

COMMISSION
ÉLECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

CISPR
18-2

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

Première édition
First edition
1986-12

COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

**Caractéristiques des lignes et des équipements
à haute tension relatives aux perturbations
radioélectriques**

**Deuxième partie:
Méthodes de mesure et procédure d'établissement
des limites**

**Radio interference characteristics of
overhead power lines and high-voltage equipment**

**Part 2:
Methods of measurement and procedure for
determining limits**



Numéro de référence
Reference number
CISPR 18-2: 1986

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI et du CISPR est constamment revu par la Commission et par le CISPR afin qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

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 utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

Pour les termes concernant les perturbations radio-électriques, voir le chapitre 902.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;*
- la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas;*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 60027 ou CEI 60617, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

* «Site web» de la CEI <http://www.iec.ch>

Revision of this publication

The technical content of IEC and CISPR publications is kept under constant review by the IEC and CISPR, thus ensuring that the content reflects current technology.

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 used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

For terms on radio interference, see Chapter 902.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams;*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 60027 or IEC 60617, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

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

COMMISSION
ÉLECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

CISPR
18-2

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

Première édition
First edition
1986-12

COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

**Caractéristiques des lignes et des équipements
à haute tension relatives aux perturbations
radioélectriques**

**Deuxième partie:
Méthodes de mesure et procédure d'établissement
des limites**

**Radio interference characteristics of
overhead power lines and high-voltage equipment**

**Part 2:
Methods of measurement and procedure for
determining limits**

© IEC 1986 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

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE.	4
PRÉFACE	4
DOMAINE D'APPLICATION ET OBJET	8
Articles	
1. Mesures	8
1.1 Appareils de mesure	8
1.2 Mesures C.I.S.P.R. sur le terrain – Plage de fréquences 0,15 MHz à 30 MHz.	10
1.3 Mesures C.I.S.P.R. en laboratoire	14
1.4 Evaluation statistique du niveau perturbateur d'une ligne	30
2. Méthodes d'établissement des limites	32
2.1 Introduction	32
2.2 Signification des limites C.I.S.P.R. pour les lignes et les équipements à haute tension	34
2.3 Considérations d'ordre technique pour l'établissement de limites pour les lignes	34
2.4 Méthodes de détermination de la conformité aux limites	42
2.5 Exemples d'établissement des valeurs limites.	46
2.6 Remarques additionnelles	48
2.7 Considérations techniques pour l'établissement de limites pour les matériels de ligne et de poste	50
Bibliographie et références.	57
ANNEXE A – Appareils de mesure de perturbations radioélectriques non conformes aux appareils normalisés par le C.I.S.P.R.	58
ANNEXE B – Liste des renseignements à fournir dans le rapport, lors de mesures effectuées sur des lignes en service	60
ANNEXE C – Niveaux minimaux de signal radiodiffusé à protéger – Avis de l'UIT.	62
ANNEXE D – Niveaux minimaux de signal radiodiffusé à protéger – Normes nord-américaines	64
ANNEXE E – Rapports signal sur bruit requis pour une réception satisfaisante	66
ANNEXE F – Etablissement de la formule relative à la distance protégée	72
FIGURES	74

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SCOPE AND OBJECT.	9
Clause.	
1. Measurements	9
1.1 Measuring instruments	9
1.2 C.I.S.P.R. site measurements – 0.15 MHz to 30 MHz range	11
1.3 C.I.S.P.R. laboratory measurements	15
1.4 Statistical evaluation of the radio noise level of a line	31
2. Methods for derivation of limits	33
2.1 Introduction	33
2.2 Significance of C.I.S.P.R. limits for power lines and high-voltage equipment.	35
2.3 Technical considerations for derivation of limits for lines	35
2.4 Methods of determining compliance with limits	43
2.5 Examples for derivation of limits	47
2.6 Additional remarks	49
2.7 Technical considerations for derivation of limits for line equipment and substations	51
Bibliography and references	57
APPENDIX A – Radio interference measuring apparatus differing from the C.I.S.P.R. basic standard instruments	59
APPENDIX B – List of additional information to be included in the report on the results of measurements on operational lines	61
APPENDIX C – Minimum broadcast signal levels to be protected – ITU Recommendations	63
APPENDIX D – Minimum broadcast signals to be protected – North American standards.	65
APPENDIX E – Required signal-to-noise ratios for satisfactory reception	67
APPENDIX F – Derivation of formula for protected distance	73
FIGURES	74

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES ET DES ÉQUIPEMENTS
À HAUTE TENSION
RELATIVES AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES**

Deuxième partie: Méthodes de mesure et procédure d'établissement des limites

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Sous-Comité C du C.I.S.P.R.: Perturbations dues aux lignes et aux équipements à haute tension et aux systèmes de traction électrique.

Le contenu principal de cette publication est fondé sur la Recommandation n° 56 du C.I.S.P.R. ci-dessous. On se référera également à la Recommandation n° 46/1 du C.I.S.P.R.: Signification des limites C.I.S.P.R.

**RECOMMANDATION n° 56 DU C.I.S.P.R.:
MÉTHODES DE MESURE DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES CAUSÉES AUX LIGNES ET AUX
ÉQUIPEMENTS À HAUTE TENSION ET PROCÉDURES D'ÉTABLISSEMENT DES LIMITES**

Le C.I.S.P.R.,
Considérant

- a) qu'une description générale des caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques a été publiée dans la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.,
- b) que les méthodes de mesure de ces caractéristiques ont besoin d'être établies,
- c) que les autorités nationales exigent des directives sur le procédé de détermination des valeurs limites pour de telles perturbations radioélectriques.

Recommande

que la dernière édition de la Publication 18-2 du C.I.S.P.R., modifications incluses, soit utilisée pour les méthodes de mesure des caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques et pour les procédures d'établissement des limites.

La Publication 18-1 du C.I.S.P.R. a pour objet de décrire les principales propriétés des phénomènes physiques qui interviennent dans la production des champs électromagnétiques perturbateurs des lignes aériennes et de fournir les valeurs numériques de tels champs.

Cette deuxième partie de la Publication 18 du C.I.S.P.R. a pour objet de recommander les méthodes de mesure et les procédures de détermination de valeurs limites des champs perturbateurs.

Les méthodes de mesure concernent d'une part la technique et les procédures de mesure des champs au voisinage des lignes aériennes, sur le terrain; elles concernent d'autre part la technique et les procédures de mesure en laboratoire des tensions et des courants perturbateurs engendrés par l'appareillage et les accessoires de ligne.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

**RADIO INTERFERENCE CHARACTERISTICS
OF OVERHEAD POWER LINES
AND HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT**

Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits

FOREWORD

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

PREFACE

This publication was prepared by C.I.S.P.R. Sub-Committee C: Interference from overhead power lines, high-voltage equipment and electric traction systems.

The main content of this publication is based upon C.I.S.P.R. Recommendation No. 56 given below. Reference is also made to C.I.S.P.R. Recommendation No. 46/1: Significance of C.I.S.P.R. limits.

**C.I.S.P.R. RECOMMENDATION No. 56:
METHODS OF MEASUREMENT OF RADIO INTERFERENCE CAUSED BY OVERHEAD POWER LINES AND
HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT AND THE PROCEDURE FOR DETERMINING LIMITS**

The C.I.S.P.R.,
Considering

- a) that a general description of the radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment has been published in C.I.S.P.R. Publication 18-1,
- b) that the methods of measurement of these characteristics need to be established,
- c) that national authorities require guidance on the procedure for determining limits of such radio interference.

Recommends

that the latest edition of C.I.S.P.R. Publication 18-2, including amendments, be used for methods of measurement of radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment and for procedures for determining limits.

C.I.S.P.R. Publication 18-1 describes the main properties of the physical phenomena involved in the production of disturbing electromagnetic fields by overhead lines and provides numerical values of such fields.

In Part 2 of C.I.S.P.R. Publication 18, methods of measurement and procedures for determining limits of such radio interference are recommended.

The methods of measurement detail the techniques and procedures for use when measuring fields on site near to an overhead line and also the techniques and procedures for making laboratory measurements of interference voltages and currents generated by line equipment and accessories.

Les procédures de détermination des valeurs limites s'attachent d'abord à définir les valeurs contractuelles de champs perturbateurs et la largeur du «couloir perturbé» accompagnant le tracé d'une ligne.

Cette largeur de couloir tient compte de la valeur du champ utile du signal désiré, du rapport signal sur bruit retenu, enfin de la valeur contractuelle du champ retenue pour une ligne donnée.

On notera que les procédures ne sont valables qu'aux ondes kilométriques et hectométriques, les travaux n'étant pas encore assez avancés pour proposer des procédures aux fréquences de radiodiffusion en modulation de fréquence et de télédiffusion.

On insiste ici sur le fait que la présente partie ne fixe pas de valeurs limites internationales uniques des champs. Elle se borne à décrire les procédures permettant aux organismes nationaux intéressés de spécifier des valeurs numériques, dans la mesure où le besoin d'une réglementation se fait sentir.

Les publications suivantes sont citées dans la présente publication:

Publications du C.I.S.P.R.:

- | | | |
|------------------------------|--------------|---|
| Publications n ^{os} | 16 (1977): | Spécification du C.I.S.P.R. pour les appareils et les méthodes de mesure des perturbations radioélectriques. |
| | 18-1 (1982): | Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques, Première partie: Description des phénomènes. |
| | 18-3 (1986): | Troisième partie: Code pratique de réduction du bruit radioélectrique. |

Publications de la CEI:

- | | | |
|------------------------------|--------------|---|
| Publications n ^{os} | 60-2 (1973): | Technique des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais. |
| | 437 (1973): | Essai de perturbations radioélectriques des isolateurs pour haute tension continue. |

The procedures for determining limits define the expected values of radio noise field and the width of the "disturbed corridor" following the route of the line.

This corridor takes into account the effective field strength of the wanted signal, the signal-to-noise ratio selected and the expected strength of the noise field for a given line.

The procedures are valid only for long and medium waves as the procedures applicable to VHF frequency-modulation broadcasting and television broadcasting have not yet been decided, due to insufficient knowledge.

It is emphasized that this part does not specify a single set of limits to be applied internationally. Rather it details the procedures to enable national authorities to specify limits where it is decided there is a need for regulations.

The following publications are quoted in this publication:

C.I.S.P.R. publications:

- | | | |
|-------------------|--------------|--|
| Publications Nos. | 16 (1977): | C.I.S.P.R. Specification for Radio Interference Measuring Apparatus and Measurement Methods. |
| | 18-1 (1982): | Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-voltage Equipment, Part 1: Description of Phenomena. |
| | 18-3 (1986): | Part 3: Code of Practice for Minimizing the Generation of Radio Noise. |

IEC Publications:

- | | | |
|-------------------|--------------|--|
| Publications Nos. | 60-2 (1973): | High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures. |
| | 437 (1973): | Radio Interference Test on High-voltage D.C. Insulators. |

CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES ET DES ÉQUIPEMENTS À HAUTE TENSION RELATIVES AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

Deuxième partie: Méthodes de mesure et procédure d'établissement des limites

DOMAINE D'APPLICATION ET OBJET

La présente publication s'applique aux perturbations radioélectriques dues aux lignes de transport aériennes et aux équipements à haute tension susceptibles d'affecter la réception radio, à l'exclusion des champs créés par les signaux à courants porteurs.

La gamme des fréquences couvertes est de 0,15 MHz à 300 MHz.

La procédure générale de détermination des limites du champ perturbateur radioélectrique créé par les lignes et équipements sous tension est indiquée, ainsi que des valeurs caractéristiques qui serviront d'exemples, et des méthodes de mesure.

L'article sur les limites traite exclusivement des bandes de basse fréquence et de moyenne fréquence, étant donné que c'est uniquement dans ce domaine que l'expérience a permis de réunir un vaste ensemble d'observations probantes. Aucun exemple de limites de protection de la réception dans la bande de fréquences de 30 MHz à 300 MHz n'a été donné, du fait que les méthodes de mesure et quelques autres aspects des problèmes rencontrés à ce niveau ne sont pas encore totalement élucidés. Les mesures sur le terrain et l'expérience d'exploitation ont montré que les niveaux de perturbations dues aux lignes de transport, aux fréquences supérieures à 300 MHz, sont si faibles qu'il est tout à fait improbable que des perturbations puissent affecter la réception des émissions de télévision.

Les valeurs des limites, fournies à titre d'exemples, sont calculées de manière à garantir un degré de protection raisonnable à la réception des émissions à la périphérie des zones couvertes officiellement par les émetteurs opérant dans les bandes de fréquences AM, et ce dans les conditions les moins favorables qui puissent être normalement envisagées. Ces limites sont censées servir de guide au stade de projet de la ligne et de référence après la construction de cette dernière, ainsi que durant son existence utile.

L'appareil et les méthodes de mesure permettant de vérifier la conformité aux limites doivent être conformes aux spécifications du C.I.S.P.R., par exemple à la Publication 16 du C.I.S.P.R.: Spécification du C.I.S.P.R. pour les appareils et les méthodes de mesure des perturbations radioélectriques. Pour la plage des fréquences supérieures à 30 MHz, les méthodes de mesures sont en cours d'examen par le C.I.S.P.R., bien que certains aspects fondamentaux figurent dans la Publication 16 du C.I.S.P.R.

1. Mesures

1.1 Appareils de mesure

1.1.1 Réponse d'un appareil C.I.S.P.R. dans le cas d'un bruit d'effet de couronne sous tension alternative

La Publication 16 du C.I.S.P.R. précise, pour divers appareils de mesure possédant des bandes passantes différentes et couvrant des plages de fréquence différentes, y compris la bande passante de 9 kHz et la plage s'étendant de 0,15 MHz à 30 MHz, la caractéristique de leur réponse à des impulsions répétées périodiquement, en fonction de la fréquence de répétition de celles-ci.

RADIO INTERFERENCE CHARACTERISTICS OF OVERHEAD POWER LINES AND HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT

Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits

SCOPE AND OBJECT

This publication applies to radio noise from overhead power lines and high-voltage equipment which may cause interference to radio reception, excluding the fields from power line carrier signals.

The frequency range covered is 0.15 MHz to 300 MHz.

The general procedure for establishing the limits of the radio noise field from the power lines and equipment is given, together with typical values as examples, and methods of measurement.

The clause on limits concentrates on the low frequency and medium frequency bands as it is only in these that ample evidence, based on established practice, is available. No examples of limits to protect reception in the frequency band 30 MHz to 300 MHz have been given, as measuring methods and certain other aspects of the problems in this band have not yet been fully resolved. Site measurements and service experience have shown that levels of noise from power lines at frequencies higher than 300 MHz are so low that interference is unlikely to be caused to television reception.

The values of limits given as examples are calculated to provide a reasonable degree of protection to the reception of broadcasting at the edges of the recognized service areas of the appropriate transmitters in the a.m. radio frequency bands, in the least favourable conditions likely to be generally encountered. These limits are intended to provide guidance at the planning stage of the line and standards against which the performance of the line may be checked after construction and during its useful life.

The measuring apparatus and methods used for checking compliance with limits shall conform to C.I.S.P.R. specifications, for example C.I.S.P.R. Publication 16: C.I.S.P.R. Specification for Radio Interference Measuring Apparatus and Measurement Methods. For the frequency range above 30 MHz, the measuring methods are still under consideration by C.I.S.P.R. although some basic aspects are given in C.I.S.P.R. Publication 16.

1. Measurements

1.1 *Measuring instruments*

1.1.1 *Response of a standard C.I.S.P.R. measuring set to a.c. generated corona noise*

C.I.S.P.R. Publication 16 specifies the response characteristic of a measuring set to periodically repeated pulses, according to their repetition frequency, for a number of measuring sets of differing frequency range and bandwidth including the range 0.15 MHz to 30 MHz and a bandwidth of 9 kHz.

La figure 1, page 74, montre les transformations successives que subissent les impulsions à travers les divers étages du mesureur. Cependant, dans le cas particulier de l'effet de couronne en tension alternative, les impulsions engendrées par les décharges couronnes ne sont pas espacées régulièrement tout au long d'une période; elles sont au contraire regroupées au voisinage de la crête de la tension appliquée, en «paquets» d'une durée ne dépassant pas 2 ms à 3 ms, ces «paquets» étant séparés par des intervalles de silence (sans effet couronne).

En raison de ses constantes de temps propres, l'appareil de mesure C.I.S.P.R. est incapable de discerner les impulsions individuelles à l'intérieur d'un paquet et perçoit celui-ci comme une impulsion unique dont l'amplitude équivalente sera expliquée plus loin.

Il en résulte que la fréquence de répétition des impulsions, au sens de la définition C.I.S.P.R., est constante et égale à $2f$ (où f est la fréquence de la tension d'alimentation) pour un système monophasé, à $6f$ pour un système triphasé (y compris lorsque plusieurs circuits triphasés sont en présence) à condition que chaque circuit appartienne au même réseau).

La figure 2, page 75, montre le cas usuel où des impulsions individuelles d'effet de couronne, générées en polarité positive de la tension appliquée, ont des amplitudes beaucoup plus grandes qu'en polarité négative. Par conséquent, pour une ligne triphasée, on trouvera trois paquets d'impulsions de forte amplitude et trois paquets d'amplitude plus faible, au cours de chaque période de durée $1/f$.

En outre, en cas de mesure de champ au voisinage d'une ligne, les différents conducteurs de phase ne sont pas à la même distance de l'antenne de mesure. Or, de par son principe même, la détection quasi-crête ne prend en compte que les paquets les plus intenses et néglige les plus faibles; il en résulte certaines règles d'addition, propres aux caractéristiques C.I.S.P.R., des perturbations engendrées par les différentes phases d'une ligne, et qui sont indiquées dans l'article 2 de la Publication 18-3 du C.I.S.P.R.: Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques, Troisième partie: Code pratique de réduction du bruit radioélectrique. On notera toutefois qu'un haut-parleur, et par conséquent l'oreille de l'auditeur, perçoivent quant à eux la globalité du bruit engendré.

Pour examiner maintenant la réponse du mesureur C.I.S.P.R. à un paquet d'impulsions donné, il faut d'abord se souvenir que chaque impulsion individuelle donne lieu, à la sortie de l'amplificateur de bande passante Δf (figure 1), à une oscillation amortie dont la durée «utile» est de l'ordre de $2/B$, soit 0,22 ms pour 9 kHz. En présence d'un grand nombre d'impulsions distribuées au hasard à l'intérieur d'un paquet, toutes les oscillations excitées individuellement vont s'enchevêtrer de façon aléatoire; elles produiront un signal global dont la quasi-crête est sensiblement égale à la somme quadratique des amplitudes de quasi-crête individuelles. Cette assertion, difficile à démontrer mathématiquement, a été convenablement vérifiée par l'expérience et justifie l'emploi, en détection quasi-crête, de la loi d'addition quadratique qui serait, par ailleurs, rigoureuse si le niveau de bruit était exprimé en valeur efficace.

1.1.2 *Autres appareils de mesure*

Des appareils de mesure, non conformes aux spécifications C.I.S.P.R., sont indiqués dans l'annexe A, bien que des appareils de mesure présentant des types de détection autres que quasi-crête soient décrits dans la Publication 16 du C.I.S.P.R.

1.2 *Mesures C.I.S.P.R. sur le terrain – Plage de fréquences 0,15 MHz à 30 MHz*

1.2.1 *Fréquence de mesure*

La fréquence de référence pour les mesures est de 0,5 MHz. Les mesures seront effectuées de préférence à $0,5 \text{ MHz} \pm 10\%$ mais d'autres fréquences, par exemple 1 MHz, peuvent être utilisées. On préférera la fréquence de 0,5 MHz (ou 1 MHz) car généralement le niveau

Figure 1, page 74, indicates the form these pulses take as they progress through the various stages of the measuring set. However, in the special case of corona pulses generated by high-voltage a.c. power systems, the individual pulses are not equally spaced throughout a cycle but occur in closely packed groups or bursts around the peaks of the voltage waveform. A burst has a duration not exceeding 2 ms to 3 ms and this is followed by a quiescent no-corona period.

Owing to its inherent time constants, a C.I.S.P.R. measuring set is unable to respond to individual pulses within a burst, which is seen as a single pulse whose amplitude is discussed below.

Hence, the pulse repetition frequency, in the meaning of the C.I.S.P.R. definition, is constant at $2f$ (where f is the power system frequency) for single phase and $6f$ for three-phase single or multi-circuit systems, provided that the individual circuits are part of the same system.

Figure 2, page 75, indicates the usual case where individual corona pulses generated around the positive peaks of the voltage waveform are much greater in amplitude than those generated around the negative peaks. Hence in a three-phase power line there are three bursts of higher amplitude and three bursts of lower amplitude noise during each period of $1/f$.

Also, in the measurement of the radio noise field in the close vicinity of an operational line, the measuring set aerial is not located at the same distance from all the phase conductors. Then because a quasi-peak detector responds only to the higher amplitude bursts and disregards the lower ones, rules of summation of the radio noise generated by the individual phases of a line can be formulated which are specific to the C.I.S.P.R. characteristics and are given in Clause 2 of C.I.S.P.R. Publication 18-3: Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-voltage Equipment, Part 3: Code of Practice for Minimizing the Generation of Radio Noise. It should be noted that the loudspeaker of a radio receiver, and consequently the listener, perceives the overall generated noise.

To examine the response of the C.I.S.P.R. measuring set to a given burst of pulses, it should be borne in mind that each individual pulse becomes, at the output of the amplifier of Figure 1 of pass-band Δf , a damped oscillation whose duration can be taken as approximately $2/B$, or 0.22 ms for 9 kHz. When there is a large number of pulses distributed at random within a burst, the resulting oscillations will overlap randomly and the overall quasi-peak signal will be approximately equal to the quadratic sum of the individual quasi-peak values. This statement, which is difficult to prove mathematically, has been well proven by experience and justifies the use, in quasi-peak detection, of the quadratic summation law which would moreover be rigorous if the noise levels were expressed in r.m.s. values.

1.1.2 *Other measuring instruments*

Measuring instruments differing from standard C.I.S.P.R. instruments are referred to in Appendix A although measuring apparatus having detectors other than quasi-peak are referred to in C.I.S.P.R. Publication 16.

1.2 *C.I.S.P.R. site measurements – 0.15 MHz to 30 MHz range*

1.2.1 *Measurement frequency*

The reference measurement frequency is 0.5 MHz. It is recommended that measurements are made at a frequency of $0.5 \text{ MHz} \pm 10\%$ but other frequencies, for example 1 MHz, may be used. The frequency of 0.5 MHz (or 1 MHz) is preferred because, usually, the level of radio

perturbateur est, dans cette partie du spectre, le plus élevé; d'autre part, la fréquence de 0,5 MHz est placée entre les plages d'ondes kilométriques et hectométriques utilisées en radiodiffusion.

En raison des erreurs qui peuvent être introduites par la présence d'ondes stationnaires, il n'est pas possible de se fier à la valeur du champ perturbateur mesurée à une seule fréquence: il faut procéder à une analyse spectrale du bruit, de façon à établir une courbe moyenne convenablement lissée. Pour le tracé d'un spectre, on choisira préférentiellement les fréquences suivantes: 0,15, 0,25, 0,5, 1,0, 1,5, 3,0, 6,0, 10, 15 et 30 MHz, ou des fréquences proches de celles-ci en cas d'interférence.

1.2.2 *Antenne*

L'aérien est un cadre vertical blindé de dimensions telles qu'il puisse s'inscrire entièrement dans un carré de 60 cm de côté. La compensation doit être telle que, dans un champ uniforme, le rapport entre les indications maximale et minimale obtenues sur l'appareil de mesure par la rotation du cadre ne soit pas inférieur à 20 dB. La base du cadre sera placée à 2 m environ au-dessus du sol. Le cadre est orienté autour d'un axe vertical et l'indication maximale est relevée. Si le plan du cadre n'est pas effectivement parallèle à la direction de la ligne, son orientation sera indiquée.

Les mesures peuvent être effectuées à l'aide d'une antenne-fouet verticale bien que cette méthode soit moins recommandable en raison d'une plus grande instabilité de la composante électrique du champ perturbateur, et en raison de possibles effets d'induction électrostatique dus à la tension à la fréquence du réseau.

Il conviendra de vérifier que les mesures ne sont pas influencées par les fils d'alimentation, s'ils sont utilisés, ou par d'autres conducteurs aboutissant à l'appareillage de mesure.

1.2.3 *Distance de mesure*

Il est nécessaire de déterminer le profil transversal du champ perturbateur. Aux fins de comparaison, la distance de référence définissant le niveau perturbateur de la ligne sera 20 m. Cette distance sera mesurée du centre du cadre au conducteur le plus proche. La hauteur du conducteur au-dessus du sol sera également notée. En portant les valeurs du champ en fonction de la distance au conducteur sur un graphique à échelle horizontale logarithmique, on obtient sensiblement une droite. Dans ces conditions, il est facile d'obtenir le champ à 20 m par interpolation ou extrapolation (voir figure 3, page 75).

1.2.4 *Emplacement des mesures*

Lors de la détermination des caractéristiques perturbatrices d'une ligne, certains emplacements devront être évités; mais ces restrictions ne s'appliquent pas lorsqu'il s'agit de mener des investigations sur un cas de gêne réelle.

Les mesures seront effectuées à mi-portée et de préférence sur plusieurs portées de la ligne. On évitera les points de changement de direction et les croisements de lignes.

Il convient d'éviter les hauteurs anormales de portées au-dessus du sol. Le terrain doit être plat, dégagé d'arbres et de buissons; le point de mesure sera relativement éloigné des masses métalliques importantes, ainsi que de toute autre ligne d'énergie ou de télécommunication.

En principe, le point de mesure sera à une distance d'au moins 10 km de l'extrémité de la ligne, afin d'éviter les réflexions et par conséquent des résultats erronés; mais les lignes de tensions inférieures sont quelquefois trop courtes pour que cette condition puisse être

noise at this part of the spectrum is representative of the higher levels and also because 0.5 MHz lies between the low and medium frequency broadcast bands.

Because of the possibility of error due to the presence of standing waves, it is inadvisable to rely on the measured value of the radio noise field at a single frequency but to draw a mean curve through the results of a number of readings throughout the noise spectrum. Measurements should be made at, or near, the following frequencies: 0.15, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 6.0, 10, 15 and 30 MHz although, clearly, frequencies at which interference to the wanted noise is received, should be avoided.

