

COMMISSION
ÉLECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

CISPR
18-3

1986

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

AMENDEMENT 1
AMENDMENT 1

1996-05

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

Amendement 1

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

**Troisième partie:
Code pratique de réduction du bruit
radioélectrique**

Amendment 1

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

**Part 3:
Code of practice for minimizing the generation
of radio noise**

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

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

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité C du CISPR: Perturbations relatives aux lignes et aux équipements à haute tension et aux systèmes de traction électrique.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
CIS/C/82/FDIS	CIS/C/87/RVD

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

Page 2

SOMMAIRE

Ajouter les titres de l'article 4, de l'annexe B, et de l'annexe C suivants:

- 4 Formules pour la prédétermination du champ perturbateur radioélectrique produit par les grands faisceaux (plus de quatre conducteurs élémentaires par phase) et par les conducteurs tubulaires

Annexe B – Procédure analytique pour la détermination des interférences radio à une distance donnée d'une ligne à haute tension avec un grand faisceau

Annexe C – Bibliographie et références

Page 28

Ajouter le nouvel article suivant:

- 4 Formules pour la prédétermination du champ perturbateur radioélectrique produit par les grands faisceaux (plus de quatre conducteurs élémentaires par phase) et par les conducteurs tubulaires**

4.1 Principes fondamentaux

Le paragraphe 2.2 de cette publication illustre une formule simple permettant de prévoir le champ perturbateur radioélectrique pouvant être généré par les conducteurs d'une ligne. Cette formule, fondée sur des bases empiriques, fournit le niveau le plus probable pouvant être généré par de vieux conducteurs par temps sec à une distance de 20 m du conducteur le plus proche et à une fréquence mesurée de 500 kHz. Cette formule est tirée des mesures effectuées près des lignes en service ayant une tension entre 200 kV et 765 kV et des gradients de tension maximaux entre 12 kV/cm et 20 kV/cm. Ces mesures ont été effectuées sur des lignes ayant des conducteurs individuels et des faisceaux renfermant jusqu'à quatre conducteurs élémentaires.

FOREWORD

This amendment has been prepared by CISPR by sub-committee C: Interference relating to overhead power lines, high-voltage equipment and electric traction systems.

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

FDIS	Report on voting
CIS/C/82/FDIS	CIS/C/87/RVD

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

Page 3

CONTENTS

Add the titles of clause 4, of annex B, and of annex C as follows:

- 4 Formulae for the predetermination of the radio noise field produced by large conductor bundles (more than four sub-conductors) and by tubular conductors

Annex B – Analytical procedure for the determination of the radio noise field, at a given distance from an overhead line with large bundle conductors

Annex C – Bibliography and references

Page 29

Add the following new clause:

- 4 Formulae for the predetermination of the radio noise field produced by large conductor bundles (more than four sub-conductors) and by tubular conductors**

4.1 Basic principles

Subclause 2.2 of this publication reports a simple formula for the prediction of the radio noise field to be expected from the conductors of a line. The formula, which is empirically based, gives the most probable level to be expected from aged conductors in dry weather at a distance of 20 m from the nearest conductor at a measurement frequency of 500 kHz. The formula is derived from measurements performed near to lines operating at voltages between 200 kV and 765 kV and at maximum voltage gradients between 12 kV/cm and 20 kV/cm. The measurements were performed on lines with single conductors and conductor bundles up to four sub-conductors.

Un certain nombre de méthodes de prédétermination de l'interférence radioélectrique produite par les grands faisceaux ont été développées dans le cadre des projets de lignes de transmission à tension supérieure ou égale à 1 000 kV, sur la base des mesures des portées et des nasses expérimentales. Ces méthodes sont fondées sur ce que l'on appelle l'approche par la fonction excitatrice.

L'approche par la fonction excitatrice repose sur le fait que les courants couronne injectés dans une ligne de courant multiphasé ne dépendent pas seulement des caractéristiques intrinsèques du conducteur sous couronne (son gradient, le diamètre du conducteur élémentaire, etc.), mais aussi de la capacitance propre et réciproque du système multiconducteur [31]*. Les courants perturbateurs radioélectriques sont liés aux caractéristiques couronne intrinsèques du conducteur (appelées fonction excitatrice Γ) à travers la relation ci-après:

$$|I| = |C| \cdot |\Gamma| / (2 \pi \epsilon_0)$$

où

$|I|$ et $|\Gamma|$ sont les vecteurs de la phase des courants et des fonctions excitatrices des conducteurs;

$|C|$ est la matrice de capacitance.

Les mesures des courants perturbateurs radioélectriques dans une configuration d'essai de capacitance connue (nasse ou portée expérimentale) permettent la détermination de la fonction excitatrice.

Cette approche basée sur l'utilisation de la fonction excitatrice et de méthodes analytiques pour calculer la propagation du courant perturbateur radioélectrique permet de prédéterminer le champ perturbateur radioélectrique pour des lignes ayant des configurations différentes de celles testées.

Un autre avantage important de cette approche consiste dans le fait que la mesure du courant perturbateur radioélectrique dans une nasse permet la détermination de la fonction excitatrice dans des conditions ambiantes contrôlées (pluie artificielle correspondant à forte pluie) et pour les différents gradients du conducteur, donnant ainsi des résultats stables et reproductibles.

Les méthodes de prédétermination fondées sur le concept de fonction excitatrice sont préférées pour les systèmes à plus haute tension (tension supérieure ou égale à 1 000 kV) où la couronne est généralement plus critique et son évaluation peut être plus minutieuse. De vastes recherches dans ce domaine ont été faites dans de nombreux pays: Canada (IREQ), Italie (Projet 1 000 kV), Japon (CRIEPI), USA (GE/EPRI- Projet UHV, AEP/ASEA, BPA), URSS (Projet 1 200 kV). Ces recherches concernent principalement le cas des grands faisceaux et les formules de prédétermination fournies dans la présente publication sont le résultat de la comparaison et de la rationalisation d'un grand nombre de résultats expérimentaux.

En ce qui concerne les conducteurs tubulaires, une approche similaire a été suivie qui a conduit à des formules de prédétermination de la fonction excitatrice indiquée dans cette publication. L'expérience dans ce domaine est beaucoup plus limitée que celle obtenue pour les grands faisceaux et les indications données ici ne devront être considérées que comme une simple référence.

* Les chiffres entre crochets se rapportent à "Bibliographie et références" des CISPR 18-1 (1982), 18-2 (1986), et à l'annexe C de cet amendement.

Methods of predetermination of the radio noise field produced by large bundles were developed in the frame of the projects of overhead lines at voltages equal to or higher than 1 000 kV, on the base of measurements on experimental spans or cages. They are based on the so called excitation function approach.

The excitation function approach is based on the fact that the corona currents injected into a multiphase line depend not only on the intrinsic characteristics of the conductor under corona (its gradient, sub-conductor diameter, etc.) but also on the self and mutual capacitance of the multiconductor system [31]*. The radio noise currents are related to the intrinsic corona characteristics of the conductor (named excitation function Γ) through a relationship of the type:

$$|I| = |C| \cdot |\Gamma| / (2 \pi \epsilon_0)$$

where

$|I|$ and $|\Gamma|$ are the vectors of the phase currents and excitation functions of the conductors;

$|C|$ is the capacitance matrix.

The measurements of the radio noise current in a test configuration of known capacitance (cage or experimental span) allows the determination of the excitation function.

The approach based on the use of the excitation function and analytical methods to calculate the radio noise current propagation allows the predetermination of the radio noise field for line configurations different from the ones tested.

Another important advantage of this approach is that the radio noise current measurement in a cage allows the determination of the excitation function under controlled ambient conditions (artificial rain corresponding to heavy rain) and for different conductor gradients, giving thus stable and reproducible results.

The predetermination methods based on the concept of excitation function was preferred for higher system voltages (voltages equal to or higher than 1 000 kV) where corona is generally more critical and its evaluation can be more accurate. Extensive research in this field has been performed in various countries: Canada (IREQ), Italy (1 000 kV Project), Japan (CRIEPI), USA (GE/EPRI-Project UHV, AEP/ASEA, BPA), USSR (1 200 kV Project). These investigations principally consider the case of large bundles and the predetermination formulae given in this publication are the result of the comparison and rationalization of a wide number of experimental results.

For tubular conductors, a similar approach was followed that led to the predetermination formulae for the excitation function given in this publication. The experience gained in this field is much less than with large bundles and consequently the information provided in this publication should only be used as a guide.

* Numbers in brackets refer to the "Bibliography and Reference" sections given in CISPR 18-1 (1982), 18-2 (1986) and in annex C of this amendment.

Ces recherches ont été faites dans l'optique d'une application possible aux lignes de transmission à tension supérieure ou égale à 1 000 kV, mais les résultats peuvent également être appliqués aux barres tubulaires rigides dans des postes à haute tension. Dans ce cas le champ guidé dû aux courants injectés dans les lignes connectées avec le poste est considérable (voir 2.7 du CISPR 18-2).

4.2 Calcul de l'interférence radioélectrique couronne due aux grands faisceaux

4.2.1 Procédure de prédétermination des perturbations radioélectriques

Sur la base des résultats d'une analyse comparée des différentes méthodes illustrées dans les ouvrages de référence [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92] et [93], la procédure suivante est proposée pour le calcul du champ perturbateur radioélectrique à une distance donnée de la ligne, pour des lignes ayant des faisceaux symétriques et de vieux conducteurs:

- a) calcul de la fonction excitatrice de chaque phase par forte pluie par l'intermédiaire de la formule semi-empirique (voir 4.2.2);
- b) application du facteur de correction pour obtenir la fonction excitatrice dans d'autres catégories de conditions atmosphériques (voir 4.2.3);
- c) détermination du profil du champ perturbateur radioélectrique par l'intermédiaire de méthodes analytiques complètes ou simplifiées, basées sur la propagation modale (voir 4.2.4).

4.2.2 Calcul de la fonction excitatrice par forte pluie

La formule suivante de calcul de la fonction excitatrice, en $\text{dB}/\mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$, par forte pluie est proposée:

$$\Gamma_{h-r} = 70 - 585/g + 35 \log(d) - 10 \log(n)$$

où

g est la moyenne des gradients maximaux dans des conducteurs élémentaires individuels (en kV/cm);

d est le diamètre du conducteur élémentaire (en cm);

n est le nombre de conducteurs élémentaires dans le faisceau.

Cette formule donne des résultats satisfaisants dans le cas de lignes avec des conducteurs dont le rapport entre l'espace s entre conducteurs élémentaires et le diamètre d du conducteur élémentaire est supérieur à 10 à 15. Pour des valeurs inférieures du rapport s/d , la fonction excitatrice réelle pourrait se montrer plus élevée que celle calculée, notamment dans le cas de faisceaux se composant de 10 conducteurs élémentaires ou plus.

NOTE – Une comparaison entre les différentes formules de prédétermination de la fonction excitatrice a été développée par CIGRE WG 36.01 [86]. La formule proposée dans ce paragraphe donne l'enveloppe supérieure de valeurs pouvant être obtenues avec les autres formules, fournissant ainsi une évaluation prudente de la fonction excitatrice. Pour cette raison, il convient de n'utiliser la formule que dans les projets préliminaires, ainsi que pour comparer les différents projets de ligne. Le projet d'une ligne avec un grand faisceau requiert une évaluation plus minutieuse de la fonction excitatrice au moyen de mesures sur les portées expérimentales ou sur les nasses couronne.

4.2.3 Facteur de correction pour évaluer la fonction excitatrice dans d'autres catégories de conditions atmosphériques

Pour les autres catégories de conditions atmosphériques (pluie légère, conducteurs humides, beau temps) diverses approches ont été suivies par les différents expérimentateurs: certaines donnent des formules ayant une structure semblable à celles données par la fonction excitatrice par forte pluie mais avec des coefficients différents; d'autres proposent des facteurs de correction à appliquer aux niveaux de forte pluie, constants ou subordonnés aux gradients de tension, à la configuration du faisceau et aux conditions de surface des conducteurs (notamment les conducteurs neufs et vieux).

The investigations were made with the view of possible application to overhead lines at voltages equal to or higher than 1 000 kV, but the results can be applied to the cases of rigid tubular bus bars in high voltage substations. In this case, the guided field due to the currents injected into the lines connected to the substation is of importance (see 2.7 of CISPR 18-2).

4.2 Calculation of corona radio noise field due to large bundles

4.2.1 Procedure for the predetermination of the radio noise field

On the basis of results of a comparative analysis of the various methods proposed in the literature [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], [93], the following procedure is proposed for the calculation of the radio noise field at a given distance from the line for lines with symmetrical bundles and aged conductors:

- a) calculation of the excitation function of each phase in heavy rain by means of a semi-empirical formula (see 4.2.2);
- b) application of a correction factor to obtain the excitation function in other weather categories (see 4.2.3);
- c) determination of the radio noise field profile by means of complete or simplified analytical methods based on modal propagation (see 4.2.4).

4.2.2 Calculation of the excitation function in heavy rain

The following formula for the calculation of the excitation function, in $\text{dB}/\mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$, in heavy rain is proposed:

$$\Gamma_{h-r} = 70 - 585/g + 35 \log(d) - 10 \log(n)$$

where

g is the average of the maximum gradients of the individual sub-conductors (in kV/cm);

d is the diameter of the sub-conductor (in cm);

n is the number of the sub-conductors in the bundle.

