

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1334-1-4**

Première édition
First edition
1995-11

**Automatisation de la distribution
à l'aide de systèmes de communication
à courants porteurs –**

Partie 1:

Considérations générales –

Section 4: Identification des paramètres de transmission de données des réseaux de distribution moyenne et basse tension

**Distribution automation using
distribution line carrier systems –**

Part 1:

General considerations –

Section 4: Identification of data transmission parameters concerning medium and low-voltage distribution mains



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1334-1-4: 1995

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 3
TECHNICAL
REPORT – TYPE 3**

**CEI
IEC
1334-1-4**

Première édition
First edition
1995-11

**Automatisation de la distribution
à l'aide de systèmes de communication
à courants porteurs –**

Partie 1:

Considérations générales –

Section 4: Identification des paramètres de transmission de données des réseaux de distribution moyenne et basse tension

**Distribution automation using
distribution line carrier systems –**

Part 1:

General considerations –

Section 4: Identification of data transmission parameters concerning medium and low-voltage distribution mains

© CEI 1995 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.

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

U

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Paramètres de transmission	8
3 Paramètres de transmission des composants principaux du réseau de distribution	10
3.1 Condensateurs	10
3.2 Transformateurs.....	12
3.3 Câbles	14
4 Section du réseau d'énergie MT	14
5 Section du réseau d'énergie BT.....	16
Figures	18

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	9
2 Transmission parameters	9
3 Transmission parameters of the main components of a distribution network	11
3.1 Capacitors	11
3.2 Transformers	13
3.3 Cables	15
4 Section of an MV power network	15
5 Section of an LV power network	17
Figures	19

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AUTOMATISATION DE LA DISTRIBUTION À L'AIDE DE SYSTÈMES DE COMMUNICATION À COURANTS PORTEURS –

Partie 1: Considérations générales – Section 4: Identification des paramètres de transmission de données des réseaux de distribution moyenne et basse tension

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

DISTRIBUTION AUTOMATION USING DISTRIBUTION LINE CARRIER SYSTEMS –

Part 1: General considerations –

Section 4: Identification of data transmission parameters concerning medium and low-voltage distribution mains

FOREWORD

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

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

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

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

La CEI 1334-1-4, rapport technique de type 3, a été établie par le comité d'études 57 de la CEI: Conduite des systèmes de puissance et communications associées.

Le texte de ce rapport technique est issue des documents suivant:

Projet de comité	Rapport de vote
57(SEC)197	57/241/RVC

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

Le présent rapport est un Rapport technique de type 3, de caractère entièrement informatif. Il ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

IEC 1334-1-4, which is a technical report of type 3, has been prepared by IEC technical committee 57: Power system control and associated communications.

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

Committee draft	Report on voting
57(SEC)197	57/241/RVC

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

This report is a Technical Report of type 3 and is of a purely informative nature. It is not to be regarded as an International Standard.

AUTOMATISATION DE LA DISTRIBUTION À L'AIDE DE SYSTÈMES DE COMMUNICATION À COURANTS PORTEURS –

Partie 1: Considérations générales –

Section 4: Identification des paramètres de transmission de données des réseaux de distribution moyenne et basse tension

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique (type 3) présente un résumé des résultats obtenus dans différents pays européens au terme de recherches intensives, dans le but d'évaluer la capacité de réseaux d'énergie MT (moyenne tension) et BT (basse tension) à servir de support de transmission de données pour des applications de systèmes d'automatisation de la distribution.

Les recherches ayant été axées sur un nombre réduit de situations typiques, les résultats fournis dans ce rapport seront considérés comme représentatifs de toutes situations similaires à celles étudiées.

Les résultats sont exprimés en faisant référence aux différents paramètres de transmission décrits à l'article 2, qui se révèlent être d'une grande importance pour la conception d'un système de communication à courants porteurs sur ligne de distribution.

2 Paramètres de transmission

Les lignes à moyenne et basse tension, conçues pour le transport d'énergie à une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, ne se prêtent que médiocrement à la transmission de données.

L'atténuation du signal et le niveau de bruit causés par les charges raccordées et par les modifications de topologie du réseau, provoquent des variations considérables de la qualité de transmission en fonction de la fréquence, du temps et de la localisation.

De plus, une ligne de distribution d'énergie ne peut être considérée comme un milieu homogène pour la propagation du fait des désadaptations d'impédance produites par exemple aux points de transitions aéro-souterraines ou aux piquages. Cela provoque des réflexions du signal et donc une atténuation supplémentaire et une distorsion de phase du signal de transmission.

Néanmoins, bien que les caractéristiques de tels canaux soient impossibles à calculer (variation en fonction du temps et de l'emplacement), les investigations menées sur plusieurs réseaux de distribution apportent suffisamment d'informations utiles pour déterminer des solutions économiques permettant de surmonter les difficultés inhérentes à ce support.

En premier lieu, le comportement des composants simples du réseau (transformateurs, batterie de condensateurs, câbles, lignes aériennes, transformateurs de courant et de tension, etc) intervenant dans la propagation est bien connu.

Les caractéristiques résultantes de chaque composant peuvent se résumer à:

- son impédance en fonction de la fréquence, $Z(f)$
- sa fonction de transfert en fonction de la fréquence, $H(f)$.

NOTE – Le module est le rapport des amplitudes des signaux reçus et émis et la phase est la différence de phase de ces mêmes signaux.

DISTRIBUTION AUTOMATION USING DISTRIBUTION LINE CARRIER SYSTEMS –

Part 1: General considerations –

Section 4: Identification of data transmission parameters concerning medium and low-voltage distribution mains

1 Scope

This Technical report (type 3) summarizes the results obtained through an intense activity of research carried out in some European countries, in order to assess the ability of MV (medium voltage) and LV (low voltage) distribution power networks to be used as a data transmission medium suitable to support applications related to distribution automation systems.

Taking into account that the research has been focused on a reduced number of typical situations, the results, shown in this report, will be considered representative of all the situations similar to those that have been investigated.

The results are expressed with reference to certain transmission parameters, described in clause 2, which are of great importance for the design of a distribution line carrier communication system.

2 Transmission parameters

Medium and low voltage power lines, conceived to carry high power at a 50 Hz or 60 Hz frequency, provide a difficult channel for data communication.

Signal attenuation and noise level influenced by the electrical loads and by changes in the network topology lead to a great variation in transmission quality as a function of frequency, time and location.

Moreover, a distribution power line cannot be assumed as a homogeneous medium for communication purposes because of the serious impedance mismatch occurring, for instance, at the transition points between cables and overhead lines and at branch-off points. This causes signal reflection and consequently a supplementary attenuation and phase distortion of the transmission signal.

Nevertheless, even though the channel characteristics are so unpredictable (varying with time and location), the investigatory work carried out on several distribution networks provides sufficient information which is useful for determining cost efficient methods to overcome the basic difficulties.

First of all, the behaviour of single network components (e.g. power transformers, capacitor banks, cables, overhead lines, voltage and current transformers, etc.) when transmission signals pass through them, is well known.

The resulting characteristics of each component can be identified by:

- its impedance as a function of frequency, $Z(f)$;
- its transfer function as a function of frequency, $H(f)$.

NOTE – The module is the ratio of received signal amplitude to transmitted signal amplitude and the phase is the difference between the received signal phase and the transmitted signal phase.

D'autres informations sont également disponibles. Elles concernent les caractéristiques de transmission de la section du réseau de distribution entre deux points de couplage c'est-à-dire les points où les signaux de transmission sont émis / reçus.

Deux cas sont à distinguer suivant que les deux points de couplage, d'un point de vue de transmission, sont interconnectés ou déconnectés.

Le premier cas se produit lorsque la continuité galvanique est assurée entre les deux points ou que la continuité de transmission est assurée au moyen de dispositifs adéquats tels que des dérivations. Le second cas se rencontre lorsque ni la continuité galvanique ni la continuité de transmission n'existe.

Si l'on considère deux points de couplage interconnectés, les paramètres représentatifs des caractéristiques du canal de transmission correspondant sont:

- l'impédance, fonction de la fréquence et du temps à chaque point de couplage

$$Z_C(f,t)$$

- la fonction de transfert de transmission entre les deux points de couplage, avec pour variables la fréquence et le temps

$$H_C(f,t)$$

NOTE – Le module est le rapport des amplitudes des signaux reçus et émis et la phase est la différence de phase de ces mêmes signaux.

- le bruit à chaque point de couplage, fonction de la fréquence et du temps

$$N_C(f,t)$$

Si l'on considère deux points de couplage déconnectés, le paramètre de transmission le plus important est:

- la fonction de transfert d'intermodulation entre les deux points de couplage, fonction du temps et de la fréquence

$$C_C(f,t)$$

NOTE – Le module est le rapport des amplitudes des signaux reçus et émis et la phase est la différence de phase de ces mêmes signaux.

Les paramètres ci-dessus permettent l'évaluation des caractéristiques prévisibles du canal de transmission par la mise au point d'un modèle mathématique simulant le canal réel.

3 Paramètres de transmission des composants principaux du réseau de distribution

3.1 Condensateurs

Les batteries de condensateurs MT de compensation de l'énergie réactive, installées dans les sous-stations HT/MT et MT/BT, présentent (figure 1, courbe «a») un comportement très sélectif avec une fréquence de résonance d'environ 50 kHz et une impédance correspondante très basse (environ 0,01 Ω). Cela signifie que l'impédance augmente très rapidement pour des fréquences du signal de transmission s'éloignant de cette résonance.

La courbe «b» montre le comportement typique de la même batterie de condensateurs MT mais avec des câbles de raccordement électriques externes plus longs (environ 1,5 m). On peut noter le déplacement de la résonance vers 30 kHz, ainsi qu'une importante variation de l'impédance en fonction de la fréquence.

Available information refers to transmission characteristics of a section of distribution network between two coupling points, e.g. the points where transmission signals are transmitted/received.

There are two cases to be considered when two coupling points are, from a transmission point of view, either interconnected or disconnected.

The first case happens when there is a galvanic continuity between the two coupling points or if transmission continuity is ensured by means of an appropriate devices such as a by-pass. The second case happens when neither galvanic nor transmission continuity exists.

With reference to two interconnected coupling points, the parameters assumed to identify the characteristics of the corresponding transmission channel are:

- the impedance, as a function of frequency and time, related to each coupling point

$$Z_C(f,t)$$

- the transmission transfer function, as a function of frequency and time, between the two considered coupling points,

$$H_C(f,t)$$

NOTE – The module is the ratio of received signal amplitude to transmitted signal amplitude and the phase is the difference between the received signal phase and the transmitted signal phase.

- the noise, as a function of frequency and time, related to each coupling point

$$N_C(f,t)$$

With reference to two disconnected coupling points, the most important transmission parameter is:

- the cross-talk transfer function, as a function of frequency and time, between the two considered coupling points

$$C_C(f,t)$$

NOTE – The module is the ratio of received signal amplitude to transmitted signal amplitude and the phase is the difference between the received signal phase and the transmitted signal phase.

The above mentioned parameters allow the evaluation of the expected channel characteristics by the creation of a mathematical model approximating the real channel.

3 Transmission parameters of the main components of a distribution network

3.1 Capacitors

MV capacitor banks, for reactive power compensation, installed in HV/MV or MV/LV substations present (figure 1, curve "a") a very high selective behaviour with a resonance frequency of about 50 kHz and a very low corresponding impedance (about 0,01 Ω). This means that the impedance rapidly increases when the frequency of the transmission signal is far from the resonance point.

Curve "b" shows the typical behaviour of the same MV capacitor banks provided with external electrical connections of longer length (about 1,5 m). It can be noticed that the resonance point falls to about 30 kHz, thus significantly modifying the impedance values as a function of the frequency.

En pratique, ces câbles ayant généralement une longueur supérieure à 1,5 m, le décalage de la résonance vers des fréquences en dessous de 30 kHz autorise l'emploi de fréquences au-dessus de 50 kHz sans que les batteries de condensateurs MT ne provoquent d'atténuation trop importante du signal de transmission. La conséquence en est que dans la plage au-delà de 50 kHz, les batteries de condensateurs MT n'imposent pas l'usage de circuits-bouchons à des fins de transmission.

Pour les condensateurs BT, la situation est similaire et on arrive aux mêmes conclusions.