1.2.2 *Aerial*

The aerial shall be an electrically-screened vertical loop, whose dimensions are such that the aerial will be completely enclosed by a square having a side of 60 cm in length. The balance shall be such that in a uniform field the ratio between the maximum and minimum indications on the measuring equipment when the aerial is rotated shall not be less than 20 dB. The base of the loop should be about 2 m above ground. The aerial shall be rotated around a vertical axis and the maximum indication noted. If the plane of the loop is not effectively parallel to the direction of the power line, the orientation should be stated.

The measurements may be carried out using a vertical rod aerial although this method is not preferred because of the higher instability of the electric component of the radio noise field and because of possible electric induction effects from the power-frequency voltage.

A check shall be made to ensure that the supply mains, if used, or other conductors connected to the measuring apparatus do not affect the measurements.

1.2.3 *Distance of measurement*

It is necessary to determine the lateral profile of the radio noise field. For purposes of comparison, the reference distance defining the noise level of the line shall be 20 m. The distance shall be measured from the centre of the loop to the nearest conductor. The height of the conductor above ground should be noted. If the field is plotted as a function of the distance using a logarithmic scale, a substantially straight line is obtained. Under these conditions, the field at 20 m is readily obtained by interpolation or extrapolation (see Figure 3, page 75).

1.2.4 *Position of measurement*

To determine the radio noise performance of a line certain positions of measurement should be avoided; but these restrictions would not apply when an investigation into a case of interference is being carried out.

Measurements should be made at mid-span and preferably at several such positions. Measurements should not be made near points where lines change direction or intersect.

Sites at an abnormal height of span should be avoided. The measuring site should be flat, free from trees and bushes and be some distance from large metal structures and from other overhead power and telephone lines.

Ideally the measuring site should be at a distance greater than 10 km from a line termination, in order to avoid reflection effects and consequently inaccurate results, but lower voltage distribution lines are sometimes too short to enable this condition to be met. However, the

satisfaite. Cependant, des résultats de mesures (référence [33]* de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.: Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques, Première partie: Description des phénomènes) indiquent que le niveau du champ perturbateur en l'absence de réflexions correspond à la moyenne géométrique des valeurs maximale et minimale, en microvolts par mètre ($\mu\text{V/m}$), du spectre de fréquences mesuré sur une ligne affectée par des réflexions.

Si la ligne est transposée, le lieu de la mesure sera choisi aussi loin que possible des pylônes où s'effectue la transposition.

Les conditions atmosphériques doivent être pratiquement uniformes sur toute la longueur de la ligne. Lors de mesures sous pluie, celles-ci ne seront valables que si la pluie s'étend sur au moins 10 km de part et d'autre du point de mesure.

1.2.5 Informations complémentaires à donner dans le rapport

Il est parfois utile de mesurer le champ perturbateur ambiant, la ligne étant hors tension, afin de s'assurer que ce dernier n'a aucune influence sur la mesure du champ perturbateur de la ligne.

Lorsque les résultats des mesures sont présentés, il faut donner les informations les plus complètes possibles sur la ligne et sur les conditions dans lesquelles les mesures ont été effectuées.

L'annexe B donne une liste de telles informations.

1.3 Mesures C.I.S.P.R. en laboratoire

1.3.1 Introduction

Cet article donne la méthode à utiliser pour la mesure, en laboratoire ou sur le lieu des essais, des perturbations radioélectriques dues aux appareils ou aux composants des lignes et des postes à haute tension, tels que les disjoncteurs, les traversées, les isolateurs, les accessoires, etc. Cette méthode est valable aussi bien pour les essais de type que pour les essais individuels ou sur prélèvement et également pour les essais d'investigations.

En pratique, les mesures en laboratoire sont effectuées avec une configuration d'essai recommandée; elles ne concernent que les perturbations transmises par conduction (courant ou tension), et non les perturbations rayonnées.

De plus, le choix des conditions d'essai doit être basé sur le principe suivant: les conditions et les circuits d'essai doivent reproduire le plus fidèlement possible les conditions de service réelles et, le cas échéant, les conditions les plus sévères auxquelles le type d'appareil essayé est susceptible d'être soumis. Avant la définition de méthodes de mesures fiables en laboratoire, pour le niveau des perturbations radioélectriques, le seuil d'apparition du phénomène d'effet couronne était estimé visuellement. Cette estimation, dont le manque d'objectivité est évident, doit être remplacée par les mesures en laboratoire décrites ci-après.

1.3.2 Etat de l'objet à essayer

Il est bien connu que l'état de surface influe sensiblement sur le niveau des perturbations radioélectriques produites par l'équipement à haute tension. Pour des essais en laboratoire, il faut donc définir clairement l'état de l'objet à essayer en précisant les points suivants:

- a) neuf ou déjà utilisé;
- b) propre ou légèrement pollué, en spécifiant la nature de la pollution;
- c) sec, légèrement humide ou mouillé (par exemple sous pluie artificielle);
- d) combinaison de ces états, par exemple pollué et humide.

* Les chiffres entre crochets se rapportent à la «Bibliographie et références» de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. (pages 69 à 71) et de la présente partie (page 57).

results of measurements (Reference [33]* of C.I.S.P.R. Publication 18-1: Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-voltage Equipment, Part 1: Description of Phenomena) indicate that the level of the radio noise field in the absence of reflections corresponds to the geometric mean of the maximum and minimum values, in microvolts per metre ($\mu\text{V/m}$), of the frequency spectrum from a line subjected to reflections.

If the line is transposed, the measuring site should be located as far as possible from the transposition towers.

The atmospheric conditions should be approximately uniform along the line. Measurements under rain conditions will be valid only if the rain extends over at least 10 km of the line on either side of the measuring site.

1.2.5 *Additional information to be given in the report*

To ensure that extraneous interference is not influencing the measurement of the levels of the line radio noise field it may be necessary to measure the noise levels with the line de-energized.

When the results of the measurements are reported, as much relevant information as possible should be given on the line and on the conditions under which the measurements were carried out.

Appendix B gives a list of such information.

1.3 *C.I.S.P.R. laboratory measurements*

1.3.1 *Introduction*

This clause gives the method to be used for the measurement, in a laboratory or test area, of radio noise generated by items of plant and components used on high-voltage lines and in substations, such as circuit-breakers, bushings, insulators and fittings. This method is valid for type tests and for routine or sample tests and also for investigational tests.

It is usual practice to carry out laboratory measurements of radio noise in a prescribed test circuit by measuring conducted quantities (current or voltage) and not the emitted field.

Furthermore, the selection of test conditions should be based on the following principle: ideally, the measurements should be made with the conditions and circuit simulating, as far as possible, actual service conditions and, if necessary, the most severe conditions likely to occur for the type of apparatus tested. Before the establishment of a reliable method of radio noise testing in a laboratory, reliance was placed on the voltage at which inception or extinction of visual corona occurred on the test object. The voltages so determined were very dependent on the observer and this method is now being replaced by the laboratory measurements described below.

1.3.2 *State of the test object*

It is well known that radio noise levels produced by high-voltage equipment are very dependent on the state of the surface of the item of equipment. In laboratory tests, the state of a particular test object should consequently be clearly defined with regard to the following aspects:

- a) new or already used;
- b) clean or slightly polluted; the nature of the pollution should be specified;
- c) dry, slightly damp, or wet (for example artificial rain conditions);
- d) combination of these states, for example polluted and damp.

* The figures in square brackets refer to "Bibliography and references" of C.I.S.P.R. Publication 18-1 (pages 69 to 71) and of this part (page 57).

En général, les normes et la pratique courante se limitent à des essais en laboratoire sur des objets secs et propres, la reproductibilité des autres conditions d'essai (humidité, pollution) étant souvent difficile à assurer. Il peut cependant être très utile de faire des mesures dans des conditions de «pluie normalisée» car il s'agit d'un phénomène météorologique très fréquent et qui peut se traduire par des niveaux de perturbation nettement plus élevés que par temps sec.

Lorsqu'un seul état de surface est pris en considération, il est souhaitable, pour que les conditions soient aussi proches que possible de la réalité, que les essais soient effectués à la tension normale de service sur des objets présentant un état de pollution et d'humidité adéquat.

Lorsque l'objet est soumis à un essai, à l'état propre et sec, il peut être essuyé avec un chiffon sec pour éliminer la poussière et les fibres éventuellement présentes sur sa surface.

Sauf indication contraire, les conditions d'essai décrites dans cet article sont applicables aussi bien à des objets usagés humides et/ou pollués, qu'à des objets neufs, propres et secs.

1.3.3 Aire d'essai

Les essais seront, de préférence, effectués à l'intérieur d'une cage de Faraday suffisamment grande pour que les parois n'aient aucun effet appréciable sur la répartition du champ électrique qui règne à la surface de l'objet en essai. Les circuits d'alimentation (réseau, éclairage, etc.), pénétrant dans la zone d'essai blindée, doivent de préférence être filtrés pour éviter d'introduire des perturbations d'origine extérieure (voir paragraphe 1.3.11).

Lorsqu'on ne peut disposer d'une cage de Faraday, les essais peuvent être effectués en n'importe quel endroit où le niveau de bruit de fond est suffisamment faible par rapport aux niveaux à mesurer (voir paragraphe 1.3.11).

1.3.4 Conditions climatiques

Les conditions climatiques normales de référence pour les essais sont:

- température: 20 °C;
- pression barométrique: $1,013 \times 10^5$ N/m² (1013 mbar);
- humidité relative: 65%.

Pour l'exécution des essais, ces conditions climatiques peuvent cependant varier dans les limites suivantes:

- température: de 15 °C à 35 °C;
- pression barométrique: de $0,870 \times 10^5$ N/m² à $1,070 \times 10^5$ N/m² (870 mbar à 1070 mbar);
- humidité relative (pour les essais à sec): 45% à 75%.

Dans le cas d'essais d'investigations, d'autres conditions peuvent être choisies selon le but des essais.

Lorsque les mesures sont effectuées sur un objet à l'état sec, celui-ci doit être en équilibre thermique avec l'atmosphère du lieu de l'essai pour éviter toute condensation à sa surface.

On connaît relativement mal les effets, sur les niveaux de perturbation produits par un objet, des variations des conditions atmosphériques (dans les limites définies ci-dessus) par rapport aux conditions normales de référence. Il n'y a donc pas de correction à appliquer aux résultats des mesures de perturbation, mais il faut néanmoins relever et indiquer la température de l'air, la pression atmosphérique et l'humidité relative au cours des essais.

1.3.5 Circuit d'essai – Schéma de base

La figure 4, page 76, illustre le principe du circuit d'essai. Les courants perturbateurs produits à des fréquences radioélectriques par l'objet à l'essai parcourent la partie du circuit tracée en traits gras. Ils traversent l'impédance Z_s et la résistance R_L . Le filtre F de blocage des

Generally, standards and normal practice are restricted to laboratory tests on clean and dry objects, reproducibility of the other test conditions (dampness, pollution) being often difficult to achieve. However, tests on objects submitted to (standardized) rain conditions may be very useful, since these conditions occur frequently in practice and may lead to significantly higher radio noise levels than dry conditions.

When only one surface condition is taken into consideration, it is desirable, in order to be as close as possible to the practical conditions, that the tests be performed on adequately polluted and wet samples, at the normal operating voltage.

When the object is to be tested in a clean and dry state, it may be wiped with a dry cloth to remove dust and fibres that might affect the surface.

Unless otherwise stated, test conditions described in this clause are valid for used, wet and/or polluted objects as well as for new, clean and dry objects.

1.3.3 *Test area*

The tests should preferably be performed inside a screened room which is large enough to prevent the walls and the floor from having any significant effect on the distribution of the electric field at the surface of the test object. Circuits, for example power and lighting, entering the screened test area should, ideally, be filtered so as to avoid the introduction of radio noise present in the environment (see Sub-clause 1.3.11).

If a screened room is not available, the tests may be carried out at any place where the background noise level is sufficiently low compared with the levels to be measured (see Sub-clause 1.3.11).

1.3.4 *Atmospheric conditions*

The normal reference atmosphere for tests described herein is:

- temperature: 20°C;
- pressure: 1.013×10^5 N/m² (1013 mbar);
- relative humidity: 65%.

However these tests may be performed under the following atmospheric conditions:

- temperature: between 15°C and 35°C;
- pressure: between 0.870×10^5 N/m² and 1.070×10^5 N/m² (870 mbar and 1070 mbar);
- relative humidity (for tests on objects in the dry state): 45% to 75%.

In the case of investigational tests, other conditions may be selected according to the test objective.

When tests are made on a dry object, it shall be in thermal equilibrium with the test area atmosphere to avoid any condensation on the surface of the object.

As far as the radio noise levels generated by a test object are concerned, the effects of changes in atmospheric conditions, within the above limits, from the normal reference conditions are little known. Thus no correction shall be applied to the measured results but the air temperature, air pressure and relative humidity obtaining during the tests shall be recorded.

1.3.5 *Test circuit – Basic diagram*

Figure 4, page 76, shows the principle of the test circuit. The radio-frequency currents generated by the test object flow through that part of the circuit shown by heavy lines which include impedance Z_s and resistance R_L . The radio-frequency rejection filter F virtually

fréquences radioélectriques sert à éviter que ces courants ne se referment par la liaison haute tension et le transformateur d'alimentation, et inversement doit empêcher le passage, vers la partie haute fréquence du circuit, des perturbations produites par le circuit d'alimentation à haute tension. L'impédance Z_s devrait idéalement être nulle à la fréquence de mesure et infinie à la fréquence du réseau. De plus, si la résistance R_L est égale à l'impédance de charge de l'appareil essayé aux fréquences radioélectriques (par exemple l'impédance caractéristique d'une ligne haute tension), la tension perturbatrice que l'objet en essai ferait apparaître sur le conducteur de ligne ou la connexion d'un poste peut être mesurée aux bornes de la résistance R_L .

La Publication 16 du C.I.S.P.R. spécifie une valeur de 300Ω pour la résistance R_L . Dans un circuit d'essai réel (voir figure 5, page 76), R_L correspond à la mise en série de R_2 avec la résistance équivalente à la mise en parallèle de R_1 et de la résistance d'entrée R_m de l'appareil de mesure.

L'essai consiste à mesurer en microvolts (ou en décibels par rapport à $1 \mu V$) les tensions impulsionnelles apparaissant aux bornes d'une partie de la résistance R_L lorsqu'une tension donnée à fréquence industrielle est appliquée à l'objet à l'essai.

1.3.6 Dispositions pratiques des circuits d'essais

La figure 5 représente le circuit d'essai normalisé qui doit être utilisé pour la mesure en laboratoire des tensions perturbatrices engendrées par les équipements à moyenne ou à haute tension. Les liaisons avec l'appareil de mesure sont indiquées sous forme simplifiée dans la figure 5. Selon la distance séparant le circuit d'essai et l'appareil de mesure, on pourra insérer les schémas donnés dans les figures 6, page 77, et 7, page 77, dans le montage de la figure 5.

Note. — Dans le cas bien précis où l'on doit effectuer rapidement des mesures comparatives sur une série de petits objets identiques, comme des isolateurs capot et tige individuels pour lignes aériennes, on peut utiliser le circuit d'essai particulier de la figure 8, page 77. Le condensateur de découplage C_m peut être supprimé lorsqu'on essaie simultanément plus de cinq objets.

Dans le cas du circuit général de la figure 4, page 76, deux variantes sont offertes pour réaliser l'impédance Z_s : *i*) circuit L_2C_2 série ou *ii*) condensateur C_3 (voir figure 5).

- i*) Le circuit L_2C_2 est accordé sur une fréquence de mesure donnée; le filtre de blocage F peut être réalisé sous forme d'un circuit L_1C_1 (parallèle), accordé sur la même fréquence. L'avantage de cette variante réside dans le moindre coût du condensateur C_2 dont la valeur peut rester relativement faible (50 pF à 100 pF par exemple). Son inconvénient est que la mesure de la tension perturbatrice à d'autres fréquences que la fréquence de référence nécessite de réaccorder les circuits L_2C_2 et L_1C_1 .
- ii*) Un condensateur C_3 de valeur 1000 pF sera convenable (voir le point *d*) du paragraphe 1.3.7). La présence d'une inductance d'accord est inutile, et le circuit d'essai devient apériodique. En rendant le filtre de blocage F également apériodique (on utilisera, par exemple, une inductance amortie par des résistances en parallèle), les mesures à d'autres fréquences que la fréquence de référence sont beaucoup plus aisées. Si toutefois le laboratoire ou le lieu des essais est proche d'installations industrielles, pouvant produire des niveaux perturbateurs élevés, un filtre à impédance très élevée est habituellement nécessaire (voir le point *c*) du paragraphe 1.3.7).

1.3.7 Composants du circuit d'essai

Les composants utilisés dans le circuit d'essai doivent satisfaire aux conditions suivantes:

a) Connexions à haute tension

Le niveau perturbateur produit par les connexions et les extrémités du circuit d'essai à haute tension doit, à la tension d'essai, être négligeable devant les valeurs produites par l'objet en essai.

prevents these currents from flowing in the high-voltage connections to the transformer and, conversely, any interference currents from other sources present in this high-voltage connection are attenuated by the filter before entering the high frequency part of the circuit. Ideally the impedance of Z_s should be zero at the measurement frequency and infinite at the power supply frequency. Also if R_L represents the resistive load of the test object in service, for example the characteristic impedance of a high voltage line, the radio noise voltage which the test object would inject onto a line conductor or substation connection may be measured across R_L .

C.I.S.P.R. Publication 16 specifies a value of 300Ω for R_L and in a practical test circuit (see Figure 5, page 76), R_L is the equivalent resistance of R_2 in series with the parallel combination of R_1 and the input resistance of the measuring set, R_m .

The test consists of taking measurements, expressed in microvolts (or in decibels relative to $1 \mu\text{V}$) of the pulse-type voltages appearing across a fraction of R_L when a given power-frequency voltage is applied to the object under test.

1.3.6 Practical arrangement of the test circuit

Figure 5 shows the standard test circuit which should be used for the laboratory measurement of the radio noise voltages generated by medium and/or high voltage equipment. The connections to the measuring set are shown in a simplified form in Figure 5 and, depending on the distance between the measuring set and the test circuit, the arrangement shown in either Figure 6, page 77 or Figure 7, page 77, is incorporated into the circuit of Figure 5.

Note. — In the special, limited, case of the need for rapid comparative measurements to be made on a number of identical small objects, such as cap and pin insulator units for overhead lines, the special test circuit of Figure 8, page 77, may be used. The decoupling capacitor C_m may be omitted when the number of test objects exceeds five.

The impedance Z_s in the basic circuit of Figure 4, page 76, can consist of *i*) a series circuit L_2C_2 or *ii*) simply a capacitor C_3 , as shown in Figure 5.

- i*) L_2C_2 is tuned to the measurement frequency along with L_1 in parallel with C_1 , forming the rejection filter F. The advantage of this arrangement is that C_2 may have a relatively low value of capacitance, say 50 pF to 100 pF and therefore be cheaper, but the disadvantage is that measurements at frequencies other than the reference frequency involve the retuning of L_2C_2 and L_1C_1 .
- ii*) As stated in Item *d*) of Sub-clause 1.3.7, a value of 1000 pF for C_3 should be satisfactory, which makes an inductor in series with C_3 unnecessary and this part of the test circuit aperiodic. By making the rejection filter F also aperiodic by using, for example, an inductor damped by parallel resistors, measurements at frequencies other than the reference frequency can be carried out relatively simply. If, however, the laboratory or test area is near to industrial premises where high levels of radio noise can be produced, a very high filter impedance is usually required (see Item *c*) of Sub-clause 1.3.7).

1.3.7 Test circuit components

The components that are used in the test circuit shall meet the following requirements.

a) High-voltage connections

The radio noise level produced by the high-voltage connections and terminations of the test circuit shall be insignificant compared with the values to be measured from the test object at the test voltage.

b) *Transformateur à haute tension T_1*

La tension produite par ce transformateur doit être conforme aux spécifications de la Publication 60-2 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais.

c) *Filtre de blocage F*

Le filtre F doit présenter une impédance d'au moins 20000 Ω , ou assurer, dans les deux sens, un affaiblissement en tension d'au moins 35 dB à la fréquence de mesure.

Pour être pleinement efficace, le filtre doit être placé le plus près possible de la partie du circuit d'essai parcourue par des courants à haute fréquence. Si le filtre consiste en un circuit accordé (L_1C_1), il doit être accordé à la fréquence de mesure en utilisant par exemple un générateur de signaux. Le générateur est relié aux bornes du secondaire du transformateur T_1 , et on contrôle l'accord critique du filtre en faisant varier C_1 pour obtenir un minimum sur l'appareil de mesure. L'impédance du filtre peut être évaluée en déterminant son coefficient d'affaiblissement à partir de la différence entre les lectures effectuées sur l'instrument de mesure lorsque le filtre est en court-circuit et lorsque le court-circuit est supprimé.

A la fréquence normale de mesure de 0,5 MHz \pm 10%, l'inductance L_1 a une valeur d'environ 200 μ H alors que la capacité C_1 est variable jusqu'à un maximum de 600 pF.

d) *Impédance de mesure*

L'impédance de la branche de mesure entre le conducteur sous tension et la terre ($Z_s + R_L$ de la figure 4, page 76) sera de $300 \pm 40 \Omega$ avec un argument ne dépassant pas 20° , à la fréquence de mesure.

On peut utiliser un condensateur de couplage C_3 (figure 5, page 76) au lieu de Z_s à condition que la capacité du condensateur C_3 soit au moins cinq fois supérieure à la capacité de l'équipement en essai, y compris la connexion haute tension et la terre. En pratique, une capacité de 1000 pF sera satisfaisante pour C_3 .

Le condensateur C_3 doit pouvoir supporter la tension maximale utilisée pour l'essai et doit avoir un faible niveau de décharges partielles.

1.3.8 *Raccordement de l'appareil de mesure*

Le procédé le plus courant pour raccorder l'appareil de mesure au circuit d'essai consiste à employer un câble coaxial d'une longueur inférieure à environ 20 m (figure 6, page 77). Quand la longueur du câble de liaison dépasse 20 m, on utilise un câble bifilaire sous écran, comme le montre la figure 7, page 77.

a) *Résistance d'adaptation R_1*

Pour réduire les erreurs dues aux réflexions dans les circuits de mesure, dans la configuration de la figure 6, le câble coaxial doit être fermé à ses deux extrémités sur une résistance égale à son impédance caractéristique. Dans la configuration de la figure 7, l'ensemble câble/transformateur doit être adapté de manière similaire.

L'impédance d'entrée R_m de l'appareil de mesure assure généralement l'adaptation nécessaire à l'extrémité correspondante du câble; l'extrémité opposée est alors adaptée par la résistance R_1 , qui doit être d'un type à haute stabilité et sans self-induction.

b) *Résistance série R_2*

Pour obtenir la valeur requise de 300 Ω entre les bornes de l'appareil à l'essai, il faut compléter la résistance d'entrée R_m de l'appareil de mesure en parallèle avec R_1 par une résistance série R_2 qui doit être d'un type à haute stabilité et non inductif. Dans le cas d'un appareil de mesure où R_m est de 50 Ω , la valeur de la résistance R_2 serait de 275 Ω .

b) *High-voltage transformer T_1*

This transformer shall provide a voltage waveform consistent with the specifications of IEC Publication 60-2: High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures.

c) *Rejection filter F*

Filter F shall have an impedance of not less than 20000 Ω , corresponding to an attenuation of at least 35 dB, in either direction at the measurement frequency.

To be fully effective, the filter should be located as near as possible to the high frequency part of the test circuit. When the filter consists of a tuned circuit (L_1C_1), it should be tuned to the measurement frequency by using, for example, a signal generator connected across the secondary terminals of transformer T_1 . Tuning is achieved by varying C_1 to give a minimum reading on the measuring set. The filter impedance may be assessed by measuring its insertion loss by taking the difference in the measuring set readings with the filter short-circuited and then with the short-circuit removed.

At the reference measurement frequency of 0.5 MHz \pm 10%, the value of L_1 should be about 200 μ H whereas C_1 should be variable up to a maximum of 600 pF.

d) *Measuring impedance*

The impedance between the live conductor and earth ($Z_s + R_L$ in Figure 4, page 76) shall be 300 \pm 40 Ω with a phase angle not exceeding 20°, at the measurement frequency.

A coupling capacitor C_3 (Figure 5, page 76) may be used in place of Z_s provided that the capacitance of C_3 is at least five times greater than the capacitance to earth of the test object and its high voltage connection. In practice, a value of 1000 pF should be satisfactory for C_3 .

Capacitor C_3 shall be capable of withstanding the maximum test voltage and have a low partial discharge level at that voltage.

1.3.8 *Measuring set connections*

The more usual method of connecting the measuring set to the test circuit, that is, where the length of cable is less than about 20 m and co-axial cable is used, is shown in Figure 6, page 77. Where the length of cable is greater than 20 m, balanced screened cable is used, and this arrangement is shown in Figure 7, page 77.

a) *Matching resistor R_1*

To reduce the possibility of errors, due to reflections within the measuring set connections, the co-axial cable, in the case of Figure 6, shall be terminated in its characteristic impedance at each end. Also, in the circuit of Figure 7, the cable/transformer assembly shall be similarly terminated.

The effective input resistance R_m of the measuring set usually provides one matching termination and the other termination is provided by R_1 which shall be of the high stability, non-inductive type.

b) *Series resistor R_2*

To meet the requirement of 300 Ω resistance across the test object, the input resistance R_m of the measuring set in parallel with R_1 has to be increased using a series resistor R_2 which shall be of the high stability, non-inductive type. In the case of a measuring set where R_m is 50 Ω , the value of R_2 should be 275 Ω .