This formula gives satisfactory results in case of lines with conductors having a ratio between the sub-conductor spacing s and the sub-conductor diameter d higher than 10 to 15. At smaller s/d values, the actual excitation function may prove to be much higher than calculated especially in the case of bundles made of 10 or more sub-conductors.

NOTE – A comparison between the different formulae for the predetermination of the excitation function was performed by CIGRE WG 36.01 [86]. The formula proposed in this subclause gives the upper envelope of the values that could be obtained with the other formulae and thus gives a conservative evaluation of the excitation function. For this reason the formula should be used only for pre-design purposes and for comparison between different line designs. The design of a line with large conductor bundles would require more accurate evaluation of the excitation function by means of measurements on experimental spans or on corona cages.

4.2.3 Correction factor to evaluate the excitation function in other weather categories

For other weather conditions (light rain, wet conductors, fair weather), different approaches were followed by the various experimenters: some of them give formulae similar in structure to those given for the excitation function in heavy rain, but with different coefficients; some others propose correction factors to be applied to the heavy rain levels, constant or depending on the voltage gradients, bundle configuration and surface conditions of the conductors (in particular new and aged conductors).

A titre indicatif, si les essais ne fournissent aucune information plus précise, les facteurs de correction illustrés à la figure 1 pourront être appliqués à la fonction excitatrice de forte pluie pour obtenir la valeur de pluie légère 50 %, ou la valeur de 50 % de beau temps.

Pour évaluer $\Gamma_{80\%}$, qui désigne 80 % de la fonction excitatrice dans toutes les conditions atmosphériques, sur la base des limites indiquées dans le CISPR 18-2, il faudra connaître le pourcentage des différentes conditions atmosphériques (beau temps, pluie, mauvais temps, etc.), ainsi que les distributions statistiques des perturbations radioélectriques dans chacune de ces conditions. Le paragraphe 4.2.3 du CISPR 18-1 illustre comment les différentes distributions statistiques sont liées. Une indication sommaire de $\Gamma_{80\%}$ peut s'obtenir en ôtant 10 dB de 15 dB du niveau de forte pluie dans des climats tempérés.

4.2.4 Calcul du champ perturbateur radioélectrique

Le calcul de la perturbation radioélectrique à une distance donnée d'une ligne triphasée peut être effectué en partant de la fonction excitatrice de chaque phase au moyen des méthodes analytiques se basant sur une analyse de propagation modale. Différents programmes informatiques ont été développés pour effectuer ces calculs. Ils peuvent tenir compte des discontinuités de la ligne (changement de configuration, interconnexion à un poste, etc.). Une méthode analytique simplifiée pouvant s'appliquer aux lignes longues est illustrée à l'annexe B.

Pour permettre une évaluation rapide des profils du champ perturbateur radioélectrique, à la place des méthodes analytiques, la méthode illustrée ci-après, qui fournit une approximation acceptable, peut être utilisée.

4.2.4.1 Evaluation rapide du champ perturbateur radioélectrique d'une ligne à haute tension

L'évaluation du champ perturbateur radioélectrique à une distance donnée de la ligne s'obtient en appliquant à la fonction excitatrice un «facteur de correction du champ» ce qui donne le champ perturbateur radioélectrique d'une ligne présentant une conformation de base à une fréquence donnée et pour une résistivité à la masse donnée. On évalue ensuite le champ perturbateur radioélectrique pour la ligne en examen en introduisant d'autres facteurs de correction pour expliquer les différences entre la ligne actuelle et celle du cas de base.

Cette évaluation s'effectue en deux étapes.

Première étape

Le profil du champ perturbateur radioélectrique pour une ligne ayant des caractéristiques de base et à des conditions de base (résistivité de la terre = 100 Ω m; fréquence = 0,5 MHz) s'évalue en ajoutant à la fonction excitatrice un «facteur champ». Les facteurs de champ pour trois configurations de conducteurs de phase de base (plats, triangulaires et en forme de delta) sont illustrés aux figures 2, 3 et 4.

Seconde étape

Le profil du champ de perturbation radioélectrique de la ligne actuellement considérée s'évalue en ajoutant au champ perturbateur radioélectrique du cas de base les facteurs de correction illustrés aux figures 5, 6 et 7 pour chacun des paramètres suivants:

- ρ résistivité de la terre
- f fréquence
- H hauteur minimale au-dessus de la terre
- S espace entre les phases
- d diamètres conducteurs élémentaires
- n nombre de conducteurs élémentaires dans un faisceau

As a guidance, if no more precise information is available from tests, the correction factors given in figure 1 can be applied to the heavy rain excitation function to obtain the 50 % light rain value or the 50 % fair weather value.

If the 80 % all time excitation function value, $\Gamma_{80\%}$, is required to apply the indications of limits given in CISPR 18-2, the knowledge of the percentage of the different weather conditions (fair weather, rain, foul weather, etc.) as well as the statistical distributions of the radio noise under each such conditions is necessary. Subclause 4.2.3 of CISPR 18-1 shows how the statistical distributions are related to each other. As a rough indication, $\Gamma_{80\%}$ could be obtained by subtracting 10 dB to 15 dB from the heavy rain level in temperate climates.

4.2.4 Calculation of the radio noise field

The calculation of the radio noise field at a given distance from a three-phase line may be performed starting from the excitation function of each phase by means of analytical methods based on modal propagation analysis. Several computer programs were developed to perform this calculation. They may take into account the discontinuities of the line (change of configuration, interconnection to a substation, etc.). A simplified analytical method applicable to long lines is indicated in annex B.

To allow a rapid evaluation of the radio noise field profiles, instead of the analytical methods, the method given below, which gives an acceptable approximation, can be used.

4.2.4.1 Rapid evaluation of the radio noise field of an overhead line

The evaluation of the radio noise field at a given distance from the line is made by applying to the excitation function a "field correction factor" to obtain the radio noise field of a line of basic design at a given frequency and for a given ground resistivity. The radio noise field for the line under examination is then evaluated by introducing other correction factors to account for the differences between the actual line and that of the basic case.

The evaluation is performed in two steps.

Step 1

The radio noise field profile for a line of basic characteristics and under basic conditions (ground resistivity = 100 Ω m; frequency = 0,5 MHz) is evaluated by adding to the excitation function a "field factor". Field factors for three basic phase conductor configurations (flat, triangular and delta configuration) are given in figures 2, 3 and 4.

Step 2

The radio noise field profile for the actual line under consideration is evaluated by adding to the radio noise field of the basic case the correction factors given in figures 5, 6 and 7 for each of the following parameters:

- ρ ground resistivity
- f frequency
- H minimum height above the ground
- S spacing between phases
- d sub-conductor diameter
- n number of sub-conductors in a bundle

NOTE – La considération de la phase extérieure seulement pour l'évaluation de la fonction excitatrice n'a aucune influence importante sur cette méthode simplifiée. Une différence constante entre les fonctions excitatrices de la phase centrale et de celle extérieure pour toutes les différentes configurations est supposée: cette hypothèse ne se vérifie généralement pas, mais elle ne donne aucun écart supérieur à 1 dB à 2 dB. Une amélioration dans la précision pourrait être obtenue en considérant la valeur moyenne des fonctions excitatrices.

4.3 *Evaluation des interférences radioélectriques couronne dues aux grands conducteurs tubulaires*

On pourra suivre une procédure semblable à celle illustrée pour les cas des grands faisceaux (voir 4.2.1): la fonction excitatrice de chaque phase par forte pluie s'évalue au moyen d'une formule semi-empirique et un facteur de correction est ensuite appliqué pour obtenir la fonction excitatrice dans d'autres catégories de conditions atmosphériques.

La formule suivante de calcul de la fonction excitatrice, en dB/μA/√m, par forte pluie est proposée:

$$\Gamma_{h-r} = -121 + 120 \log(g) + 40 \log(d)$$

où

g est le gradient maximal du conducteur (en kV/cm);

d est son diamètre (en cm).

En ce qui concerne les corrections à appliquer pour obtenir la fonction excitatrice dans d'autres catégories de conditions atmosphériques, les indications suivantes peuvent être utiles en attendant les résultats d'éventuelles autres expériences.

- La fonction excitatrice par pluie légère pourra être reliée à celle par forte pluie en appliquant le facteur de correction indiqué à la figure 8, qui concerne les conducteurs tubulaires de 40 cm de diamètre. Pour les autres diamètres, tout comme pour les faisceaux, il conviendra de s'attendre à ce que la correction augmente lorsque le diamètre augmente.
- Etant donné que les grands conducteurs tubulaires possèdent de bas gradients électriques, la fonction excitatrice n'a aucune valeur significative par beau temps. La valeur de 80 % dans toutes les conditions atmosphériques de la fonction excitatrice dépend beaucoup des conditions climatiques. Dans les zones à climat tempéré, cette valeur peut être tirée de la valeur par forte pluie en appliquant une correction plus élevée que celle utilisée pour les grands faisceaux. Pour ces zones, dans l'attente d'informations supplémentaires, une correction de 15 dB à 20 dB est suggérée.

Le complément d'informations illustré ci-après concerne les conditions de surface.

Les conducteurs tubulaires ont tendance à accumuler davantage de contaminant que les faisceaux, avec une possible influence sur la fonction excitatrice. Les essais ont démontré que la fonction excitatrice n'est pas influencée par la pollution des conducteurs quand ceux-ci sont humides, alors que pour des conducteurs secs, la présence de particules solides sur la surface peut considérablement augmenter le champ perturbateur radioélectrique, jusqu'aux valeurs de ces mêmes conducteurs par temps de pluie pour les plus hauts gradients, notamment pour les conducteurs de petit diamètre.

La formule illustrée dans ce paragraphe peut être utilisée aussi bien pour les barres que pour les conducteurs de ligne.

NOTE – Consideration of the external phase only does not unduly affect this simplified approach. A constant difference between the excitation functions of the central and external phases is assumed for all configurations: this assumption is not generally verified, but does not give deviations greater than 1 dB to 2 dB. An improvement in accuracy can be by considering the average value of the excitation functions.

4.3 Evaluation of corona radio noise field due to large tubular conductors

A procedure analogous to that suggested for the case of large bundle conductors (see 4.2.1) can be followed: the excitation function of each phase in heavy rain is evaluated by means of a semi-empirical formula and a correction factor is then applied to obtain the excitation function in other weather categories.

The following formula for the calculation of the excitation function, in $\text{dB}/\mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$, in heavy rain is proposed:

$$\Gamma_{\text{h-r}} = -121 + 120 \log(g) + 40 \log(d)$$

where

g is the maximum gradient on the conductor (in kV/cm);

d is its diameter (in cm).

As regards the corrections to be applied to obtain the excitation function in other weather categories, the following indications may be useful, until further experience is obtained.

- The excitation function in light rain can be related to the one under heavy rain by means of the correction factor indicated in figure 8, which is relevant to tubular conductors of 40 cm diameter. For other diameters, one should expect, as for bundle conductors, the correction increases as the diameter increases.
- As large tubular conductors have low electric gradients, the excitation function has insignificant values in fair weather conditions. The 80 % all-weather value of the excitation function thus depends very much on the climatic conditions. In moderate climates, this value may be obtained from the heavy rain value by applying a correction higher than that used for large bundles. For these areas, a correction of 15 dB to 20 dB is suggested until further information is available.

As regards the surface conditions, the following complementary information is available.

Tubular conductors are prone to accumulate more contaminant than bundle conductors the effect of which may be sufficient to alter the excitation function. Tests have shown that the excitation function will not be altered by the effect of pollutants when the conductor is wet. When dry, the presence of solid particles on the surface may increase the radio noise to a value as high as for the same conductor in rain for the highest gradients, especially for low diameter conductors.

The formula given in this subclause may be utilized both for busbars or for line conductors.

Dans le cas des barres, le courant perturbateur par unité de longueur, I_0 , peut être tiré de la fonction d'excitation Γ par l'intermédiaire de la matrice des capacitances du système de barres (conformément à la première formule de l'annexe B). A partir de I_0 , on obtient alors le courant total I_t injecté par la barre. Le courant perturbateur total, I , injecté dans chacune des lignes connectées au poste s'obtient grâce à la relation suivante (voir 2.7.2 du CISPR 18-2):

$$I = I_t/n$$

de sorte que sa contribution à la perturbation du conducteur de ligne peut être évaluée conformément au critère indiqué en 2.7.3 du CISPR 18-2.