La courbe «c» montre le comportement typique d'un condensateur BT avec câbles de connexions externes très courts. La courbe «d» externes correspond à des câbles d'environ 1,5 m pour le même condensateur BT.

En pratique, la longueur des câbles est supérieure à cette valeur. Dans tous les cas, la longueur réelle peut être facilement augmentée en insérant de simples tores de ferrite afin d'obtenir une valeur suffisante de l'impédance (de 20 Ω à 30 Ω) afin de ne pas affecter la transmission de signaux.

3.2 Transformateurs

Les transformateurs présentent de façon typique en extrémité de la ligne MT une valeur d'impédance fonction de la fréquence. La figure 2a montre cette variation pour un transformateur MT/BT en fonction de la fréquence du signal de transmission dans deux configurations différentes: enroulement secondaire en circuit ouvert et en court-circuit. Dans la plage de 10 kHz à 200 kHz, cette impédance est de type capacitif et décroît avec la fréquence. La résonance d'un transformateur MT/BT est généralement inférieure à 10 kHz. Bien que dépendant du type et de la classe du transformateur, les valeurs relevées constituent une référence acceptable. L'impédance de 1 k Ω à 50 k Ω est plus élevée que l'impédance caractéristique de la ligne qui se situe entre 30 Ω et 150 Ω . Pour cette raison, les transformateurs de puissance n'affectent pas les caractéristique de fréquence supérieure à 20 kHz.

Aux fréquences inférieures, en-dessous de 10 kHz à 20 kHz, un transformateur de puissance monophasé n'atténue pas gravement le signal. Ainsi, un signal injecté sur le réseau MT peut passer facilement vers la section BT.

Pour ce qui est des transformateurs triphasés, l'atténuation de traversée dépend de la configuration des enroulements. Les figures 2b et 2c montrent les fonctions de transfert du transformateur en fonction de la fréquence, l'injection étant effectuée côté MT et la réception côté BT. La figure 2c montre la même fonction avec l'injection côté BT et la réception côté MT. Les mesures ont été faites avec une charge de 150 Ω , ce qui est une valeur typique de l'impédance pour les lignes aériennes.

De ce point de vue, il semblerait possible de couvrir à la fois le réseau MT et le réseau BT à l'aide d'un seul signal de fréquence injecté sur les jeux de barres MT d'une sous-station HT/MT et qui serait reçu par un dispositif (compteur électronique par exemple) raccordé au réseau BT.

Malheureusement, cette situation apparemment très favorable se trouve, en pratique, compromise par les raisons suivantes:

- Il est difficile d'émettre du côté BT vers le côté MT avec une puissance raisonnable, du fait de l'atténuation du transformateur chargé par l'impédance de ligne.
- Le niveau de bruit dans la bande inférieure à 20 kHz est élevé.

In practice, since the external electrical connections are normally longer than 1,5 m, the corresponding shifting of the resonance point towards frequencies less than 30 kHz allows using frequencies greater than 50 kHz, so that MV capacitor banks do not involve a significant sink of the transmission signals. This means that in the frequency range above 50 kHz, it is not necessary to add line traps to the MV capacitor banks for transmission purposes.

As far as the LV capacitors are concerned, the situation is quite similar and the previous conclusion can be drawn.

The curve "c" shows the typical behaviour of an LV capacitor with very short external electrical connections, whilst the curve "d" refers to the same LV capacitor with external connections of about 1,5 m.

In practice, the length of the external electrical connection is greater than the above value. In any case, the actual length can be easily increased by adding simple ferrite rings in order to obtain a sufficient impedance value (20 Ω to 30 Ω) so as to not affect signal transmission.

3.2 Transformers

Transformers present a frequency variable typical impedance to the terminal of the MV line. Figure 2a shows the impedance of a MV/LV transformer as a function of transmission signal frequency in two different cases: no-load and short-circuit secondary winding. In the range from 10 kHz to 200 kHz, the impedance is of a capacitive type and decreases with the frequency. The resonance of a MV/LV transformer falls generally to a frequency below 10 kHz. Although depending on transformer type and class, reported values are an acceptable reference. Impedance values that range from 1 k Ω to 50 k Ω are much higher than characteristic line impedance which ranges from about 30 Ω to 150 Ω . For this reason, transformers do not affect transmission characteristics for frequencies above 20 kHz.

Below about 10 kHz to 20 kHz, a single-phase power transformer does not dramatically attenuate the signal. Thus a signal injected into an MV network passes easily to the LV section.

For three-phase transformers signal transfer depends on the coil configuration. Figures 2b and 2c show an example of transformer transfer function as a function of frequency, transmitting from the MV side and receiving on the LV side. Figure 2c shows the same function with sending from the LV side and receiving on the MV side. Such measures are carried out with a load of 150 Ω which represents the typical impedance of overhead lines.

From this point of view, it would seem possible to cover both medium and low voltage networks with a single frequency signal, injected at the MV busbars level of a HV/MV substation and received from a device (e.g. an electronic metering apparatus) which is connected to an LV network.

Unfortunately, this apparently favourable situation is, in practice, jeopardized because of the following characteristics.

- It is difficult to send from the LV side to the MV side at a reasonable power due to insertion loss of the transformer terminated by the line impedance.
- The noise level in the frequency range below 20 kHz is high.

- Les réseaux de distribution comportent habituellement des batteries de condensateurs (voir 3.1) qui présentent une impédance faible dans cette bande. Pour éviter l'absorption du signal, l'installation de circuits-bouchons est exigée.

Au-dessus de la bande de 10 kHz à 20 kHz, l'atténuation élevée due aux transformateurs dans les deux sens de propagation et la présence de banques de condensateurs empêchent toute transmission.

Il est donc nécessaire d'installer des dispositifs en dérivation pour assurer la transmission entre les réseaux MT et BT.

Selon les spécificiques d'application, ces dispositifs peuvent être soit de type passif (couplage commun aux réseaux MT et BT), soit de type actif (capables de gérer deux processus de transmission indépendants entre les réseaux MT et BT).

3.3 Câbles

Câble MT: des séries de mesures complètes ont été réalisées sur des câbles de diverses provenance, de sections comprises entre 35 mm² et 240 mm², de diélectriques et de conducteurs en métaux différents. De celles-ci, on peut conclure que les impédances de ligne caractéristiques se situent entre 20 Ω et 40 Ω et que l'atténuation se situe entre 1,5 dB/km et 5 dB/km dans la bande de fréquences comprises entre 20 kHz et 200 kHz pour un câble chargé sur son impédance caractéristique.

Câble BT: pour ces câbles, y compris les câbles triphasés avec conducteurs disposés de façon concentrique autour du neutre et les câbles aériens, l'impédance de ligne caractéristique se situe entre 40 Ω et 120 Ω . L'atténuation se situe entre 2 dB/km et 10 dB/km dans la bande entre 20 kHz et 200 kHz pour des câbles chargés par leur impédance caractéristique.

4 Section du réseau d'énergie MT

Pour une ligne homogène chargée par son impédance caractéristique, l'atténuation n'est due qu'aux pertes en ligne. Un réseau MT constitué de câbles et de lignes aériennes ne peut être considéré comme homogène pour des besoins de propagation. Une désadaptation importante se produit en effet aux points de transition entre câbles et ligne aérienne et aux points de dérivation.

En examinant la bande de fréquences de 20 kHz à 200 kHz, on constate que le comportement du réseau MT n'est que peu influencé par les charges des utilisateurs (du fait du bon découplage dû aux transformateurs MT/BT (>30 dB)). De ce fait, on peut considérer que les seules charges à prendre en compte sur un réseau MT sont celles dues aux transformateurs MT/BT et aux batteries de condensateurs.

L'impédance $Z_c(f)$ au point de couplage dépend essentiellement de la configuration, des types de lignes environnement et de leur impédance caractéristique.

Les valeurs typiques du module de l'impédance phase-terre sont données par la figure 3a pour une sous-station MT/BT située au milieu d'une longue ligne aérienne et par la figure 3b pour une sous-station reliée à une ligne aérienne par un câble.

La figure 4a montre l'atténuation de câbles souterrains MT dans la bande de 20 kHz à 200 kHz. La figure 4b donne l'atténuation en fonction de la distance. La figure 4c donne l'atténuation dans une transmission phase-terre (y compris celle des dispositifs de couplage), détectée par transmission dans chaque sous-station et par la mesure dans les autres sous-stations.

- Distribution networks usually include capacitor banks (see 3.1) that present low impedance in this frequency range. To avoid the capture of the signal, the installation of appropriate line traps is required.

Above the range of about 10 kHz to 20 kHz the high attenuation of transformers in both transmission directions and the presence of capacitor banks act as a virtual signal block.

It is therefore necessary to install by-pass units to guarantee the information exchange between LV and MV networks.

According to application requirements, by-pass units can be composed of either passive (single communication process for both MV and LV networks) or active devices (able to manage two independent communication processes between MV and LV networks).

3.3 Cables

MV cable: extensive measurements were performed on cables from various suppliers, with cross-sections ranging from 35 mm² to 240 mm² and of different dielectric material and wire metal. As a result, it is possible to conclude that the characteristic line impedance ranges from 20 Ω to 40 Ω and that the attenuation, with the cable loaded on its characteristic impedance, ranges from 1,5 dB/km to 5 dB/km in the frequency range of 20 kHz to 200 kHz.

LV cable: for cables that include both three-phase concentric neutral cable and aerial cable, the characteristic line impedance ranges from 40 Ω to 120 Ω and the attenuation, with the cable loaded on its characteristic impedance, ranges from 2 dB/km to 10 dB/km in the frequency range from 20 kHz to 200 kHz.

4 Section of MV power network

For a homogeneous line terminated by a characteristic impedance, the attenuation is due only to line loss. An MV power network (constituted by cables and overhead lines) cannot be assumed as homogeneous for communication purposes. A serious mismatch will occur at the point of transition between overhead lines and cables and at the branch-off points.

With particular reference to the frequency range of 20 kHz to 200 kHz, the behaviour of an MV network is slightly influenced by consumer loads (due to good decoupling ensured by MV/LV transformers (>30 dB)), so that the loads of an MV power network are only MV/LV transformers and capacitor banks.

The coupling point impedance $Z_c(f)$ essentially depends on the layout of the surrounding types of lines and their characteristic impedances.

Typical values of a phase-to-ground impedance module are shown in figure 3a for a MV/LV substation placed at the midpoint of a long overhead line and in figure 3b for a substation connected to the overhead line through a cable.

Figure 4a shows attenuation of MV underground lines in the range from 20 kHz to 200 kHz. Figure 4b shows attenuation versus distance. Figure 4c shows the attenuation for a phase-to-ground transmission (including coupling device attenuation) detected by transmission in each substation and by measurement in the other substations.

Le bruit est constitué à la fois des perturbations en large bande (transitoires amorties et signaux impulsionnels) et des perturbations en bande étroite (porteuses pures ou modulées avec leurs harmoniques). La figure 5a donne le niveau du bruit mesuré en réseau MT en fonction de la fréquence. Le bruit (mesuré dans une bande de 3 kHz) décroît avec la fréquence. Dans la bande de 40 kHz à 95 kHz, le bruit moyen est de l'ordre de 2 mV eff. La figure 5b donne les valeurs relevées dans différentes sous-stations. On peut noter qu'au-dessus de 30 kHz, ces niveaux peuvent être considérés comme se trouvant à l'intérieur de limites acceptables. La valeur typique est en effet inférieure à 7 mV eff. sur 75 Ω à 70 kHz (4,8 kHz de bande passante) durant 90 % du temps en présence de bruit impulsif important pendant 2 % du temps.

L'intermodulation mesurée entre deux sections déconnectées d'une ligne se situe entre 35 dB et 40 dB. L'influence sur la transmission peut être facilement traitée sans modification du réseau de distribution d'énergie.

En conclusion, le réseau MT se comporte comme un support désadapté, caractérisé par la présence d'ondes stationnaires provoquant des suppléments d'atténuation jusqu'à des valeurs supérieures de 10 dB à 20 dB. Pour réduire cette désadaptation, il est nécessaire d'ajouter des charges résistives dans certaines sous-stations MT/BT afin d'obtenir un support de transmission pratiquement accordé.

