relatives aux instruments

Les divers types d'instruments disponibles pour caractériser des champs électriques quasi statiques sont décrits à l'article E.1. Les instruments doivent être accompagnés de tous les renseignements nécessaires, y compris les spécifications relatives aux instruments et une notice d'instructions clairement rédigée pour permettre aux utilisateurs de déterminer la conformité aux prescriptions de la présente norme, pour les aider à faire fonctionner correctement le capteur de champ, et pour évaluer l'utilité du dispositif pour leur application. Il convient d'éviter les procédures d'utilisation complexes. Les spécifications relatives aux instruments, qui doivent être fournies et/ou satisfaites, sont indiquées ci-après.

NOTE – Il est possible d'utiliser des instruments non conformes aux spécifications ci-après, si l'on est en mesure de démontrer que, dans les conditions où l'instrument est utilisé, il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus à l'aide de cet instrument et ceux obtenus à l'aide d'un capteur conforme à cette norme. Par exemple, il n'est possible d'utiliser un capteur muni d'un **détecteur de valeur redressée** avec ou sans étage d'intégration que si l'on est en mesure de démontrer que les harmoniques dans le champ sont négligeables, et uniquement si l'instrument a été étalonné pour la fréquence fondamentale dans le champ.

6.1.1 Incertitude des instruments

Il est souhaitable que le système de mesure des champs électriques alternatifs indique la valeur efficace des champs électriques uniformes avec une incertitude inférieure à $\pm(10\%$ de la lecture + 2 V/m) après avoir appliqué, si nécessaire, des **facteurs de correction**.

NOTE 1 – L'incertitude de l'instrument est déterminée à partir de plusieurs composantes, telles que l'incertitude de l'étalonnage, la dérive de température des composants électroniques, la stabilité et les sources de bruit externes. L'**incertitude de mesure** ci-dessus est associée à la conception et au fonctionnement du capteur de champ électrique dans un champ presque uniforme. L'élément de 10 % se rapporte à l'incertitude pendant l'étalonnage (voir 6.2) sur toute la plage de fréquences (**bande passante**) spécifiée pour l'instrument et comprend les incertitudes dans la valeur du champ électrique ainsi que des incertitudes supplémentaires pendant le processus

5.5.2 Measuring human exposure

It should be recognized that measurements in an approximately uniform magnetic field correspond to exposure of the whole human body if present at the measurement location at the time of the measurements. Magnetic field measurements in non-uniform fields have a more restrictive interpretation when determining human exposure, i.e. the field measurement represents human exposure only for that portion of the human anatomy which would coincide with the measurement location. The choice of measurement location(s) can vary depending in part on the field source and the relative position of the human subject, e.g. consider the differences between electric shavers, hair dryers, sewing machines and welders.

As part of the process for developing a measurement protocol for determining human exposure to magnetic fields, the measurement goals and methods for achieving them should be clearly indicated. A clear definition of the goals is needed to determine instrumentation and calibration requirements, e.g. instrumentation **pass-band**, magnitude range, and frequency calibration points. The measurement protocol should indicate which field parameter(s) should be measured, where the measurements should be performed, and how the measurements should be performed. It is noted with emphasis that, in general, a single measurement protocol will not be suitable for all measurement situations. Additional discussions of goals and methods intended for characterizing magnetic fields are provided in D.3. An example of a magnetic field measurement protocol, which considers whether human magnetic flux density exposures in substations are in compliance with CENELEC prestandard ENV 50166-1 [5], is given in D.4.

6 Measurement of alternating electric fields

6.1 Instrumentation specifications

The various types of instrumentation available for characterizing quasi-static electric fields are described in clause E.1. Sufficient information shall be provided with the instrumentation, including instrument specifications and a clearly written instruction manual to enable the user to determine compliance with this standard, to aid them in the proper operation of the field meter, and to assess the usefulness of the device for the user's application. Complicated operating procedures should be avoided. The instrument specifications that should be provided and/or satisfied are given below.

NOTE – Instruments not complying with the specifications below may be used if it can be demonstrated that, under the conditions in which the instrument is used, the results obtained will not differ significantly from those obtained with a meter in compliance with this standard. For example, a meter with a **rectified average detector**, with or without an integrating stage, may be used if it can be shown that the harmonics in the field are negligible, and if the instrument has been calibrated for the fundamental frequency in the field.

6.1.1 Instrumental uncertainty

The measuring system for alternating electric fields should indicate the r.m.s. value of uniform electric fields with an uncertainty of less than $\pm(10\% \text{ of reading} + 2 \text{ V/m})$ after **correction factors** have been applied, if appropriate.