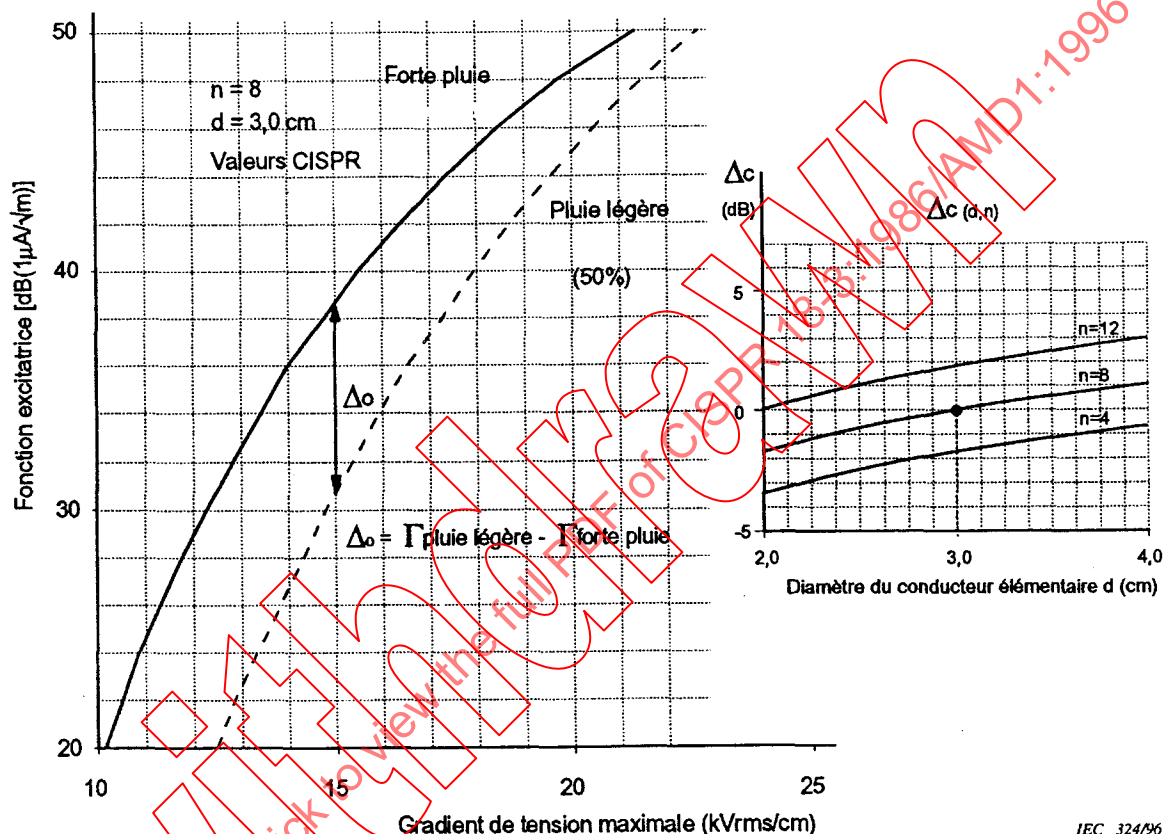


Figure 1 – Faisceaux de conducteurs

Facteurs de correction à appliquer à la fonction excitatrice par forte pluie pour obtenir celle par pluie légère et pour toutes les conditions atmosphériques, en fonction du gradient maximal et du nombre de conducteurs élémentaires.

$$\Gamma_{\text{pluie légère}} = \Gamma_{\text{forte pluie}} + \Delta_0 + \Delta_c$$

La fonction excitatrice par beau temps s'obtient en ôtant 17 dB de la fonction excitatrice par pluie légère.

$$\Gamma_{\text{beau temps}} = \Gamma_{\text{pluie légère}} - 17$$

Dans les climats tempérés, la valeur 80 % de la fonction excitatrice, Γ , pour toutes les conditions atmosphériques peut s'obtenir en ôtant 10 dB à 15 dB de la valeur de forte pluie.

In the case of busbars, the per unit length noise current I_0 can be obtained from the excitation function Γ by means of the matrix of capacitances of the bus-bar system (according to the first formula of annex B). From I_0 , the total current I_t injected by the busbar is then obtained. The noise current injected into each one of the n lines connected to the substation, I , is derived by means of the following relationship (see 2.7.2 of CISPR 18-2):

$$I = I_t/n$$

so that its contribution to the line conductor noise can be evaluated with the criteria indicated in 2.7.3 of CISPR 18-2.

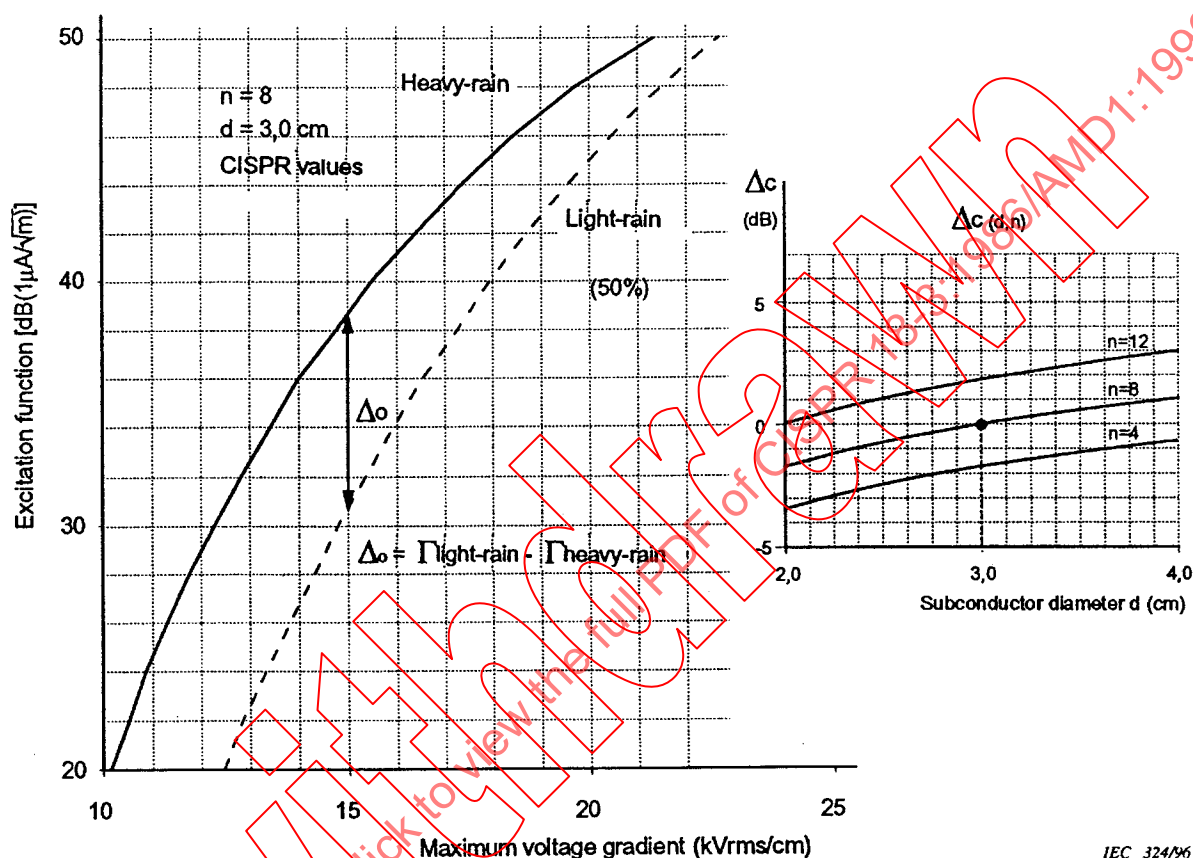


Figure 1 – Bundle conductors

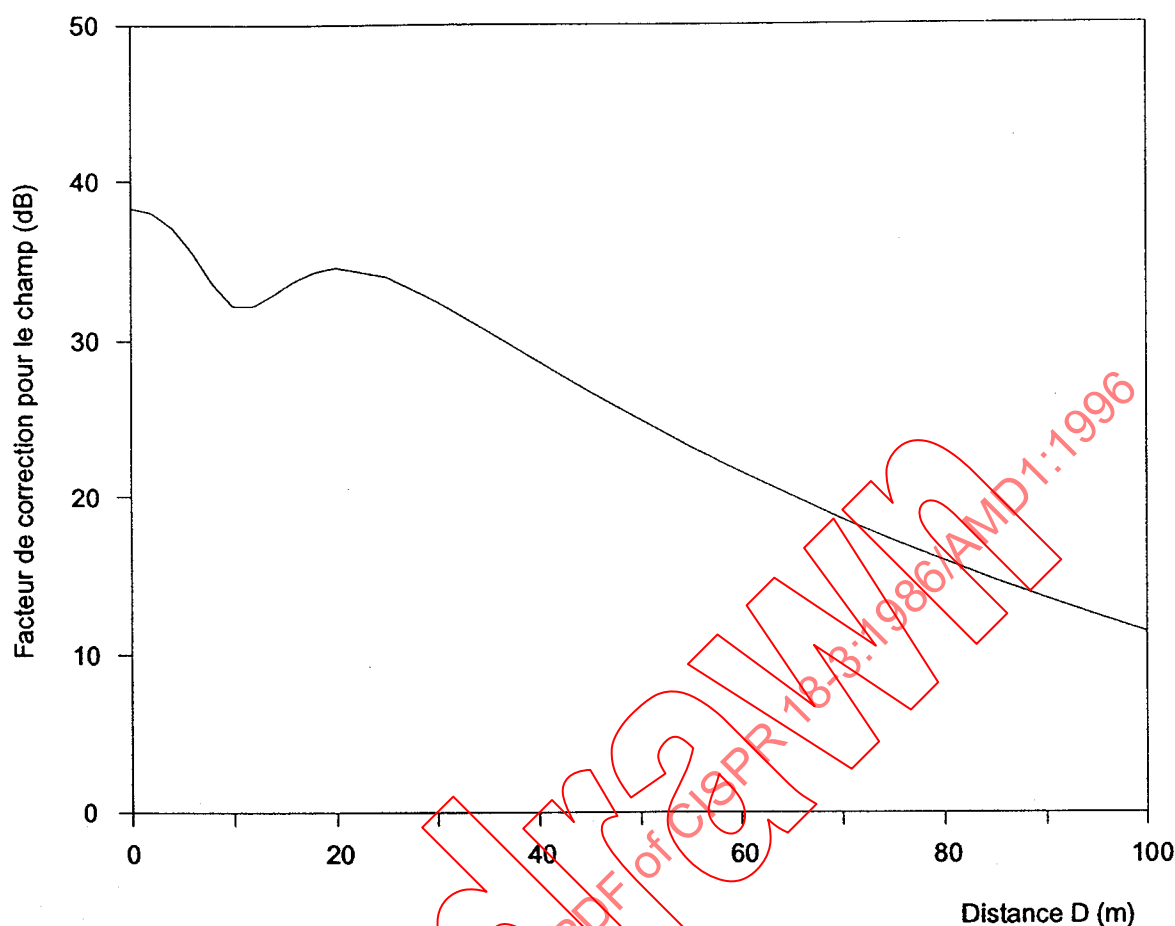
Correction factors to be applied to the heavy rain excitation function to obtain the excitation function for light rain and for all-time weather conditions, as a function of the maximum gradient and number of sub-conductors.

$$\Gamma_{\text{light-rain}} = \Gamma_{\text{heavy-rain}} + \Delta_o + \Delta_c$$

The fair weather excitation function is obtained by subtracting 17 dB from the light rain excitation function.

$$\Gamma_{\text{fair-weather}} = \Gamma_{\text{light-rain}} - 17$$

In temperate climates, the 80 % value of the excitation function Γ for all-time weather conditions can be obtained by subtracting 10 dB to 15 dB from the heavy rain value.



IEC 325/96

Figure 2 – Ligne avec conducteurs en configuration plate

Correction à appliquer à la fonction excitatrice calculée pour la phase centrale pour obtenir le niveau de perturbation radioélectrique en décibels (sur $\mu\text{V/m}$) comme une fonction de la distance D de l'axe d'une ligne ayant les caractéristiques suivantes et, par conséquent, la matrice modale et les facteurs d'atténuation modaux suivants:

$H = 20$ m (hauteur minimale au-dessus de la terre)

$S = 15$ m (distance entre les phases)

$d = 3$ cm (diamètre du conducteur élémentaire)

$n = 8$ (nombre de conducteurs élémentaires dans un faisceau)

$s = 450$ mm (espace du faisceau)

$\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$ (résistivité de la terre)

$f = 0,5$ MHz (fréquence)

$$|N| = \begin{bmatrix} 0,442 & 0,707 & 0,552 \\ -0,781 & 0,0 & 0,625 \\ 0,442 & -0,707 & 0,552 \end{bmatrix} \quad (\text{matrice modale})$$

$\alpha_1 = 10$ (Np/m 10^{-6})

$\alpha_2 = 70$ (Np/m 10^{-6}) (facteurs d'atténuation modaux)

$\alpha_3 = 350$ (Np/m 10^{-6})