5 Section du réseau d'énergie BT

En se limitant à la plage de fréquence réservée aux compagnies d'électricité, à savoir la bande de 3 kHz à 95 kHz, on constate que le comportement du réseau BT est fortement affecté par les charges des utilisateurs, ceux-ci étant raccordés sans interposition d'un dispositif de découplage. Il est cependant établi que le réseau BT n'est en général pas le siège d'ondes stationnaires. De ce fait, l'impédance au point de couplage est très variable (entre 2 Ω et 150 Ω) et l'atténuation élevée (5 dB/100 m à 10 dB/100 m).

Les figures 6a et 6b montrent le module de l'impédance du point de couplage pour un réseau de câbles souterrains typique et un réseau aérien, en fonction de la fréquence.

La figure 7 montre les valeurs maximale et minimale de l'atténuation de ligne en fonction de la fréquence entre des sous-stations reliées par un câble souterrain pouvant atteindre 500 m. La figure 8 montre l'évolution de l'atténuation du même réseau sur une période de 24 h (mesurée à 100 kHz).

La figure 9 montre l'atténuation de ligne à différentes fréquences d'une ligne aérienne typique en fonction de sa distance du point de transformation.

La figure 10 montre l'atténuation dans un bâtiment en fonction de la distance l'étage par rapport au rez-de-chaussée.

Le bruit inclut à la fois les perturbations en large bande (transitoires amorties et signaux impulsionnels) et les perturbations en bande étroite (porteuses pures ou modulées avec leurs harmoniques et fréquences lignes TV). Les figures 11a et 11b montrent la distribution du bruit mesurée à l'aide d'un récepteur (bande passante 500 Hz) raccordé à une ligne aérienne BT à conducteurs sans isolant. La figure 11a donne la courbe du niveau de bruit en fonction de la fréquence. La figure 11b donne la distribution de la probabilité à la fréquence jusqu'à 80 kHz. On peut remarquer que le bruit au-dessus de 50 kHz peut généralement être considéré comme raisonnable avec une valeur typique inférieure à 1 mV eff à 70 kHz (bande passante 500 Hz) pendant 90 % du temps.

Noise includes both wide-band disturbances (damped transients and pulse signals) and narrow-band disturbances (modulated and unmodulated carriers with their harmonics). Figure 5a shows the noise measured on an MV network versus frequency. Noise measured in a bandwidth of 3 kHz decreases with frequency. In the range of frequencies from 40 kHz to 95 kHz, the average noise is about 2 mV r.m.s. Figure 5b shows the noise measured in different substations. It can be pointed out that at frequencies greater than 30 kHz the noise can be generally considered as within acceptable limits. Typically it is less than 7 mV r.m.s. on 75 Ω at 70 kHz (bandwidth is 4,8 kHz) for 90 % of the time, with the presence of high power random bursts for 2 % of the time.

Cross-talk measured between two sections of a switched-off line ranges between 35 dB and 40 dB. Its influence on the transmission channel can be easily managed without any modification of the power distribution system.

Finally, an MV network behaves as a mismatched medium, characterized by standing wave phenomena, causing attenuation increase up to values exceeding about 10 dB to 20 dB. To reduce mismatched, it is necessary to add resistive loads in some MV/LV substations in order to reach a quasi-adaptative communication medium.

5 Section of an LV power network

With particular reference to the frequency range reserved for electricity suppliers from 3 kHz to 95 kHz, the behaviour of an LV network is dramatically influenced by consumer loads, as they are directly connected to the network without the interposition of any decoupling device. The LV network is not however generally affected by standing wave phenomena. This causes a variability of the coupling point impedance (about 2 Ω to 150 Ω) and a quite high attenuation (5 dB/100 m to 10 dB/100 m).

Figures 6a and 6b show the impedance at the coupling point for a typical underground cable network and for overhead lines as a function of frequency.

Figure 7 shows maximum and minimum values of line attenuation as a function of frequency between substations separated by a distance of up to 500 m for a typical underground line. Figure 8 shows attenuation variation during a 24 h period, for the same network, measured at 100 kHz.

Figure 9 shows line attenuation of an overhead line as a function of the distance from the transmitting point at different frequencies.

Figure 10 shows attenuation in a building as a function of floor distance from the groundfloor of the building.

Noise includes both wide-band disturbances (damped transients and pulse signals) and narrow-band disturbances (modulated and unmodulated carriers with their harmonics and TV row frequencies)). Figures 11a and 11b show the noise distribution detected with a 500 Hz bandwidth receiver on an LV noncoated overhead line network. Figure 11a gives a curve of the noise level as a function of frequency. Figure 11b gives a curve of noise level probability distribution at 80 kHz. It can be pointed out that the noise at frequencies greater than 50 kHz can be generally considered as within acceptable limits, with a typical value of less than 1 mV r.m.s. at 70 kHz (bandwidth of 500 Hz) during 90 % of the time.

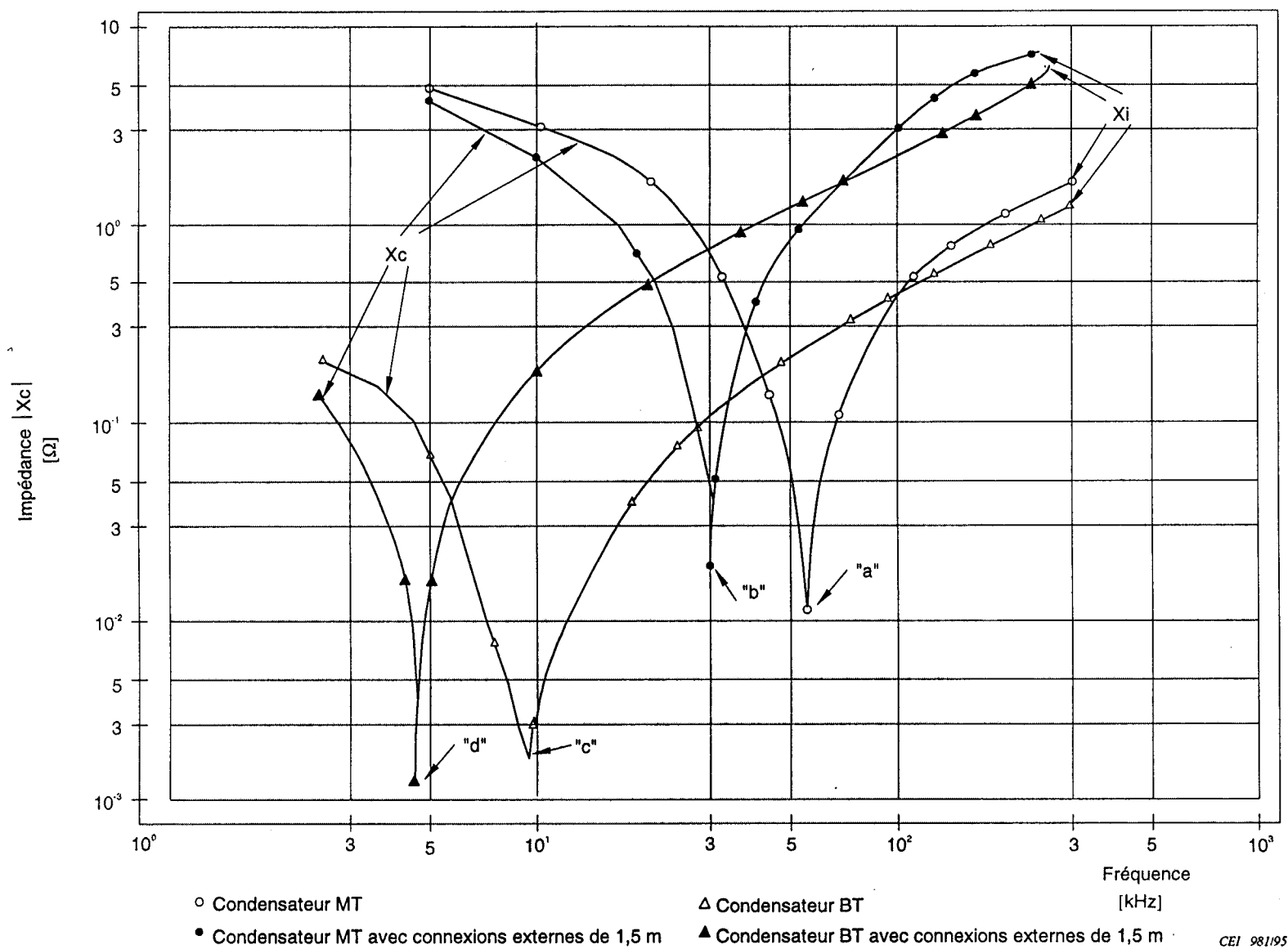


Figure 1 – Exemples d'impédance en fonction de la fréquence des batteries de condensateur MT et BT typiques

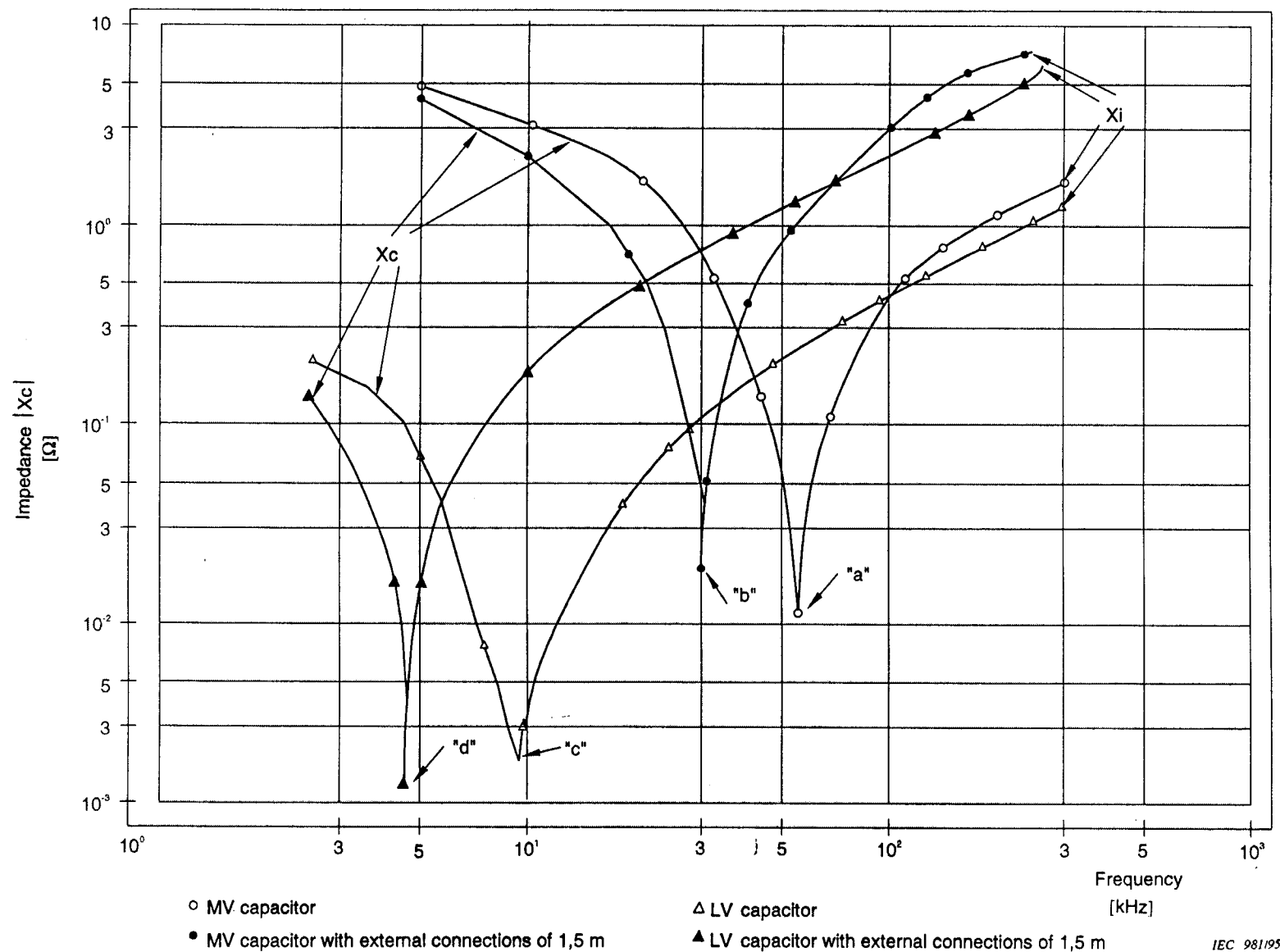


Figure 1 – Examples of impedance versus frequency of typical MV and LV capacitor banks