Note. — Pour la résistance R_L , certains pays spécifient parfois des valeurs différentes. Aux Etats-Unis d'Amérique, la «National Electrical Manufacturers' Association» (NEMA) spécifie une valeur de 150Ω pour R_L dans sa Publication 107 (1964). En général, la conversion des résultats obtenus avec d'autres valeurs spécifiées se fait par un calcul simple. On peut en effet admettre que la source perturbatrice fournit un courant constant si R_L reste compris entre 100Ω et 600Ω . La tension perturbatrice mesurée aux bornes de R_L est alors simplement proportionnelle à la valeur de celle-ci.

c) Inductance L_3

Cette inductance constitue un trajet à basse impédance qui dérive les courants à la fréquence du réseau circulant dans C_2 ou C_3 hors du dispositif de mesure et de ses accessoires. A la fréquence normale de mesure de $0,5 \text{ MHz}$, L_3 doit valoir au moins 1 mH et posséder une faible capacité propre de manière que l'erreur de mesure ne dépasse pas 1% , ou $0,1 \text{ dB}$. Par sécurité, l'inductance L_3 doit être de construction solide et posséder des connexions robustes et fiables.

d) Eclateur

Pour réduire la possibilité d'apparition de potentiels élevés aux bornes de l'appareil de mesure, il est recommandé de prévoir le raccordement d'un éclateur aux bornes de l'inductance L_3 . On choisira, de préférence, un éclateur à gaz d'une tension d'amorçage maximale de 500 V pour un signal sinusoïdal à la fréquence du réseau (voir note ci-dessous).

Note. — Si, par exemple à la suite de la défaillance de l'inductance L_3 ou de ses connexions, une différence de potentiel à fréquence industrielle de valeur relativement élevée apparaît aux bornes de l'éclateur, il pourra se produire une augmentation du bruit de fond dans le dispositif d'essai, à cause des décharges d'effet couronne au niveau des électrodes de l'éclateur.

e) Transformateurs de couplage et de symétrisation

Lorsque l'objet à l'essai est de grande dimension et/ou lorsque de très hautes tensions sont mises en jeu, il peut être nécessaire d'éloigner le dispositif de mesure de la base de (C_2 , L_2) ou C_3 , où sont situées R_1 et R_2 . Dans ce cas, la longueur du câble coaxial de mesure, représenté à la figure 6, page 77, peut dépasser 20 m et, pour éviter le captage direct du bruit par le câble, il est recommandé d'utiliser le montage de la figure 7, page 77.

Les transformateurs de symétrisation ou de couplage T_2 et T_3 seront respectivement placés près des résistances R_1 et R_2 et près de l'appareil de mesure. Il faudra en outre utiliser un câble bifilaire blindé entre les transformateurs ainsi que de courtes longueurs de câble coaxial entre T_2 et (R_1 , R_2), et entre T_3 et l'appareil de mesure. Les impédances caractéristiques de ces câbles doivent être choisies pour assurer une adaptation correcte à tous les points de connexion.

f) Appareil de mesure

Pour être conforme aux recommandations du C.I.S.P.R., l'appareil de mesure doit être un récepteur réalisé selon les spécifications de la Publication 16 du C.I.S.P.R. Si un appareil de mesure de caractéristiques différentes est utilisé, il est généralement possible de convertir les résultats en des valeurs équivalentes à celles que fournirait un récepteur C.I.S.P.R., mais au détriment de la précision. Les détails de la méthode de conversion sont donnés au paragraphe 1.1.

1.3.9 Montage et disposition de l'objet à l'essai

L'objet à l'essai doit être monté et disposé conformément aux spécifications de la norme relative à l'appareillage particulier concerné (par exemple, la Publication 437 de la CEI: Essai de perturbations radioélectriques des isolateurs pour haute tension). Si de telles spécifications n'existent pas, on s'efforcera de reproduire aussi fidèlement que possible les conditions d'installation et de fonctionnement de l'objet en service réel.

L'objet à l'essai doit être équipé de tous les accessoires normaux, tels que cornes d'amorçage et électrodes de garde, qui sont susceptibles d'affecter la distribution du champ électrique à la

Note. – In some countries other resistance values are assigned to R_L : for example, the National Electrical Manufacturers' Association (NEMA), of the USA, in its Publication 107 (1964), specifies the value of $150\ \Omega$ for R_L . Usually a simple conversion can be applied to the results obtained from tests to other specifications. This is because a radio noise source in a test object almost invariably produces a constant current, provided R_L is within the range $100\ \Omega$ to $600\ \Omega$ and the voltage measured across R_L is simply proportional to its value.

c) Inductor L_3

This inductor provides a low-impedance path at power frequency to divert, from the measuring set and its associated components, power frequency currents which flow in C_2 or C_3 . At the reference measurement frequency of $0.5\ \text{MHz}$, L_3 shall have a value of at least $1\ \text{mH}$, with a low self-capacitance, to avoid errors exceeding 1% or $0.1\ \text{dB}$. For safety reasons, L_3 should be robust and have sturdy and secure electrical connections.

d) Spark gap

To reduce the possibility of high voltages appearing on the measuring set connections, the provision of a protective spark gap across L_3 is recommended. This spark gap should preferably be of the gas-filled type with a maximum breakdown voltage of $500\ \text{V}$ on a power frequency sine wave (see note below).

Note. – In the event of a relatively high power frequency voltage appearing across the spark gap, due for example to a failure of the inductor L_3 or its connections, there could be an increase in the test circuit background noise level, because of corona discharges at the electrodes of the spark gap.

e) Balanced cable and balun transformers (T_2 and T_3)

Where the test object is large and/or where very high voltages are involved, the measuring set may have to be located at some distance from the base of (C_2 , L_2) or C_3 , where R_1 and R_2 are located. Under such conditions the length of co-axial cable shown in Figure 6, page 77, may exceed $20\ \text{m}$ and, to reduce the possibility of the measurements being affected by interference picked up on this cable, it is recommended that the arrangement shown in Figure 7, page 77, should be used.

The balun or coupling transformers T_2 and T_3 should be located close to R_1/R_2 and to the measuring set, respectively, and the connection between the transformers should be made by means of a balanced screened cable. Short lengths of co-axial cable should be used to connect T_2 to R_1/R_2 and T_3 to the measuring set and all these cables should have suitable characteristic impedances to ensure correct matching.

f) Measuring set

To comply with C.I.S.P.R. recommendations, the measuring set shall be consistent with the specifications of C.I.S.P.R. Publication 16. If a measuring set with different characteristics is used, a conversion of the results into values which would have been obtained with a C.I.S.P.R. instrument is usually possible, but this can lead to some inaccuracy. This conversion should be carried out as detailed in Sub-clause 1.1.

1.3.9 Mounting and arrangement of test object

The object under test shall be mounted and arranged in accordance with the requirements of the standard applicable to the particular apparatus concerned (for example, IEC Publication 437: Radio Interference Tests on High-voltage Insulators). When no such standard is available, the test object shall be arranged, as far as possible, in the same manner and with the same circuit configuration as exist in service.

The object under test shall be provided with all its normal fittings, such as arcing horns and stress-control fittings, that may affect the distribution of the electric field at the surface of the

surface de l'objet à l'essai. De plus, si l'objet à l'essai peut fonctionner dans différentes configurations (par exemple ouvert ou fermé dans le cas d'un disjoncteur), des mesures seront effectuées dans chacune desdites configurations.

L'objet à l'essai doit être alimenté en haute tension par des liaisons courtes, disposées de façon à ne pas produire de perturbations propres et à ne pas modifier la distribution de son champ électrique superficiel.

L'impédance de couplage $L_2 C_2$ (ou C_3) doit être placée près de l'objet en essai sans perturber de manière significative la distribution de son champ électrique superficiel.

1.3.10 *Fréquence de mesure*

La fréquence de mesure normale est 0,5 MHz. La fréquence de mesure recommandée est $0,5 \text{ MHz} \pm 10\%$, mais des fréquences différentes peuvent être utilisées, par exemple 1 MHz.

1.3.11 *Contrôle des circuits*

Le circuit d'essai doit être disposé de façon à permettre une mesure précise du niveau perturbateur produit par l'objet à l'essai. Toute autre perturbation provenant d'une source extérieure y compris l'alimentation ou d'une autre partie du circuit doit avoir une incidence faible et, de préférence, inférieure d'au moins 10 dB au niveau de perturbation spécifié pour l'objet en essai.

Lorsque la tension spécifiée pour l'essai est appliquée au circuit, le niveau de bruit de fond doit être inférieur d'au moins 6 dB au niveau le plus bas des perturbations à mesurer. Ces conditions peuvent être contrôlées en remplaçant l'objet à l'essai par un objet similaire n'émettant aucune perturbation.

Le niveau de bruit de fond est parfois relativement important lorsqu'on effectue l'essai hors d'une cage de Faraday, en particulier en milieu industriel. Si ces niveaux élevés de bruit sont de courte durée avec des intervalles calmes relativement longs, il est quand même possible d'effectuer des mesures valables pendant ces intervalles à condition qu'au cours des mesures, il soit possible de faire la distinction entre les pointes de bruit les plus élevées et les niveaux d'interférence réels, éventuellement en utilisant un oscilloscope ou un haut-parleur.

Des interférences peuvent également être produites par les stations de radiodiffusion. Ces interférences peuvent généralement être éliminées par un léger changement de la fréquence de mesure, dans les tolérances spécifiées. L'emploi d'un circuit résonnant $L_1 C_1$ correctement accordé, comme le filtre de blocage F, est souvent très efficace pour réduire le bruit de fond.

1.3.12 *Étalonnage des circuits d'essai*

Les circuits d'essai illustrés sur la figure 5, page 76, et sur les figures 6 ou 7, page 77, doivent être étalonnés pour obtenir le facteur de correction à appliquer aux lectures. Ce facteur est la somme de l'affaiblissement du circuit et d'un facteur propre au réseau de résistance, tous deux exprimés en décibels (dB). L'étalonnage est nécessaire à la mise en service du montage d'essai ou après une modification et également lorsque l'objet en essai est remplacé par un autre objet de capacité sensiblement différente. Pour l'opération d'étalonnage, l'alimentation du transformateur haute tension doit être débranché.

a) *Affaiblissement du circuit A*

Avant le début de l'étalonnage, le filtre de blocage F doit être, si nécessaire, accordé à la fréquence de mesure utilisée comme décrit dans le point c) du paragraphe 1.3.7. Un générateur haute fréquence ayant une impédance interne d'au moins 20000Ω sera alors branché en parallèle avec l'objet en essai, le circuit d'essai restant complet comme sur la figure 5 et sur les figures 6 ou 7. Un tel générateur est aisément réalisé en insérant une résistance de 20000Ω directement entre la sortie d'un générateur haute fréquence classique et la

test object. Where the test object can be in more than one condition, for example a circuit-breaker which can be open or closed, it shall be tested in each of these conditions.

The high-voltage connections to the object under test shall be short and shall not contribute to the measured values of radio noise from the test object nor influence the distribution of the electric field at its surface.

The coupling impedance, $L_2 C_2$ (or C_3) shall be located near to the test object without significantly disturbing the distribution of the electric field at the surface of the test object.

1.3.10 *Measurement frequency*

The reference measurement frequency is 0.5 MHz. It is recommended that measurements are made at a frequency of $0.5 \text{ MHz} \pm 10\%$ but other frequencies, for example 1 MHz, may be used.

1.3.11 *Checking of the test circuit*

The test circuit shall be arranged so as to permit an accurate measurement of the radio noise level generated by the object under test. Any interference from outside the test circuit, including the supply, or from other parts of the circuit, shall be at a low level and, preferably, at least 10 dB below the level specified for the test object.

With the specified test voltage applied to the circuit, the level of background noise shall be at least 6 dB below the lowest level to be measured. These conditions may be checked by substituting a similar, but noise-free, test object for the object under test.

Background noise levels may be relatively high when the tests are made in an unshielded area, especially when there are industrial premises nearby. When these high levels are of short duration, this condition may be acceptable provided that the quiet periods are of sufficient duration for a reliable measurement to be made and that, during the measurements, the character of the interfering peaks can be clearly distinguished from that of the noise being generated by the test object, possibly by means of an oscilloscope or a loudspeaker.

Interference may also result from broadcast stations which may be overcome by selecting a measurement frequency, within the specific tolerance, which is clear of interference. The use of a resonant circuit $L_1 C_1$, which is correctly tuned, as the rejection filter F, can often be most effective in reducing background noise.

1.3.12 *Calibration of the test circuit*

The test circuit shown in Figure 5, page 76, together with the circuit shown in either Figure 6 or Figure 7, page 77, shall be calibrated to obtain the value of the correction factor that shall be applied to the measuring set readings. This factor is the sum of the circuit attenuation and the resistance network factor, both expressed in decibels (dB). Such calibration is required where the test assembly is being used for the first time, or has been re-arranged, or where the test object has been changed to one of a significantly different capacitance. The power supply to the high-voltage transformer should be disconnected during calibration.

a) Circuit attenuation A

Before starting the calibration, the rejection filter F shall be tuned, if applicable, as described in Item c) of Sub-clause 1.3.7, to the particular measurement frequency. A signal generator with an output impedance of at least 20000Ω shall then be connected in parallel with the test object, the test circuit being complete, as shown in Figure 5 together with the circuit shown in either Figure 6 or Figure 7. (Such a generator is easily arranged by connecting a 20000Ω resistor in series with the output of a standard signal generator.) The generator shall be set to

connexion vers le circuit d'essai. La tension de sortie du générateur est réglée au niveau de 1 V à la fréquence de mesure, le courant sinusoïdal injecté dans le circuit d'essai étant alors de 50 μ A. Un tel courant assure une lecture de l'appareil de mesure C.I.S.P.R. largement supérieure au bruit de fond habituel. Cette lecture est notée en décibels.

Ensuite, sans modifier le réglage du générateur, l'objet en essai étant déconnecté de la partie haute tension du circuit, est raccordé à R_1 et R_2 , comme indiqué dans la figure 9, page 78. La nouvelle lecture est également notée en décibels, et la différence entre les deux lectures constitue l'affaiblissement A du circuit.

- Notes 1. - Pour éviter de retirer R_1 et R_2 du circuit d'essai pendant la procédure d'étalonnage, on peut utiliser d'autres résistances de même valeur, également d'un type à haute stabilité et sans self-induction.
2. - Dans le circuit de la figure 9, on peut remplacer l'objet en essai par un condensateur de capacité équivalente, si sa valeur est connue.

b) Facteur du réseau de résistance R

Les niveaux de tension perturbatrice produits par les types d'appareils considérés dans cet article sont conventionnellement exprimés en décibels par rapport à 1 μ V aux bornes de 300 Ω .

Ainsi, si $R_1 = R_m$, le facteur de réseau sera:

$$R = 20 \lg \frac{600}{R_1}, \text{ exprimé en décibels.}$$

Le niveau perturbateur de l'objet à l'essai sera alors donné par:

$$V \text{ (dB/1 } \mu\text{V/300 } \Omega) = V_m + A + R$$

V_m étant la tension, en décibels par rapport à 1 μ V, lue sur l'appareil de mesure et correspondant à sa tension d'entrée.

- Notes 1. - Une autre méthode plus simple permet d'effectuer l'étalonnage complet du circuit d'essai en une seule opération au moyen d'un générateur de courant sinusoïdal *étalonné*. Il suffit pour cela de mesurer exactement la tension de sortie V_0 fournie par le générateur à haute fréquence et de déterminer la valeur exacte de la résistance R_r de 20000 Ω insérée dans le circuit. Lorsque ce générateur est branché en parallèle avec l'objet en essai, il donne sur l'appareil de mesure une lecture V_1 (μ V) correspondant à l'intensité i_1 injectée dans le circuit:

$$i_1 = \frac{V_0}{R_r} \text{ en microampères}$$

Dans ces conditions, le niveau perturbateur de l'appareil à l'essai est directement donné par:

$$V \text{ (dB/1 } \mu\text{V/300 } \Omega) = V_m + 20 \lg 300 \frac{i_1}{V_1}$$

où V_m est la tension, en décibels par rapport à 1 μ V, lue sur l'appareil de mesure au moment de l'essai.

2. - Le générateur de signaux sinusoïdaux peut être remplacé par un générateur d'impulsions à spectre de fréquence constant au moins jusqu'à la fréquence de mesure. La concordance entre les amplitudes des impulsions et des signaux sinusoïdaux doit respecter les prescriptions du paragraphe 2.1 de la Publication 16 du C.I.S.P.R.

1.3.13 Procédure d'essai

Les perturbations dues aux équipements à haute tension dépendent principalement de la distribution des champs électriques sur leur surface. Idéalement, c'est donc cette distribution qui devrait être reproduite en laboratoire.

Les niveaux de perturbation produits par l'objet en essai ne sont pas entièrement déterminés par une valeur particulière de la tension d'essai. Il y a souvent un effet d'hystérésis et la

deliver a sine wave output of 1 V, at the measurement frequency, which will inject a current of about 50 μA into the test circuit. This current will ensure that, with a C.I.S.P.R. measuring set, its reading will be well in excess of the usual background noise level. This reading, in decibels, of the measuring set shall be noted.

With the settings of the generator unchanged, the test object shall be disconnected from the high-voltage part of the test circuit and connected as shown in Figure 9, page 78. The new reading, in decibels, of the measuring set shall also be noted and the difference between the two readings is the circuit attenuation A .

Notes 1. – To avoid removing R_1 and R_2 from the test circuit during the calibration procedure, other high-stability, non-inductive resistors of the same value may be used.

2. – In Figure 9 the test object may be replaced by an equivalent capacitance, if this is known.

b) Resistance network factor R

Levels of radio noise voltage generated by the types of apparatus being considered in this clause are usually expressed in decibels relative to 1 μV across 300 Ω .

Then, if $R_1 = R_m$, the network factor will be as follows:

$$R = 20 \lg \frac{600}{R_1}, \text{ expressed in decibels.}$$

The radio noise level of the object being tested is then given by

$$V (\text{dB}/1 \mu\text{V}/300 \Omega) = V_m + A + R$$

V_m being the voltage, in decibels relative to 1 μV , indicated by the measuring set and corresponding to its input voltage.

Notes 1. – A less complicated alternative method of overall calibration of the test circuit can be carried out in a single operation if a *calibrated* sine-wave current generator is used. This method involves an accurate measurement of both the output voltage V_0 of the signal generator and the value of a 20000 Ω resistor R_r in series with the generator output. Then when the signal generator, with the 20000 Ω series resistor, is connected in parallel with the test object a reading V_1 (μV) appears on the measuring set which corresponds to the current i_1 injected into the circuit:

$$i_1 = \frac{V_0}{R_r} \text{ in microamperes}$$

Under these circumstances, the radio noise level of the apparatus being tested is directly given by:

$$V (\text{dB}/1 \mu\text{V}/300 \Omega) = V_m + 20 \lg 300 \frac{i_1}{V_1}$$

where V_m is the voltage, in decibels relative to 1 μV , indicated by the measuring set at the time of the test.

2. – The sine-wave signal generator may be replaced by a pulse generator with a constant frequency spectrum, at least up to the measurement frequency. Correspondence of amplitudes between pulse and sinusoidal signals should meet the data included in Sub-clause 2.1 of C.I.S.P.R. Publication 16.

1.3.13 Test procedure

Radio noise generated by high-voltage equipment depends mainly on the distribution of the electric fields at the surface of the equipment. Ideally, the distribution in service should be reproduced during tests in the laboratory.

The radio noise level generated by a test object is not entirely determined by a particular value of the test voltage. An hysteresis effect often occurs, with the result that noise may or may

perturbation se produit ou non à une tension donnée selon que cette tension est atteinte en montant ou en descendant. Le préconditionnement de l'objet en essai, qui consiste à lui appliquer une tension égale ou supérieure à la tension d'essai spécifiée, pendant une durée spécifiée, peut également avoir une influence sur le niveau perturbateur mesuré.

Les modalités d'application de la tension à l'objet en essai doivent donc être spécifiées avec précision.

La tension d'essai doit être une tension sinusoïdale à fréquence industrielle conforme aux spécifications de la Publication 60-2 de la CEI. Elle doit être appliquée:

- a) soit entre les phases de l'objet à l'essai (par exemple pour un disjoncteur triphasé), auquel cas sa valeur correspond à celle de la tension composée (tension phase-phase) du réseau,
- b) soit entre la phase et la terre (par exemple pour une chaîne d'isolateurs), auquel cas sa valeur correspond à celle de la tension simple (tension phase-terre) du réseau.

La tension d'essai pour l'objet à essayer figure généralement dans la norme qui est applicable à ce type d'objet. En l'absence de spécification, la tension d'essai doit être 1,1 fois la tension nominale du réseau ou la tension la plus élevée pour le matériel ($U/\sqrt{3}$ quand l'appareil est isolé par rapport à la terre). Par accord entre fabricant et utilisateur, la tension d'essai peut être fixée, dans certains cas, à une valeur comprise entre 1,1 et 1,4 fois la tension nominale du réseau ou la tension la plus élevée pour le matériel.

Une tension supérieure de 10% à la tension d'essai spécifiée est initialement appliquée à l'objet à l'essai pendant au moins 5 min. On réduit ensuite la tension par paliers jusqu'à 30% de la tension d'essai spécifiée et on remonte par paliers à la valeur initiale où on la maintient pendant 1 min, puis on revient par paliers à 30% de cette valeur. Chaque palier de tension représente environ 10% de la tension d'essai spécifiée. A chaque palier, on mesure le niveau de perturbation radioélectrique et les valeurs relevées pendant la phase de décroissance finale sont portées sur un graphique en fonction de la tension appliquée. La courbe ainsi obtenue est la caractéristique de perturbation radioélectrique de l'objet en essai.

Lorsque des variations appréciables risquent d'être obtenues entre les niveaux perturbateurs de divers exemplaires d'un même type d'appareil, les mesures doivent être effectuées sur plusieurs échantillons. Dans ce cas, la caractéristique type de perturbation radioélectrique sera la courbe moyenne obtenue à partir des mesures effectuées sur ces échantillons. Lorsque le nombre d'exemplaires est suffisamment important, on peut également évaluer la dispersion des mesures. Si la conformité à des limites est imposée, il peut être avantageux d'appliquer la méthode statistique indiquée dans la section neuf de la Publication 16 du C.I.S.P.R.

1.3.14 *Observations connexes pendant l'essai*

On pourra avantageusement ajouter des observations complémentaires aux mesures de perturbation pour mieux localiser les sources perturbatrices sur l'objet en essai et pour établir la cause de défauts éventuels. Une observation visuelle, qui peut se faire dans l'obscurité avec des jumelles, permettra de localiser même de très petites sources d'effluves. Ces observations peuvent être confirmées par des photographies prises avec un long temps de pose ou à l'aide d'un amplificateur de brillance. S'il n'est pas possible d'obtenir une obscurité suffisante, les décharges pourront être localisées à l'oreille, ou mieux avec un détecteur d'ultrasons dont la directivité est nettement meilleure.

1.3.15 *Renseignements à joindre au rapport d'essai*

En plus des spécifications de l'appareil à l'essai, les rapports d'essai doivent également contenir les renseignements suivants:

not be present at a given test voltage, as it depends on whether this voltage was reached by decreasing or increasing values. Pre-conditioning of the test object, by subjecting it to a voltage which is equal to or greater than the specified test voltage for a specific period of time, can also have an effect on the measured level of radio noise.

The procedure for applying the test voltage should therefore be accurately specified.

The test voltage shall be a sine wave at power-supply frequency and be consistent with IEC Publication 60-2. It shall be applied either:

- a) between phases of the object under test (for example a three-phase circuit-breaker), in which case the test voltage is related to the system's line voltage, or
- b) between phase and earth (for example a complete insulator string), in which case the test voltage is related to the system's phase voltage.

The test voltage of the object to be tested is usually specified in the standard applicable to the type of object. In the absence of such a specification, the test voltage shall be 1.1 times the nominal voltage of the system or the rated voltage of the equipment ($U/\sqrt{3}$ for apparatus tested with respect to earth). In some cases, the test voltage is agreed between manufacturer and purchaser at a value between 1.1 and 1.4 times the nominal voltage of the system or the rated voltage of the equipment.

A voltage 10% higher than the specified test voltage should be applied to the object under test and maintained for at least 5 min. The voltage should then be decreased in steps to 30% of the specified test voltage, raised in steps to the initial value, maintained there for 1 min and, finally, decreased in steps to the 30% value. Each voltage step should be approximately 10% of the specified test voltage. At each step a radio noise measurement should be made and the results obtained during the last decreasing run should be plotted against the applied voltage, the curve so obtained being the radio noise characteristic of the test object.

When significant variations are likely to occur in the radio noise level from a number of items of equipment of the same type, the measurements should be done on several samples. Then the typical radio noise characteristic will be the average curve obtained when all the results are taken into account. When the number of samples is sufficient, a level dispersion may also be evaluated. When compliance with limits is required, it may be appropriate to use the statistical method given in Section Nine of C.I.S.P.R. Publication 16.

1.3.14 *Related observations during the test*

Additional observations may profitably be carried out at the same time as the radio noise measurements, in order to locate any noise sources on the test object and assist in establishing the cause of possible defects. A visual observation, if necessary by means of binoculars in a darkened laboratory, will enable even extremely small points of corona discharge to be located. Such observations may be confirmed by means of photographs with long exposure times, or by means of an image amplifier. If it is impossible to darken the laboratory sufficiently, the points of discharge may be located to some extent by ear or, preferably, by an ultrasonic detector which is much more directional.

1.3.15 *Data to be given in test report*

In addition to the specification of the apparatus under test, the test report should also give the following data:

- état de l'objet à essayer:
 - neuf ou déjà utilisé,
 - propre ou pollué (nature et importance de la pollution),
 - sec, humide ou mouillé;
- conditions atmosphériques:
 - température,
 - pression barométrique,
 - humidité relative,
 - présence ou absence de pluie (pluie artificielle normalisée);
- description du circuit d'essai en faisant ressortir les éventuelles différences par rapport au circuit C.I.S.P.R. normalisé;
- disposition de l'objet à l'essai;
- niveau du bruit de fond;
- modalités détaillées d'application de la tension d'essai;
- niveaux de perturbation mesurés, exprimés en décibels par rapport à $1 \mu\text{V}$ aux bornes de 300Ω . On peut les indiquer sur la caractéristique de perturbation radioélectrique;
- résultats des observations éventuelles destinées à localiser les sources perturbatrices;
- comparaison entre les niveaux mesurés et les éventuelles limites prescrites.

1.4 *Evaluation statistique du niveau perturbateur d'une ligne*

La Publication 16 du C.I.S.P.R. présente une méthode d'échantillonnage statistique pour contrôler le respect des limites C.I.S.P.R. pour les appareils produits en série. Cette règle dite «80%/80%» est fondée sur l'application des techniques statistiques qui garantissent aux consommateurs, avec un niveau de confiance de 80%, que 80% des appareils du type contrôlé sont conformes aux limites spécifiées. La méthode est fondée sur la distribution *t* non centrale (échantillonnage par variable). L'esprit de la règle C.I.S.P.R. dite «80%/80%» a été interprété pour les lignes aériennes de façon que le niveau perturbateur ne dépasse pas le niveau limite pendant 80% du temps avec un niveau de confiance d'au moins 80%.