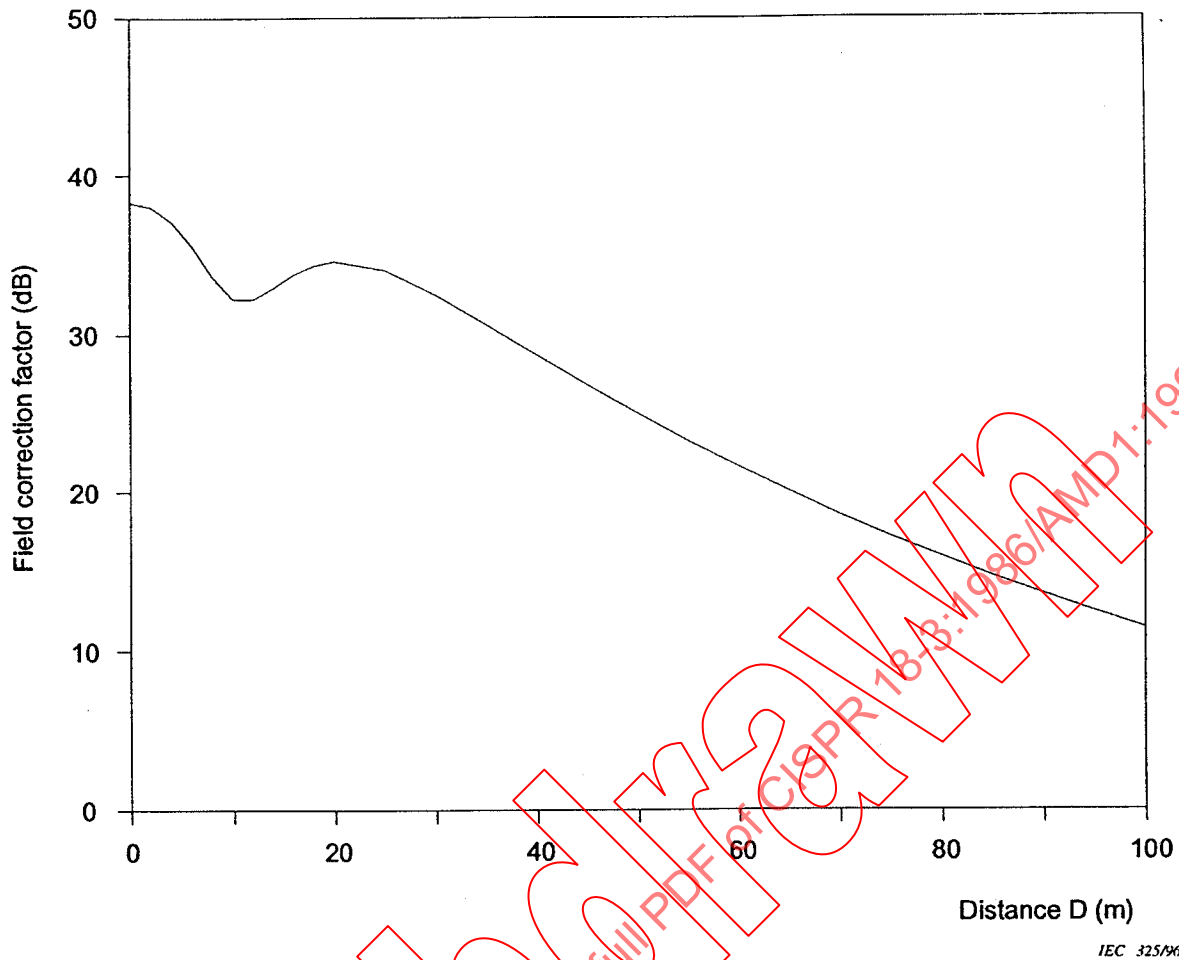


Figure 2 – Line with conductors in a flat configuration

Correction to be applied to the excitation function calculated for the central phase to obtain the radio noise field in decibels (above $\mu\text{V/m}$) as a function of the distance D from the axis of a line having the following characteristics and consequent modal matrix and attenuation factors:

$H = 20$ m (minimum height above the ground)

$S = 15$ m (distance between phases)

$d = 3$ cm (sub-conductor diameter)

$n = 8$ (number of sub-conductors in a bundle)

$s = 450$ mm (bundle spacing)

$\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$ (ground resistivity)

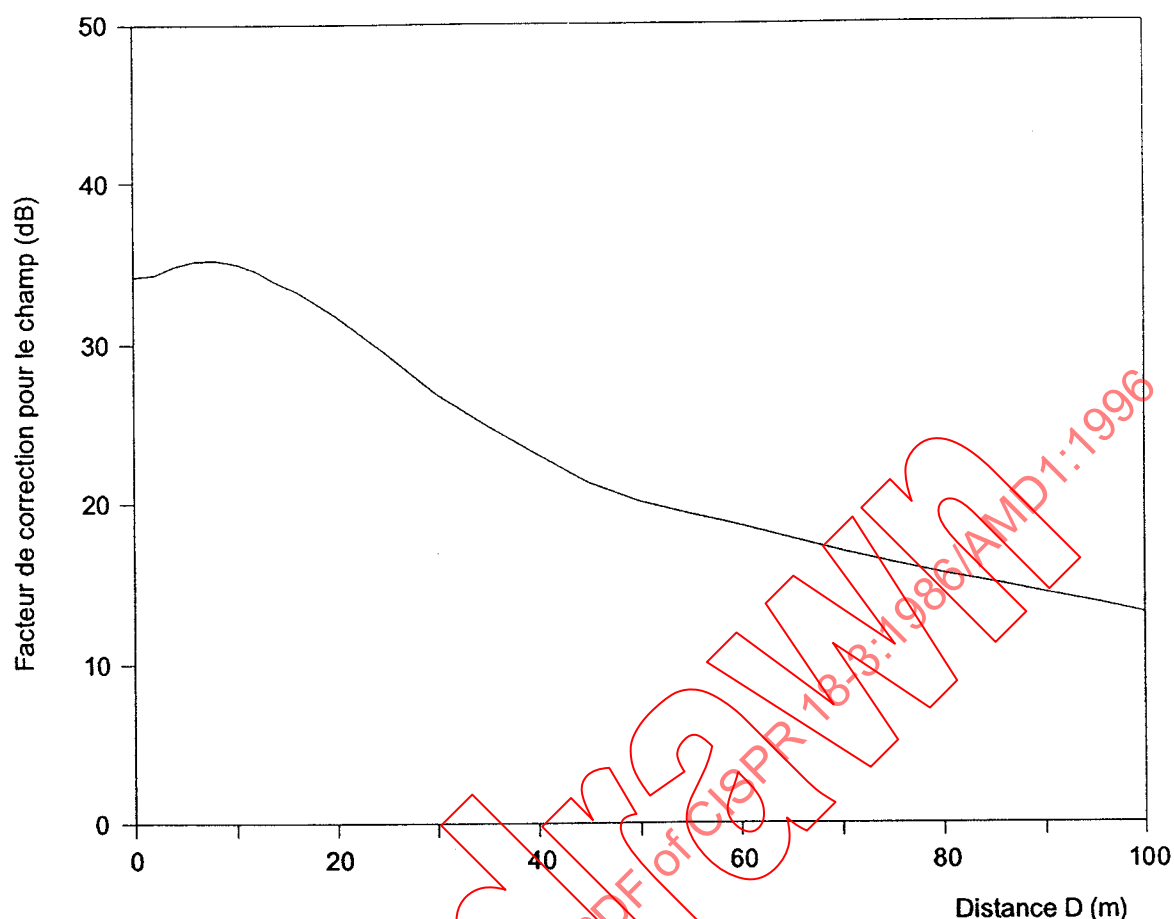
$f = 0,5$ MHz (frequency)

$$|N| = \begin{vmatrix} 0,442 & 0,707 & 0,552 \\ -0,781 & 0,0 & 0,625 \\ 0,442 & -0,707 & 0,552 \end{vmatrix} \quad (\text{modal matrix})$$

$\alpha_1 = 10$ (Np/m 10^{-6})

$\alpha_2 = 70$ (Np/m 10^{-6}) (modal attenuation factors)

$\alpha_3 = 350$ (Np/m 10^{-6})



IEC 326/96

Figure 3 – Ligne avec conducteurs en configuration de delta

Correction à appliquer à la fonction excitatrice calculée pour la phase centrale pour obtenir le niveau de perturbation radioélectrique en décibels (sur $\mu\text{V/m}$) comme une fonction de la distance D de l'axe d'une ligne ayant les caractéristiques suivantes et, par conséquent, la matrice modale et les facteurs d'atténuation modaux suivants.

$H = 20 \text{ m}$ (hauteur minimale au-dessus de la terre des phases latérales)

$H = 33 \text{ m}$ (hauteur minimale au-dessus de la terre de la phase centrale)

$S = 15 \text{ m}$ (distance entre les phases)

$d = 3 \text{ cm}$ (diamètre du conducteur élémentaire)

$n = 8$ (nombre de conducteurs élémentaires dans un faisceau)

$s = 450 \text{ mm}$ (espace du faisceau)

$\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$ (résistivité de la terre)

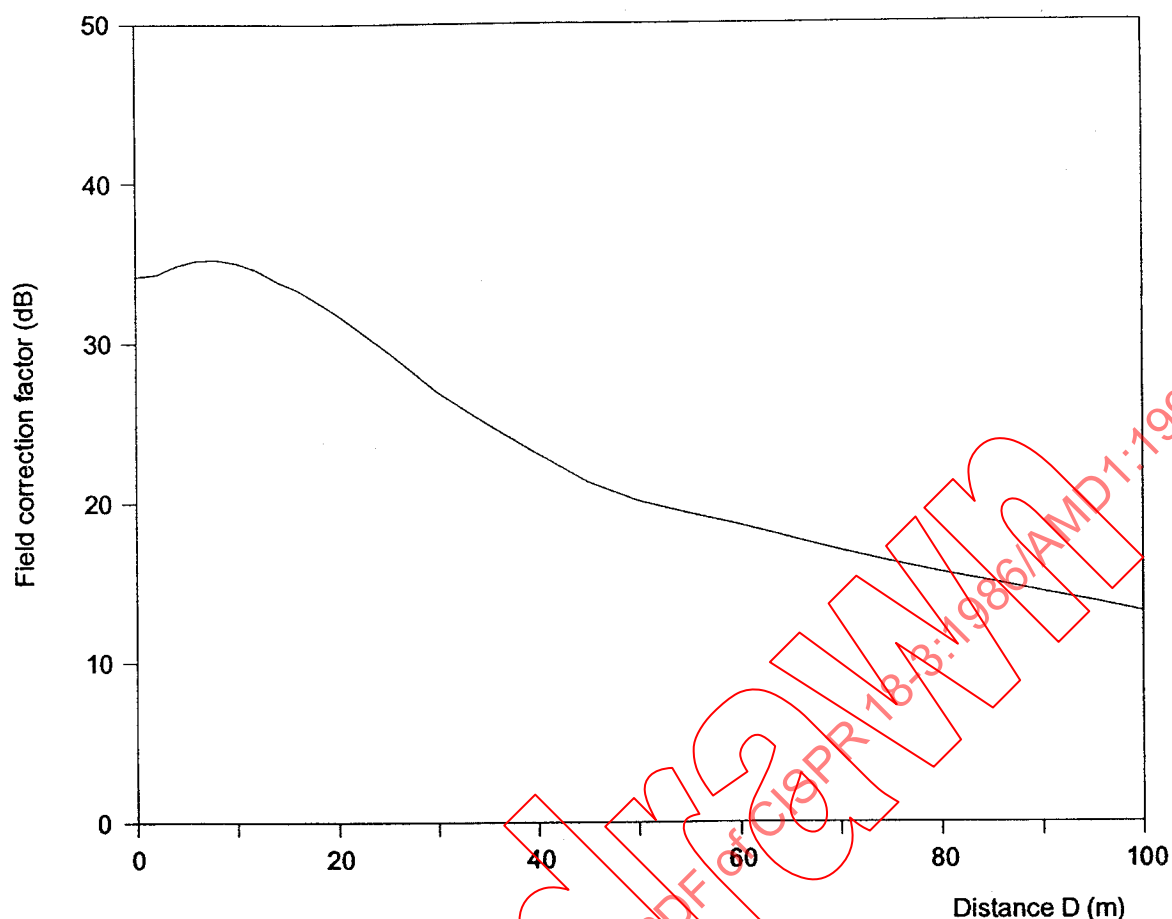
$f = 0,5 \text{ MHz}$ (fréquence)

$$|N| = \begin{vmatrix} 0,412 & 0,707 & 0,574 \\ -0,812 & 0,0 & 0,583 \\ 0,412 & -0,707 & 0,574 \end{vmatrix} \quad (\text{matrice modale})$$

$\alpha_1 = 10 \quad (\text{Np/m } 10^{-6})$

$\alpha_2 = 25 \quad (\text{Np/m } 10^{-6}) \quad (\text{facteurs d'atténuation modaux})$

$\alpha_3 = 300 \quad (\text{Np/m } 10^{-6})$



IEC 326/96

Figure 3 – Line with conductors in a delta configuration

Correction to be applied to the excitation function calculated for the central phase to obtain the radio noise field in decibels (above $\mu\text{V/m}$) as a function of the distance D from the axis of a line having the following characteristics and consequent modal matrix and attenuation factors:

$H = 20$ m (minimum height above the ground of the lateral phases)

$H = 33$ m (minimum height above the ground of the central phase)

$S = 15$ m (distance between phases)

$d = 3$ cm (sub-conductor diameter)

$n = 8$ (number of sub-conductors in a bundle)

$s = 450$ mm (bundle spacing)

$\rho = 100 \Omega\cdot\text{m}$ (ground resistivity)

$f = 0,5$ MHz (frequency)

$$|N| = \begin{vmatrix} 0,412 & 0,707 & 0,574 \\ -0,812 & 0,0 & 0,583 \\ 0,412 & -0,707 & 0,574 \end{vmatrix} \quad (\text{modal matrix})$$

$\alpha_1 = 10$ (Np/m 10^{-6})

$\alpha_2 = 25$ (Np/m 10^{-6}) (modal attenuation factors)

$\alpha_3 = 300$ (Np/m 10^{-6})