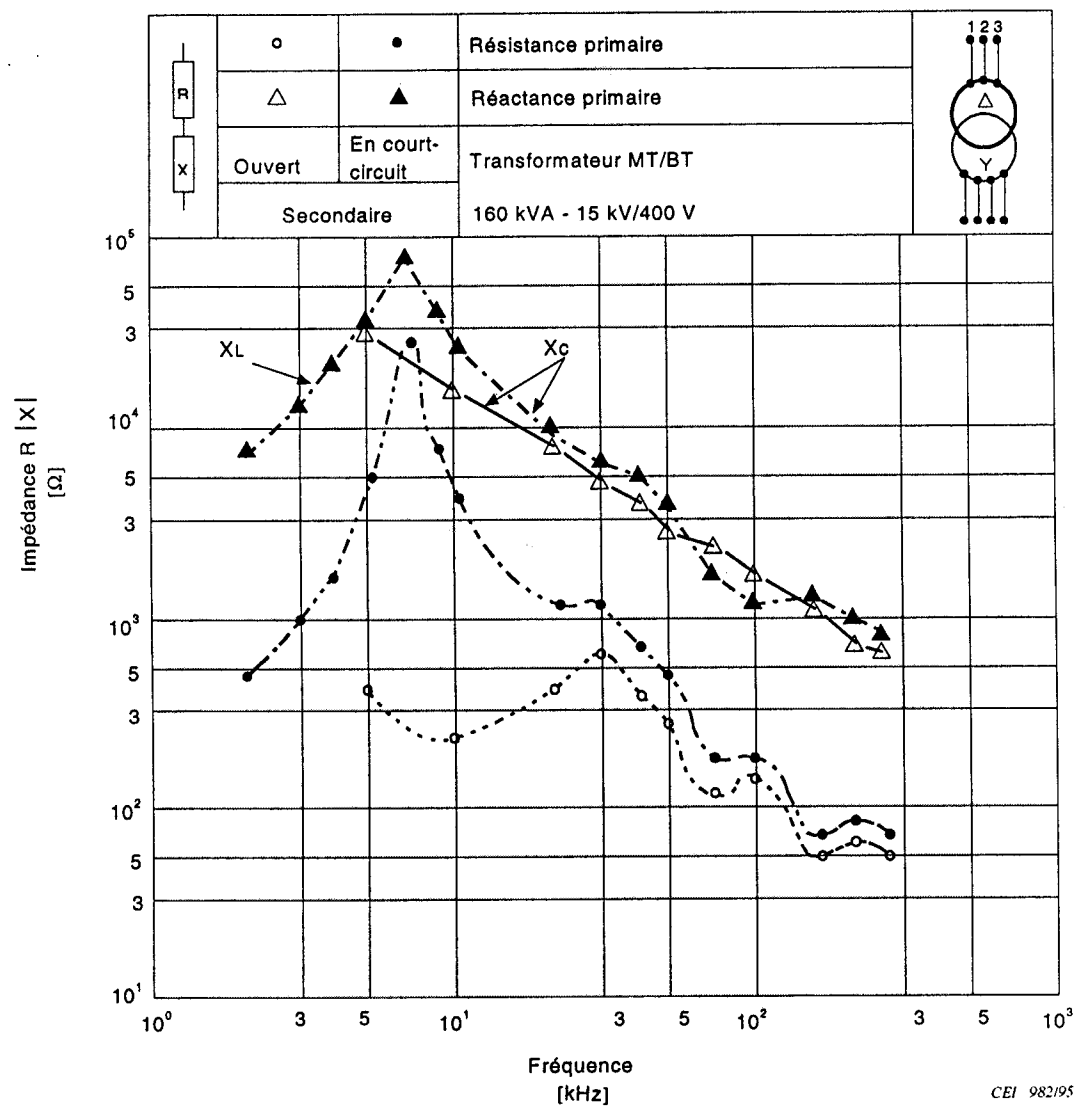


Figure 2a – Exemples d'impédance d'un transformateur MT/BT typique en fonction de la fréquence (côté MT)

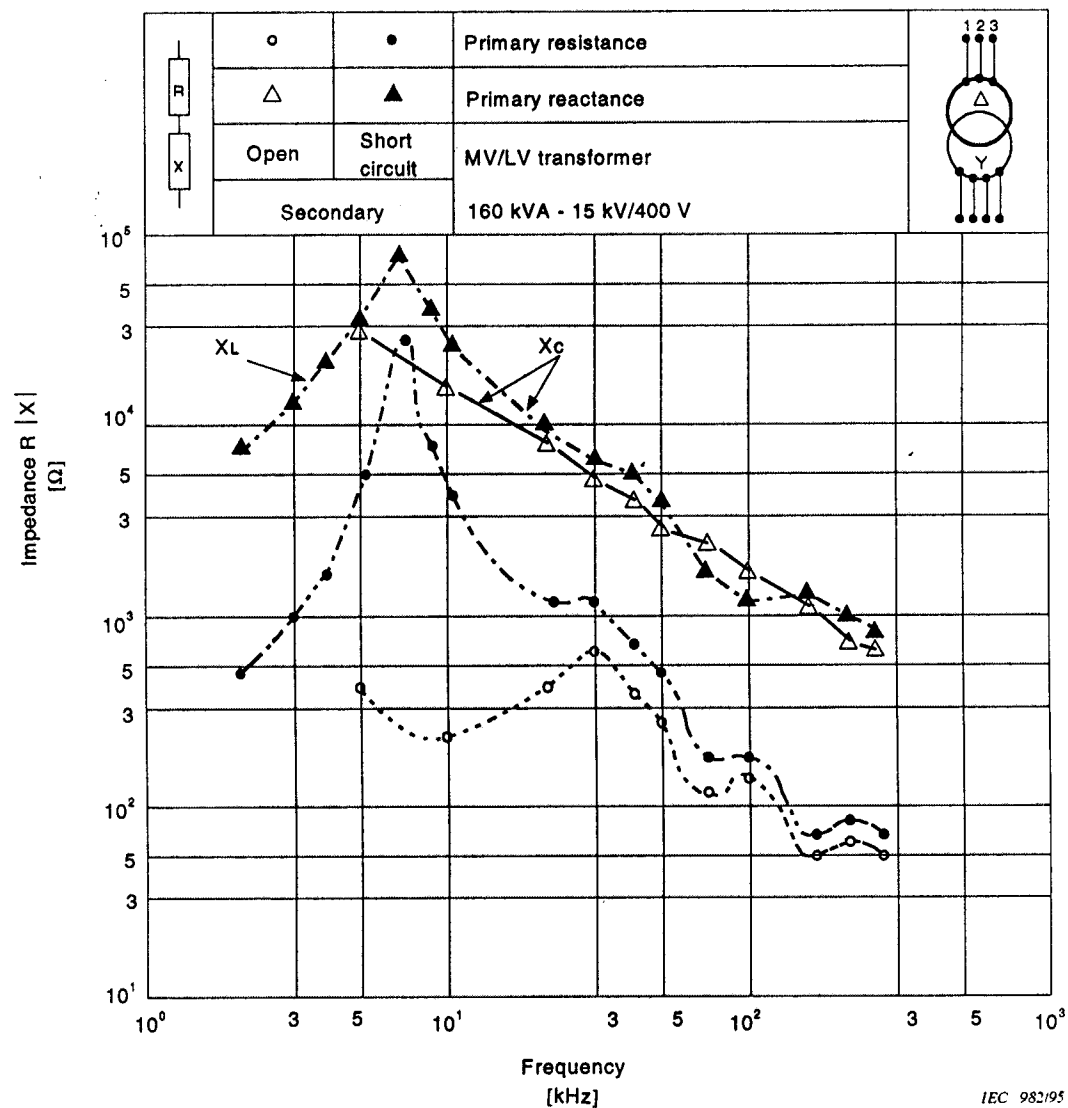


Figure 2a – Examples of impedance versus frequency of a typical MV/LV transformer (MV side)

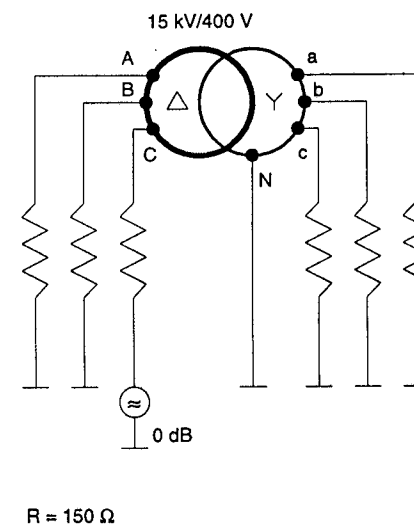
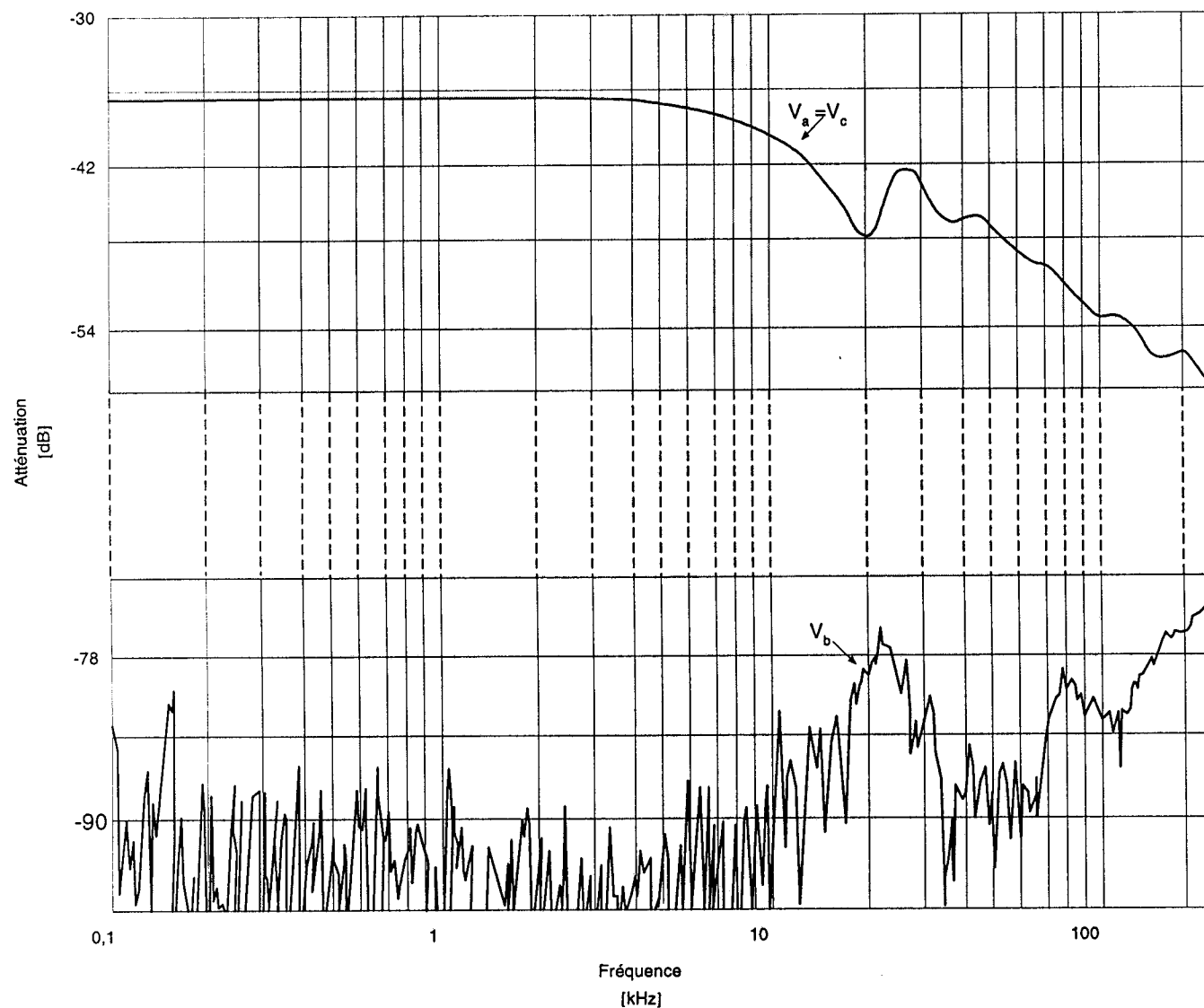