Définition des lectures et des groupes de mesures:

- 1) Une lecture est une mesure faite une fois (en décibels), en un lieu donné, dans des conditions météorologiques données. Si l'indication de l'appareil est fluctuante, une valeur moyenne prise sur au moins 10 min est alors utilisée.
- 2) Chaque groupe de mesures consiste à effectuer la moyenne des lectures effectuées en trois lieux différents, répartis à peu près régulièrement le long de la ligne, et dans des conditions météorologiques identiques. On ne doit pas prendre en compte plus d'un groupe de mesures par jour pour des conditions météorologiques données. Les trois lieux de mesures différents permettront d'éliminer les effets des irrégularités locales (par exemple ondes stationnaires), bien que, comme indiqué au paragraphe 1.2, les emplacements où des mesures non significatives sont à craindre doivent être évités.

Nombre de mesures:

- 1) En utilisant la technique des mesures décrites au paragraphe 1.2, au moins 15 ou mieux 20 groupes de mesures ou plus doivent être relevés.
- 2) Le nombre des groupes de mesures relevés pour chaque type de condition météorologique (temps sec, pluie, neige, etc.) doit être proportionnel au pourcentage du temps pendant lequel existe chacune de ces conditions météorologiques, tout au moins dans la région considérée.

- state of the test object:
 - new or already used,
 - clean or polluted (nature and degree of pollution),
 - dry, damp or wet;
- atmospheric conditions:
 - temperature,
 - barometric pressure,
 - relative humidity,
 - presence or absence of rain (standardized artificial rain);
- test circuit, including any difference from the standard C.I.S.P.R. circuit;
- arrangement of the object under test;
- background noise level;
- test voltage with detailed procedure of its application;
- measured radio noise levels, expressed in decibels relative to $1 \mu\text{V}$ across 300Ω (these can be given in the radio noise characteristic);
- results of any observations regarding the location of noise sources;
- comparison between the measured levels and any specified limits.

1.4 *Statistical evaluation of the radio noise level of a line*

C.I.S.P.R. Publication 16 describes statistical sampling methods for establishing the compliance of mass-produced appliances with C.I.S.P.R. limits. The so-called 80%/80% rule is based on the application of statistical techniques that have to give the consumer an 80% degree of confidence that 80% of the appliances of a type being investigated are below the specified radio noise limit. The method is based on the non-central t -distribution (sampling by variables) and the spirit of the 80%/80% C.I.S.P.R. rule is interpreted for overhead lines in that the radio noise level should not exceed the limit for more than 80% of the time with at least 80% confidence.

Definitions of readings and sets of measurements:

- 1) A reading is a single measurement (in decibels), at a given location, under given meteorological conditions. If the meter readings fluctuate, then an average value taken over a period of at least 10 min should be used.
- 2) Each set of measurements consists of averaging the readings taken, for a given meteorological condition, at three different locations approximately evenly distributed along the line. Not more than one set of measurements should be taken on any particular day for the given meteorological conditions. The three different locations will help to eliminate the effects of local irregularities (for example standing waves), although, as stated in Sub-clause 1.2, positions of measurement where unrepresentative readings are likely to be obtained should be avoided.

Number of measurements:

- 1) using the measurement techniques described in Sub-clause 1.2, at least 15 but preferably 20 or more sets of measurements should be taken.
- 2) The number of sets of measurements for each weather condition (dry, rain, snow, etc.) must be proportional to the frequency of occurrence of each weather condition for the area.

Le respect d'une limite donnée de perturbations est assuré si la relation suivante est satisfaite (voir section neuf de la Publication 16 du C.I.S.P.R.):

$$\bar{X} + kS_n \leq L$$

où:

L est la limite maximale admissible du niveau perturbateur

\bar{X} est la valeur moyenne des (n) groupes de mesures du niveau perturbateur de la ligne, soit

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 \dots + X_i + \dots + X_n}{n}$$

S_n est l'écart type des (n) groupes de mesures, soit:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

k est une constante dépendant de (n), déterminée de telle sorte que la règle des 80%/80% définie plus haut soit satisfaite.

La valeur k à utiliser pour un nombre (n) de groupes de mesures est indiquée dans le tableau ci-dessous.

n	15	20	25	30	35
k	1,17	1,12	1,09	1,07	1,06

Cette formule, établie pour un nombre limité d'échantillons, est similaire à celle qui est utilisée pour une distribution gaussienne relative à un nombre infini d'échantillons, ceux-ci étant représentés par les groupes de mesures.

Dans la formule, S_n peut être comparé à l'écart type (valable pour un nombre infini d'échantillons) et k dépend à la fois du niveau de confiance recherché (80%/80%) et du nombre d'échantillons. Plus le nombre d'échantillons est faible, plus grande est la valeur de k pour un niveau de confiance donné, quel que soit le pourcentage de la distribution qui doit respecter la limite.

Une étude a montré que même pour une distribution non gaussienne, l'emploi de la méthode statistique ci-dessus n'introduisait pas d'erreur significative dans la mesure où au moins 15, et de préférence 20, groupes de mesures ou plus ont été utilisés pour l'application de cette méthode.

2. Méthodes d'établissement des limites

2.1 Introduction

Le C.I.S.P.R. étudie depuis de nombreuses années la question des limites du niveau perturbateur des lignes électriques et des équipements à haute tension, dans l'intention de protéger la réception des émissions de radio et de télévision. Le degré de gêne causé par le bruit perturbateur est déterminé par le rapport signal sur bruit au point de réception. Pour une gêne subjective comparable, ce rapport signal sur bruit dépend de la nature de la source perturbatrice. Pour un rapport signal sur bruit souhaité, le niveau acceptable des perturbations dépend de nombreux facteurs tels que: le niveau minimal du signal à protéger, la distance minimale séparant la ligne électrique de l'emplacement du récepteur, l'influence des conditions météorologiques, etc. D'autres difficultés se présentent pour spécifier les conditions dans lesquelles la conformité aux limites doit être vérifiée. Par exemple, les avis se partagent pour savoir si les mesures doivent être effectuées par beau ou mauvais temps ou encore dans les deux cas à la fois. Presque tous les facteurs d'importance majeure sont soumis à des variations statistiques et l'on s'est rendu compte que ces problèmes ne peuvent être pleinement résolus par des délibérations menées au niveau international. Néanmoins, certains pays ont établi des normes obligatoires pour les limites perturbatrices engendrées par les lignes à haute tension.

Compliance with a given limit of noise is judged from the following relationship taken from Section Nine of C.I.S.P.R. Publication 16:

$$\bar{X} + kS_n \leq L$$

where:

L is the permissible upper limit of radio noise

\bar{X} is the mean value of the (n) number of sets of measurements of the radio noise level of the line, namely:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 \dots + X_i + \dots + X_n}{n}$$

S_n is the standard deviation of the (n) sets of measurements, namely:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

k is the constant depending on (n) and is determined in such a way that the above stated 80%/80% rule is satisfied.

The k value to be used for (n) number of sets of measurements is shown in the table below.

n	15	20	25	30	35
k	1.17	1.12	1.09	1.07	1.06

This formula, based on a limited number of samples, is similar to that relating to a Gaussian distribution valid for an infinite number of samples, the samples being represented by sets of measurements.

In the formula, S_n can be compared with the standard deviation relating to an infinite number of samples and k depends on both the required confidence (80%/80%) and on the number of samples. The lower the number of samples the higher the value of k becomes for any percentage specified to meet the limit, with a given confidence.

Studies indicate that even for a non-Gaussian distribution, the use of the above statistical method does not introduce a significant error provided that at least 15 but preferably 20 or more sets of measurements are used in the evaluation.

2. Methods for derivation of limits

2.1 Introduction

The C.I.S.P.R. has for many years considered the question of limits of radio noise from overhead power lines and high-voltage equipment in order to safeguard radio and television broadcast reception. The degree of annoyance caused by radio noise is determined by the signal-to-noise ratio at the receiving installation. For similar subjective annoyance, the signal-to-noise ratio depends on the nature of the noise source. Based on a required signal-to-noise ratio, many factors affect the acceptable level of noise, such as minimum signal level to be protected, minimum distance between power line and receiving location, effects of weather, etc. Further difficulties exist in specifying the conditions for verifying compliance with limits. For example, views are divided on whether measurements should be carried out in fair weather, foul weather, or both. Practically every major factor is subject to statistical variation. It is recognized that international discussions cannot fully resolve these problems. Some countries have, however, laid down mandatory standards on limits of interference from power lines.

Les pays qui font partie du C.I.S.P.R. se sont mis d'accord pour que cet organisme établisse des directives pour une méthode simple et efficace de définition de limites au niveau national qui tiendrait compte des conditions particulières que les autorités de réglementation pourraient désirer adopter. En outre, il a été convenu que cette méthode destinée à établir les limites devrait être illustrée par des exemples fondés sur des niveaux de signal raisonnables, des installations réceptrices appropriées ainsi que des études de lignes pratiques et économiques. La méthode doit permettre dans tous les cas l'estimation des effets causés par les lignes électriques sur la réception.

Comme il est nécessaire de faire un certain nombre d'hypothèses arbitraires sur des paramètres aléatoires, que ces hypothèses peuvent s'écarter des conditions réelles et que des facteurs économiques sont aussi à considérer, les limites recommandées ne sauraient, par conséquent, assurer une protection à 100% de la totalité des populations, fait habituellement accepté en normalisation.

2.2 Signification des limites C.I.S.P.R. pour les lignes et les équipements à haute tension

La Recommandation 46/1 du C.I.S.P.R. «Signification des valeurs limites spécifiées par le C.I.S.P.R.» [67]*, ainsi que la section neuf de la Publication 16 du C.I.S.P.R., établissent les bases statistiques destinées à l'analyse des valeurs recueillies au cours d'essais effectués pour déterminer la conformité des appareils fabriqués en série aux valeurs limites C.I.S.P.R.

Dans le cas des perturbations engendrées par les lignes et les équipements à haute tension, ce critère n'est pas directement applicable. Il est cependant possible de le relier à la distribution statistique du bruit en fonction de la variation des conditions atmosphériques. Pour les lignes et les équipements, la limite C.I.S.P.R. s'interprète comme un niveau perturbateur qui n'est pas dépassé pendant 80% du temps. Suivant l'argumentation du paragraphe 1.4, cette interprétation de la règle C.I.S.P.R. 80%/80% fait appel à un plus grand nombre de mesures qu'il n'est spécifié dans la Recommandation 46/1. Il faut également se rendre compte qu'un niveau 80% pour le bruit des lignes dû à l'effet couronne sera généralement un niveau sous pluie pour un climat tempéré alors qu'en général ce sera plutôt un niveau par beau temps pour un climat sec. Les autorités de réglementation doivent avoir ce fait à l'esprit au moment d'adopter le niveau 80%.

On pourrait également utiliser un autre critère, tel que le niveau de bruit moyen par beau temps, le niveau maximal par beau temps, ou même le niveau sous forte pluie pour établir les limites.

2.3 Considérations d'ordre technique pour l'établissement de limites pour les lignes

2.3.1 Approche fondamentale

La règle de base est d'obtenir un rapport signal sur bruit adéquat au point de réception de façon à recevoir de manière satisfaisante les signaux radiodiffusés. Pour ce qui est d'établir des règlements, c'est aux autorités de réglementation qu'incombe la responsabilité de définir les niveaux minimaux des signaux à protéger ainsi que le rapport signal sur bruit qui donnent une réception satisfaisante. Cette publication présente les informations les plus récentes sur les rapports signal sur bruit acceptables et donne des indications sur les niveaux minimaux à protéger. On y montre également comment on peut définir une «distance protégée» en combinant le niveau du signal protégé, le rapport signal sur bruit souhaité et le niveau de bruit à la distance de référence, c'est-à-dire à 20 m du plus proche des conducteurs de la ligne. Cette distance protégée est la valeur minimale de la distance à la ligne qu'il faut respecter pour protéger le signal radiodiffusé pendant une certaine proportion du temps. Si, par exemple, on choisit le niveau 80% comme base de perturbations, la distance protégée est la valeur minimale de la distance à la ligne pour laquelle le niveau protégé minimal peut être reçu pendant 80% du

* Les chiffres entre crochets se rapportent à la «Bibliographie et références», page 57.

There is general agreement by countries participating in C.I.S.P.R. that guidance should be given by it on a simple and effective method for deriving limits on a national basis, taking into account particular conditions the regulatory authority may wish to adopt. Furthermore, it is agreed that the method of deriving limits should be illustrated by examples based on reasonable signal levels, adequate receiver installations and on practical and economical power line designs. The method should enable assessment of the effects of power lines on reception under any particular conditions.

Since a number of arbitrary assumptions about random parameters must be made, which may differ from actual conditions, and since economic factors must also be considered, recommended limits cannot assure 100% protection to 100% of the listeners or viewers. This fact is generally accepted in standardization.

2.2 *Significance of C.I.S.P.R. limits for power lines and high-voltage equipment*

C.I.S.P.R. Recommendation 46/1 "Significance of C.I.S.P.R. Limits" [67]* and Section Nine of C.I.S.P.R. Publication 16, specify a statistical basis for analysing test data to determine compliance with a C.I.S.P.R. limit for mass-produced appliances.

In the case of noise from power lines and high-voltage equipment, this criterion is not directly applicable. It is, however, possible to relate it to the statistical distribution of noise due to the variation of atmospheric conditions. For power lines and equipment, the C.I.S.P.R. limit may be interpreted as the noise level not exceeded for 80% of the time. However, as is discussed in Sub-clause 1.4, this application of the C.I.S.P.R. 80%/80% rule involves a larger number of measurements than is specified in Recommendation 46/1. It must also be realized that an 80% level for conductor corona noise for power lines in moderate climates will usually be a foul-weather level, whereas for dry climates it will usually be a fair-weather level. Regulatory authorities should keep this fact in mind when deciding on adoption of the 80% level.

A different criterion such as average, fair-weather, noise level; maximum, fair-weather, noise level; or even the heavy rain noise level could also be the basis for establishing limits.

2.3 *Technical considerations for derivation of limits for lines*

2.3.1 *Basic approach*

The basic requirement is to obtain an adequate signal-to-noise ratio at the receiving installation for satisfactory reception of broadcast signals. When establishing regulations, it will be the responsibility of the regulatory authority to determine the minimum signal strengths to be protected and the signal-to-noise ratio that will give satisfactory reception. This publication presents the latest information on acceptable signal-to-noise ratios and gives some information on minimum signal levels to be protected. It also shows how the protected signal level and the required signal-to-noise ratio can be combined with the noise level at a reference distance of 20 m from the nearest conductor of the power line to develop a "protected distance". This protected distance represents the minimum distance from the line required to protect the minimum broadcast signal for a certain percentage of the time. For example, if the 80% level is chosen as the basis for the radio noise, then this protected distance will be the minimum distance from the line at which the minimum protected signal can be received 80% of the time with an acceptable signal-to-noise ratio. If the average fair weather noise level is the

* The figures in square brackets refer to "Bibliography and references", page 57.

temps avec un rapport signal sur bruit acceptable. Si on utilise le niveau moyen par beau temps pour établir les limites, alors la distance protégée sera la valeur minimale de la distance à la ligne pour laquelle le niveau protégé minimal peut être reçu, par beau temps, pendant 50% du temps avec un rapport signal sur bruit acceptable. Le même raisonnement s'appliquerait à tout autre choix d'un pourcentage choisi sur une courbe de distribution de bruit par tous temps, ou bien à n'importe quelles autres conditions atmosphériques, par exemple une pluie établie (dans ce cas, la réception serait satisfaisante pendant 95% du temps, du moins en climat tempéré).

Il est bon de savoir que, pour la plupart des lieux, le niveau du signal est plus élevé que la valeur minimale et que l'on peut parfois bénéficier des propriétés directionnelles de certains modèles d'antennes de réception pour améliorer le rapport signal sur bruit. Il existe d'autre part des cas pour lesquels la distance entre la ligne électrique ou les équipements à haute tension, et le lieu de réception est inférieure à la distance protégée. En moyenne, ces deux situations s'équilibrent généralement, de sorte que la réception reste convenable même à des distances inférieures à la distance protégée. Pour les auditeurs ainsi situés, mais qui sont perturbés, il est possible de faire appel à des moyens de correction comme des antennes éloignées ou le raccordement à un réseau de distribution par câbles.

2.3.2 *Domaine d'application*

2.3.2.1 *Ouvrages considérés*

Les valeurs limites de perturbation dont traite cet article s'appliquent aux ouvrages électriques considérés de manière globale, et non pas aux éléments individuels comme les transformateurs, les isolateurs, etc. La méthode de mesure du niveau perturbateur d'un élément est traitée au paragraphe 1.3 et la relation entre ce niveau et celui qui serait produit à 20 m du conducteur le plus proche d'une ligne est traitée au paragraphe 6.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. Toutes les lignes et les installations à courant alternatif de tensions de fonctionnement comprises entre 1 kV et 800 kV entrent dans le cadre de cette publication. On ne dispose pas pour le moment de renseignements suffisants pour donner des exemples d'établissement de valeurs limites pour les lignes à courant continu bien que les principes fondamentaux à appliquer puissent être semblables. Cette question demeure à l'étude.

Les valeurs limites de perturbation se fondent sur des lois d'affaiblissement latéral applicables à des lignes électriques types ainsi que sur les méthodes et sur les appareils de mesure C.I.S.P.R. dont il est question dans l'article 1. Pour l'instant, il n'est pas possible de fournir de données bien établies pour les postes. Cependant, par simplicité, on peut utiliser les mêmes lois que pour les lignes, la distance de référence étant prise à 20 m de l'enceinte périphérique du poste. Il convient de noter que l'on ne considère que les perturbations permanentes engendrées par les postes. On ne tient pas compte des perturbations transitoires comme celles qui sont produites par la coupure des circuits de puissance.

2.3.2.2 *Domaine de fréquences*

Le domaine de fréquences concerné s'étend de 0,15 MHz à 300 MHz; il couvre spécifiquement les bandes de radiodiffusion à modulation d'amplitude de 0,15 MHz à 1,7 MHz ainsi que les bandes VHF allouées à la télévision et à la radiodiffusion à modulation de fréquence entre 47 MHz et 230 MHz. L'objectif est d'assurer la protection de niveaux «raisonnables» des signaux émis par ces services. Comme les lignes à haute tension ne produisent normalement que des perturbations négligeables à la réception des signaux au-delà de 300 MHz et que l'on ne dispose que de renseignements limités sur les niveaux de bruit à ces fréquences, les bandes de fréquences supérieures à 300 MHz sont exclues pour l'instant de cette publication.

La définition du qualificatif «raisonnable» est sujette à variation en fonction du type de service et de la région du monde considérée. L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) considère trois régions (1, 2 et 3). Les régions 1 et 3 sont de plus divisées en trois zones

basis for establishing limits, then this protected distance will be the minimum distance from the line at which the minimum protected signal level can be received for 50% of the time during fair weather with an acceptable signal-to-noise ratio. Similar logic would apply for any other percentage, taken on an all-weather noise distribution curve, or for any other weather condition, for example, steady rain (in this case, reception would be satisfactory 95% of the time, at least in moderate climates).

It should be appreciated that at most locations the signal level will be higher than the minimum and that advantage can sometimes be taken of the directional properties of certain types of receiving aerial to improve the signal-to-noise ratio. On the other hand, there will be cases where the distance between the power line, or high-voltage equipment, and the receiving location will be less than the protected distance. On a statistical basis these factors will often tend to balance each other in such a way as to provide adequate reception even in cases falling within the protected distance. For those so placed who suffer interference, correction techniques may be employed such as remote aeriels or connection to cable systems.

2.3.2 *Scope*

2.3.2.1 *Power systems considered*

The radio noise limits discussed in this clause apply to the power system as a whole and not to its individual components such as transformers, insulators, etc. The method of measurement of the noise level of a component is discussed in Sub-clause 1.3 and the relation of this level to that which it would produce 20 m from the nearest conductor of a power line is discussed in Sub-clause 6.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1. All a.c. lines and substations operating at voltages within the range 1 kV to 800 kV are included. At the present time there is insufficient information to allow examples to be provided of the derivation of limits for d.c. lines, although the main principles could be the same. This matter is still under consideration.

The noise limits are based on lateral attenuation laws applicable to typical power lines and on the appropriate C.I.S.P.R. measuring methods and instruments referred to in Clause 1. No well-established data are presently available for substations. For simplicity, however, the same laws may be used as for lines, the reference distance being taken as 20 m from the perimeter fence of the substation. It should be noted that only persistent noise from substations is considered. Transient noise, such as that due to interruption of a power circuit, is not included.

2.3.2.2 *Frequency range*

The frequency range is from 0.15 MHz to 300 MHz, covering specifically the a.m. broadcast bands between 0.15 MHz and 1.7 MHz and the v.h.f. television and f.m. radio bands between 47 MHz and 230 MHz. The intent is to provide protection to "reasonable" signal levels of these services. Since power lines normally produce negligible interference to broadcast reception above 300 MHz and since there is only limited information on noise levels at these frequencies, the bands above 300 MHz are not included at this time.

The definition of "reasonable" will vary with the type of service and part of the world. The International Telecommunications Union (ITU) considers three regions (1, 2 and 3). Regions 1 and 3 are further divided into three zones (A, B and C) based on climatic conditions. Figure 10,

(A, B et C) d'après les conditions climatiques. La figure 10, page 79, représente ces régions et ces zones. Pour chaque région et chaque zone, des niveaux de puissance sont spécifiés pour les émetteurs ainsi que des niveaux minimaux de signal protégés, des rapports de signaux entre canaux adjacents, etc.

En particulier, les bandes de radiodiffusion à ondes kilométriques de 0,15 MHz à 0,28 MHz et hectométriques de 0,5 MHz à 1,7 MHz font l'objet de réglemens de l'UIT. Toutefois, dans l'application pratique, les niveaux minimaux de signal à protéger ainsi que les rapports de protection diffèrent souvent des avis les plus récents de l'UIT. En Amérique du Nord, la bande 0,5 MHz à 1,7 MHz est soumise aux réglemens du North American Regional Broadcasting Agreement (NARBA [Accord régional nord-américain de radiodiffusion]). Il faut remarquer à ce propos que les différences résultent parfois de divergences entre les principes appliqués à la radiodiffusion. En Europe par exemple, il est habituel de couvrir un pays entier au moyen de quelques émetteurs omnidirectionnels à grande puissance. Par contre, en Amérique du Nord, il existe une multitude de stations émettrices individuelles souvent équipées d'antennes très directives pour focaliser le signal sur une ville ou une région particulière. La puissance de l'émission est habituellement limitée à 50 kW et les niveaux de protection du signal reçu sont généralement inférieurs à ceux qui sont spécifiés en Europe.

Note. - Les limites supérieures et inférieures des diverses bandes de fréquences, utilisées en radiodiffusion et données ici, sont des valeurs approximatives. Les valeurs exactes varient d'une région à l'autre et sont soumises à des révisions périodiques. (Voir réf. [62], pour plus de détails.)

2.3.3 Niveaux minimaux de signal radiodiffusé à protéger

Il appartient à chaque nation de fixer le niveau minimal de signal qui doit être protégé du bruit des lignes électriques et les conditions atmosphériques correspondantes. Pour les fréquences d'ondes kilométriques et hectométriques, l'UIT [63] a recommandé des valeurs minimales de champs nécessaires pour couvrir le bruit naturel (atmosphérique, cosmique, etc.). En vue de la planification de la radiodiffusion, l'UIT a également recommandé, uniquement à titre d'information, des valeurs de champ nominal utilisable. L'annexe C donne des valeurs recommandées tant pour le champ minimal que pour le champ nominal utilisable.

Comme les niveaux du bruit naturel varient dans le temps et avec les situations géographiques, des niveaux de signal inférieurs aux valeurs données peuvent être reçus de manière plus ou moins satisfaisante, sans que ce fait soit imputable au bruit dû aux lignes ou à d'autres activités industrielles.

Les niveaux minimaux de signal recommandés par le Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR) pour les bandes VHF de la région I sont les suivants:

Bande de fréquences	Niveau minimal de signal
TV (bande I) 47 MHz à 68 MHz	48 dB (1 µV/m)
FM (bande II) 87 MHz à 108 MHz	48 dB (1 µV/m) (mono) 54 dB (1 µV/m) (stéréo)
TV (bande III) 174 MHz à 230 MHz	55 dB (1 µV/m)

Pour l'Amérique du Nord, les niveaux des signaux en bordure de la «zone desservie» d'une station de radiodiffusion sont définis par le NARBA et d'autres réglemens [64 à 66]. Ces niveaux sont donnés dans l'annexe D.

Il est généralement admis que la radiodiffusion monoaurale à modulation de fréquence est automatiquement protégée lorsque les critères de protection de la TV en bandes I et III ont été fixés. Les règles de protection de la radiodiffusion stéréophonique à modulation de fréquence sont à l'étude. Pareillement, les bandes intermédiaires comme celles des ondes courtes sont automatiquement protégées par les dispositions prises pour la protection de la bande de

page 79, shows these regions and zones. Within each region and zone, there are specific transmitter power levels, minimum protected signal levels, required co-channel and adjacent channel protection ratios, etc.

In particular the low and medium frequency broadcast bands 0.15 MHz to 0.28 MHz and 0.5 MHz to 1.7 MHz are regulated by the ITU. However, existing practices regarding minimum signal levels to be protected and also regarding protection ratios often differ from the latest recommendations of the ITU. In North America the 0.5 MHz to 1.7 MHz band is regulated by the North American Regional Broadcasting Agreement (NARBA). It should be noted here that some of the differences result from differences in broadcasting philosophies. In Europe, for example, it is usual to have a few omnidirectional transmitters of high power to cover an entire country. In North America, on the other hand, there is a multitude of individual stations, often with highly-directional aerial arrays aiming a signal at a particular city or region of the country. Transmitter power is usually limited to 50 kW and protected received signal levels are generally lower than those specified in Europe.