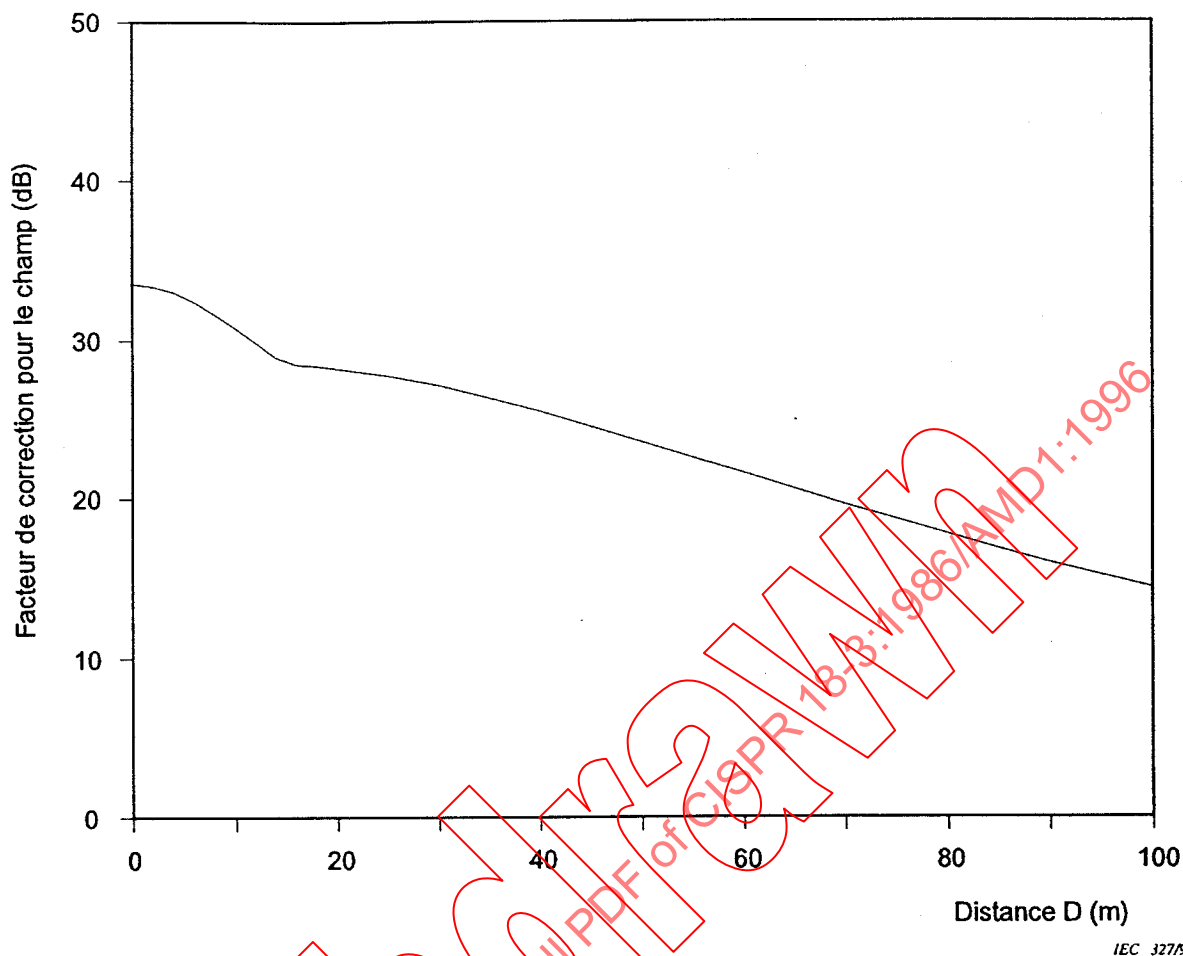


Figure 4 – Ligne avec conducteurs en configuration triangulaire

Correction à appliquer à la fonction excitatrice calculée pour la phase centrale pour obtenir le niveau de perturbation radioélectrique en décibels (sur $\mu\text{V/m}$) comme une fonction de la distance D de l'axe d'une ligne ayant les caractéristiques suivantes et, par conséquent, la matrice modale et les facteurs d'atténuation modaux suivants:

$H = 33$ m (hauteur minimale au-dessus de la terre des phases latérales)

$H = 20$ m (hauteur minimale au-dessus de la terre de la phase centrale)

$S = 15$ m (distance entre les phases)

$d = 3$ cm (diamètre du conducteur élémentaire)

$n = 8$ (nombre de conducteurs élémentaires dans un faisceau)

$s = 450$ mm (espace du faisceau)

$\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$ (résistivité de la terre)

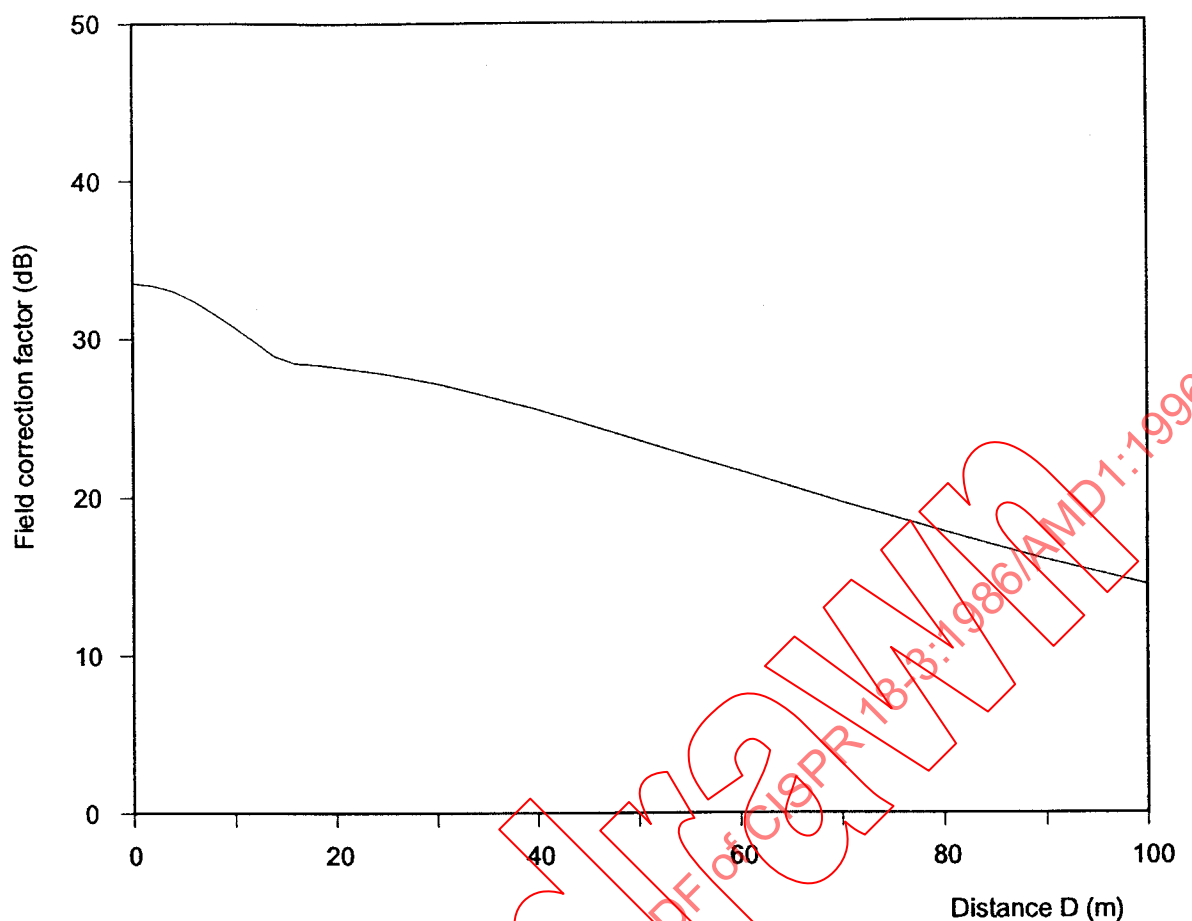
$f = 0,5$ MHz (fréquence)

$$|N| = \begin{vmatrix} 0,476 & 0,707 & 0,447 \\ -0,740 & 0,0 & 0,775 \\ 0,476 & -0,707 & 0,447 \end{vmatrix} \quad (\text{matrice modale})$$

$\alpha_1 = 25$ (Np/m 10^{-6})

$\alpha_2 = 15$ (Np/m 10^{-6}) (facteurs d'atténuation modaux)

$\alpha_3 = 250$ (Np/m 10^{-6})



IEC 327/96

Figure 4 – Line with conductors in a triangular configuration

Correction to be applied to the excitation function calculated for the central phase to obtain the radio noise field in decibels (above $\mu\text{V/m}$) as a function of the distance D from the axis of a line having the following characteristics and consequent modal matrix and attenuation factors:

$H = 33 \text{ m}$ (minimum height above the ground of the lateral phases)

$H = 20 \text{ m}$ (minimum height above the ground of the central phase)

$S = 15 \text{ m}$ (distance between phases)

$d = 3 \text{ cm}$ (sub-conductor diameter)

$n = 8$ (number of sub-conductors in a bundle)

$s = 450 \text{ mm}$ (bundle spacing)

$\rho = 100 \Omega\cdot\text{m}$ (ground resistivity)

$f = 0,5 \text{ MHz}$ (frequency)

$$|N| = \begin{vmatrix} 0,476 & 0,707 & 0,447 \\ -0,740 & 0,0 & 0,775 \\ 0,476 & -0,707 & 0,447 \end{vmatrix} \quad (\text{modal matrix})$$

$\alpha_1 = 25 \quad (\text{Np/m } 10^{-6})$

$\alpha_2 = 15 \quad (\text{Np/m } 10^{-6}) \quad (\text{modal attenuation factors})$

$\alpha_3 = 250 \quad (\text{Np/m } 10^{-6})$

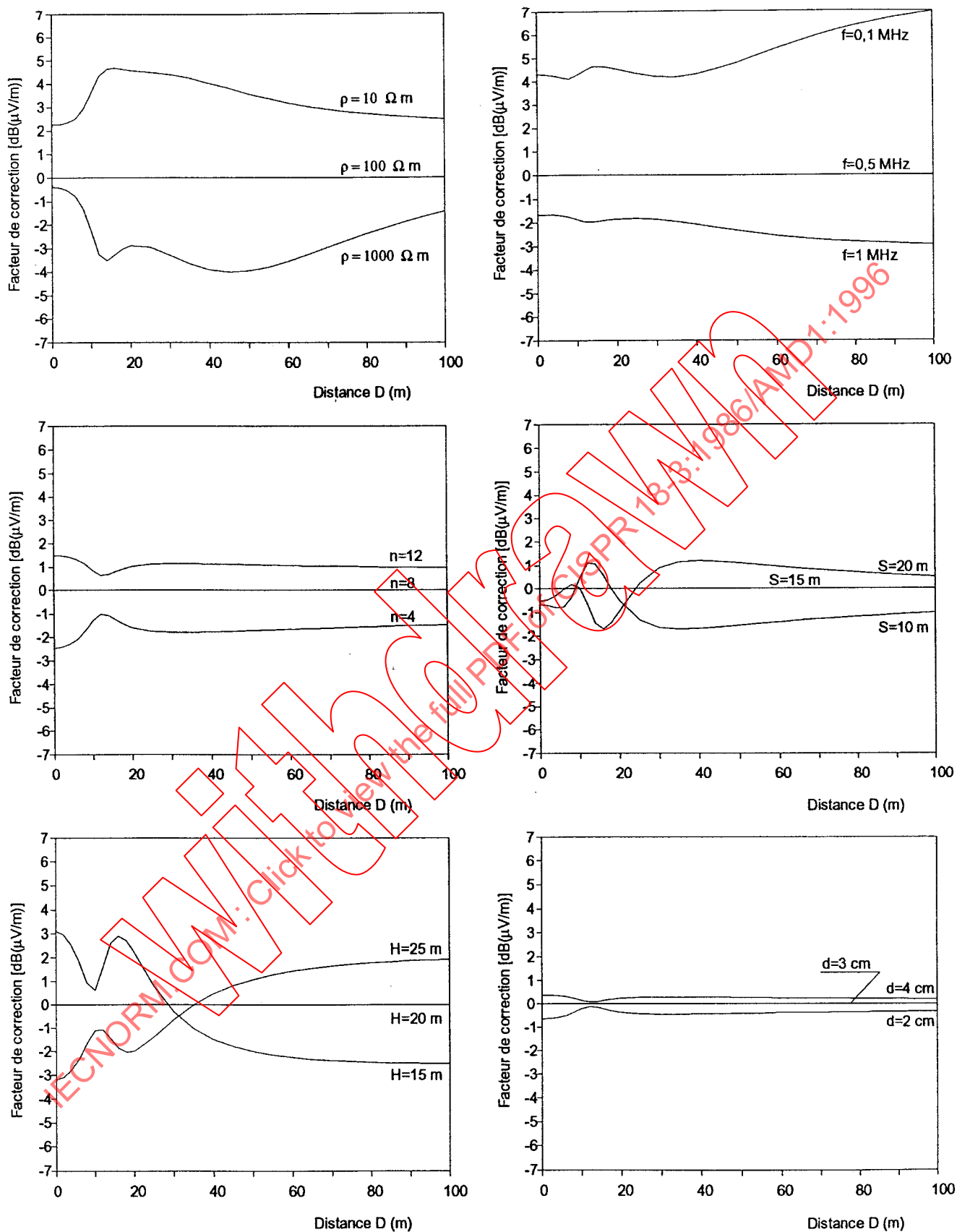


Figure 5 – Ligne avec conducteurs en configuration plate

Correction en décibels à appliquer au champ perturbateur radioélectrique de référence tiré de la figure 2, pour tenir compte de la résistivité de la terre ρ , de la fréquence f , du nombre de conducteurs élémentaires n , de l'espace entre phases S , de la hauteur minimale au-dessus de la terre H et du diamètre des conducteurs élémentaires d .