Figure 2b – Exemple de fonction de transfert d'un transformateur MT/BT typique, émission du signal côté MT (phase-terre) et mesure du signal sur phase BT (phase-neutre)

CEI 983/95

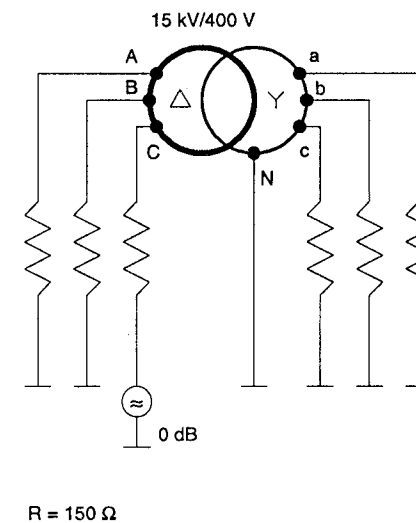
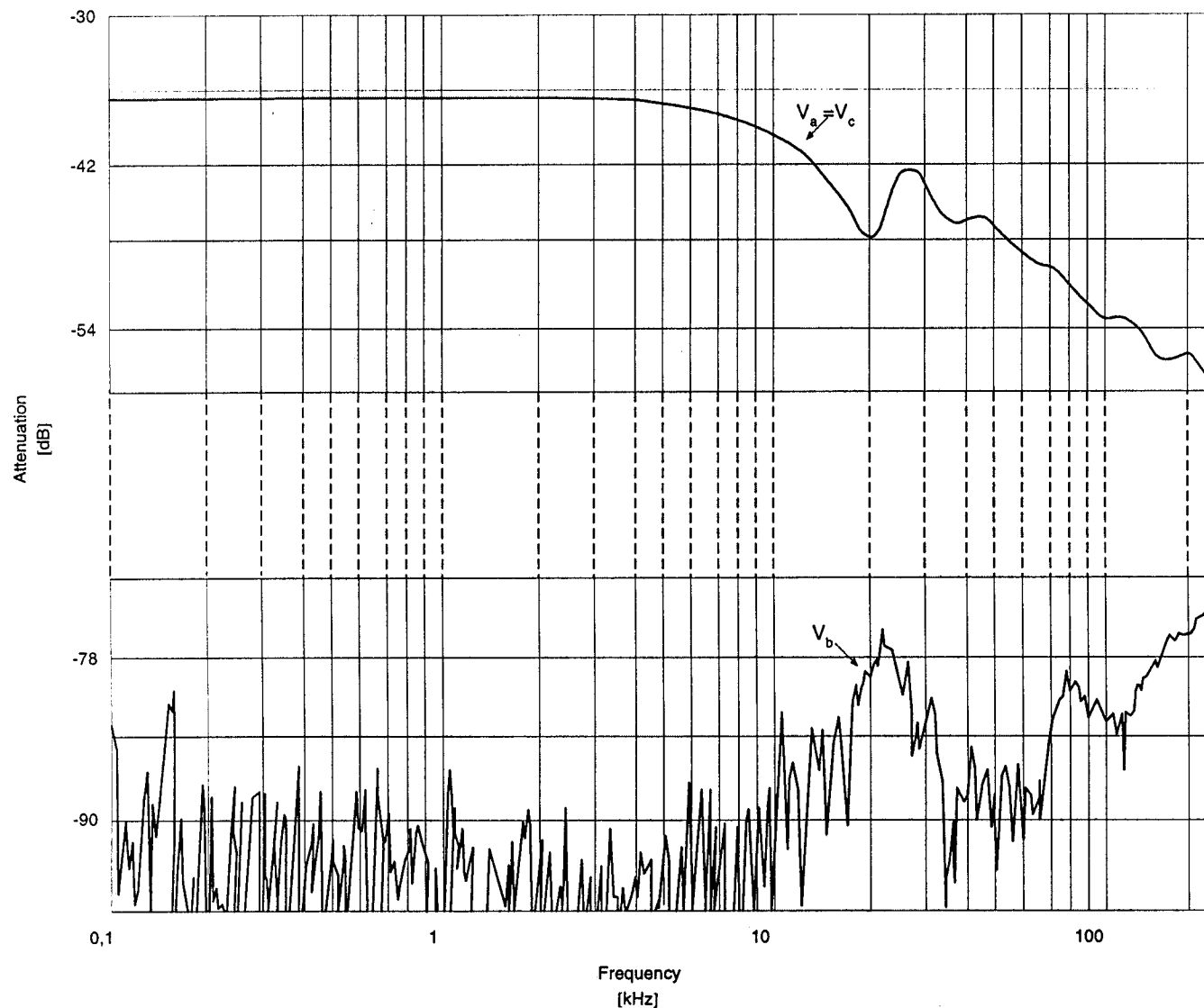


Figure 2b – Example of transfer function of typical MV/LV transformer: signal injection at MV side (phase-to-ground); signal measurement at LV side (phase-to-neutral)

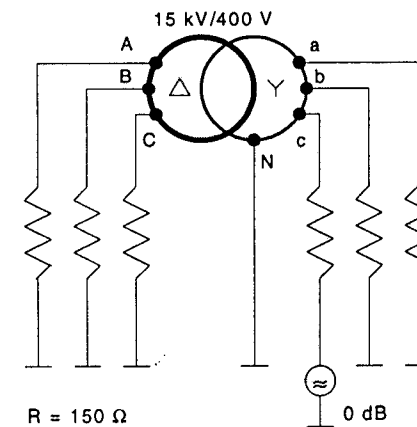
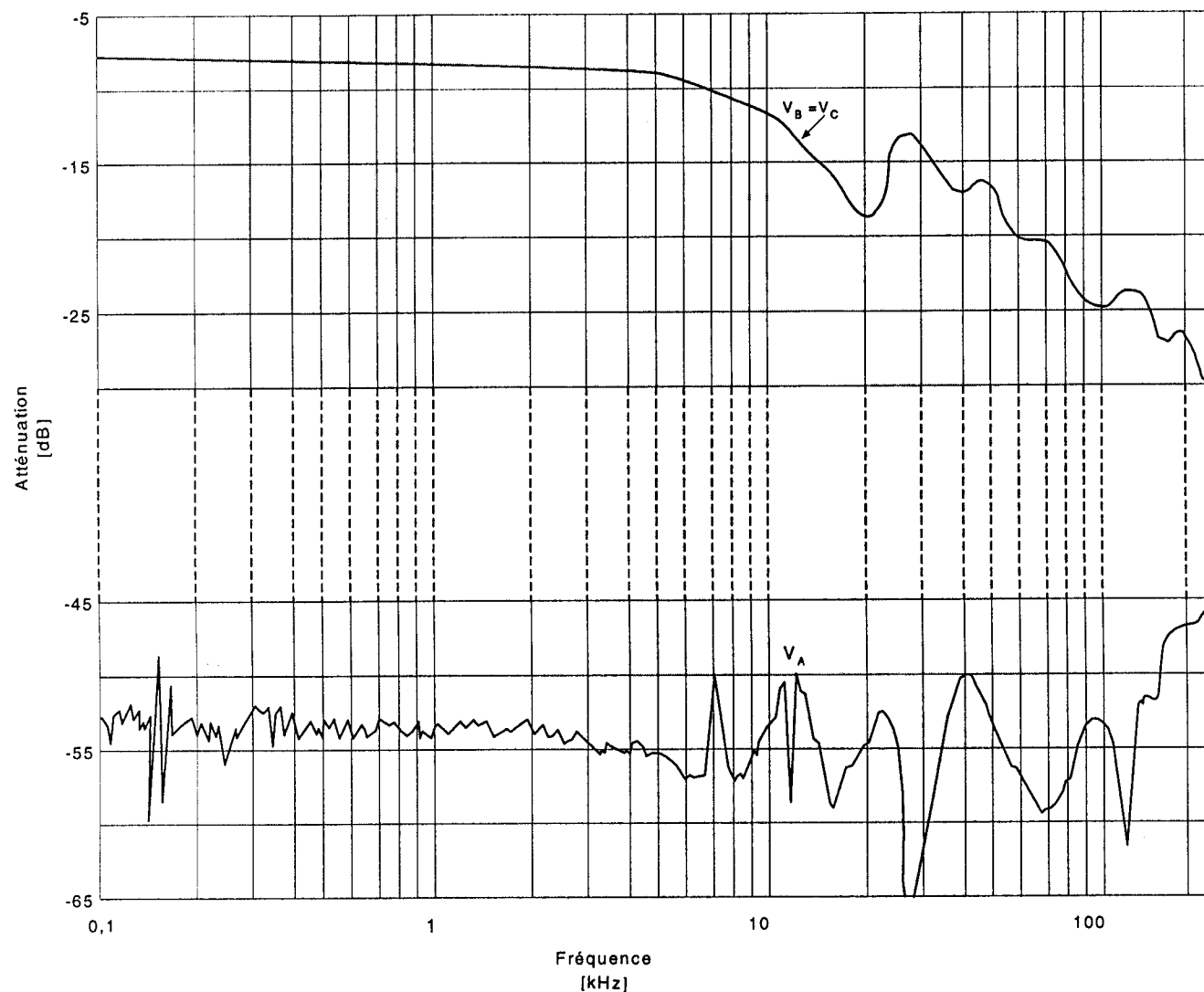


Figure 2c – Exemple de fonction de transfert d'un transformateur MT/BT typique, émission du signal côté MT (phase-neutre) et mesure du signal côté BT (phase-terre)

CEI 984/95

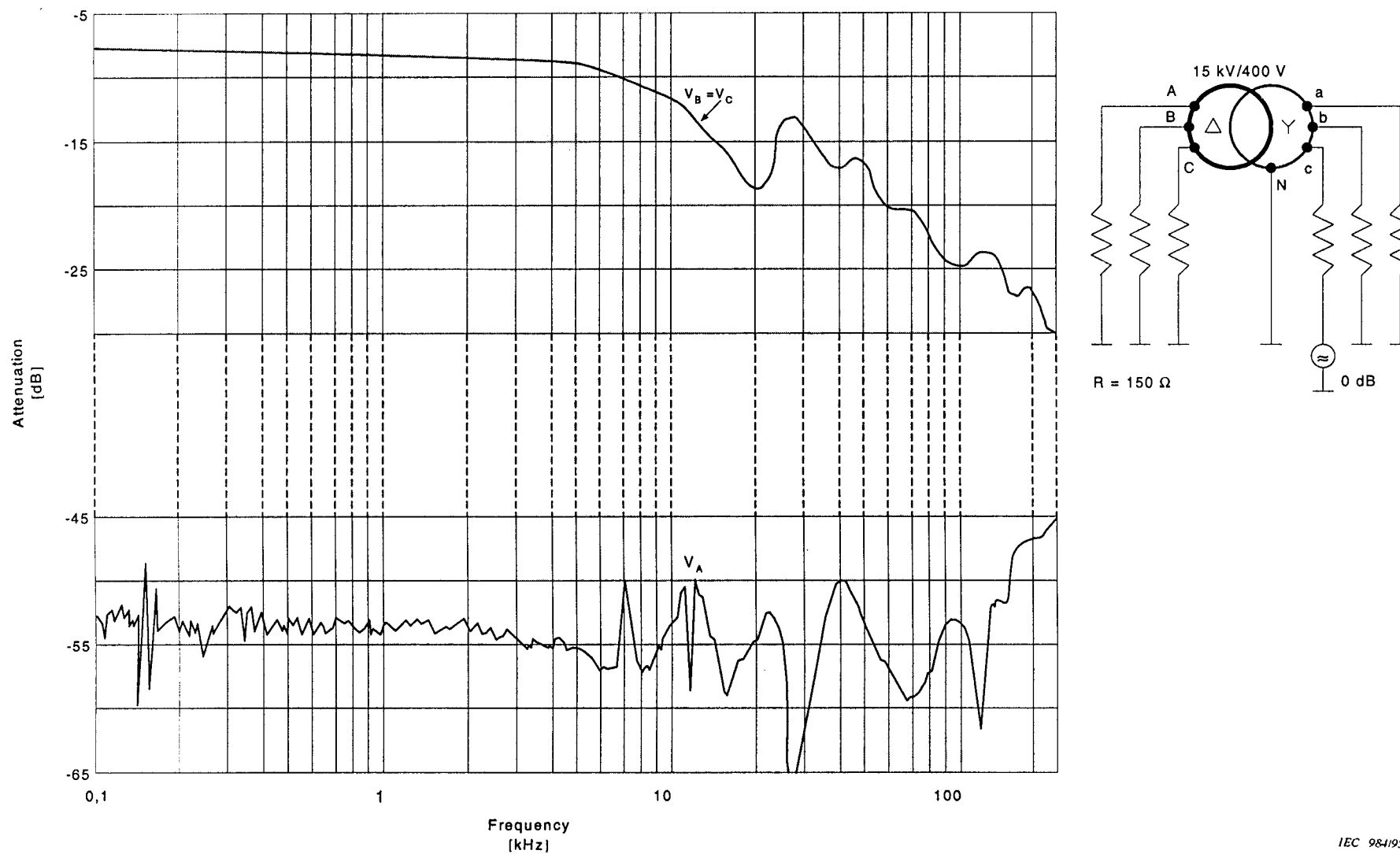


Figure 2c – Example of transfer function of a typical MV/LV transformer: signal injection at MV side (phase-to-neutral); signal measurement at LV side (phase-to-ground)