Note. – The upper and lower limits of the various frequency bands, used for broadcasting and given here, are approximate values. Exact values vary from one region to another and are subject to periodic revisions. (See reference [62] for more details.)

2.3.3 Minimum broadcast signal levels to be protected

Individual national authorities should determine the minimum signal levels to be protected from power line noise related to appropriate weather conditions. For the low frequency and medium frequency bands, the ITU [63] has recommended minimum field strengths necessary to overcome natural noise (atmospheric noise, cosmic noise, etc.). For broadcast planning purposes, the ITU has also recommended for information only, nominal usable field strengths. Appendix C gives recommended values for both the minimum and the nominal usable field strengths.

Since natural noise levels vary with time and geographical location, signal levels below these values can sometimes be received satisfactorily and at other times unsatisfactorily, irrespective of power line or other man-made noise.

For the v.h.f. bands, the International Radio Consultative Committee (CCIR) recommended minimum signal levels for Region I are as follows:

Frequency band	Minimum signal strength
Television band I, 47 MHz to 68 MHz	48 dB (1 μ V/m)
F.M. radio band II, 87 MHz to 108 MHz	48 dB (1 μ V/m) (for mono) 54 dB (1 μ V/m) (for stereo)
Television band III, 174 MHz to 230 MHz	55 dB (1 μ V/m)

In North America, signal levels at the edge of the service area of a broadcasting station are specified by NARBA and other standards [64 to 66]. These levels are given in Appendix D.

It is generally accepted that when criteria for the protection of TV in bands I and III have been fixed, f.m. monoaural radio is automatically protected. The protection requirements for f.m. stereo radio are under consideration. Similarly, the intermediate bands, such as short wave, will automatically be protected by the medium wave broadcast band protection. However, in certain cases, there may be telecommunication services requiring different

radiodiffusion en ondes moyennes. Cependant, certains services de télécommunications peuvent, dans certains cas, nécessiter des niveaux de protection différents dont les autorités nationales doivent tenir compte lors de l'étude des valeurs limites.

Il faut garder présent à l'esprit que tous ces niveaux minimaux de signal concernent la protection contre les perturbations dues à d'autres signaux radio ou au bruit naturel. Les perturbations dues aux lignes n'ont pas été prises en compte.

Etant donné l'adoption de valeurs largement différentes comme niveaux de signal utilisables dans les diverses zones mondiales, de jour ou de nuit, l'expression «niveau de signal raisonnable» doit être déterminée en fonction des facteurs correspondant aux différents niveaux. Si des niveaux inférieurs sont adoptés, il devient inévitable de faire la comparaison entre les perturbations dues aux lignes électriques et les perturbations issues d'autres sources et d'augmenter la distance protégée entre la ligne et le récepteur et/ou de diminuer le rapport signal sur bruit acceptable.

2.3.4 *Rapport signal sur bruit requis*

2.3.4.1 *Radiodiffusion*

Aucune recommandation exacte concernant les rapports signal sur bruit acceptables n'a encore été fixée pour les perturbations dues aux lignes électriques. Pour les besoins de la planification, l'UIT recommande un rapport signal désiré à signal brouilleur de 30 dB. Les niveaux NARBA sont établis sur la base d'un rapport de 26 dB.

Pour des rapports similaires, il semble que le bruit dû aux lignes donne lieu à des perturbations un peu moins gênantes que celles qui sont dues aux interférences entre canaux.

La littérature technique présente les résultats de nombreuses études du rapport signal sur bruit requis pour obtenir une bonne réception en présence de bruit dû à une ligne électrique. Ces résultats sont résumés dans l'annexe E où sont indiqués les rapports signal sur bruit nécessaires à l'obtention d'une qualité de réception allant de «complètement satisfaisante» à «parole inintelligible». Les autorités nationales de réglementation peuvent définir la qualité de réception qu'elles veulent protéger. Il faut rappeler à ce propos que le rapport signal sur bruit dépend beaucoup de la bande passante du récepteur. Les valeurs données dans l'annexe H supposent le signal mesuré avec un mesureur de valeur moyenne ou de valeur efficace et le bruit mesuré à l'aide d'un appareil C.I.S.P.R. avec un détecteur quasi-crête. Pour la réception des signaux en MA, le mesureur C.I.S.P.R. a une bande passante de 9 kHz. Si l'on mesurait le signal radiodiffusé avec l'appareil C.I.S.P.R., on trouverait un niveau plus élevé d'environ 3 dB, variable avec l'amplitude de la modulation, puisque le détecteur quasi-crête délivre un signal voisin de la crête de l'enveloppe de modulation. Cet écart disparaît naturellement lorsque les mesures sont effectuées en l'absence de modulation.

2.3.4.2 *Télévision*

Les rapports signal sur bruit requis pour les récepteurs de télévision sont moins définis que ceux qui s'appliquent à la radiodiffusion. Pour les normes européennes de télévision, la valeur de 40 dB semble acceptable de manière générale (la bande passante du mesureur C.I.S.P.R. est alors de 120 kHz). Toutefois, des essais effectués au Royaume-Uni avec une image noir et blanc à modulation positive font ressortir qu'il est possible de réduire cette valeur d'environ 5 dB. Dans le cas des normes nord-américaines de télévision, plusieurs essais de portée limitée ont permis de suggérer 40 dB pour la télévision en noir et blanc [58]. Des essais sont en cours avec la télévision couleur. Il est nécessaire de poursuivre l'étude de tous ces résultats.

Les fréquences de récurrence des impulsions de bruit causées par l'effet couronne et par le «bruit de type éclateur» peuvent différer considérablement, ce qui peut avoir une grande influence sur le degré de perturbation produit sur l'image télévisée. Bien qu'on ne dispose pas de beaucoup de renseignements à cet égard, cela pourrait entrer en ligne de compte lors de l'établissement des rapports signal sur bruit acceptables pour la réception de la télévision.

protections. These should be taken into account by national authorities when limits are being considered.

It should be borne in mind that all of these minimum signal levels are related to protection against interference from other radio signals or from natural noise. Interference from power line noise has not been considered.

With the widely differing values adopted for usable signal levels for different zones of the world, daytime and night time, the term "reasonable signal level" has to be established with regard to the factors relevant to the different levels. It is inevitable that if low levels are adopted, radio noise from power lines should be viewed in comparison with other sources of interference and the protected distance between the power line and receiver should be increased and/or the acceptable signal-to-noise ratio reduced.

2.3.4 *Required signal-to-noise ratio*

2.3.4.1 *Radio broadcasting*

No exact recommendations as to acceptable signal-to-noise ratios have yet been devised for noise from power lines. For planning purposes, the ITU recommend a wanted-to-interfering signal ratio of 30 dB. NARBA levels are based on a ratio of 26 dB.

For similar ratios, power line noise may represent somewhat less objectionable interference than does co-channel interference.

The technical literature contains results of a number of investigations of the required signal-to-noise ratio for satisfactory reception in the presence of power line noise. These are summarized in Appendix E. The required ratios for various qualities of reception from "entirely satisfactory" to "speech unintelligible" are provided. National regulatory authorities may specify the quality of reception they wish to protect. It should be borne in mind that the signal-to-noise ratio depends largely on the receiver bandwidth. The ratios given in Appendix E are based on the signal being measured on an average or r.m.s. reading meter and the noise being measured on a C.I.S.P.R. meter with a quasi-peak detector. For a.m. reception, the C.I.S.P.R. meter has a 9 kHz bandwidth. The level of an a.m. broadcast signal measured on the C.I.S.P.R. meter will be about 3 dB higher, depending on the modulation amplitude, since the quasi-peak detector produces an output which approaches the peak of the modulation envelope. This effect will, of course, not apply if the measurements are made on an unmodulated signal.

2.3.4.2 *Television broadcasting*

The required signal-to-noise ratios for television reception are less definite than those for radio. For the European television standards, 40 dB appears to be generally acceptable (the bandwidth of the C.I.S.P.R. meter being 120 kHz). However, tests carried out in the United Kingdom with a positive modulated black and white picture showed that this value could be reduced by up to about 5 dB. For the North American television standards, several limited tests have suggested 40 dB for black and white television [58]. Tests on colour television are currently being carried out. Further consideration of all these issues is required.

The repetition rates of noise pulses due to corona and to gap-type discharges may differ considerably. This may have a large influence on the degree of interference produced on a television picture. Although there is not much data available, this should be considered when establishing acceptable signal-to-noise ratios for television reception.

2.3.5 Conversion des valeurs mesurées

2.3.5.1 Lois d'atténuation

Pour des distances au plus proche conducteur de la ligne comprises entre 20 m et 100 m, le taux de l'affaiblissement latéral varie suivant les bandes de fréquences et dépend aussi de la configuration de la ligne. Les valeurs approximatives suivantes devraient donner de bons résultats:

- 0,15 MHz à 0,4 MHz, le niveau perturbateur décroît en $D^{-1,8}$
- 0,4 MHz à 1,7 MHz, le niveau perturbateur décroît en $D^{-1,65}$
- 30 MHz à 100 MHz, le niveau perturbateur décroît en $D^{-1,2}$
- 100 MHz à 300 MHz, le niveau perturbateur décroît en $D^{-1,0}$

On peut penser que le facteur 1,65 est à peu près applicable entre 1,7 MHz et 30 MHz. Pour la bande de 30 MHz à 300 MHz, les valeurs indiquées se fondent sur un petit nombre de mesures, mais il ne faut pas oublier que le mécanisme et la loi d'affaiblissement dépendent du type de la source perturbatrice, par exemple effet couronne ou bruit de type éclateur sur les accessoires.

Les niveaux perturbateurs pris à 20 m du conducteur le plus rapproché de la ligne peuvent donc être convertis pour la distance protégée à l'aide des formules suivantes:

$$0,15 \text{ MHz à } 0,4 \text{ MHz} \quad E_p = E_0 - 36 \lg \frac{D_p}{20}$$

$$0,4 \text{ MHz à } 1,7 \text{ MHz} \quad E_p = E_0 - 33 \lg \frac{D_p}{20}$$

où:

E_p est le niveau perturbateur à la distance protégée, en dB ($1 \mu\text{V/m}$)

E_0 est le niveau perturbateur à 20 m, en dB ($1 \mu\text{V/m}$)

D_p est la distance protégée (m)

Note. - De nombreuses mesures pratiquées dans la bande des fréquences moyennes ont montré qu'en moyenne, le niveau perturbateur décroît en $D^{-1,65}$ près de la ligne (voir paragraphe 4.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.). Aux distances plus grandes, cependant, certaines mesures ont fait apparaître qu'il décroît en D^{-1} . Si la distance dépasse environ 100 m, on peut donner une valeur plus précise du niveau perturbateur E_p grâce à l'expression:

$$0,4 \text{ MHz à } 1,7 \text{ MHz} \quad E_p = E_0 - 23 - 20 \lg \frac{D_p}{100} \quad D_p > 100 \text{ m}$$

Il existe une certaine incertitude quant à la valeur de la distance latérale au-delà de laquelle cette expression s'applique. Dans la plupart des cas, cependant, le niveau de bruit aux distances supérieures à 100 m sera assez faible pour ne pas affecter la réception en radiodiffusion.

2.3.5.2 Distance de mesure

Chaque fois qu'il est possible, les mesures doivent être faites à 20 m du conducteur le plus proche. Quand ce n'est pas possible, on peut utiliser les formules indiquées précédemment pour convertir les valeurs mesurées à une autre distance de la ligne en valeurs rapportées à la distance normale C.I.S.P.R. de 20 m. A titre de contrôle, on doit également faire des mesures à d'autres distances que 20 m. Dans tous les cas, il est hautement préférable de mesurer la pente de l'affaiblissement latéral plutôt que d'avoir recours aux formules de conversion (voir aussi paragraphe 1.2.3).

2.4 Méthodes de détermination de la conformité aux limites

On peut estimer le niveau approximatif perturbateur d'une ligne dû à l'effet couronne des conducteurs, à l'aide d'une formule empirique comme celle qui figure au paragraphe 2.2 de la Publication 18-3 du C.I.S.P.R., ou à l'aide du catalogue (annexe B de la Publication 18-1 du

2.3.5 Conversion of measured values

2.3.5.1 Attenuation laws

The rate of lateral attenuation of radio noise, for distances between about 20 m and 100 m from the nearest conductor of a line, varies in different frequency ranges and also depends on the configuration of the line. The following approximate values should provide satisfactory results:

- 0.15 MHz to 0.4 MHz, noise level decreases as $D^{-1.8}$
- 0.4 MHz to 1.7 MHz, noise level decreases as $D^{-1.65}$
- 30 MHz to 100 MHz, noise level decreases as $D^{-1.2}$
- 100 MHz to 300 MHz, noise level decreases as $D^{-1.0}$

Presumably the factor 1.65 is somewhat valid between 1.7 MHz and 30 MHz. The information for the 30 MHz to 300 MHz band is based on a few measurements, but it must be appreciated that the mechanism and also the attenuation law are dependent on the type of noise source, for example conductor corona or gap-type discharges at fittings.

The noise levels referred to 20 m from the nearest conductor of a line may, therefore, be corrected to the protected distance, using the following correction formulae:

$$0.15 \text{ MHz to } 0.4 \text{ MHz} \quad E_p = E_0 - 36 \lg \frac{D_p}{20}$$

$$0.4 \text{ MHz to } 1.7 \text{ MHz} \quad E_p = E_0 - 33 \lg \frac{D_p}{20}$$

where:

E_p is the radio noise level at protected distance, dB (1 μ V/m)

E_0 is the radio noise level at 20 m, dB (1 μ V/m)

D_p is the protected distance (m)

Note. - Numerous measurements in the medium frequency band have demonstrated that, on average, the noise level decreases as $D^{-1.65}$ close to the line (see Sub-clause 4.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1). For greater distances, however, some measurements have shown that it decreases as D^{-1} . For any distance greater than about 100 m, a more accurate value for the noise level E_p may be given by:

$$0.4 \text{ MHz to } 1.7 \text{ MHz} \quad E_p = E_0 - 23 - 20 \lg \frac{D_p}{100} \quad D_p > 100 \text{ m}$$

There is a degree of uncertainty as to the lateral distance beyond which this formula applies. In most cases, however, at distances beyond 100 m the noise level will be so low that broadcast reception will not be affected.

2.3.5.2 Distance of measurement

Whenever possible, measurements should be made at a distance of 20 m from the nearest conductor. When this is not possible, the above formulae may be used to convert measured values taken at other distances to the standard C.I.S.P.R. distance of 20 m. Measurements should also be taken at distances other than 20 m for verification purposes. In all cases, measured profiles of lateral attenuation are greatly preferable to the use of correction formulae (see also Sub-clause 1.2.3).

2.4 Methods of determining compliance with limits

The approximate radio noise level due to conductor corona may be predicted for a power line by use of an empirical formula, such as is presented in Sub-clause 2.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-3 or with the help of the catalogue (Appendix B of C.I.S.P.R. Publication 18-1). Reliable

C.I.S.P.R.). Il est important de faire une estimation exacte des niveaux de bruit car il n'est pas possible de faire économiquement des corrections à la conception ou à la réalisation de la ligne, une fois celle-ci installée. La ligne étant en service, il existe plusieurs procédures de mesure à partir desquelles les estimations peuvent être vérifiées. Le choix de la méthode à employer dépendra du temps disponible pour les mesures et du degré de précision exigé.

2.4.1 *Enregistrement de longue durée*

C'est la méthode la plus précise pour évaluer le niveau perturbateur produit par une ligne électrique. Elle exige toutefois du temps pour obtenir les résultats. Un poste d'enregistrement des perturbations est installé près de la ligne étudiée et des mesures sont faites en permanence pendant au moins une année. L'adéquation du lieu d'enregistrement doit être vérifiée au moyen de mesures réparties en divers points de la ligne. Les résultats sont portés sur une courbe de probabilité du type représenté à la figure 3 de la Publication 18 du C.I.S.P.R. Le niveau cherché est lu sur la courbe au point correspondant au pourcentage de temps choisi pour spécifier la perturbation.

2.4.2 *Méthode d'échantillonnage*

Il s'agit d'une méthode pratique et précise qui répond à l'esprit de la Recommandation 46/1 du C.I.S.P.R. On effectue au moins 15, mais 20 ou plus de préférence, groupes de mesures de niveaux perturbateurs en divers endroits de la ligne et pour diverses conditions météorologiques. Le choix des conditions météorologiques doit répondre plus ou moins à leur répartition dans le temps dans la région intéressant la ligne électrique. Les mesures relevées sont ensuite analysées selon les indications du paragraphe 2.3.1, pour obtenir le niveau perturbateur qui ne doit pas être dépassé pendant 50%, 80% ou 95% du temps avec un niveau de confiance de 80%, selon le critère retenu.

La méthode d'échantillonnage est décrite en détail au paragraphe 1.4, pour le cas où le critère retenu est le niveau à 80%.

2.4.3 *Méthodes par relevé*

Si le temps disponible ou toute autre raison ne permettent pas de faire appel aux méthodes précitées, on peut envisager l'alternative consistant à faire des mesures par beau temps ou sous forte pluie. Cette manière de procéder peut être appropriée quand l'effet couronne est la source perturbatrice principale et quand l'on dispose des courbes de distribution du bruit radioélectrique pour le type particulier de ligne considéré et pour l'ensemble des conditions météorologiques d'une année. Ces courbes peuvent par exemple être obtenues à partir de mesures précises effectuées antérieurement sur la même ligne ou une ligne équivalente dans des conditions climatiques semblables. On doit de préférence disposer de trois courbes de distribution, l'une pour le beau temps, l'autre pour la pluie forte et la troisième pour toute l'année. Le paragraphe 4.2.3 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. traite de la distribution statistique. A noter que les méthodes exposées dans les deux alinéas qui suivent ne s'appliquent pas aux lignes dont la tension est inférieure à 72,5 kV pour lesquelles l'effet couronne ne constitue pas la source majeure de bruit radioélectrique.

Les mesures de beau temps doivent être effectuées en différents endroits de la ligne et à des moments différents. Le niveau «beau temps» à 50% est déduit des résultats et utilisé comme référence pour l'ensemble de courbes précitées, à partir duquel on peut estimer le niveau «tous temps» à 80%. Le succès de cette méthode dépend de la fiabilité des courbes de distribution. En général, la valeur du niveau 80% «tous temps» est supérieure de 5 dB à 15 dB à la valeur du niveau 50% «beau temps», selon le climat.

Comme le niveau perturbateur dû à l'effet couronne est relativement stable et reproductible sous forte pluie, il n'est pas nécessaire de prendre des points de mesure échelonnés dans le temps. Il faut aussi effectuer des mesures par mauvais temps à différents endroits de la ligne. Le niveau 50% sous forte pluie continue est déduit du résultat des mesures et est utilisé comme

prediction of noise levels is important as no corrections of line design or construction can economically be made after the line has been built. Once the line is in service, there are several alternative measurement procedures by which this predicted level may be verified. The choice of method will depend on the length of time available for the measurements and on the degree of accuracy required.

2.4.1 *Long-term recording*

This is the most precise method for evaluating the noise level produced by a power line but it takes a long time to obtain the results. A noise-recording station is set up close to the power line under investigation and continuous measurements are made for at least one year. The suitability of the recording site must be checked by means of measurements at various points along the line. The results are plotted on a probability graph of the type shown in Figure 3 of Publication 18-1. At the percentage of time that has been selected for specifying the noise, the level is read from the graph.

2.4.2 *Sampling method*

This is a practical and accurate method that follows the spirit of C.I.S.P.R. Recommendation 46/1. At least 15 or preferably 20 or more individual sets of measurements of noise level are carried out at various locations along the line and under various weather conditions. The selection of different weather conditions should be more or less in proportion to the percentage of time each weather condition exists in the area of the power line. These measurements are then analyzed to give the noise level that will not be exceeded for 50%, 80%, or 95% of the time, with an 80% confidence, according to the chosen criterion (see Sub-clause 2.3.1).

The sampling method is fully described in Sub-clause 1.4 for the case where the chosen criterion is the 80% level.

2.4.3 *Survey methods*

If time or any other reason does not allow either of the above methods to be used, the alternative of making measurements in fair weather or heavy rain may be considered. This can be adequate when conductor corona is the main noise source and when the radio noise distribution curves for the particular type of line for the all-year-round weather conditions are available. These curves could, for instance, have been obtained from previous accurate measurements on the actual or on the same type of line under similar climatic conditions. Preferably three distribution curves should be available; (1) under fair weather conditions, (2) under heavy rain and (3) under all-year-round weather conditions. Statistical distributions are discussed in Sub-clause 4.2.3 of C.I.S.P.R. Publication 18-1. It should be noted that the methods outlined in the two following paragraphs do not apply to lines below 72.5 kV where conductor corona is not the major source of radio noise.

Fair-weather measurements have to be made at various locations along the line and at different times. From the results, the 50% fair-weather level is deduced and used as a reference in the set of curves mentioned above. From the curves the all-weather 80% value can then be assessed. The success of this method is dependent on the reliability of the distribution curves. In general the 80% all-weather value is from 5 dB to 15 dB higher than the 50% fair-weather value, depending on the climate.

Since the radio noise level due to conductor corona is relatively stable and reproducible during heavy rain, these measurements are not required to be taken at separate times. Foul-weather measurements should also be made at various locations along the line. The 50% steady, heavy, rain level is deduced from the results of the measurements and used as a

référence pour l'ensemble de courbes de distribution afin d'estimer le niveau 80% «tous temps». Là encore, le succès de la méthode dépend de la fiabilité accordée aux courbes de distribution, bien qu'il semble que l'estimation de la valeur 80% «tous temps» à partir des mesures sous forte pluie soit plus fiable que celle qui est faite à partir des mesures effectuées par beau temps. Généralement, le niveau 80% «tous temps» est inférieur d'environ 5 dB à 12 dB au niveau sous forte pluie continue à 50%.

2.4.4 *Utilisation d'un autre critère pour définir le niveau de bruit acceptable*

Comme il a été mentionné au paragraphe 2.2, on peut utiliser d'autres critères pour définir le niveau de bruit acceptable. Si, par exemple, on choisit d'utiliser le «niveau moyen par beau temps», il faut effectuer les mesures dans des conditions typiques de beau temps. Il faut faire au moins trois mesures en trois endroits différents de la ligne. Si l'on dispose de temps, on doit recommencer un autre jour. On admettra que la moyenne de tous ces résultats de mesure représente le niveau perturbateur moyen de la ligne par beau temps.

2.5 *Exemples d'établissement des valeurs limites*

2.5.1 *Réception en radiodiffusion*

On donne ici des exemples de calculs de limites établies d'après les hypothèses exposées dans les paragraphes précédents. Il est possible de faire des hypothèses différentes sur le niveau de signal, le rapport signal sur bruit et la distance à la ligne, pour calculer les limites. Inversement, il est possible de calculer la distance minimale acceptable pour recevoir de façon satisfaisante un signal de niveau donné en présence d'un niveau perturbateur donné.

Il faut garder présent à l'esprit que les valeurs indiquées pour les lois d'affaiblissement latéral sont des valeurs moyennes qui dépendent de facteurs relatifs à l'implantation de la ligne et aux conditions locales. Elles peuvent varier avec la distance d'éloignement de la ligne et ne doivent pas être utilisées beaucoup plus loin qu'il n'est admis dans ce paragraphe.

Il faut, en outre, se souvenir que le niveau perturbateur est généralement mesuré à la fréquence de 0,5 MHz. Si un signal, correspondant à une fréquence de radiodiffusion spécifiée, doit être protégé, la valeur mesurée du bruit doit être corrigée pour cette fréquence conformément au paragraphe 4.2.1 et aux indications de la figure B12 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. A 1 MHz, par exemple, le niveau perturbateur sera de 5 dB à 6 dB inférieur au niveau à 0,5 MHz.

2.5.1.1 *Principe*

La définition des limites des perturbations radio fait intervenir quatre paramètres (voir figure 11, page 80):

- le niveau minimal du signal à protéger;
- la valeur minimale du rapport signal sur bruit;
- le niveau de bruit de référence à 20 m du conducteur le plus proche, dans les conditions atmosphériques spécifiées;
- la «distance protégée», c'est-à-dire la valeur minimale de la distance à la ligne pour laquelle le signal peut être reçu de manière satisfaisante.

L'un quelconque de ces paramètres peut être déduit de la donnée des trois autres, ainsi que les deux exemples suivants l'illustrent.

2.5.1.2 *Exemple 1*

Si l'on connaît la valeur du niveau de bruit à 20 m du conducteur le plus proche, le niveau du signal protégé et le rapport signal sur bruit requis, on peut calculer la distance protégée correspondant à une réception radio satisfaisante en grandes ondes et en ondes moyennes, grâce à la formule donnée dans l'annexe F.

reference in the set of distribution curves to assess the 80% all-weather level. Here also the success of the method is dependent on the reliability of the distribution curves, although it is considered that the assessment of the 80% all-weather value from the heavy-rain measurements is more reliable than the assessment from the fair-weather measurements. In general, the 80% all-weather level is about 5 dB to 12 dB lower than the 50% steady, heavy, rain level.

2.4.4 *Alternative criterion for acceptable noise level*

One of the alternative criteria for acceptable noise levels, as discussed in Sub-clause 2.2, may be used. If, for example, the average fair-weather noise level is chosen, then a series of measurements should be carried out during typical fair weather conditions. At least three measurements should be carried out at three different locations along the line. If time permits, this should be repeated on another day. The average of all the measurement values will be considered to represent the average fair-weather noise level of the line.

2.5 *Examples for derivation of limits*

2.5.1 *Radio reception*

Examples of the calculation of limits are given below based on the assumptions discussed in the preceding sub-clauses. Limits could also be calculated for different assumptions in respect of signal level, signal-to-noise ratio and distance from a power line. Conversely, for a given level of noise, the minimum acceptable distance, for satisfactory reception of a given signal strength, could be calculated.

It should be borne in mind that the lateral attenuation laws quoted are average values. They depend on factors relating to both line design and local conditions. They may change with distance and should not be used for distances materially beyond those assumed in this sub-clause.

Furthermore, it should be remembered that radio-noise is generally measured at a frequency of 0.5 MHz. If a signal at a specified broadcast frequency is to be protected, the measured values should be corrected for the given frequency according to Sub-clause 4.2.1 and Figure B 12 of C.I.S.P.R. Publication 18-1. For example, at 1 MHz, the noise level would be about 5 dB to 6 dB lower.