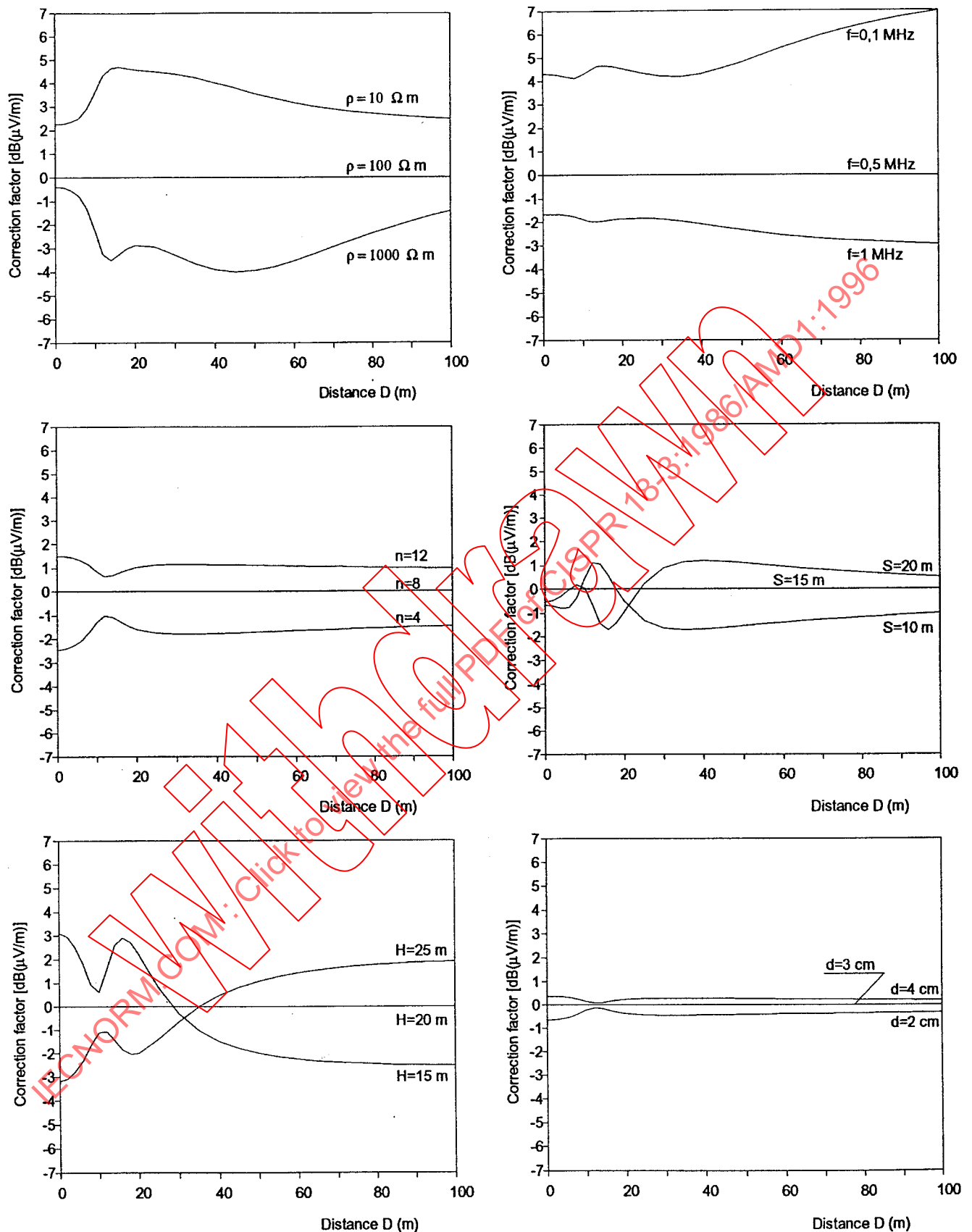


Figure 5 – Line with conductors in a flat configuration

Corrections in decibels to be applied to the reference radio noise electric field obtained from figure 2, to account for ground resistivity ρ , frequency f , number of sub-conductors n , interphase spacing S , minimum height above the ground H and sub-conductor diameter d .

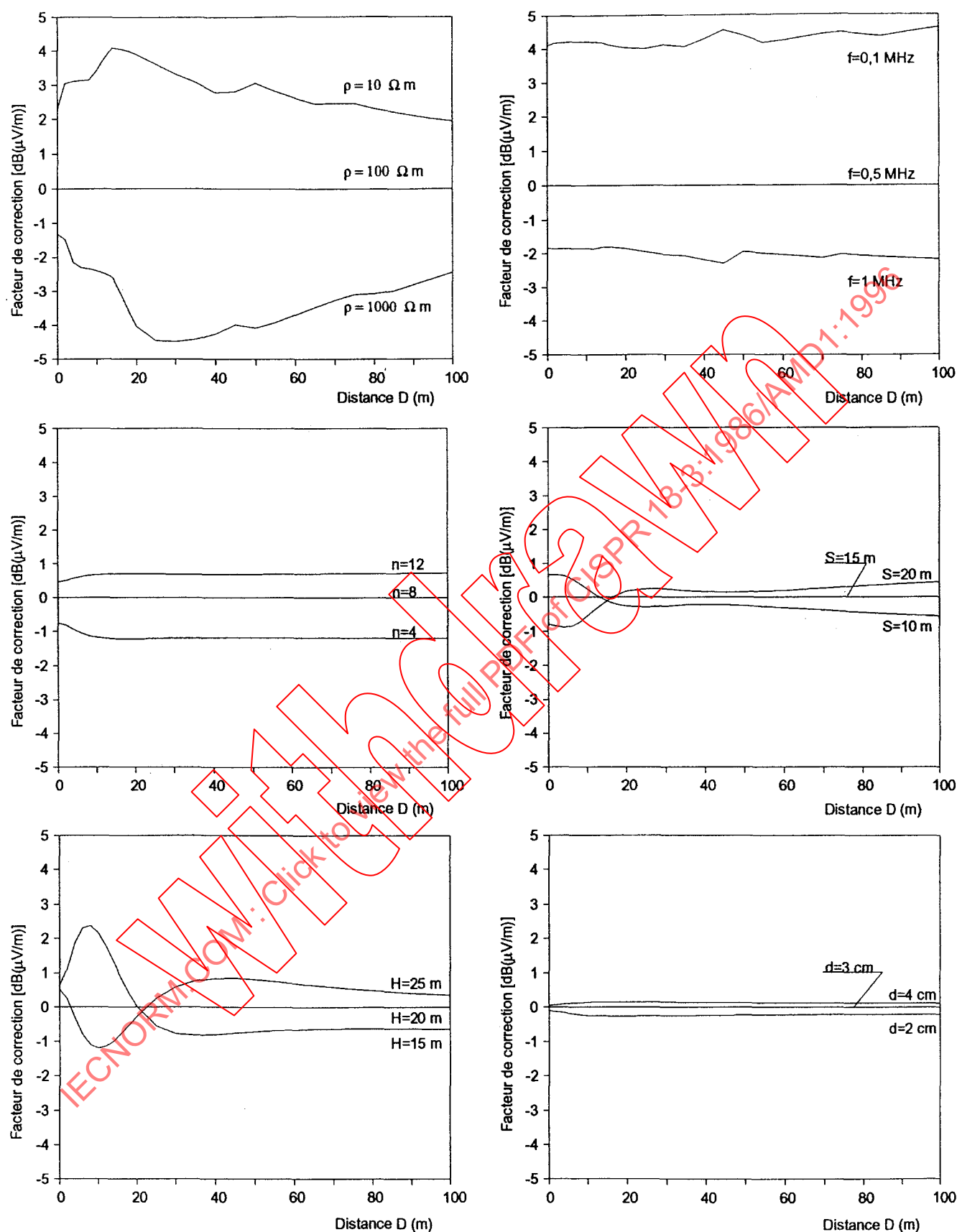
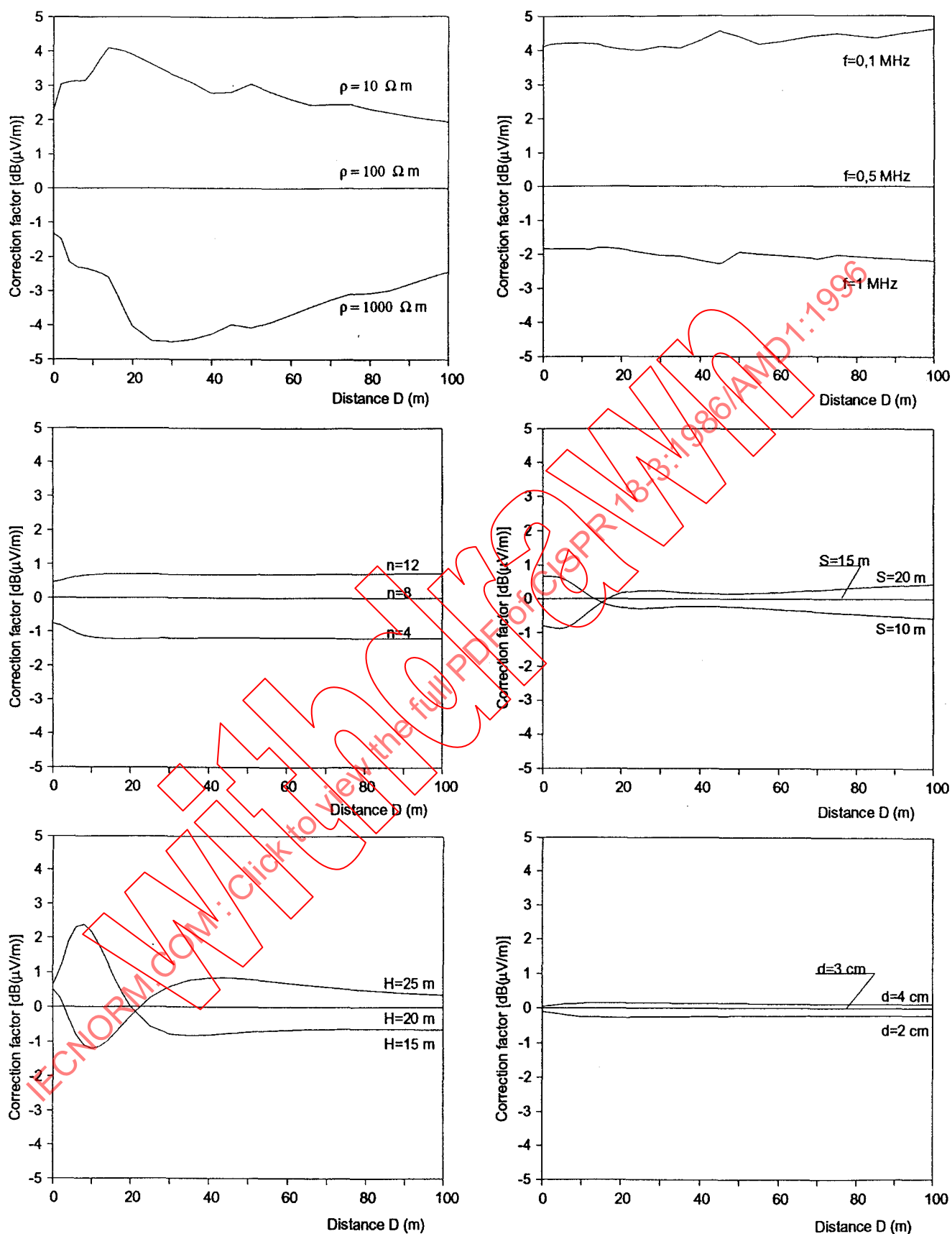


Figure 6 – Ligne avec conducteurs en configuration de delta

Correction en décibels à appliquer au champ perturbateur radioélectrique de référence tiré de la figure 3, pour tenir compte de la résistivité de la terre ρ , de la fréquence f , du nombre de conducteurs élémentaires n , de l'espace entre phases S , de la hauteur minimale au-dessus de la terre H et du diamètre des conducteurs élémentaires d .



IEC 329/96

Figure 6 – Line with conductors in a delta configuration

Corrections in decibels to be applied to the reference radio noise electric field obtained from figure 3, to account for ground resistivity ρ , frequency f , number of sub-conductors n , interphase spacing S , minimum height above the ground H and sub-conductor diameter d .