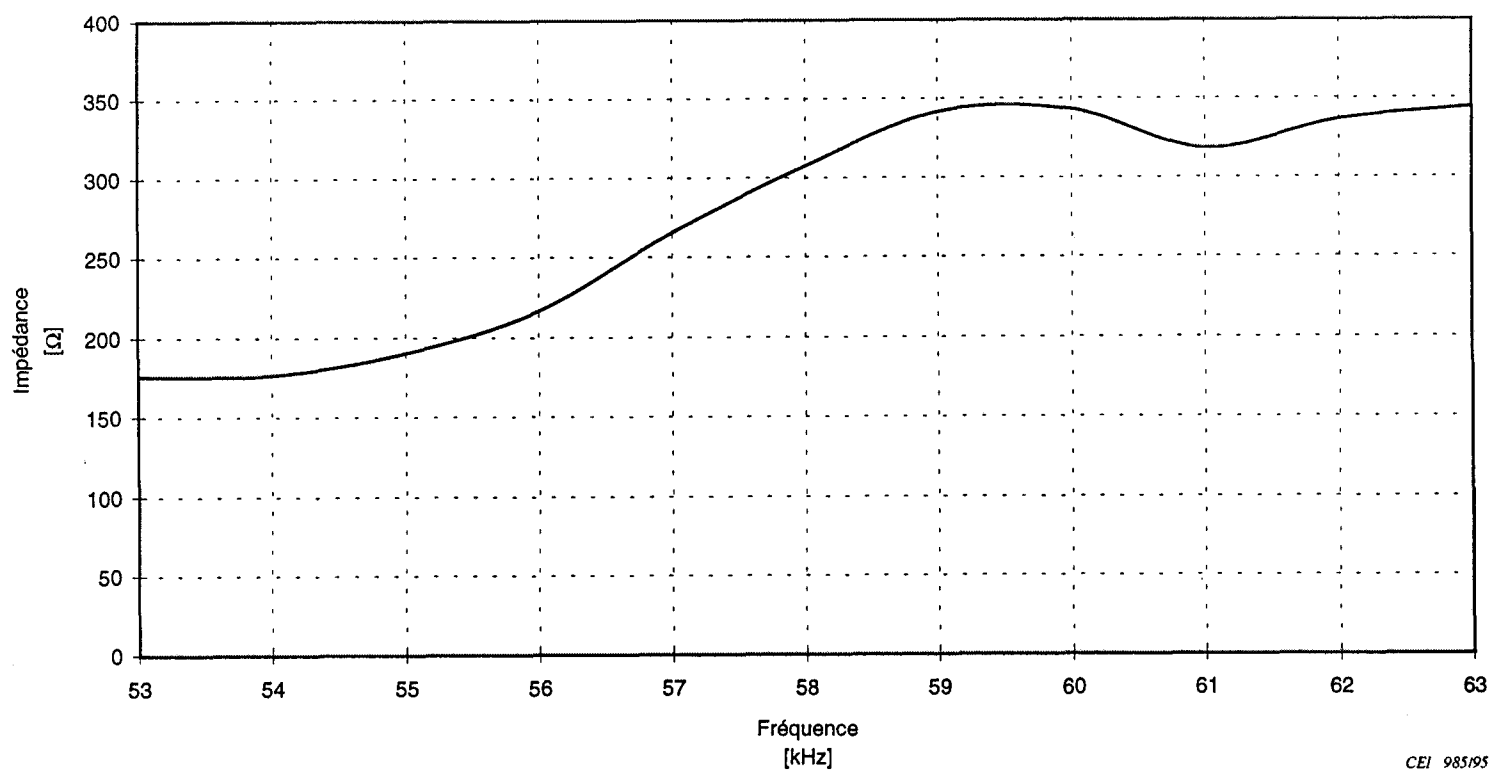


Figure 3a – Exemple de point de couplage de l'impédance en fonction de la fréquence dans une sous-station MT/BT raccordée au point central d'une ligne aérienne MT (couplage phase-terre)

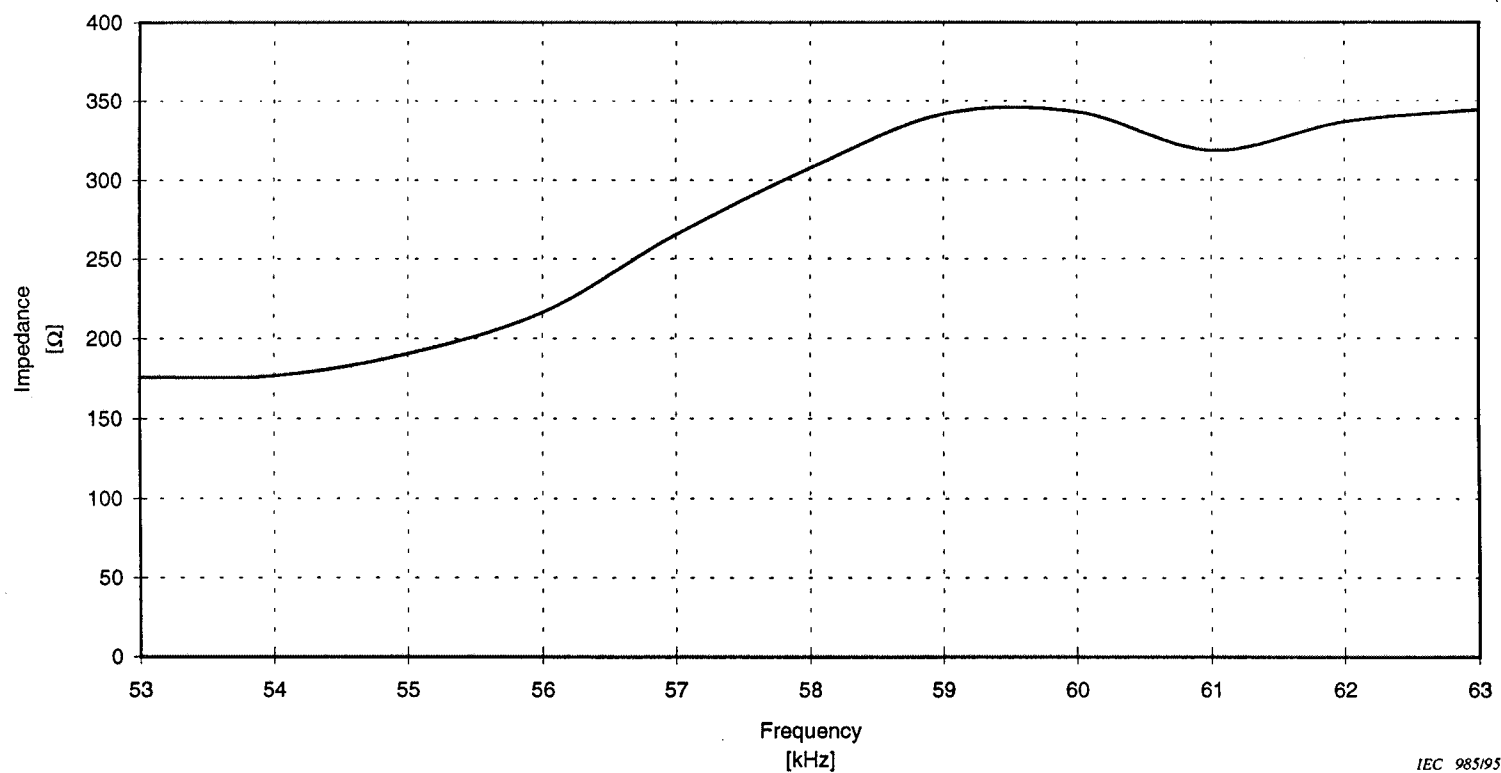


Figure 3a – Example of coupling point impedance versus frequency in an MV/LV substation at the midpoint of an MV overhead line (phase-to-ground coupling)

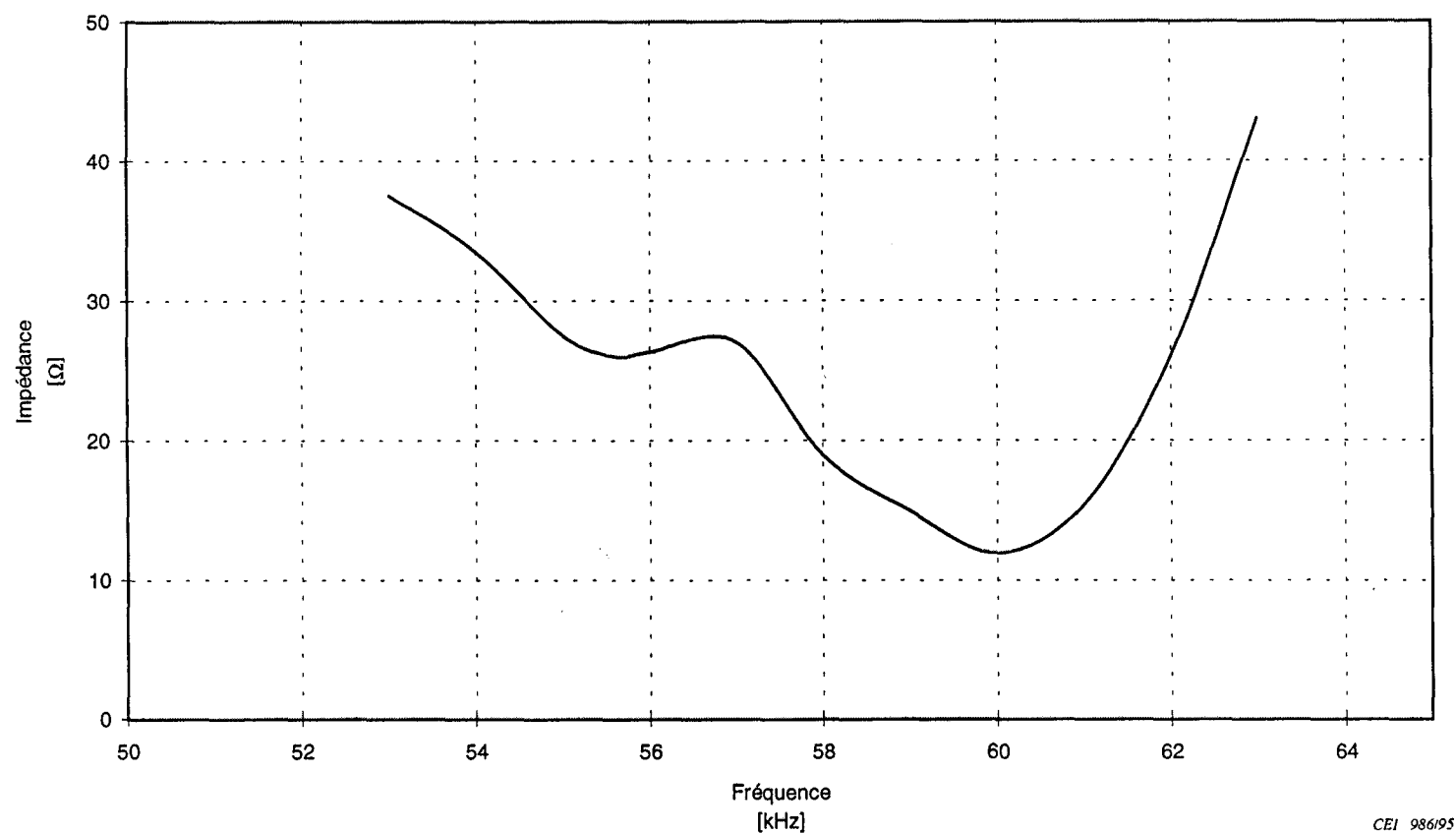


Figure 3b – Exemple de point de couplage de l'impédance en fonction de la fréquence dans une sous-station MT/BT raccordée à une ligne aérienne par un câble (couplage phase-terre)