2.5.1.1 *Principle*

There are four parameters involved in the specification of radio noise limits (see Figure 11, page 80):

- the minimum signal level to be protected;
- the minimum acceptable signal-to-noise ratio;
- the reference noise level, 20 m from the nearest conductor, during prescribed weather conditions;
- the "protected distance", that is, the minimum distance from the line at which the signal can be satisfactorily received.

If any three of these parameters are specified, the fourth can be determined. Two examples will demonstrate this.

2.5.1.2 *Example 1*

If the value of the noise level at 20 m from the nearest conductor, the protected signal level and the required signal-to-noise ratio are all known, the protected distance from the power line for satisfactory radio reception in the low and medium frequency bands may be calculated from the formula given in Appendix F.

En ondes moyennes, cette formule est exacte jusqu'à une distance d'environ 100 m.

Supposons, par exemple, que l'on veuille calculer, pour une ligne donnée, la distance à partir de laquelle un signal de 72 dB (1 µV/m) de fréquence 1 MHz peut être reçu avec un rapport signal sur bruit de 35 dB. Le bruit de la ligne, mesuré par la méthode C.I.S.P.R. normale, est de 50 dB (1 µV/m). Le calcul se déroule de la manière suivante:

Niveau du signal protégé à la fréquence de 1 MHz	$S_p = 72 \text{ dB (1 } \mu\text{V/m)}$
Rapport signal sur bruit requis	$R_p = 35 \text{ dB}$
Niveau de bruit admissible à la distance protégée de la ligne	$N_p = S_p - R_p$ $N_p = 37 \text{ dB (1 } \mu\text{V/m)}$
Niveau de bruit mesuré à 20 m du conducteur le plus proche et à 0,5 MHz	50 dB (1 µV/m)
Niveau de bruit à 1 MHz (La correction de 6 dB est lue sur la figure B12 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.)	$E_0 = 50 - 6 = 44 \text{ dB (1 } \mu\text{V/m)}$

Distance protégée $D_p = 10^{\left(\frac{44 + 35 - 72}{33} + 1,3\right)}$

Soit: $D_p = 32 \text{ m}$ par rapport au conducteur le plus proche.

2.5.1.3 Exemple 2

Dans ce deuxième exemple, il faut protéger un signal radiodiffusé à 1 MHz, de niveau 65 dB (1 µV/m), avec un rapport signal sur bruit de 30 dB, pour toutes les distances à la ligne supérieures à 100 m. On calcule le niveau de bruit de référence admissible à 20 m de la façon suivante:

Niveau du signal protégé à la fréquence de 1 MHz	65 dB (1 µV/m)
Niveau de bruit admissible à la distance protégée de la ligne	$65 - 30 = 35 \text{ dB (1 } \mu\text{V/m)}$
Atténuation de 20 m à 100 m	$33 \lg \frac{100}{20} = 23 \text{ dB}$
Niveau de bruit de référence admissible à 20 m à la fréquence de 1 MHz	$35 + 23 = 58 \text{ dB (1 } \mu\text{V/m)}$
Soit: niveau de bruit de référence admissible à la fréquence C.I.S.P.R. (0,5 MHz) (La correction de 6 dB est lue sur la figure B12 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.)	$58 + 6 = 64 \text{ dB (1 } \mu\text{V/m)}$

2.5.2 Réception en télévision, 47 MHz à 230 MHz

La question demeure à l'étude car on ne dispose pas actuellement de renseignements suffisants pour présenter des exemples significatifs.

2.6 Remarques additionnelles

Jusqu'à présent, la plupart des essais sur le terrain ont été effectués dans les bandes à ondes kilométriques et hectométriques. En conséquence, il convient de tenir toute donnée concernant la bande des VHF comme préliminaire et de n'en pas tirer des conclusions majeures. La question demeure à l'étude dans son ensemble.

Si les limites se fondent sur les niveaux de bruit mesurés puis évalués statistiquement selon les indications du paragraphe 1.4, ils représentent aussi des valeurs statistiques qui ne sont pas dépassées pendant 80% du temps. Pour le bruit d'origine couronne, il convient de remarquer que ces valeurs sont notablement plus élevées que les niveaux moyens observés par beau temps. Il faut tenir compte de ce fait pour comparer ces valeurs avec les normes que divers pays ont spécifiées comme conditions types de beau temps.

In the m.f. band, this formula is accurate for distances up to about 100 m.

As an example, the distance from a given power line at which a signal of 72 dB (1 μ V/m) at 1 MHz may be received with a signal-to-noise ratio of 35 dB is required. The line noise measured by the standard C.I.S.P.R. method is found to be 50 dB (1 μ V/m). The following calculation is made:

Protected signal level at 1 MHz	$S_p = 72$ dB (1 μ V/m)
Required signal-to-noise ratio	$R_p = 35$ dB
Acceptable noise level at protected distance from line	$N_p = S_p - R_p$ $N_p = 37$ dB (1 μ V/m)
Measured noise level 20 m from nearest conductor at 0.5 MHz	50 dB (1 μ V/m)
Noise level at 1 MHz (The 6 dB correction comes from Figure B12 of C.I.S.P.R. Publication 18-1.)	$E_0 = 50 - 6 = 44$ dB (1 μ V/m)

Protected distance

$$D_p = 10^{\left(\frac{44 + 35 - 72}{33} + 1.3\right)}$$

Therefore $D_p = 32$ m from nearest conductor.

2.5.1.3 Example 2

In this second example a broadcast signal at 1 MHz, 65 dB (1 μ V/m), is to be protected with a signal-to-noise ratio of 30 dB at distances greater than 100 m from the power line. The acceptable reference noise level at 20 m is calculated as follows:

Protected signal level at 1 MHz	65 dB (1 μ V/m)
Acceptable noise level at protected distance from line	$65 - 30 = 35$ dB (1 μ V/m)
Attenuation from 20 m to 100 m	$33 \lg \frac{100}{20} = 23$ dB
Acceptable reference noise level at 20 m from nearest conductor, at 1 MHz	$35 + 23 = 58$ dB (1 μ V/m)
Therefore, acceptable reference noise level at C.I.S.P.R. reference frequency (0.5 MHz) (The 6 dB correction comes from Figure B12 of C.I.S.P.R. Publication 18-1.)	$58 + 6 = 64$ dB (1 μ V/m)

2.5.2 Television reception, 47 MHz to 230 MHz

This is under consideration. Insufficient information is presently available to permit presentation of meaningful examples.

2.6 Additional remarks

Most field tests to date have been carried out in the low and medium frequency bands. Therefore, any data presented on the v.h.f. band should be considered as provisional and major conclusions should not be based on it. This whole subject is still under consideration.

If limits are based on noise levels measured and statistically evaluated in accordance with Sub-clause 1.4, they also represent statistical values not exceeded for 80% of the time. For conductor corona noise it should be noted that these values are significantly higher than average fair-weather levels. This factor should be taken into account when these values are compared with standards for typical fair-weather conditions laid down in various countries.

Comme dans le cas d'autres sources de perturbation éventuelles pour lesquelles le C.I.S.P.R. a établi des limites, les exemples présentés ici se fondent sur des prescriptions de protection de la réception intéressant la grande majorité des auditeurs ou des téléspectateurs, dans des conditions prévalant la plus grande partie du temps et pour la majorité des lieux de réception. Ces valeurs ne sauraient tenir compte des quelques cas exceptionnels où interviennent un certain nombre de facteurs défavorables.

L'expérience a montré que des niveaux de bruit acceptables dans cet article peuvent être observés avec des lignes de conception et de construction appropriées et convenablement entretenues. On trouve certainement des niveaux considérablement plus faibles sur de nombreuses lignes en exploitation pour lesquelles des prescriptions autres que la protection radioélectrique ont conduit à des réalisations faisant appel à des conducteurs de section plus forte (avec une capacité de débit accrue). On estime que la méthode d'établissement des valeurs limites préconisée dans cet article représente une bonne pratique technique et qu'elle peut servir de base pour établir de telles limites.

2.7 *Considérations techniques pour l'établissement de limites pour les matériels de ligne et de poste*

Dans la gamme des ondes longues et moyennes, le principe suivi pour établir des limites aux tensions perturbatrices des isolateurs et accessoires de ligne ainsi que des postes et de leurs accessoires, est que leur contribution au niveau total de bruit d'une ligne de transport doit être négligeable. Cela s'applique aux lignes à courant alternatif dont les conducteurs présentent un gradient de surface égal ou supérieur à 12–14 kV/cm environ. Ce principe suppose qu'une coordination soit établie entre les perturbations produites, d'une part, par les isolateurs et les accessoires et d'autre part, par l'effet couronne des conducteurs de ligne. Pour les autres lignes à courant alternatif dont le gradient de surface est inférieur, le niveau perturbateur du matériel de ligne doit être au moins aussi bas que celui des matériels utilisés sur des lignes dont le gradient de surface est d'environ 12 kV/cm. Ce principe s'applique aux lignes à courant continu sans qu'on puisse indiquer de valeurs du gradient de surface car la relation entre le bruit causé par l'effet couronne des conducteurs et celui qui est engendré par les isolateurs et les appareils n'est pas connue avec certitude (voir paragraphe 8.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.), le bruit de couronne étant plus élevé par temps sec que par temps humide. Le paragraphe 1.3 expose la méthode adoptée par le C.I.S.P.R. pour les mesures de perturbations radioélectriques effectuées en laboratoire. Le paragraphe 6.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. établit la corrélation entre la tension perturbatrice, due à une source quelconque, et mesurée en microvolts dans le circuit d'essai C.I.S.P.R. (paragraphe 1.3) et le champ perturbateur du site exprimé en microvolts par mètre et mesuré conformément à la méthode exposée au paragraphe 1.3.

Aux fréquences supérieures à quelques mégahertz, la corrélation entre la tension perturbatrice et le champ correspondant ne s'applique plus comme indiqué au paragraphe 6.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. Il en résulte qu'il n'est actuellement pas possible de définir les principes pour l'établissement de limites au-delà de la gamme des ondes moyennes.

Près des postes, le champ perturbateur engendré par des sources internes au poste peut résulter de l'agrégation du champ directement rayonné et du champ propagé par les courants injectés dans les lignes aériennes arrivant au poste. On ne dispose pas, pour l'instant, de données suffisantes sur la composante rayonnée et, par suite, on ne traitera que des courants injectés. La coordination entre les courants de bruit injectés et les courants produits par l'effet couronne des lignes s'applique aussi dans ce cas.

2.7.1 *Courant injecté par les composants et les accessoires de ligne*

Pour estimer l'influence relative des isolateurs et des conducteurs, il suffit de comparer le courant engendré par une chaîne équipée complète avec le courant total I_L engendré par une portée monophasée du conducteur de la ligne. Si le courant produit par la chaîne équipée est inférieur à I_L , sa contribution au champ total perturbateur de la ligne est faible; si ce courant est

As in the case of other sources of possible interference for which C.I.S.P.R. limits exist, examples of limits presented here are based on the requirements for the protection of reception for the large majority of listeners or viewers under conditions prevailing at the majority of sites during most of the time. Such values cannot cater for the few exceptional cases where a number of unfavourable factors coincide.

Practice has shown that acceptable noise levels in this clause can be met with well-maintained power lines of adequate design and construction. Indeed, considerably lower levels are found on many operational lines where requirements other than radio noise lead to designs with larger conductor sizes (for example high current-carrying capacity). It is considered that the methods of deriving limits indicated in this clause represent good engineering practice and could serve as the basis for establishing such limits.

2.7 *Technical considerations for derivation of limits for line equipment and substations*

The principle for establishing limits of radio noise voltage for line insulators and fittings and substation plant and fittings in the l.f. and m.f. bands shall be that their contribution to the aggregate noise level of a transmission line is negligible. This is applicable to a.c. lines whose conductors are subjected to surface gradients of about 12–14 kV/cm or higher. This principle pre-supposes coordination between noise produced by insulators and fittings on the one hand and noise produced by line conductor corona on the other hand. For other a.c. lines, with a lower surface gradient, the noise voltage for line equipment shall be at least as low as the noise voltage for equipment used on lines with a surface gradient of about 12 kV/cm. This principle is applicable to d.c. lines but no figures of gradient are quoted as the relationship between conductor corona noise and noise produced by insulators and fittings is not well established (see Sub-clause 8.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1) the corona noise being higher in dry weather and lower in wet weather. Sub-clause 1.3 describes the C.I.S.P.R. method of radio noise measurement in the laboratory. Sub-clause 6.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 gives the correlation between the radio noise voltage measured in microvolts, in the C.I.S.P.R. test circuit, due to any noise source (Sub-clause 1.3) and the radio noise field on site, in microvolts per metre, measured in accordance with the method described in Sub-clause 1.3.

For frequencies above a few megahertz, the correlations between the radio noise voltage and the corresponding radio noise field given in Sub-clause 6.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 do not apply. This means that no principle for establishing limits for frequencies above the m.f. band can be laid down at present.

The radio noise field near a substation, generated by noise sources within the substation, may be the aggregation of the direct radiated field and the guided field due to currents injected into an overhead line serving the substation. At present, insufficient data are available on the radiated component and therefore only the injected currents will be discussed. Coordination between the injected noise currents and the currents produced by line conductor corona applies in this case also.

2.7.1 *Current injected by line components and fittings*

To evaluate the relative influence of insulators and conductors, it is sufficient to compare the current generated by a complete insulator set with the aggregate current I_L generated by a span of one phase conductor of the line. If the current generated by the insulator set is less than I_L , its contribution to the aggregate noise field of the line will be small; if it is equal to I_L , the increase

égal à I_L , l'accroissement de niveau dû aux isolateurs atteint 3 dB environ; au-delà de I_L , le champ perturbateur de la ligne sera déterminé principalement par l'influence des isolateurs.

Si on spécifie $I_L/3$, soit 10 dB en-dessous du courant I_L , pour la limite du courant dû à l'ensemble isolateur, l'accroissement du champ total de bruit sera d'environ 0,5 dB, accroissement qui ne peut pratiquement pas être mesuré.

En plus des chaînes équipées, il faut tenir compte d'autres composants et accessoires comme les entretoises, les amortisseurs de vibration et les dispositifs de signalisation pour la navigation aérienne. Si l'on a N composants ou accessoires appartenant à l'un de ces types par portée, le niveau perturbateur par pièce d'équipement ne doit pas être supérieur à $1/\sqrt{N}$ fois le niveau engendré par une chaîne d'isolateurs.

L'expérience montre que, par portée, le courant total perturbateur de tous ces composants et accessoires se détermine par sommation quadratique des courants mesurés individuellement.

2.7.2 Courant injecté par le matériel de poste

Ainsi qu'il a été indiqué au paragraphe 6.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R., on considère le matériel comme constituant un générateur de courant perturbateur. Le problème revient à étudier la propagation, le long de la ligne, du courant injecté, c'est-à-dire l'affaiblissement et la distorsion du champ électromagnétique guidé, associé à ce courant. Dans ce but, on a recours à l'analyse modale.

Normalement, plusieurs lignes aboutissent à un poste et chacune d'elles comporte un ou plusieurs circuits. Pour déterminer le courant injecté dans un de ces circuits, il est nécessaire de connaître non seulement l'impédance de tous les circuits mais aussi celle du matériel du poste, composé de barres, de dispositifs de mesure, de transformateurs, de condensateurs, de câbles, etc., cette impédance étant celle qui est vue par l'appareillage jouant le rôle de source de courant. On peut alors calculer le courant dans le circuit considéré.

Dans le cas le plus défavorable, on peut supposer que l'impédance du matériel du poste est infinie. Ainsi, pour N appareils qui produisent chacun une valeur égale I_0 de courant perturbateur et pour n circuits quittant le poste, le courant injecté dans un circuit est:

$$I = I_0 \frac{\sqrt{N}}{n}$$

Il est évident que le cas d'un poste raccordé à un seul circuit est le plus défavorable.

Si le courant calculé de cette manière est égal à la valeur du courant engendré par l'effet couronne sur les conducteurs de la ligne, l'accroissement du champ perturbateur au niveau du pylône terminal du poste est d'environ 3 dB. Cependant, 1 ou 2 km plus loin, le courant perturbateur supplémentaire et, par suite, l'accroissement du champ, deviennent négligeables.

2.7.3 Détermination pratique des limites pour les ondes longues et moyennes

a) Composants et accessoires de ligne

La procédure rigoureuse est la suivante: partant de la courbe de la fonction excitatrice et de la matrice des capacités de la ligne (voir paragraphe 5.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.), on calcule le courant injecté I par unité de longueur d'un conducteur de phase. Pour passer de ce courant élémentaire I au courant total engendré par une portée de ligne de longueur L , on applique la loi de sommation quadratique:

$$I_L = I\sqrt{L}$$

Lorsqu'on compare le courant engendré par une chaîne d'isolateurs complète avec le courant cumulé I_L , il est conseillé de prendre une marge de 10 dB pour s'assurer que

in level due to the insulators will be approximately 3 dB; if it is greater than I_L , the noise field of the line will be determined mainly by the effect of the insulators.

If the limit of the current of the insulator set is specified as $I_L/3$, that is 10 dB below the current I_L , the increase in the aggregate noise field will be about 0.5 dB. This increase is too small to be measured in practice.

In addition to insulator sets, other components and fittings such as spacers, vibration dampers and aircraft warning devices have to be considered. If for any one of these types of component or fitting there are N items per span the radio noise level per item should not be greater than $1/\sqrt{N}$ times the level for an insulator set.

The aggregate radio noise current per span from all these components and fittings should, according to experience, be determined by quadratic summation of the individually measured currents.

2.7.2 *Current injected by substation equipment*

The equipment is considered as a generator of radio noise current, as indicated in Sub-clause 6.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1. The problem consists in studying the propagation of the injected current along the line, that is, the attenuation and distortion of the guided electromagnetic field associated with this current. To do this, modal analysis is employed.

A substation normally has more than one associated line each with one or more circuits. For determination of the current injected into one of the circuits, it is necessary to know not only the impedance of all circuits but also the impedance of the substation equipment, consisting of busbars, measuring devices, transformers, capacitors, cables, etc., as seen from the apparatus acting as a current source. The current in the circuit under consideration can then be calculated.

For the worst case, the impedance of the substation equipment could be assumed to be infinite. Then for N pieces of apparatus, each producing the same value of noise current I_0 , and for n outgoing circuits, the current injected into a circuit is

$$I = I_0 \frac{\sqrt{N}}{n}$$

Clearly the case of a substation with only one circuit is the most unfavourable.

If the current calculated in this way is equal to the value of the current produced by line conductor corona, the increase in the radio noise field at the substation terminal tower will be approximately 3 dB but after 1 or 2 km the additional noise current, and consequently the increase in the field, will be insignificant.

2.7.3 *Practical derivation of limits in the l.f. and m.f. bands*

a) *Line components and fittings*

The rigorous procedure is as follows: starting from the graph of the excitation function and the matrix of the line capacitances (see Sub-clause 5.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1), the current I injected per unit length of a phase conductor is calculated. To pass from this elemental current I to the aggregate current, generated by a span of length L , the law of quadratic summation is applied:

$$I_L = I \sqrt{L}$$

When comparing the current generated by a complete insulator set with the aggregate current I_L , it is advisable to include a margin of 10 dB in order to ensure a negligible increase in

l'augmentation du champ perturbateur total sera négligeable. On doit alors retenir, pour le courant perturbateur des isolateurs, la valeur maximale obtenue dans la plage des conditions climatiques de la région où la ligne envisagée sera installée.

Pour les applications pratiques, on peut cependant déduire une relation simple de la formule (6) donnée au paragraphe 6.2.1.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. Le courant I engendré par une seule chaîne ne doit pas dépasser la valeur donnée par:

$$I = E - 27 - K_1$$

où:

I est exprimé en dB (1 μ A)

E est la valeur admissible du champ perturbateur dans des conditions climatiques de référence exprimée en dB (1 μ V/m), prise à 20 m de distance du conducteur de ligne le plus proche

K_1 est la différence, exprimée en décibels, entre le niveau perturbateur par effet couronne dans les conditions climatiques de référence et celui correspondant aux conditions climatiques pour lesquelles le niveau perturbateur des isolateurs est maximal

Cette expression tient compte de la marge de 10 dB mentionnée plus haut.

b) Appareillage et accessoires de poste

Le courant total I injecté en ligne par un poste ne doit pas dépasser la valeur donnée par:

$$I = E - 12 - K_2$$

où:

I est exprimé en dB (1 μ A)

E est la valeur admissible du champ perturbateur dans les conditions climatiques de référence exprimée en dB (1 μ V/m), prise à 20 m de distance du conducteur de ligne le plus proche et tirée de l'exemple correspondant du paragraphe 2.5

K_2 est la différence, exprimée en décibels, entre le niveau perturbateur par effet couronne dans les conditions climatiques de référence et celui correspondant aux conditions climatiques pour lesquelles le niveau perturbateur du poste est maximal

Cette formule est dérivée de la formule (4) du paragraphe 6.2.1.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. pour une hauteur h du conducteur de 15 m et une profondeur P_g de pénétration dans le sol de 7 m. Aucune marge n'a été prise.

Il y a en général une désadaptation d'impédance au point de raccordement d'une ligne avec les jeux de barres d'un poste. Il peut en résulter des ondes stationnaires de champ perturbateur sur les premiers kilomètres de la ligne, conduisant à des variations allant jusqu'à ± 6 dB à proximité du poste. Il n'est pas tenu compte de ce phénomène dans l'expression ci-dessus.

Notes 1. - Ces limites sont obtenues à partir de la valeur admissible du champ perturbateur d'une ligne.

2. - La principale difficulté pour mettre ce principe en application pratique est de simuler en laboratoire les conditions de service pour les objets essayés. Comme l'indique le paragraphe 6.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R., il n'existe pas actuellement d'accord sur une procédure permettant de simuler en laboratoire les conditions de service les plus courantes et la question demeure à l'étude. En attendant, il est proposé d'effectuer les mesures sur le matériel soumis à des conditions très voisines de celles du service.

3. - Les limites concernant les éléments individuels des installations, par exemple les sectionneurs, les disjoncteurs, etc., ne peuvent être indiquées dans cette publication car elles relèvent des attributions d'autres organismes. Toutefois, l'effet dû à ces éléments individuels, une fois placés dans leurs conditions de service, devra se conformer aux limites précitées.

the aggregate level of the noise field. The value of insulator noise current used in the comparison should be the maximum obtained under the normal range of weather conditions for the area over which the proposed line will run.

For practical purposes, a simple relationship can be derived from the formula (6) given in Sub-clause 6.2.1.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1. The current I from a single insulator set should not exceed the value given by:

$$I = E - 27 - K_1$$

where:

I is in dB (1 μ A)

E is the permissible radio noise field strength during reference weather conditions, in dB (1 μ V/m), at a distance of 20 m from the nearest conductor of the line

K_1 is the difference in decibels between the conductor corona noise level in the reference weather conditions and that in weather conditions in which the maximum insulator noise level is generated

The formula includes the above-mentioned margin of 10 dB.

b) Substation plant and fittings

The total current I injected into a line by a substation should not exceed the value given by:

$$I = E - 12 - K_2$$

where:

I is in dB (1 μ A)

E is the permissible radio noise field strength during reference weather conditions, in dB (1 μ V/m), at a distance of 20 m from the nearest conductor of the line, derived from the relevant example in Sub-clause 2.5

K_2 is the difference in decibels between the conductor corona noise level in the reference weather conditions and that in weather conditions in which the maximum substation noise level is generated

This formula is derived from formula (4) given in Sub-clause 6.2.1.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 for a conductor height h of 15 m and a depth of penetration into the ground P_g of 7 m. No provision has been made for a margin.

At the junction between a line and substation busbars there will usually be an impedance mismatch. This may create standing waves of radio noise on the first few kilometres of the line resulting in a variation of up to ± 6 dB close to the substation. This is not taken into account in the formulae given above.

Notes 1. – These limits are derived from the permissible radio noise field strength for a line.

2. – The main difficulty in the practical application of this principle is to simulate the service conditions for the test objects in the laboratory. As mentioned in Sub-clause 6.3 of C.I.S.P.R. Publication 18-1, there is at present no agreed procedure for simulating in the laboratory the more common service conditions but the matter is under consideration. Meanwhile, it is proposed that measurements should be made on equipment in a situation closely related to service conditions.
3. – Limits for individual items of plant, for example switch disconnectors, circuit breakers, etc., cannot be specified in this publication as these items are the responsibility of other bodies. However, the effect of these individual items, when in their service environment, must be in accordance with the limits discussed above.

- Page blanche -

- Blank page -

BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES

(Suite de la bibliographie de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.)

BIBLIOGRAPHY AND REFERENCES

(Continuation of the bibliography of C.I.S.P.R. Publication 18-1)

- [56] D. Riviere, R. Parraud, C. Gary, M. Moreau, D. Khoutova, J. Vokalek: *The Influence of Ambient Conditions on the Interference Level of Insulator Strings*, CIGRÉ Report 36.04, 1972.
- [57] P. D. Bernardelli, R. Cortina, M. Sforzini: *Laboratory Investigation on the Radio Interference Performance of Insulators in Different Ambient Conditions*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-92, January/February 1973, pp. 14-24.
- [58] *Radio Noise Design Guide for High Voltage Transmission Lines*, IEEE Committee Report, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-90, March/April 1971, pp. 833-842.
- [59] Y. Sawada, T. Sugimoto, M. Ushirozawa: *Radio Noise and Corona Loss of 500 kV Power Transmission Line and Substation*, CRIEPI Report No. 7 (Japanese), Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Japan, June 1970.
- [60] IEEE Tutorial Course (1976): *The Location, Correction and Prevention of ri and tvi Sources from Overhead Power Lines*.
- [61] CCIR XIV Plenary Assembly, Kyoto 1978, vol. VIII *Recommendation 560*, vol. XI Recommendations 417-2, 418-3.
- [62] International Telecommunication Union: *Radio Regulations*, 1982.
- [63] International Telecommunication Union: *Final Acts of the Regional Administrative L.F./M.F. Broadcasting Conference*, Geneva, 1975.
- [64] North American Regional Broadcasting Agreement, 1950. Annex 2, Appendix B.
- [65] *FCC Rules and Regulations*, United States Government, Sections 73.683, 73.684.
- [66] Department of Communications, Government of Canada, Broadcast Procedure No. 5: *Protection and Coverage Rules for V.H.F. Television Allocations in Canada*.
- [67] C.I.S.P.R. Recommendation 46/1: *Significance of C.I.S.P.R. Limits* C.I.S.P.R. Publication 16.
-

ANNEXE A

APPAREILS DE MESURE DE PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES
NON CONFORMES AUX APPAREILS NORMALISÉS PAR LE C.I.S.P.R.