NOTE 1 – The uncertainty of the instrument is determined from several components such as the calibration uncertainty, temperature drift of the electronics, stability and external noise sources. The above uncertainty is associated with the design and functioning of the electric field meter in a nearly uniform field. The 10 % element refers to the uncertainty during calibration (see 6.2) over the frequency range (**pass-band**) specified for the instrument, and includes uncertainties in the value of the electric field strength and additional uncertainties during

d'étalonnage (voir 6.2). Le **facteur de couverture** est 2. L'inclusion de 2 V/m tient compte d'incertitudes apparaissant pendant l'étalonnage d'instruments ayant les échelles les plus sensibles, ainsi que de mesures de champs de l'ordre de 10 V/m.

NOTE 2 – Pour les champs électriques compris entre 1 V/m et 5 V/m, il convient que l'incertitude soit inférieure à 40 % (**facteur de couverture** de 2) après application des **facteurs de correction**, si nécessaire.

NOTE 3 – D'autres sources d'**incertitude de mesure** et des recommandations sur la manière de traiter ces incertitudes sont respectivement données à l'article B.2 et en 6.3.

6.1.2 Plage d'amplitudes

La plage d'amplitudes pour laquelle l'instrument fonctionne dans les limites de l'incertitude spécifiée doit être clairement indiquée.

6.1.3 Bande passante

L'instrument doit être accompagné de renseignements ou de spécifications d'étalonnage permettant à l'utilisateur d'évaluer l'incertitude maximale lors de la détermination de niveaux des champs lorsque l'instrument est utilisé dans des champs contenant différentes fréquences. Il est souhaitable que ces informations comprennent également la sensibilité de l'instrument à des fréquences au-delà de la plage utile prévue. La **réponse en fréquence** de l'instrument doit être telle que l'exigence applicable à l'incertitude de l'instrument (voir 6.1.1) est remplie dans toute la plage de fréquences pour laquelle il est prévu.

6.1.4 Plages de température de fonctionnement et d'humidité

Il est souhaitable que les plages de température et d'humidité relative, pour lesquelles l'instrument fonctionne dans les limites de l'incertitude spécifiée, ne soient pas inférieures aux plages comprises entre 0 °C et 45 °C et entre 5 % et 95 %, respectivement. Il est recommandé d'éviter des variations brutales de température susceptibles de produire de la condensation dans l'instrument et sur la poignée isolante (voir article B.2).

6.1.5 Alimentations en énergie

Si des piles (batteries) sont utilisées, il convient de prévoir un moyen pour indiquer si l'état de la pile permet un fonctionnement correct du capteur de champ. Il est souhaitable que les **dosimètres** puissent fonctionner pendant au moins 8 h dans les limites de l'incertitude assignée avant qu'il ne soit nécessaire de remplacer ou de recharger les piles. Si les piles utilisées sont rechargeables (**capteurs électro-optiques**, **capteurs d'espace libre** couplés optiquement avec le détecteur, et **capteurs de parois**) il est recommandé de ne pas faire fonctionner les instruments alors qu'ils sont branchés sur le réseau d'alimentation. Lorsque de tels raccordements sont nécessaires, il convient de démontrer que des perturbations conduites provenant de la tension du réseau, et les couplages électromagnétiques établis par l'intermédiaire des conducteurs de raccordement (au chargeur de pile) n'affectent pas la mesure (voir 5.1.8). Il convient de n'avoir aucune liaison filaire avec des **capteurs d'espace libre**.

6.1.6 Lisibilité des échelles de graduation

Il est souhaitable que les dimensions des cadrans ou des afficheurs numériques des capteurs de champ électrique d'espace libre soient suffisamment grandes pour permettre de lire les valeurs à une distance suffisante afin d'éviter d'introduire des perturbations importantes du champ électrique dues aux effets de proximité de l'observateur (voir article B.2). L'utilisation de **capteurs d'espace libre** munis de dispositifs d'affichage distants (voir E.2.1) permet d'éviter les problèmes liés à la lecture d'un dispositif d'affichage placé à une certaine distance. Si plusieurs plages de sensibilité sont prévues, il convient d'indiquer la valeur à pleine échelle de la plage choisie, et il est souhaitable que les unités soient facilement interprétables. Pour ce qui est des instruments à sélection automatique du calibre, la plage d'amplitudes peut être indiquée ailleurs, soit dans la notice d'utilisation. Il est souhaitable que les instruments indiquent clairement les unités affichées.

the calibration process (see 6.2). The **coverage factor** is 2. The inclusion of 2 V/m anticipates instrumental uncertainties during the calibration of the most sensitive scales and when fields in the order of 10 V/m are measured.

NOTE 2 – For electric fields between 1 V/m and 5 V/m, the uncertainty should be less than $\pm 40\%$ (**coverage factor** 2) after **correction factors** have been applied, if appropriate.

NOTE 3 – Other sources of **measurement uncertainty** and guidelines on the treatment of uncertainties are given in B.2 and 6.3, respectively.

6.1.2 Magnitude range

The magnitude range for which the instrument operates within the specified uncertainty shall be clearly indicated.