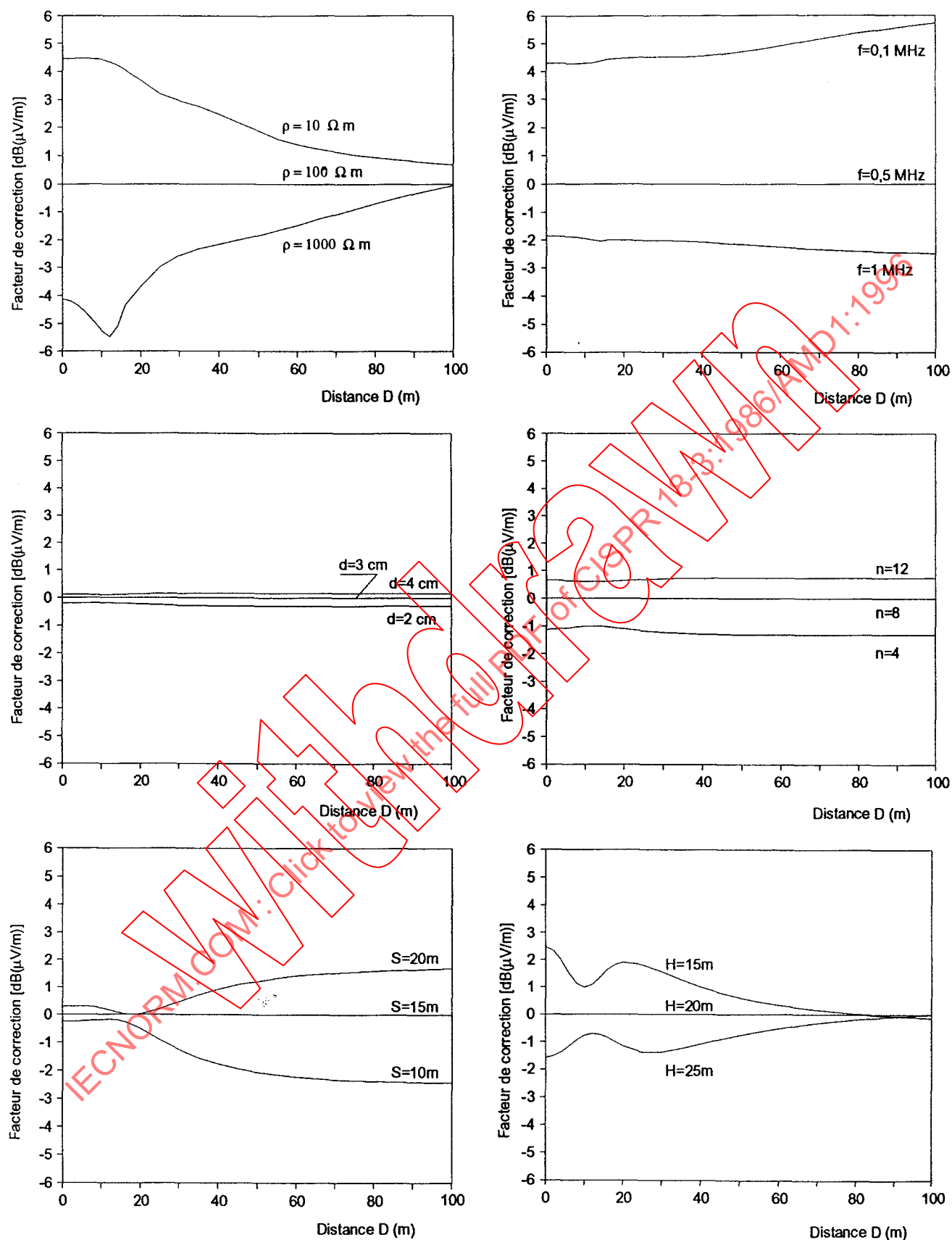


Figure 7 – Ligne avec conducteurs en configuration triangulaire

Correction en décibels à appliquer au champ perturbateur radioélectrique de référence tiré de la figure 4, pour tenir compte de la résistivité de la terre ρ , de la fréquence f , du nombre de conducteurs élémentaires n , de l'espace entre phases S , de la hauteur minimale au-dessus de la terre H et du diamètre des conducteurs élémentaires d .

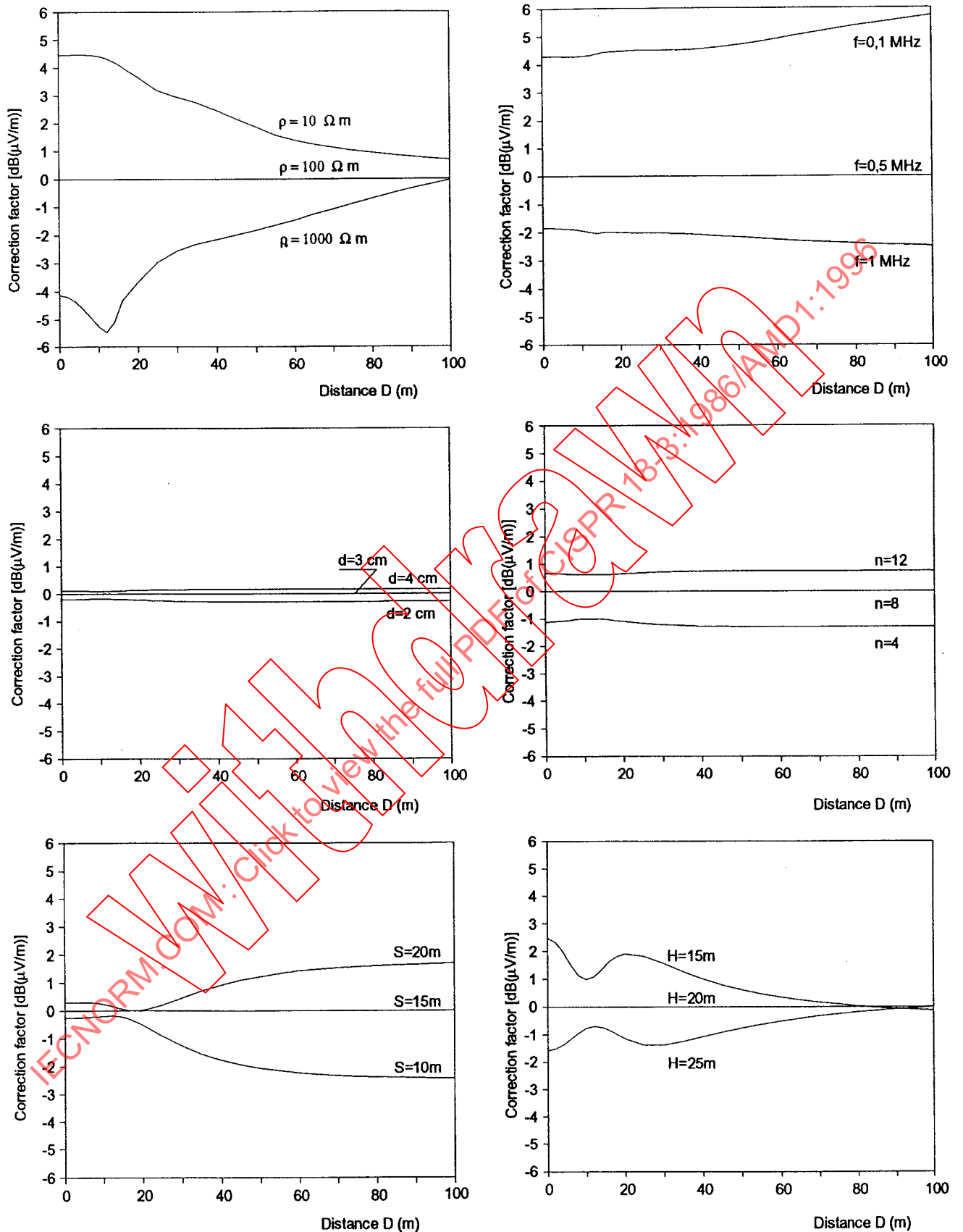


Figure 7 – Line with conductors in a triangular configuration

Corrections in decibels to be applied to the reference radio noise electric field obtained from figure 4, to account for ground resistivity ρ , frequency f , number of sub-conductors n , interphase spacing S , minimum height above the ground H and sub-conductor diameter d .

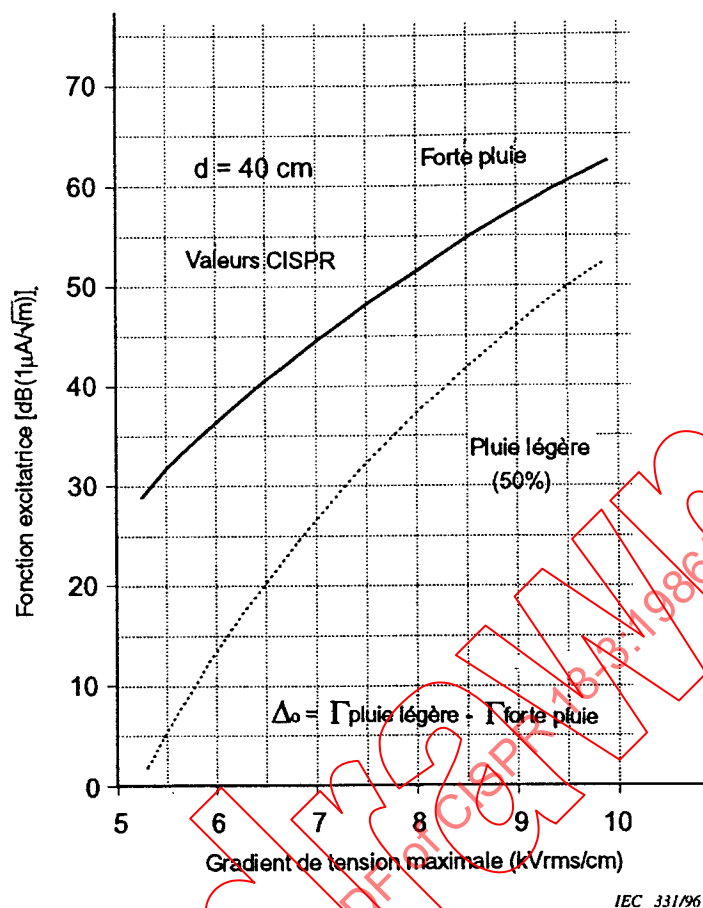
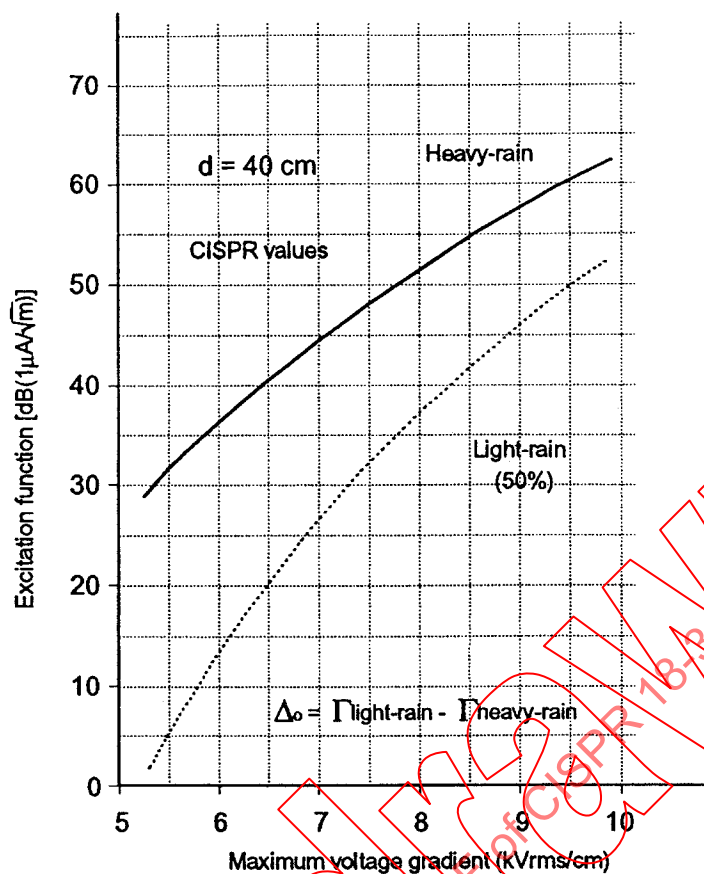


Figure 8 – Conducteurs tubulaires de 40 cm de diamètre

Facteur de correction à appliquer à la fonction excitatrice par forte pluie pour obtenir celle par pluie légère en une fonction du gradient de tension maximal.



IEC 331/96

Figure 8 – Tubular conductors of 40 cm diameter

Correction factor to be applied to the heavy rain excitation function to obtain that under light rain as a function of the maximum voltage gradient.

Ajouter la nouvelle annexe B suivante:

Annexe B (informative)

Procédure analytique pour la détermination des interférences radio à une distance donnée d'une ligne à haute tension avec un grand faisceau

B.1 Procédure analytique

Cette procédure se réfère à la géométrie de la ligne comme illustré à la figure B.1.

- 1) Détermination des courants couronne $|i_o|$ à une distance longitudinale x de la section de référence, due à la fonction excitatrice Γ_1 de la phase 1, considérée comme constante le long de toute la ligne (distribution uniforme des sources couronne).

$$|i_o| = |C| \cdot |\Gamma| / 2\pi\epsilon_0 \quad \begin{matrix} |\Gamma| \\ 0 \\ 0 \end{matrix}$$

où

$|C|$ est la matrice des capacitances de la ligne;

ϵ_0 est la permittivité de l'air.