En plus des appareils de mesure spécifiés par la Publication 16 du C.I.S.P.R. qui institue les appareils de référence pour déterminer la conformité aux limites du C.I.S.P.R. dans la plage de fréquences 0,15 MHz à 300 MHz, on peut employer d'autres types d'instruments adaptés à la mesure des perturbations radioélectriques dues aux lignes d'énergie et aux équipements à haute tension.

Aux Etats-Unis et au Canada, les instruments normalisés par l'ANSI (American National Standards Institute) comportant des détecteurs de quasi-crête avec une constance de temps de charge de 1 ms et une constante de temps de décharge de 600 ms sont généralement employés en dessous de 30 MHz. Au-dessus de 30 MHz, les constantes de temps C.I.S.P.R. et ANSI sont pratiquement les mêmes. En dessous de 30 MHz, l'instrument ANSI indique généralement à une fréquence donnée 1 dB ou 2 dB de plus que l'instrument C.I.S.P.R. pour la mesure d'un bruit produit par l'effet couronne. L'ANSI étudie actuellement de nouvelles normes qui reprendront les spécifications du C.I.S.P.R. pour les détecteurs de quasi-crête.

La Publication 16 du C.I.S.P.R. spécifie des appareils de mesure n'utilisant pas de détecteur de quasi-crête, mais des détecteurs de valeur efficace, de valeur moyenne et de crête. Ces instruments ne doivent être utilisés pour les mesures normalisées que lorsque la conversion aux valeurs de quasi-crête est possible. Bien que la Publication 16 du C.I.S.P.R. indique les facteurs de conversion aux valeurs de quasi-crête pour des impulsions répétées périodiquement, ces facteurs ne s'appliquent pas au bruit d'effet couronne, qui se présente sous forme d'impulsions regroupées en «paquets» (voir paragraphe 1.1.1).

APPENDIX A

RADIO INTERFERENCE MEASURING APPARATUS DIFFERING
FROM THE C.I.S.P.R. BASIC STANDARD INSTRUMENTS

In addition to the instruments specified in C.I.S.P.R. Publication 16, which are the basic reference instruments for determining compliance with C.I.S.P.R. limits in the frequency range 0.15 MHz to 300 MHz, there are instruments of other types used for radio noise measurements on power lines and high-voltage equipment.

In the United States and Canada, ANSI (American National Standards Institute) standard instruments which have quasi-peak detectors with a charge time constant of 1 ms and a discharge time constant of 600 ms have been generally used below 30 MHz. Above 30 MHz the C.I.S.P.R. and ANSI time constants are practically the same. At a given frequency below 30 MHz the ANSI meter usually reads 1 dB or 2 dB higher than the C.I.S.P.R. meter when measuring corona noise. New ANSI standards under consideration incorporate the C.I.S.P.R. specifications for the quasi-peak detectors.

Instruments with detectors other than quasi-peak which include r.m.s., average and peak detectors are specified in C.I.S.P.R. Publication 16. These instruments should be used for standard measurements only when conversion to quasi-peak values is possible. Although C.I.S.P.R. Publication 16 gives the conversions to quasi-peak values for periodically repeated pulses, these conversions do not apply to corona pulses which occur in bursts (see Sub-clause 1.1.1).

ANNEXE B

LISTE DES RENSEIGNEMENTS À FOURNIR DANS LE RAPPORT,
LORS DE MESURES EFFECTUÉES SUR DES LIGNES EN SERVICE

Les résultats des mesures doivent être accompagnés des informations complémentaires suivantes:

- a) Gradient de potentiel à la surface des conducteurs de chaque phase au moment des mesures (exprimé en valeur efficace). Préciser, dans le cas des faisceaux, s'il s'agit du gradient moyen ou maximal.
- b) Conditions atmosphériques sur les lieux des mesures: température, pression (altitude), humidité, vitesse du vent, etc.
- c) Pollution des conducteurs, isolateurs et accessoires. Indiquer si la pollution est «légère», «modérée» ou «forte», et préciser si possible le type de pollution (par exemple ciment, pollution saline) et la résistivité du brouillard salin équivalent.
- d) Type d'isolateur. Si la chaîne d'isolateurs complète munie de ses accessoires a été soumise à des mesures de tensions perturbatrices conformes au paragraphe 1.3, le préciser.
- e) Configuration de la ligne, notamment:
 - i) présence ou absence d'un câble de garde;
 - ii) nombre de conducteurs par phase et disposition relative;
 - iii) nature des conducteurs;
 - iv) hauteur des conducteurs au-dessus du sol au point de mesure.
- f) Age de la ligne.
- g) Type de support (pylône métallique ou poteau en bois ou en béton).
- h) Distance au poste le plus proche, aux transpositions et pylônes d'angles, ainsi que présence ou absence de filtres destinés aux communications par courants porteurs.
- i) Distance des autres lignes ou sources éventuelles de perturbations susceptibles d'affecter les mesures.
- j) Les résultats proviennent-ils d'une mesure isolée ou d'évaluations statistiques? Dans le second cas, il est commode de présenter les résultats sous forme statistique en utilisant un papier à échelle de probabilités cumulées (papier de Gauss). On peut résumer les résultats en indiquant les niveaux perturbateurs dépassés pendant 5%, 20%, 50%, 80% et 95% du temps.
- k) La période au cours de laquelle les mesures ont été effectuées. Pour une évaluation complète des perturbations produites par une ligne à haute tension et l'obtention de résultats significatifs, il est nécessaire que les mesures s'étendent sur une période suffisamment longue.
- l) La résistivité du sol, lorsqu'elle est connue.
- m) La charge de la ligne (lorsque ce renseignement peut présenter un intérêt).

APPENDIX B

LIST OF ADDITIONAL INFORMATION TO BE INCLUDED IN THE REPORT
ON THE RESULTS OF MEASUREMENTS ON OPERATIONAL LINES

When the results of measurements are reported, the following additional information should be included:

- a) Conductor surface voltage gradient – r.m.s. value for system voltage at time of measurements. State, in the case of bundles, if gradient is average or maximum.
- b) Atmospheric conditions at measurement sites: temperature, pressure (altitude), humidity, wind speed, etc.
- c) Pollution of conductors, insulators and fittings. State if “light”, “moderate” or “severe” pollution and, if possible, the type of pollution, for example, cement or saline and the resistivity of the equivalent saline mist.
- d) Type of insulator – if radio noise measurements, according to Sub-clause 1.3, have been made on a complete insulator set of this type, the information should be included.
- e) Conductor configuration including:
 - i) presence or not of earth conductor;
 - ii) number of conductors per phase and relative disposition;
 - iii) nature of conductor;
 - iv) height of conductors above ground at measurement site.
- f) Age of line.
- g) Line support – metal tower or wood or concrete pole.
- h) Distance from nearest substation, transposition and angle structure and the presence or not of line traps for carrier communication equipment.
- i) Distance from other lines or sources of interference which may affect the measurements.
- j) Whether the results are from a single measurement or from a statistical assessment. Data from a statistical assessment may conveniently be presented in statistical form using cumulative probability paper. Results may be summarized by quoting the noise levels exceeded for 5%, 20%, 50%, 80% and 95% of the time.
- k) The period over which the measurements have been made. For a full assessment of the radio noise performance of a high voltage line, only measurements made over a sufficiently long period may be considered as significant.
- l) Resistivity of the soil, if known.
- m) The line loading (where this may be important).

ANNEXE C

NIVEAUX MINIMAUX DE SIGNAL RADIODIFFUSÉ À PROTÉGER –
AVIS DE L'UIT

L'UIT a établi, pour les grandes ondes et petites ondes, et pour les trois zones climatiques (A, B et C), les valeurs minimales du champ nécessaires pour surmonter le bruit naturel (atmosphérique, cosmique, etc.) [63]. Ces niveaux, qui ont été déterminés en ajoutant 40 dB à la valeur de la distribution du bruit naturel dépassée pendant 10% du temps, sont donnés par le tableau CI:

TABLEAU CI
Valeur minimale du champ

	Zone		
	A	B	C
Fréquences (MHz)	Champ en dB (1 µV/m)		
0,15	73	83	76
0,28	70,5	80,5	73,5
0,5	65	75	68
1,0	60	70	63
1,6	57	67	60

Pour les besoins de la planification des fréquences de radiodiffusion, l'UIT a également recommandé des valeurs de champ nominal utiles. Ces recommandations, notes de bas de page incluses, sont reproduites ci-dessous en ce qui concerne les bandes 0,5 MHz à 1,7 MHz et 0,15 MHz à 0,28 MHz. On trouvera sous la référence [62] les valeurs exactes des bornes supérieures et inférieures des différentes bandes de fréquences, relatives aux diverses régions du globe.

Les valeurs du champ nominal utilisable sont indiquées dans le tableau CII ci-dessous, en dB (1 µV/m).

TABLEAU CII
Champ nominal utilisable

	Zone A	Zone B	Zone C
A. Ondes hectométriques (0,5 MHz à 1,7 MHz)			
Onde de sol le jour	63	73	66
Onde de sol la nuit ¹⁾			
– zones rurales ²⁾	71	81	74
– zones urbaines	77	87	80
Canaux pour émetteurs de faible puissance	88	88	88
B. Ondes kilométriques (0,15 MHz à 0,28 MHz) ³⁾	77	87	80

¹⁾ Lorsque la puissance de l'émetteur est telle que la zone desservie par l'onde de sol est limitée par les évanouissements dus à l'onde ionosphérique du même émetteur, on peut choisir une valeur du champ nominal utilisable supérieure à celle qui est indiquée dans le tableau. Toutefois, cette valeur ne devrait pas être supérieure au champ de l'onde de sol à la limite de la zone d'évanouissement. On admet que la zone d'évanouissement est définie par un rapport de protection entre onde de sol et onde ionosphérique égal au rapport de protection interne d'un réseau synchronisé, soit 8 dB.

²⁾ Quelques délégations estiment qu'une valeur du champ nominal utilisable de 65 dB (1 µV/m) convient pour les zones rurales dans leur pays.

³⁾ Certaines délégations considèrent qu'une valeur du champ nominal utilisable de l'ordre de 73 dB (1 µV/m) est appropriée dans les zones rurales non tropicales.

APPENDIX C

MINIMUM BROADCAST SIGNAL LEVELS TO BE PROTECTED –
ITU RECOMMENDATIONS

For the l.f. and m.f. bands the ITU has established, for three climatic zones (A, B and C), the minimum field strength necessary to overcome natural noise (atmospheric noise, cosmic noise, etc.) [63]. These levels, which have been determined by adding 40 dB to the value of natural noise distribution exceeded for 10% of the time, are given in Table CI:

TABLE CI
Minimum field strength

	Zone		
	A	B	C
Frequency (MHz)	Field strength in dB (1 μ V/m)		
0.15	73	83	76
0.28	70.5	80.5	73.5
0.5	65	75	68
1.0	60	70	63
1.6	57	67	60

For broadcast planning purposes, the ITU has also recommended nominal usable field strengths. These recommendations, including the footnotes, are reproduced here for the 0.5 MHz to 1.7 MHz and 0.15 MHz to 0.28 MHz bands. The exact values of upper and lower limits of the various frequency bands, for different regions of the world, can be found in [62].

The nominal usable field strength values are shown in Table CII below in dB (1 μ V/m).

TABLE CII
Nominal usable field strength

	Zone A	Zone B	Zone C
A. Medium frequency (0.5 MHz to 1.7 MHz)			
Daytime ground-wave service	63	73	66
Night ground-wave service ¹⁾			
– rural areas ²⁾	71	81	74
– urban areas	77	87	80
Low-power channels	88	88	88
B. Low frequency (0.15 MHz to 0.28 MHz) ³⁾	77	87	80

¹⁾ Where the transmitter power is sufficiently high for the ground-wave service area to be limited by fading due to the sky-wave of the same transmitter, a nominal usable field strength greater than the value given in the table may be chosen. It should not, however, be greater than the ground-wave field strength at the beginning of the fading zone. The fading zone may be defined by taking the protection ratio between the ground-wave and the sky-wave to be equal to the internal protection ratio applicable to a synchronized network, that is 8 dB.

²⁾ Some delegations consider a nominal usable field strength of 65 dB (1 μ V/m) to be suitable for rural areas in their countries.

³⁾ Certain delegations consider a value of nominal usable field strength of the order of 73 dB (1 μ V/m) to be appropriate in non-tropical rural areas.

ANNEXE D

NIVEAUX MINIMAUX DE SIGNAL RADIODIFFUSÉ À PROTÉGER –
NORMES NORD-AMÉRICAINES

En Amérique du Nord, les niveaux de signal au bord de la zone desservie par une station de radiodiffusion sont les suivants, selon les normes NARBA et autres normes [64], [65], [66]:

TABLEAU DI

Niveaux de signal au bord de la zone desservie (Amérique du Nord)

Type de service	Fréquence (MHz)	Niveaux de signal (dB (1 µV/m))
Radiodiffusion MA	0,5 à 1,7	54
	Quelques stations «classe A»	40
TV VHF (canal 2 à 6)	54 à 88	47
TV VHF (canal 7 à 13)	174 à 216	56

APPENDIX D

MINIMUM BROADCAST SIGNALS TO BE PROTECTED –
NORTH AMERICAN STANDARDS

In North America, the signal levels at the edge of the service area of a broadcast station, according to NARBA and other standards [64], [65], [66] are:

TABLE DI

Signal levels at the edge of the service area in North America

Service	Frequency (MHz)	Signal levels (dB (1 μV/m))
AM radio	0.5 to 1.7	54
	Some "Class A" stations	40
V.H.F. television (Channel 2 to 6)	54 to 88	47
V.H.F. television (Channel 7 to 13)	174 to 216	56

ANNEXE E

RAPPORTS SIGNAL SUR BRUIT REQUIS
POUR UNE RÉCEPTION SATISFAISANTE

Radiodiffusion

Bien qu'aucune recommandation exacte concernant les rapports signal sur bruit acceptables pour les perturbations dues aux lignes électriques n'ait été fixée, un grand nombre d'essais ont été effectués par de nombreux chercheurs. Leurs résultats sont récapitulés dans la référence [66]. Dans ces essais, le bruit était mesuré soit avec un mesureur C.I.S.P.R., soit avec un mesureur satisfaisant à la Spécification ANSI C63.2-1969. En ce qui concerne le signal, certains chercheurs ont utilisé un détecteur de quasi-crête, d'autres un détecteur à valeur moyenne.

Le tableau EI rassemble les résultats obtenus, après correction pour représenter le signal tel que mesuré avec un détecteur de valeur moyenne, et pour représenter le bruit tel que mesuré avec une détection quasi-crête C.I.S.P.R. Le tableau EII définit les codes de qualité de réception utilisés au tableau EI. Pour exprimer le niveau du signal, la mesure de la valeur moyenne, plutôt que la quasi-crête semble logique; en effet, les niveaux de signal définis par des organismes internationaux tels que le CCIR et le NARBA résultent de mesures de valeurs moyennes ou de valeurs efficaces du signal modulé.

En vue de l'établissement de limites, l'une quelconque des échelles du tableau EI peut être utilisée. Il n'est pas possible, actuellement, d'indiquer laquelle est la plus précise. A titre indicatif, la dernière colonne du tableau EI fournit la moyenne de toutes les valeurs obtenues pour chaque échelon de qualité de réception.

Télévision

Quelques essais de rapport signal sur bruit ont été effectués dans la bande des fréquences VHF utilisées en télévision, à partir de perturbations dues aux lignes électriques. Ils indiquent qu'un rapport de 40 dB serait satisfaisant, le signal étant mesuré en détection de valeur moyenne et le bruit étant mesuré en détection quasi-crête C.I.S.P.R. Cependant, cette question est toujours à l'étude.

TABLEAU EI

Récapitulation des rapports signal sur bruit relatifs à l'effet de couronne des lignes à tension alternative (signal mesuré avec détection de valeur moyenne, bruit mesuré en quasi-crête)

Canadian Voluntary Standard		IEEE Radio Noise Design Guide		Lippert Pakala <i>et al.</i>		Taylor <i>et al.</i>		Gehrig <i>et al.</i>		Nigol		CIGRÉ		Hirsch		De Michelis and Rosa		Moyenne
Code	Rap. (dB)	Code	Rap. (dB)	Code	Rap. (dB)	Code	Rap. (dB)	Code	Rap. (dB)	Code	Rap. (dB)	Code	Rap. (dB)	Code	Rap. (dB)	Code	Rap. (dB)	
A1	39	-	-	-	-	0	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40
A2	31	A5	31	A	31	1	35	-	31	5	-	5	30	1	30	0	36	32
B	26	B4	26	B	26	2	29	-	26	4	25	4	24	2	20	1	30	26
C	21	C3	21	C	21	3	23	-	21	3	21	3	18	3	14	2	24	20
D	15	D2	15	D	15	4	18	-	16	2	15	2	12	4	8	3	17	15
E	9	E1	4	E	7	5	12	-	10	1	-	1	6	5	-	4	10	8
-	-	F0	-	F	-	6	6	-	-	0	-	0	0	-	-	5	2	3

APPENDIX E

REQUIRED SIGNAL-TO-NOISE RATIOS
FOR SATISFACTORY RECEPTION*A.M. radio broadcasting*

Although no exact recommendations concerning acceptable signal-to-noise ratios have been devised for interference from power lines, a number of tests have been conducted throughout the world. These are summarized in reference [66]. In these tests, the noise was measured with either a C.I.S.P.R. meter or a meter satisfying ANSI Specification C63.2-1969. For measurement of the signal, some investigators used the quasi-peak detector and others used the average detector.

Table EI shows all the data, corrected to represent signals measured with an average detector and noise measured with the quasi-peak detector of a C.I.S.P.R. meter. Table EII defines the codes for quality of reception used in Table EI. Average rather than quasi-peak measurement of the signal level seems logical since signal levels, as defined by international bodies such as CCIR and NARBA, are average or r.m.s. values of the modulated signal.

For the development of limits, any of the ratios in Table EI could be used. It is not possible at present to state which is the most accurate. As a guide, the last column of Table EI shows the mean of all the values for each quality of reception.

Television broadcasting

Some signal-to-noise ratio tests have been conducted for power line noise in the v.h.f. television bands. The results indicate that a 40 dB ratio, with the signal measured by an average detector and the noise measured by a C.I.S.P.R. meter, with a quasi-peak detector, may be satisfactory. However, this subject is still under consideration.

TABLE EI

*Summary of signal-to-noise ratios for corona from a.c. lines
(Signal measured with average detector, noise measured with quasi-peak detector)*

Canadian Voluntary Standard		IEEE Radio Noise Design Guide		Lippert Pakala <i>et al.</i>		Taylor <i>et al.</i>		Gehrig <i>et al.</i>		Nigol		CIGRÉ		Hirsch		De Michelis and Rosa		Mean
Code	Ratio (dB)	Code	Ratio (dB)	Code	Ratio (dB)	Code	Ratio (dB)	Code	Ratio (dB)	Code	Ratio (dB)	Code	Ratio (dB)	Code	Ratio (dB)	Code	Ratio (dB)	
A1	39	—	—	—	—	0	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
A2	31	A5	31	A	31	1	35	—	31	5	—	5	30	1	30	0	36	32
B	26	B4	26	B	26	2	29	—	26	4	25	4	24	2	20	1	30	26
C	21	C3	21	C	21	3	23	—	21	3	21	3	18	3	14	2	24	20
D	15	D2	15	D	15	4	18	—	16	2	15	2	12	4	8	3	17	15
E	9	E1	4	E	7	5	12	—	10	1	—	1	6	5	—	4	10	8
—	—	F0	—	F	—	6	6	—	—	0	—	0	0	—	—	5	2	3

TABLEAU EII

Les codes figurant dans le tableau EI, définissant la qualité de réception ou le degré de gêne, tels qu'utilisés par les différents chercheurs, sont récapitulés ci-dessous:

Canadian Voluntary Standard

- A1 Entièrement satisfaisant pour musique classique
- A2 Satisfaisant pour audition de qualité courante
- B Bruit raisonnablement discret
- C Bruit évident
- D Bruit très évident
- E Compréhension difficile.

IEEE Radio Noise Design Guide

- A5 Entièrement satisfaisant
- B4 Très bon, bruit discret
- C3 Assez satisfaisant, bruit clairement audible
- D2 Bruit très évident, mais parole aisément compréhensible
- E1 Parole compréhensible seulement avec effort de concentration.

Lippert, Pakala, Bartlett, Fahrnkopf

- 0 Excellent
- 1 Entièrement satisfaisant
- 2 Très bon
- 3 Assez satisfaisant
- 4 Parole aisément compréhensible
- 5 Parole compréhensible
- 6 Parole inintelligible.

Gehrig, Peterson, Clark, Rednour

- Bruit non décelable
- Bruit décelable
- Bruit évident
- Bruit désagréable
- Difficulté de compréhension
- Inintelligible.

Nigol (Burrill's Code)

- 5 Entièrement satisfaisant
- 4 Très bon, bruit discret
- 3 Bon, bruit évident
- 2 Programme aisément intelligible, bruit très évident
- 1 Programme très déformé, bruit très évident
- 0 Programme inintelligible.

CIGRÉ

- 5 Bruit non décelable
- 4 Bruit juste perceptible
- 3 Bruit audible, mais perception parfaite de la parole
- 2 Inacceptable pour musique, parole intelligible
- 1 Parole compréhensible seulement avec effort de concentration
- 0 Parole inintelligible, brouillage total.

TABLE E II

The codes shown in Table EI, defining the quality of reception or degree of annoyance, as used by the various investigators are summarized below.

Canadian Voluntary Standard

- A1 Entirely satisfactory for classical music
- A2 Satisfactory for general listening
- B Background noise reasonably unobtrusive
- C Background noise evident
- D Background noise very evident
- E Difficult to understand.

IEEE Radio Noise Design Guide

- A5 Entirely satisfactory
- B4 Very good, background unobtrusive
- C3 Fairly satisfactory, background plainly evident
- D2 Background very evident, but speech easily understood
- E1 Speech understandable only with severe concentration.

Lippert, Pakala, Bartlett, Fahrnkopf

- 0 Excellent
- 1 Entirely satisfactory
- 2 Very good
- 3 Fairly satisfactory
- 4 Speech easily understood
- 5 Speech understandable
- 6 Speech unintelligible.

Gehrig, Peterson, Clark, Rednour

- Background not detectable
- Background detectable
- Background evident
- Background objectionable
- Difficult to understand
- Unintelligible.

Nigol (Burrill's Code)

- 5 Entirely satisfactory
- 4 Very good, background unobtrusive
- 3 Good, background evident
- 2 Program easily understood, background very evident
- 1 Program badly distorted, background very evident
- 0 Program unintelligible.

CIGRÉ

- 5 Interference not audible
- 4 Interference just perceptible
- 3 Interference audible, but speech perfectly received
- 2 Unacceptable for music, but speech intelligible
- 1 Speech understandable only with severe concentration
- 0 Spoken word unintelligible; noise swamps speech totally.

TABLEAU EII (suite)

Hirsch

- 1 Très bonne réception, bruit non décelable
- 2 Bonne réception, bruit non gênant
- 3 Réception satisfaisante, bruit évident
- 4 Réception suffisante, déformée avec bruit clairement perçu
- 5 Réception insuffisante, programme inintelligible.

De Michelis and Rosa

- 0 Pas de perturbation. Aucun bruit perçu
- 1 A peine perceptible. Bruit audible pendant conversation à voix basse, mais non audible à voix normale
- 2 Perceptible. Bruit audible dans tous les cas, mais non particulièrement irritant
- 3 Désagréable. Bruit audible même pendant une émission musicale
- 4 Très désagréable. Bruit irritant, mais la parole reste parfaitement intelligible
- 5 Inacceptable. Bruit très irritant, réduisant l'intelligibilité.

TABLE EII (continued)

Hirsch

- 1 Very good reception, no disturbance detectable
- 2 Good reception, disturbance without severe nuisance
- 3 Satisfactory reception, disturbance evident
- 4 Sufficient reception, distorted with very evident noise
- 5 Insufficient reception, program unintelligible.