6.1.3 Pass-band

The instrument shall be provided with calibration data or specifications enabling the user to assess the maximum uncertainty in determining field levels when using the instrument in fields containing different frequencies. This information should also include the sensitivity of the instrument to frequencies beyond the intended useful range. The **frequency response** of the instrument shall be such that the requirement of the instrumental uncertainty (see 6.1.1) is fulfilled over the frequency range for which it is intended.

6.1.4 Operating temperature and humidity ranges

The temperature and relative humidity ranges for which the instrument operates within the specified uncertainty should be no less than 0 °C to 45 °C and 5 % to 95 %, respectively. Sudden temperature changes that can lead to condensation in the instrument and/or on the insulating handle should be avoided (see clause B.2).

6.1.5 Power supplies

If batteries are used, provision should be made to indicate whether the battery condition is adequate for proper operation of the field meter. Survey type instruments should be capable of at least 8 h operation within their rated uncertainty before replacement or recharging of the batteries becomes necessary. If rechargeable batteries are used (**electro-optic meters**, **free-body meters** optically coupled to the detector, and **ground reference meters**), it is recommended not to operate the instrumentation while it is connected to the mains voltage. When such connections are necessary, it should be demonstrated that conducted disturbances from the mains voltage, and electromagnetic coupling via the connecting leads (to the battery charger) not affect the measurement (see 5.1.8). There should be no wire connections to **free-body meters**.

6.1.6 Readability of scale

The meter dial markings or digital displays of free-body electric field meters should be large enough to be read at a distance sufficient to avoid significant perturbations of the electric field due to proximity effects of the observer (see clause B.2). Use of **free-body meters** with remote displays (see E.2.1) avoids the difficulties associated with reading displays from a distance. If more than one range of sensitivity is provided, the full scale value of the selected range should be indicated, and the units should be readily interpretable. For auto-ranging instrumentation, the magnitude range may be indicated elsewhere, e.g. in the user manual. The instrumentation should provide a clear indication of the units being displayed.

6.1.7 Dimensions des instruments

Il convient d'indiquer les dimensions des capteurs de champ électrique en fonction du type de capteur:

- a) **capteur d'espace libre**: dimensions de la sonde et longueur de la poignée isolante;
- b) **capteur de paroi**: dimensions de la sonde et du détecteur et longueur du câble coaxial de liaison;
- c) **capteur électro-optique**: dimensions de la sonde et du détecteur et longueur de la liaison par fibres optiques.

6.1.8 Compatibilité électromagnétique

Champ magnétique à fréquence industrielle

Il est souhaitable que des instruments, destinés à être utilisés au voisinage d'équipements sous haute tension fonctionnant à des fréquences industrielles, ne soient pas affectés de manière significative par des champs magnétiques ambiants pouvant atteindre 1 mT, c'est-à-dire qu'il est souhaitable que l'influence du champ magnétique sur la lecture du champ électrique soit inférieure à 1 V/m. Il convient de soumettre les instruments aux essais en procédant conformément aux méthodes décrites dans la CEI 61000-4-8.

NOTE – Il est possible d'effectuer les essais relatifs à l'immunité aux champs électriques à fréquences industrielles à l'aide des systèmes de **bobines** décrits à l'article A.1.

En ce qui concerne les autres prescriptions relatives à l'immunité et aux émissions, voir 5.1.8.

6.1.9 Robustesse

Il est souhaitable que le capteur et les autres composants du système soient suffisamment robustes pour supporter les vibrations et les chocs subis lors du transport. L'utilisation d'une mallette de transport est recommandée.

6.1.10 Poids

Il convient d'étudier le poids des instruments. Il est souhaitable que le poids des capteurs de champ électrique d'espace libre soit maintenu aussi faible que possible pour permettre de tenir facilement l'instrument par une poignée isolante d'une longueur de 2 m.

6.2 Etalonnage

6.2.1 Généralités

Les systèmes de mesure doivent être soumis à des étalonnages et à des vérifications de leur étalonnage pendant leur durée de vie. Les essais d'étalonnage mentionnés dans la présente norme sont des **essais de type** et des **essais de réception**. Les **essais de type** sont normalement effectués par le fabricant sur un ou plusieurs dispositifs. Les **essais de réception** sont normalement effectués une seule fois par le fabricant sur chaque capteur de champ. Il est nécessaire de répéter les **essais de réception** si le capteur de champ a fait l'objet de modifications ou de réparations importantes. Les essais de vérification sont effectués périodiquement pendant l'utilisation de l'instrument (voir 6.2.4). Il convient d'assurer la traçabilité de tous les étalonnages effectués à partir des étalons nationaux et internationaux via une chaîne ininterrompue d'étalonnages, tous ayant des incertitudes spécifiées.

6.2.2 Procédure d'étalonnage

Les étalonnages sont prescrits comme faisant partie des **essais de type**, des **essais de réception** (voir 6.2.1), et essais de vérification périodique (voir 6.2.4). Il convient de suivre,