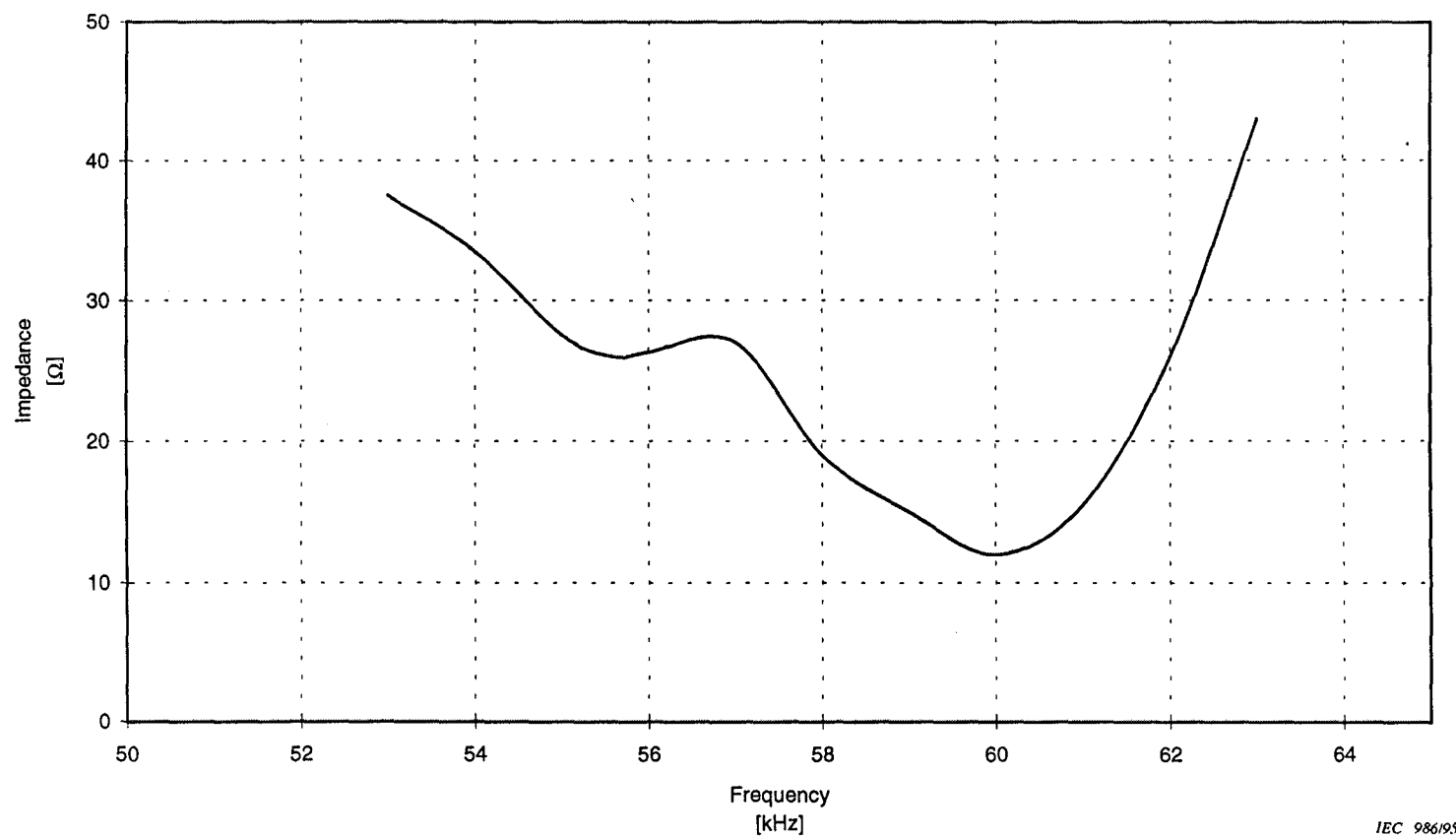


Figure 3b – Example of coupling point impedance versus frequency in an MV/LV substation connected to the overhead line through a cable (phase-to-ground coupling)

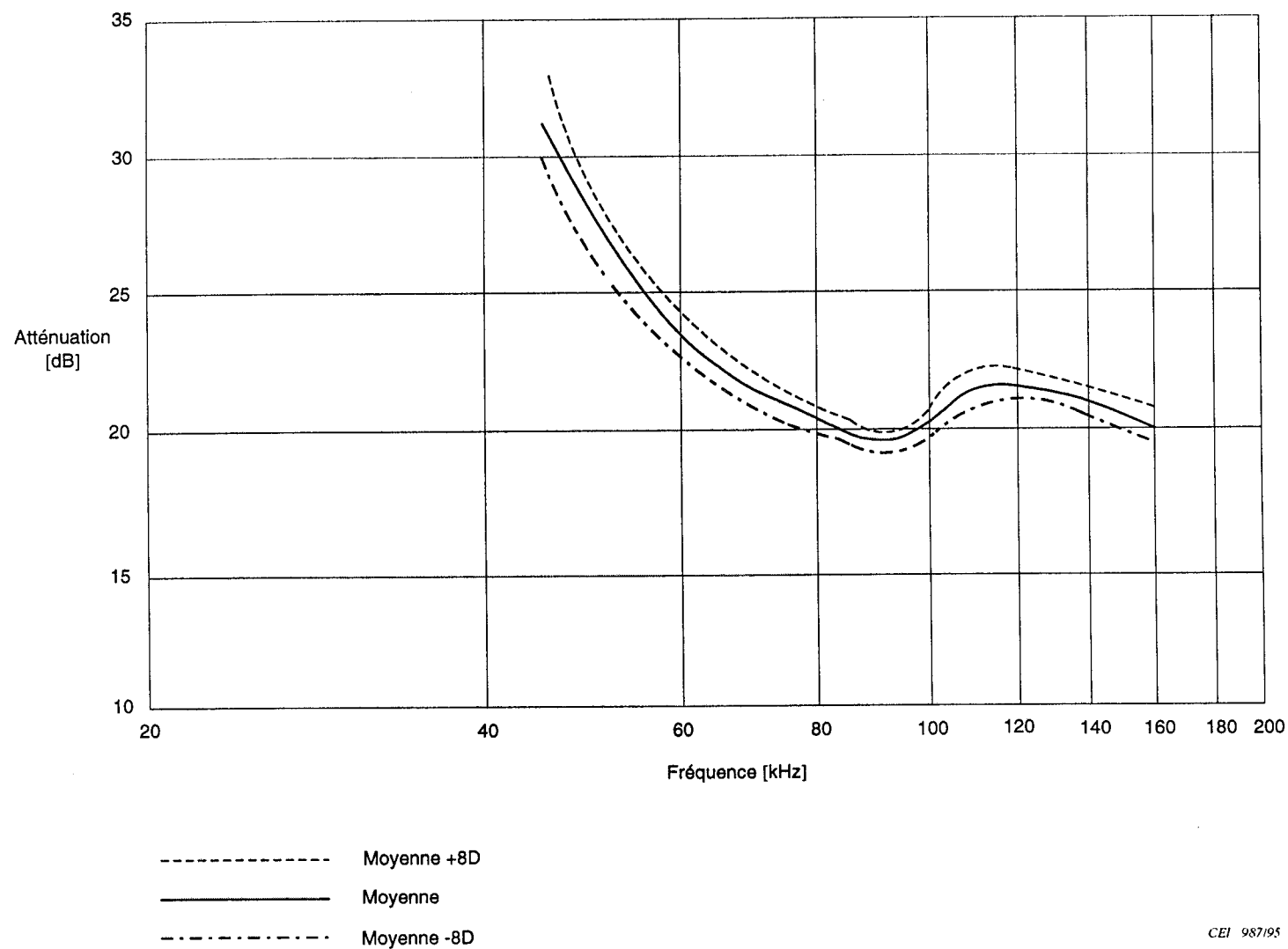


Figure 4a – Exemples d'atténuation du transfert en fonction de la fréquence d'un réseau MT (câbles souterrains)

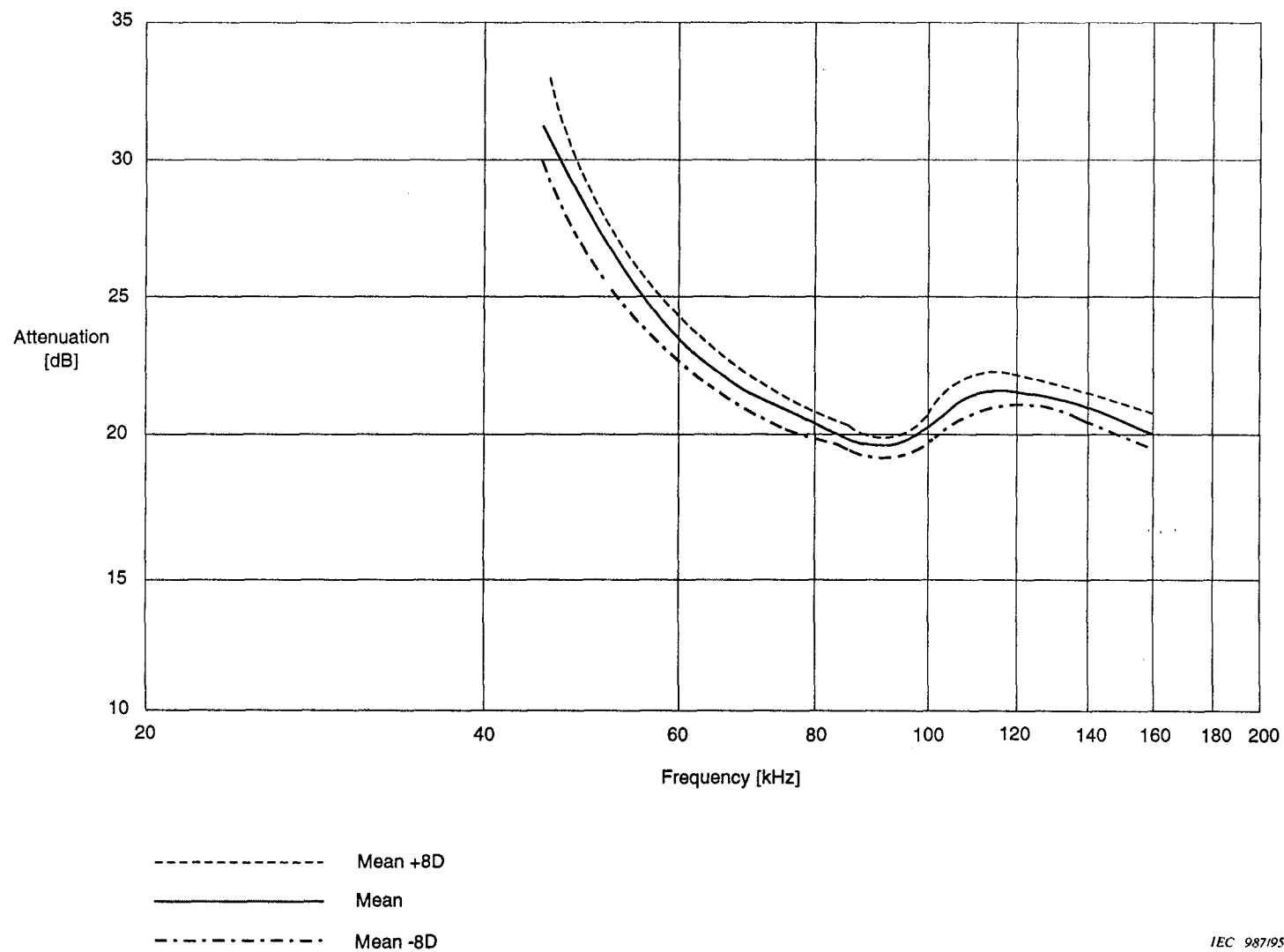


Figure 4a – Examples of attenuation versus frequency of an MV network (underground cables)