- 2) Détermination des courants modaux $|i_{om}|$ par l'intermédiaire de la matrice de transformation modale $|N|$ obtenue comme les vecteurs propres de la matrice $|B| = |Y| \cdot |Z|$ ou, dans une analyse plus simplifiée, comme les vecteurs propres de la matrice $|C|^{-1} (|Z|$ et $|Y|$ sont respectivement les matrices des impédances de séries et de l'admittance de parallèle). Des valeurs typiques de $|N|$ sont données dans les figures 2, 3 et 4, pour des configurations de lignes différentes.

$$|i_{om}| = |N|^{-1} \cdot |i_o|$$

Détermination des courants modaux $|i_m(x)|$ à la section de référence de la ligne, à l'aide des facteurs de propagation modale ($\lambda_m = \alpha_m + j \cdot \beta_m$) et considérant la subdivision des courants dans les deux sections de la ligne.

$$|i_m(x)| = 0,5 \exp(-\lambda_m \cdot x) \cdot |i_{om}| \quad (m = 1 \text{ à } 3)$$

Les facteurs λ_m s'obtiennent comme valeurs propres de la matrice $|B|$ ou expérimentalement. Des valeurs typiques de α_m sont données aux figures 2, 3 et 4, pour des configurations de lignes différentes.

- 3) Détermination des courants de phase à la section de référence de la ligne.

$$|i(x)| = |N| \cdot |i_m(x)|$$

Add the following new annex B:

Annex B (informative)

Analytical procedure for the predetermination of the radio noise field, at a given distance from an overhead line with large bundle conductors

B.1 Analytical procedure

The procedure makes reference to the geometry of the line as indicated in figure B.1.

- 1) Determination of the corona currents $|i_o|$ at a longitudinal distance x from the reference section, due to the excitation function Γ_1 of phase 1, considered constant along all the line (uniform distribution of corona sources).

$$|i_o| = |C| \cdot |\Gamma| / 2\pi\epsilon_0 \quad |\Gamma| = \begin{vmatrix} \Gamma_1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

where

$|C|$ is the matrix of the line capacitances;

ϵ_0 is the air permittivity.

- 2) Determination of the modal currents $|i_{om}|$, by using the modal transformation matrix $|N|$, obtained as the eigenvectors of the matrix $|B| = |Y| \cdot |Z|$ or, in a more simplified analysis, as the eigenvectors of matrix $|C|^{-1}$ ($|Z|$ and $|Y|$ are the series impedance and the shunt admittance matrices, respectively). Typical values of $|N|$ are given for different line configurations in figures 2, 3 and 4.

$$|i_{om}| = |N|^{-1} \cdot |i_o|$$

Determination of the modal currents $|i_m(x)|$ at the reference section of the line, by using the modal propagation factors ($\lambda_m = \alpha_m + j \cdot \beta_m$) and considering subdivision of the currents into the two sections of the line.

$$|i_m(x)| = 0,5 \exp(-\lambda_m \cdot x) \cdot |i_{om}| \quad (m = 1 \text{ to } 3)$$

The factors λ_m are obtained as eigenvalues of the matrix $|B|$ or experimentally. Typical values of α_m are given for different line configurations in figures 2, 3 and 4.

- 3) Determination of the phase currents at the reference section of the line.

$$|i(x)| = |N| \cdot |i_m(x)|$$

4) Détermination de la composante horizontale du champ magnétique $H_1(x,y)$ et de la composante verticale correspondante du champ électrique $E_1(x,y)$ à une distance y donnée d'une position de référence.

$$E_1(x,y) = 120 \pi \cdot H_1(x,y) = 60 \sum_i i_j(x) \cdot F_j(y)$$

où

$$F_j(y) = z_j / [z^2 + (y - y_j)^2] + (z_j + 2p) / [(z_j + 2p)^2 + (y - y_j)^2]$$

et

$$p = \sqrt{(\rho / \pi \mu_0 f)};$$

ρ est la résistivité de la terre ($\Omega.m$);

f est la fréquence (Hz);

μ_0 est la permittivité magnétique de l'espace libre.

5) Accumulation conformément à une loi quadratique, des champs dus à toutes les sources couronne à des distances longitudinales variables de la ligne section de référence.

$$E_1(y) = \sqrt{2 \int |E_1(x,y)|^2 dx}$$

Partant de l'expression précédente pour $E_1(x,y)$, en effectuant l'intégration et en prenant $\beta_m - \beta_n = \alpha_m - \alpha_n$, l'expression suivante peut être obtenue pour $E_1(x)$:

$$E_1(y) = \sqrt{\left\{ \sum_m (A_m^2 / \alpha_m) + \sum_{m,n} 2 [A_m \cdot A_n \cdot (\alpha_m + \alpha_n) / (\alpha_m^2 + \alpha_n^2)] \right\}}$$

$$A_m = 30 i_{om} \cdot \sum_i [N_{i,m} \cdot F_i(y)] \quad (m,n = \text{modes}; i = \text{phases})$$

6) Eu égard à la même distance latérale y , la même méthode de calcul pourra être appliquée en prenant la génération couronne des phases 2 et 3.

$$|\Gamma|_2 = \begin{vmatrix} 0 \\ \Gamma_2 \\ 0 \end{vmatrix} \quad |\Gamma|_3 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \Gamma_3 \end{vmatrix}$$

7) En plaçant les trois valeurs des champs électriques, exprimées en décibels, dans l'ordre décroissant [$E_a(y) \geq E_b(y) \geq E_c(y)$], on obtient le champ total $E(y)$ en décibels, conformément à la règle CISPR, de la manière suivante:

$$E(y) = E_a(y) \quad \text{si } E_a(y) \geq E_b(y) + 3 \text{ dB}$$

$$E(y) = [E_a(y) + E_b(y)]/2 + 1,5 \text{ dB dans les autres cas.}$$

NOTE - Pour les lignes à double circuit on applique la même procédure, en calculant le champ $E_1'(y)$, $E_1''(y)$; $E_2'(y)$, $E_2''(y)$; $E_3'(y)$, $E_3''(y)$.

$$E_1(y) = \sqrt{[E_1'(y) + E_1''(y)]}$$

$$E_2(y) = \sqrt{[E_2'(y) + E_2''(y)]}$$

$$E_3(y) = \sqrt{[E_3'(y) + E_3''(y)]}$$

Un exemple de la procédure illustrée ci-dessus est donné à l'article B.2.

- 4) Determination of the horizontal component of the magnetic field $H_1(x,y)$ and the corresponding vertical component of the electric field $E_1(x,y)$ at a given lateral distance y from a reference position.

$$E_1(x,y) = 120 \pi \cdot H_1(x,y) = 60 \sum_j i_j(x) \cdot F_j(y)$$

where

$$F_j(y) = z_j/[z^2 + (y - y_j)^2] + (z_j + 2p) / [(z_j + 2p)^2 + (y - y_j)^2]$$

and

$$p = \sqrt{(\rho / \pi \mu_0 f)};$$

ρ is the ground resistivity ($\Omega \cdot m$);

f is the frequency (Hz);

μ_0 is the magnetic permittivity of the free space.

- 5) Accumulation according to a quadratic law, of the fields due to all the corona sources at various longitudinal distances from the reference line section.

$$E_1(y) = \sqrt{2 \int |E_1(x,y)|^2 dx}$$

Introducing the previous expression for $E_1(x,y)$, performing the integration and assuming $\beta_m - \beta_n = \alpha_m - \alpha_n$, the following expression for $E_1(x)$ may be obtained:

$$E_1(y) = \sqrt{\left\{ \sum_m (A_m^2 / \alpha_m) + \sum_{m,n}^2 [A_m \cdot A_n \cdot (\alpha_m + \alpha_n) / (\alpha_m^2 + \alpha_n^2)] \right\}}$$

$$A_m = 30 i_{om} \cdot \sum_i [N_{i,m} \cdot F_i(y)] \quad (m,n = \text{modes}, i = \text{phases})$$

- 6) With reference to the same lateral distance y , the same calculation method is applied assuming corona generation on phases 2 and 3.

$$|\Gamma|_2 = \begin{vmatrix} 0 \\ \Gamma_2 \\ 0 \end{vmatrix} \quad |\Gamma|_3 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \Gamma_3 \end{vmatrix}$$

- 7) Putting the three values of electric fields, expressed in decibels, in decreasing order [$E_a(y) \geq E_b(y) \geq E_c(y)$], the total field $E(y)$ in decibels is obtained, according to the CISPR rule, as follows:

$$E(y) = E_a(y) \quad \text{If } E_a(y) \geq E_b(y) + 3 \text{ dB}$$

$$E(y) = [E_a(y) + E_b(y)]/2 + 1,5 \text{ dB in the other cases.}$$

NOTE – For double circuit lines, the same procedure is applied, calculating the fields $E_1'(y)$, $E_1''(y)$; $E_2'(y)$, $E_2''(y)$; $E_3'(y)$, $E_3''(y)$.

$$E_1(y) = \sqrt{[E_1'(y) + E_1''(y)]}$$

$$E_2(y) = \sqrt{[E_2'(y) + E_2''(y)]}$$

$$E_3(y) = \sqrt{[E_3'(y) + E_3''(y)]}$$

An example of the procedure illustrated above is given in clause B.2.

B.2 Exemple de calcul de l'interférence radioélectrique

On suppose une ligne présentant les caractéristiques suivantes (se référer au schéma de la figure 2):

Tension	$V = 1\,050\text{ kV}$
Nombre de conducteurs élémentaires	$n = 8$
Diamètre du conducteur élémentaire	$d = 3\text{ cm}$
Ecart entre deux conducteurs élémentaires	$s = 45\text{ cm}$
Hauteur minimale au-dessus de la terre	$H1 = H2 = H3 = 20\text{ m}$
Flèche	15 m
Ecart d'interphase	$S = 15\text{ m}$
Deux câbles de garde	
Résistivité de la terre	$\rho = 100\ \Omega\text{ m}$

Ensuite, les gradients de tension maximaux sont (voir annexe A du CISPR 18-1):

pour les phases latérales	$16,5\text{ kV/cm}$
pour la phase centrale	$18,2\text{ kV/cm}$

Les fonctions excitatrices par forte pluie sont (voir 4.2.2):

pour les phases latérales	$70 - 35,45 + 16,7 - 9,03 = 42,2\text{ dB sur } 1\ \mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$ (correspondant à $128\ \mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$)
pour la phase centrale	$70 - 32,18 + 16,7 - 9,03 = 45,5\text{ dB sur } 1\ \mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$ (correspondant à $188\ \mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$)

La matrice de capacitances:

$$|C| / 2\pi \epsilon_0 = \begin{vmatrix} 0,2442 & -0,0491 & -0,0123 \\ -0,0491 & 0,2563 & -0,0491 \\ -0,0123 & -0,0491 & 0,2442 \end{vmatrix}$$

On considère la génération de première couronne dans la phase 1 exclusivement. Ensuite:

$$|\Gamma|_1 = \begin{vmatrix} 128 \\ 0,0 \\ 0,0 \end{vmatrix} \quad (\mu\text{A}/\sqrt{\text{m}})$$

$$|i_0| = |C| \cdot |\Gamma|_1 / 2\pi \epsilon_0 = \begin{vmatrix} 0,2442 \cdot 128 \\ -0,0491 \cdot 128 \\ -0,0123 \cdot 128 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 31,26 \\ -6,28 \\ -1,57 \end{vmatrix} \quad (\mu\text{A}/\sqrt{\text{m}})$$

B.2 Example of calculation of the radio noise field

Given a line with the following characteristics (reference is made to the scheme of figure 2).

Voltage	$V = 1\,050\text{ kV}$
Number of sub-conductors	$n = 8$
Subconductor diameter	$d = 3\text{ cm}$
Spacing between sub-conductors	$s = 45\text{ cm}$
Minimum height on the ground	$H_1 = H_2 = H_3 = 20\text{ m}$
Sag	15 m
Interphase spacing	$S = 15\text{ m}$
Two earth wires	
Earth resistivity	$\rho = 100\ \Omega\text{ m}$

Then the maximum voltage gradients are (see CISPR 18-1, appendix A):

for the lateral phases	16,5 kV/cm
for the central phase	18,2 kV/cm

The excitation functions in heavy rain (see 4.2.2):

for the lateral phases	$70 - 35,45 + 16,7 - 9,03 = 42,2\text{ dB above } 1\ \mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$ (corresponding to $128\ \mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$)
for the central phase	$70 - 32,18 + 16,7 - 9,03 = 45,5\text{ dB above } 1\ \mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$ (corresponding to $188\ \mu\text{A}/\sqrt{\text{m}}$)

The matrix of capacitances:

$$|C| / 2\pi \epsilon_0 = \begin{vmatrix} 0,2442 & -0,0491 & -0,0123 \\ -0,0491 & 0,2563 & -0,0491 \\ -0,0123 & -0,0491 & 0,2442 \end{vmatrix}$$

Consider first corona generation on phase 1 only. Then:

$$|\Gamma|_1 = \begin{vmatrix} 128 \\ 0,0 \\ 0,0 \end{vmatrix} \quad (\mu\text{A}/\sqrt{\text{m}})$$

$$|i_0| = |C| \cdot |\Gamma|_1 / 2\pi \epsilon_0 = \begin{vmatrix} 0,2442 \cdot 128 \\ -0,0491 \cdot 128 \\ -0,0123 \cdot 128 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 31,26 \\ -6,28 \\ -1,57 \end{vmatrix} \quad (\mu\text{A}/\sqrt{\text{m}})$$