De Michelis and Rosa

- 0 No interference. No disturbance perceived
 - 1 Barely perceptible. Disturbance audible during conversation in a low voice, but not during conversation in a normal voice
 - 2 Perceptible. Disturbance audible in any case but not particularly irritating
 - 3 Somewhat objectionable. Disturbance audible even during musical broadcast
 - 4 Definitely objectionable. Irritating but perfectly intelligible
 - 5 Intolerable. Extremely irritating disturbance with reduced intelligibility.
-

ANNEXE F

ÉTABLISSEMENT DE LA FORMULE RELATIVE À LA DISTANCE PROTÉGÉE

La formule utilisée dans l'exemple du paragraphe 2.5.1 est établie comme suit:

Le niveau du bruit acceptable à la distance protégée est:

$$N_P = S_P - R_P$$

où:

N_P est le niveau de bruit acceptable à D_P , en dB (1 μ V/m)

S_P est le niveau du signal protégé, en dB (1 μ V/m)

R_P est le rapport signal sur bruit requis, en décibels

D_P est la distance protégée, en mètres

Mais, en tenant compte de la formule d'atténuation donné au paragraphe 2.3.5.1:

$$N_P = E_0 - K \lg \frac{D_P}{20}$$

où:

E_0 est le niveau de bruit à 20 m du conducteur le plus proche, en dB (1 μ V/m)

$K = 36$ pour les ondes kilométriques

33 pour les ondes hectométriques

On obtient:

$$S_P - R_P = E_0 - K \lg \frac{D_P}{20}$$

$$\text{d'où: } D_P = 10 \left(\frac{E_0 + R_P - S_P}{K} + 1,3 \right)$$

APPENDIX F

DERIVATION OF FORMULA FOR PROTECTED DISTANCE

The formula used in the examples in Sub-clause 2.5.1 is derived as follows:

The acceptable noise level at the protected distance is:

$$N_P = S_P - R_P$$

where:

N_P is the acceptable noise level at D_P , in dB (1 μ V/m)

S_P is the protected signal level, in dB (1 μ V/m)

R_P is the required signal-to-noise ratio, in decibels

D_P is the protected distance, in metres

But using the attenuation formula given in Sub-clause 2.3.5.1:

$$N_P = E_0 - K \lg \frac{D_P}{20}$$

where:

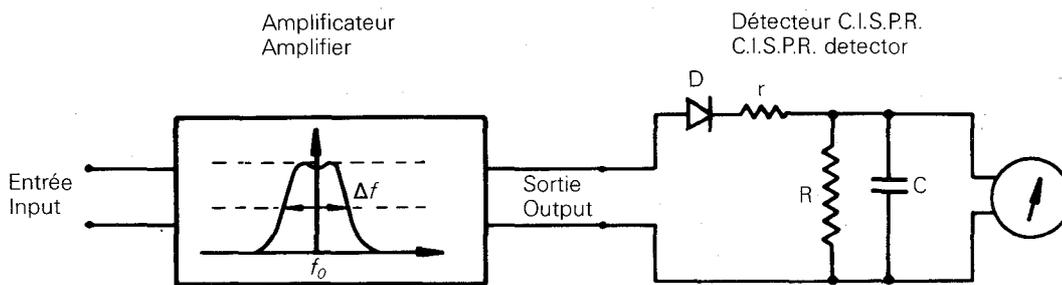
E_0 is the noise level at 20 m from the nearest conductor, in dB (1 μ V/m)

$K = 36$ for l.f. band

33 for m.f. band

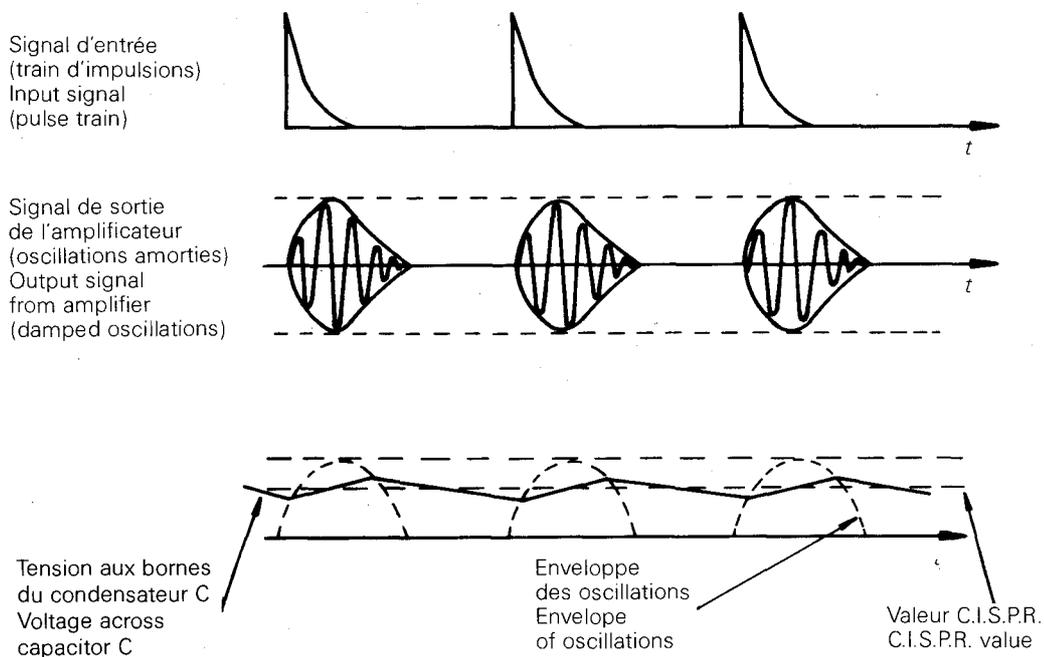
$$S_P - R_P = E_0 - K \lg \frac{D_P}{20}$$

$$\text{Therefore: } D_P = 10^{\left(\frac{E_0 + R_P - S_P}{K} + 1.3\right)}$$



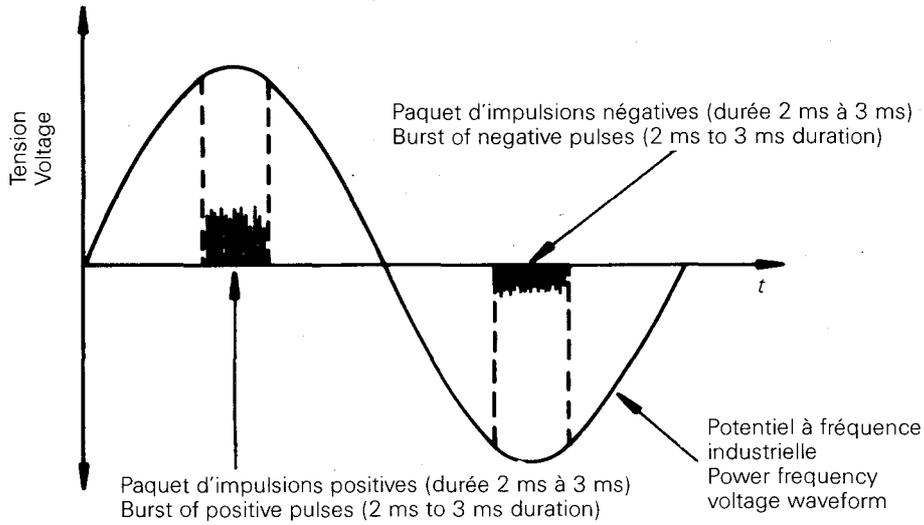
Δf = bande passante
 f_0 = fréquence centrale
 D = diode
 r = résistance de charge
 R = résistance de décharge
 C = condensateur

Δf = band width
 f_0 = centre frequency
 D = diode
 r = charging resistor
 R = discharging resistor
 C = capacitor



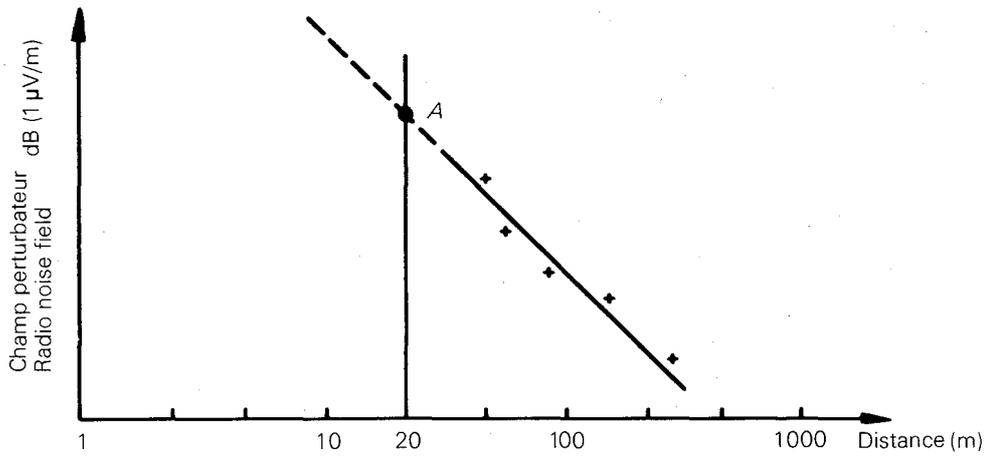
CISPR 18-2/032/86

FIG. 1. — Transformation d'impulsions traversant un appareil de mesure C.I.S.P.R.
 Transformation of pulses through a C.I.S.P.R. measuring set.



CISPR 18-2/033/86

FIG. 2. — Paquets d'impulsions dues à l'effet couronne en tension alternative.
Bursts of corona pulses generated by alternating voltage.



CISPR 18-2/034/86

Niveau de référence A Niveaux mesurés ×
Reference level Measured levels

FIG. 3. — Exemple d'extrapolation permettant de déterminer le niveau de référence du champ perturbateur d'une ligne électrique.
Example of extrapolation to determine the radio noise field reference level of a power line.

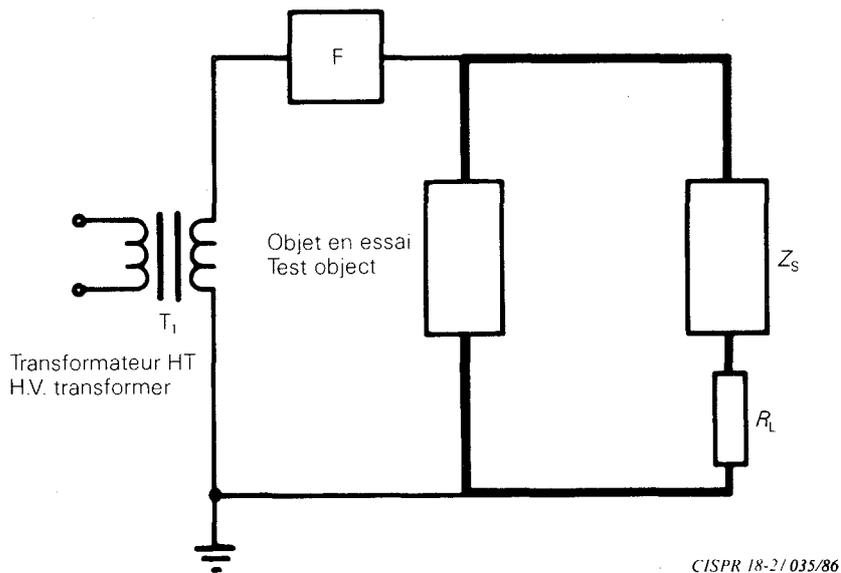
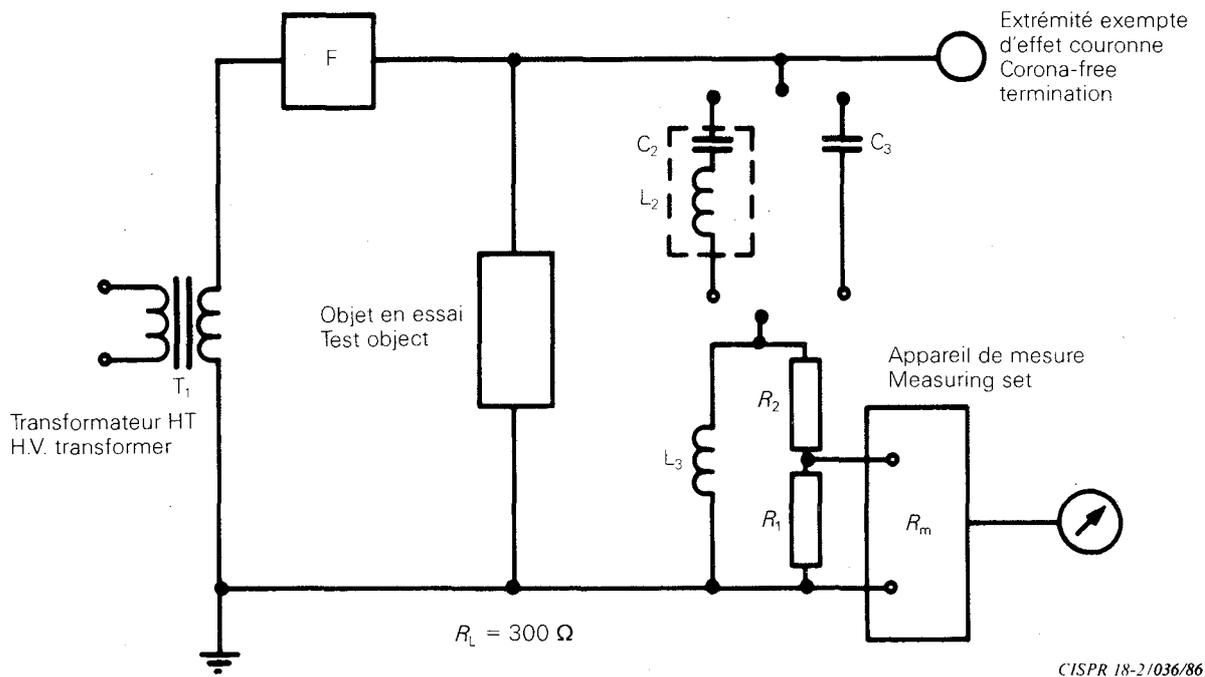
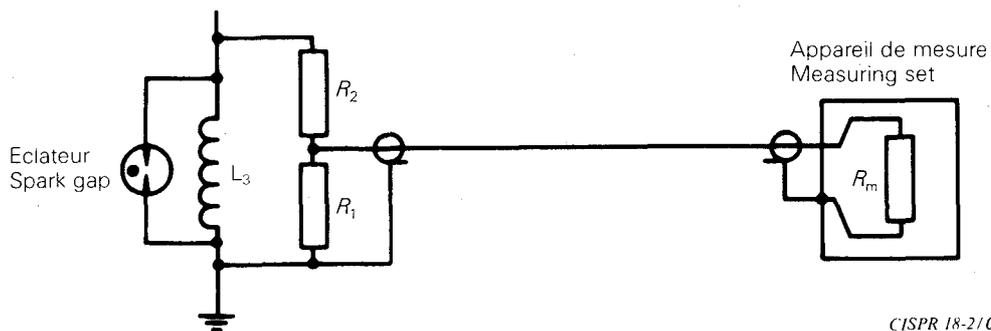


FIG. 4. - Circuit de base du montage d'essai.
Basic test circuit.



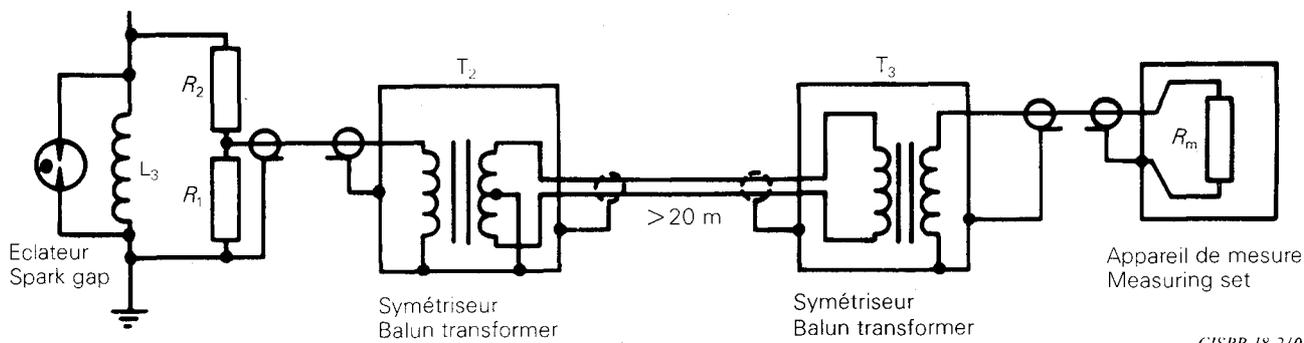
Note. - Le filtre F peut être apériodique ou consister en un circuit $L_1 C_1$ parallèle.
Filter F may be aperiodic or consist of L_1 in parallel with C_1 .

FIG. 5. - Circuit d'essai normalisé.
Standard test circuit.



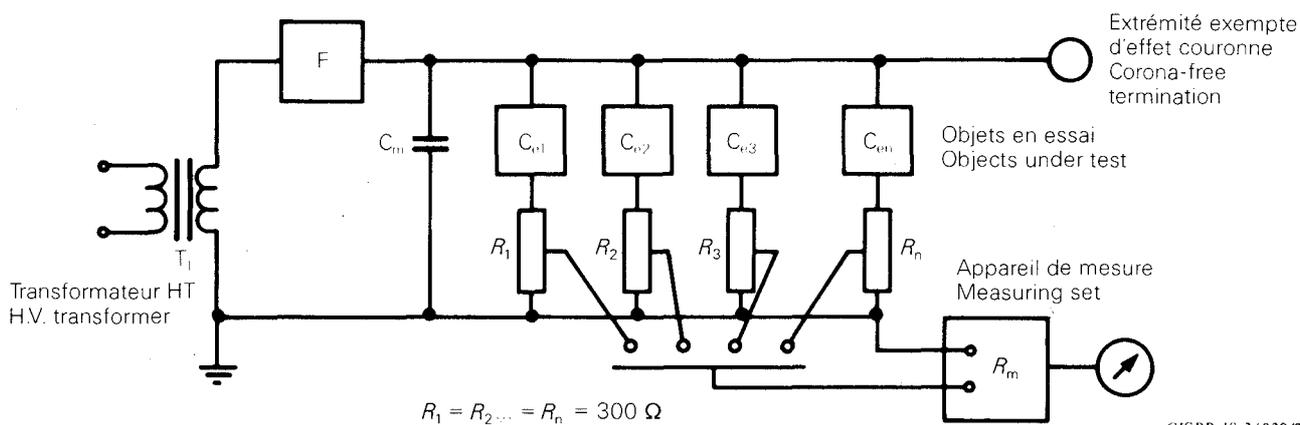
CISPR 18-2/037/86

FIG. 6. — Raccordement de l'appareil de mesure par câble coaxial.
Measuring set connections co-axial cable.



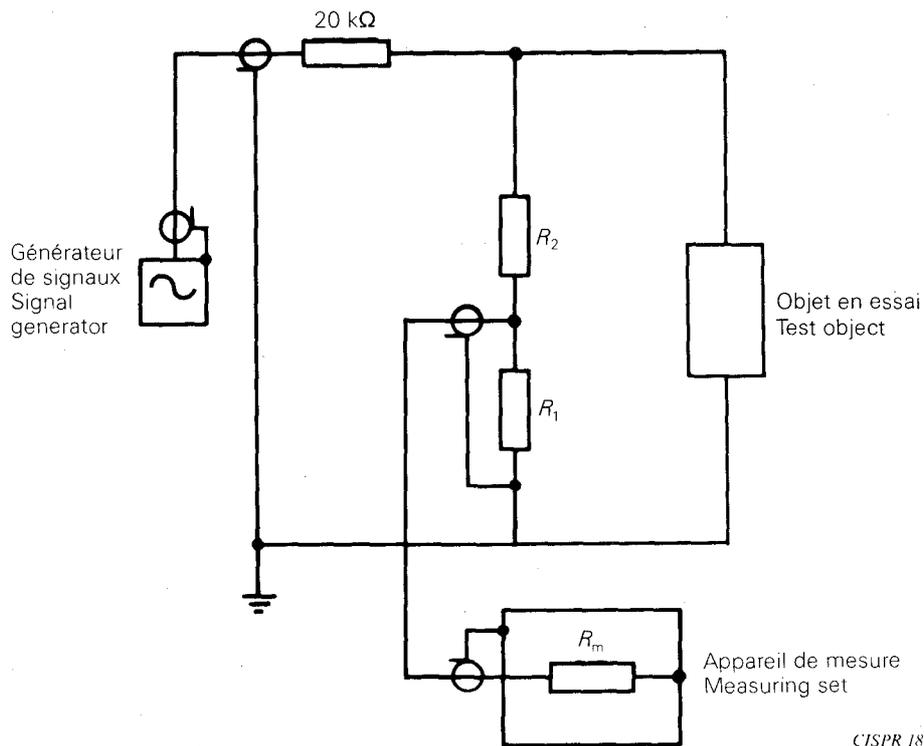
CISPR 18-2/038/86

FIG. 7. — Raccordement de l'appareil de mesure par câble bifilaire.
Measuring set connections balanced cable.



CISPR 18-2/039/86

FIG. 8. — Circuit d'essai pour usages spéciaux.
Special test circuit.



CISPR 18-2/040/86

FIG. 9. – Montage pour l'étalonnage du circuit d'essai normalisé.
Arrangement for calibration of standard test circuit.

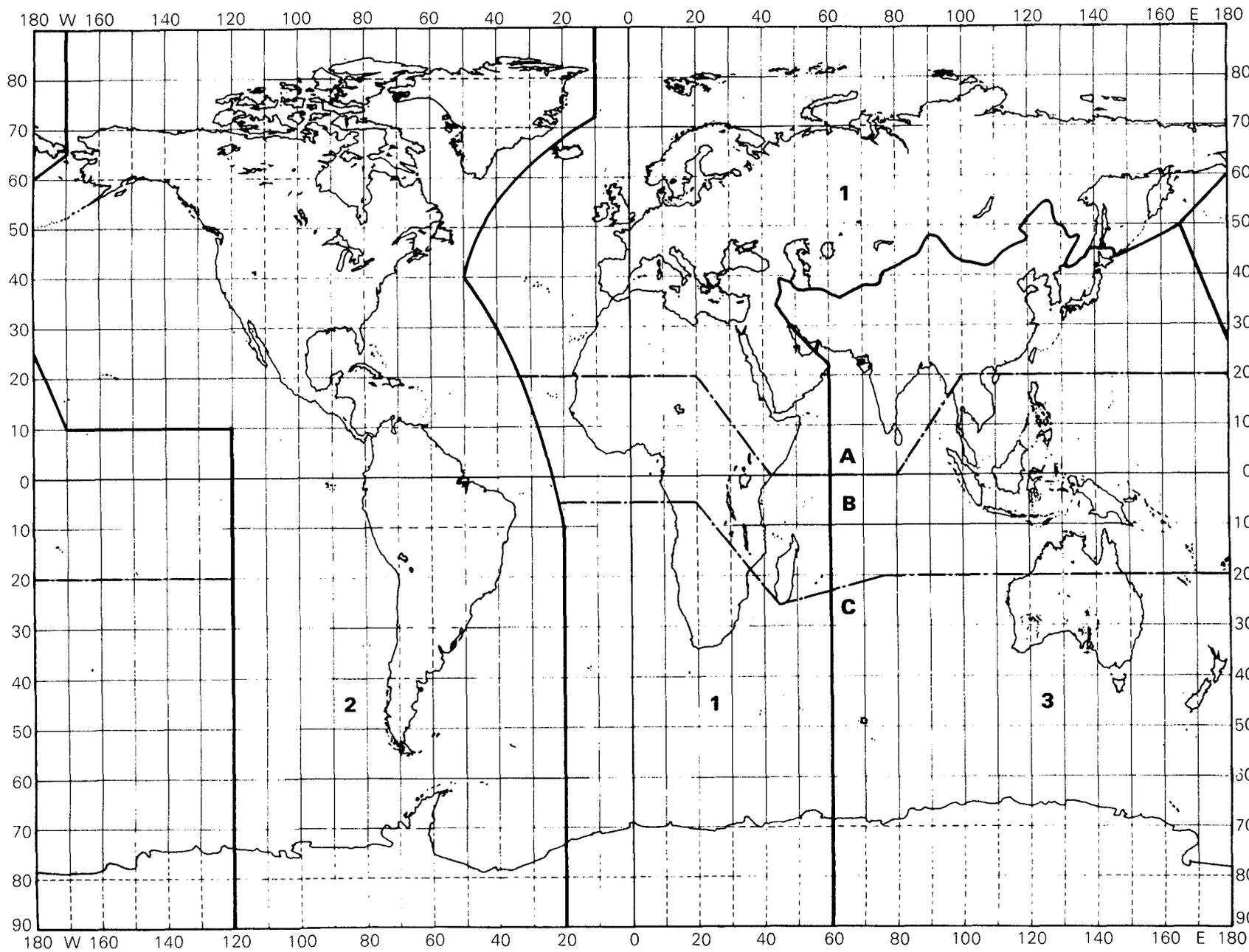


FIG. 10. — Carte indiquant les limites des zones A, B et C dans les Régions 1 et 3.
Map showing boundaries of Zones A, B and C in Regions 1 and 3.

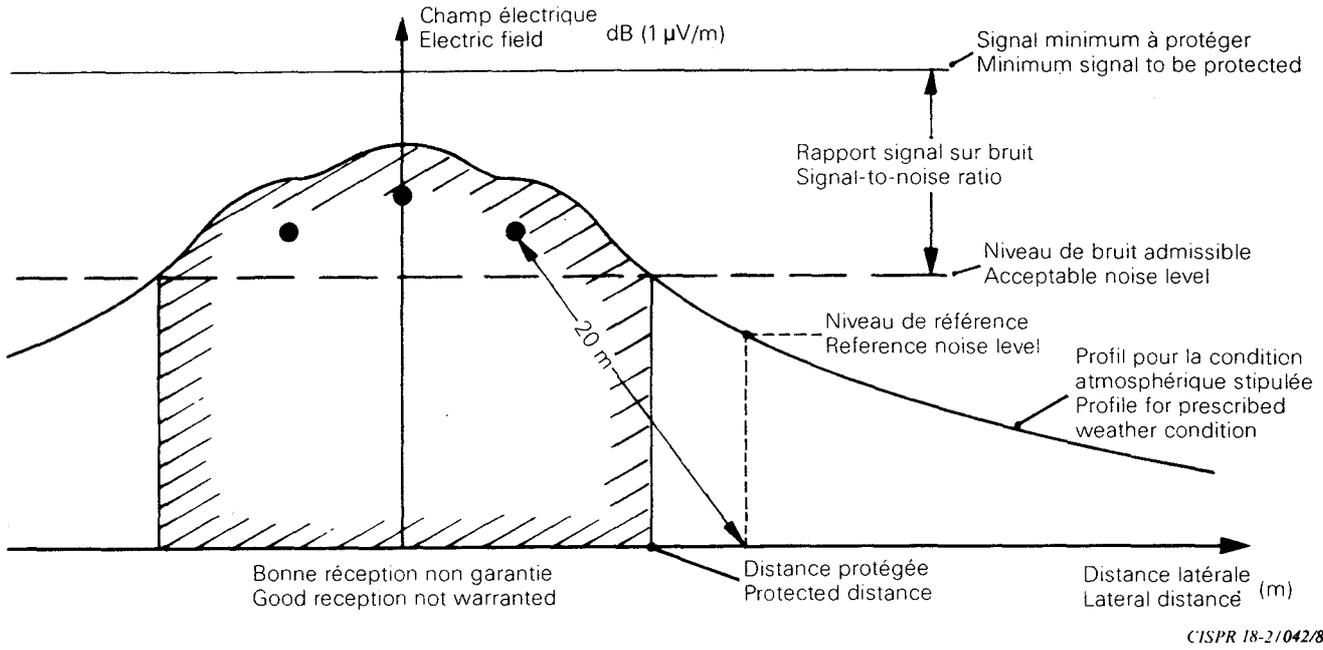


FIG. 11. - Représentation des quatre paramètres de base.
Illustration of the four basic parameters.

LICENSED TO MECON Limited, - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ICS 33.100