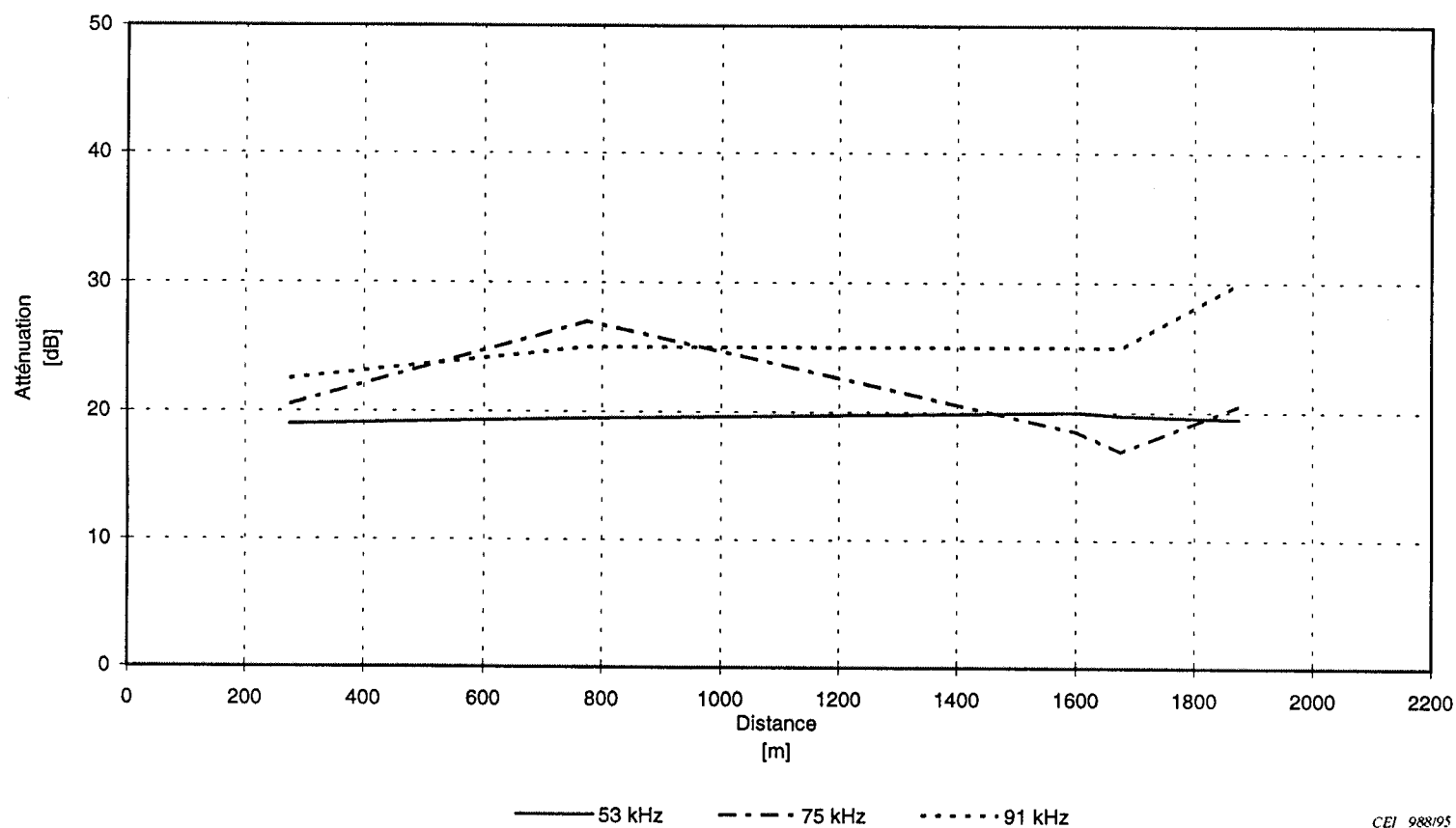


Figure 4b – Exemples d'atténuation en fonction de la distance d'un réseau MT
(câbles souterrains)

CEI 988/95

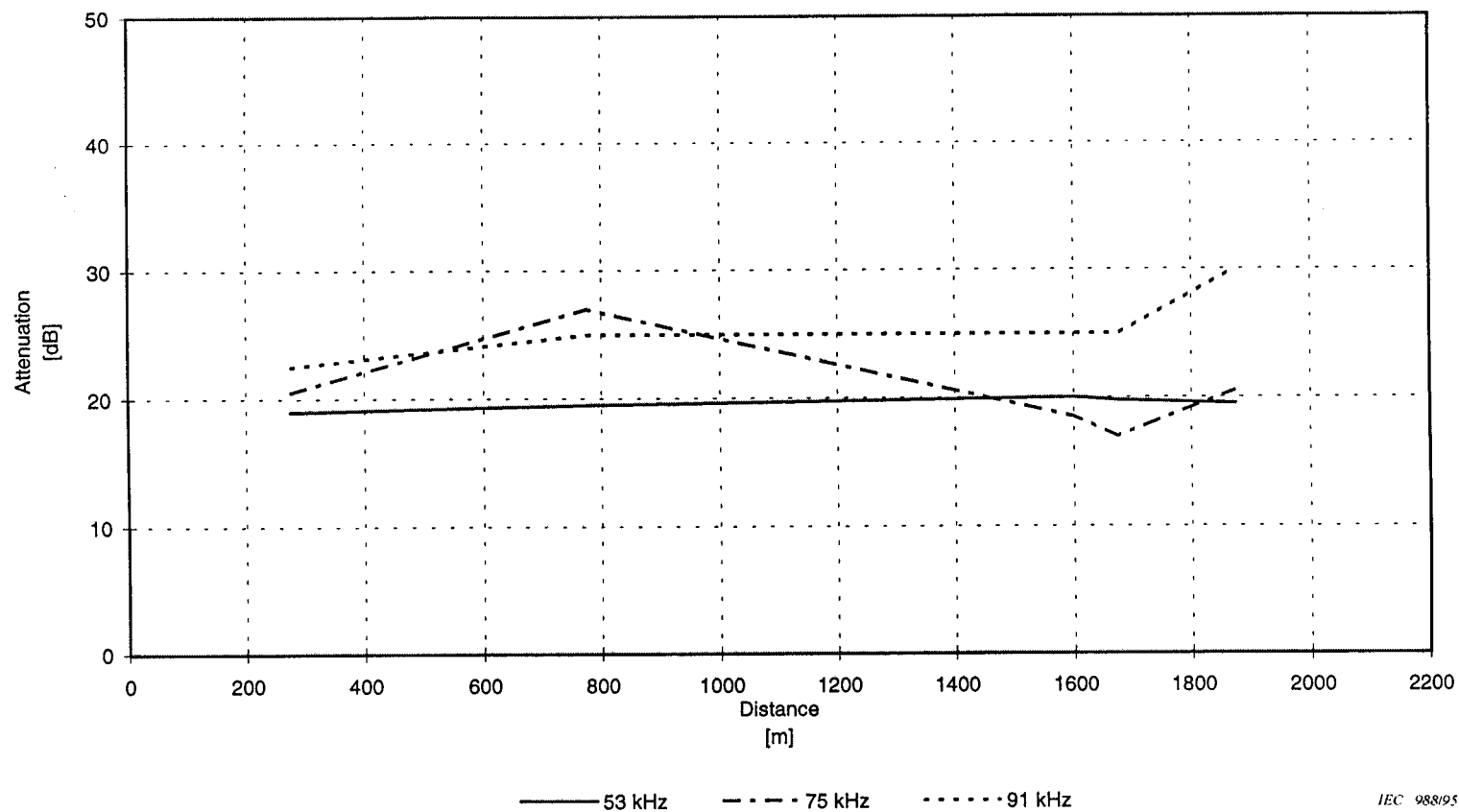


Figure 4b – Examples of attenuation versus distance of an MV network (underground cables)

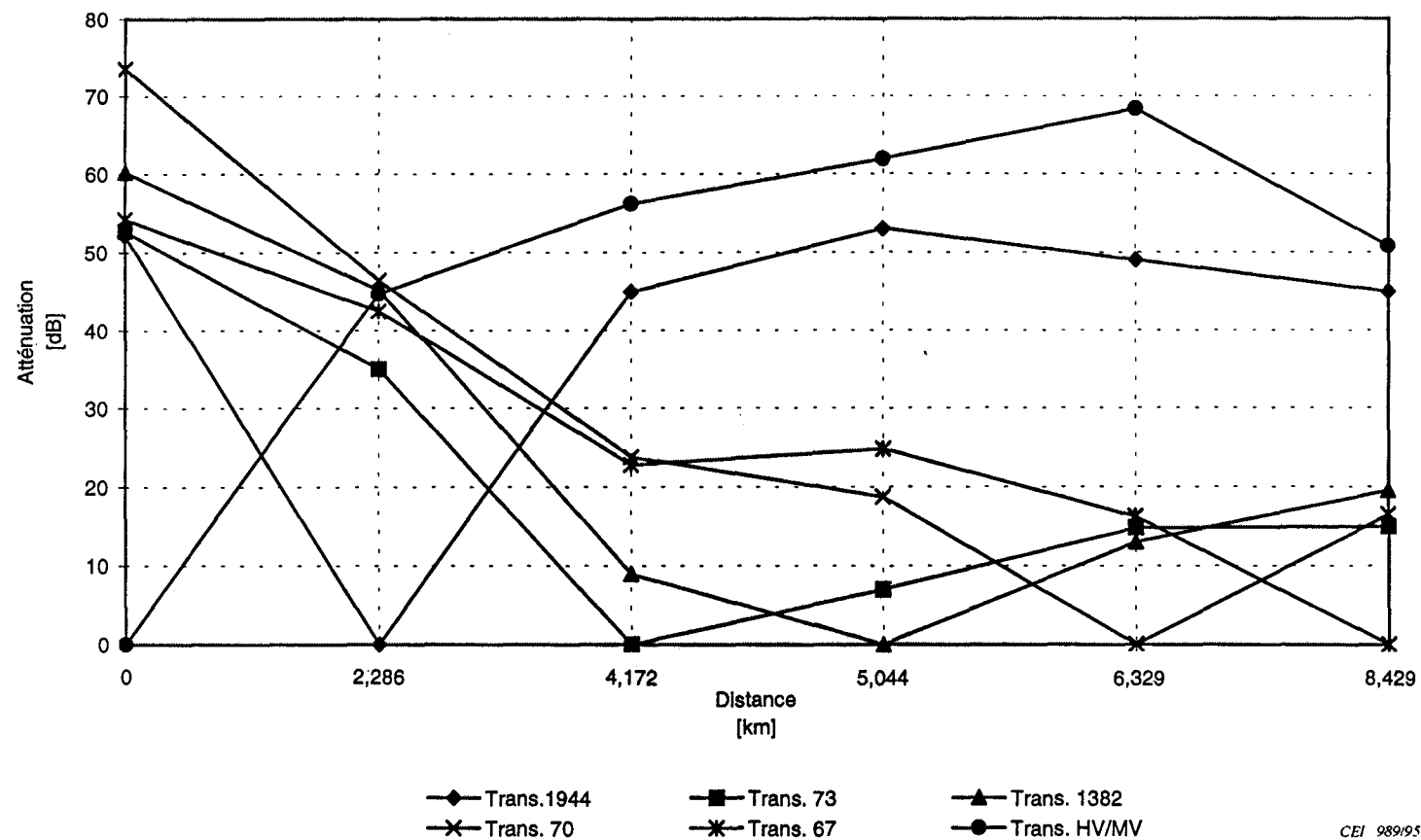


Figure 4c - Exemples d'atténuation en fonction de la distance d'un câble MT connectant six sous-stations MT/BT. Emission à partir de chaque sous-station et mesure dans les autres (couplage phase-terre)

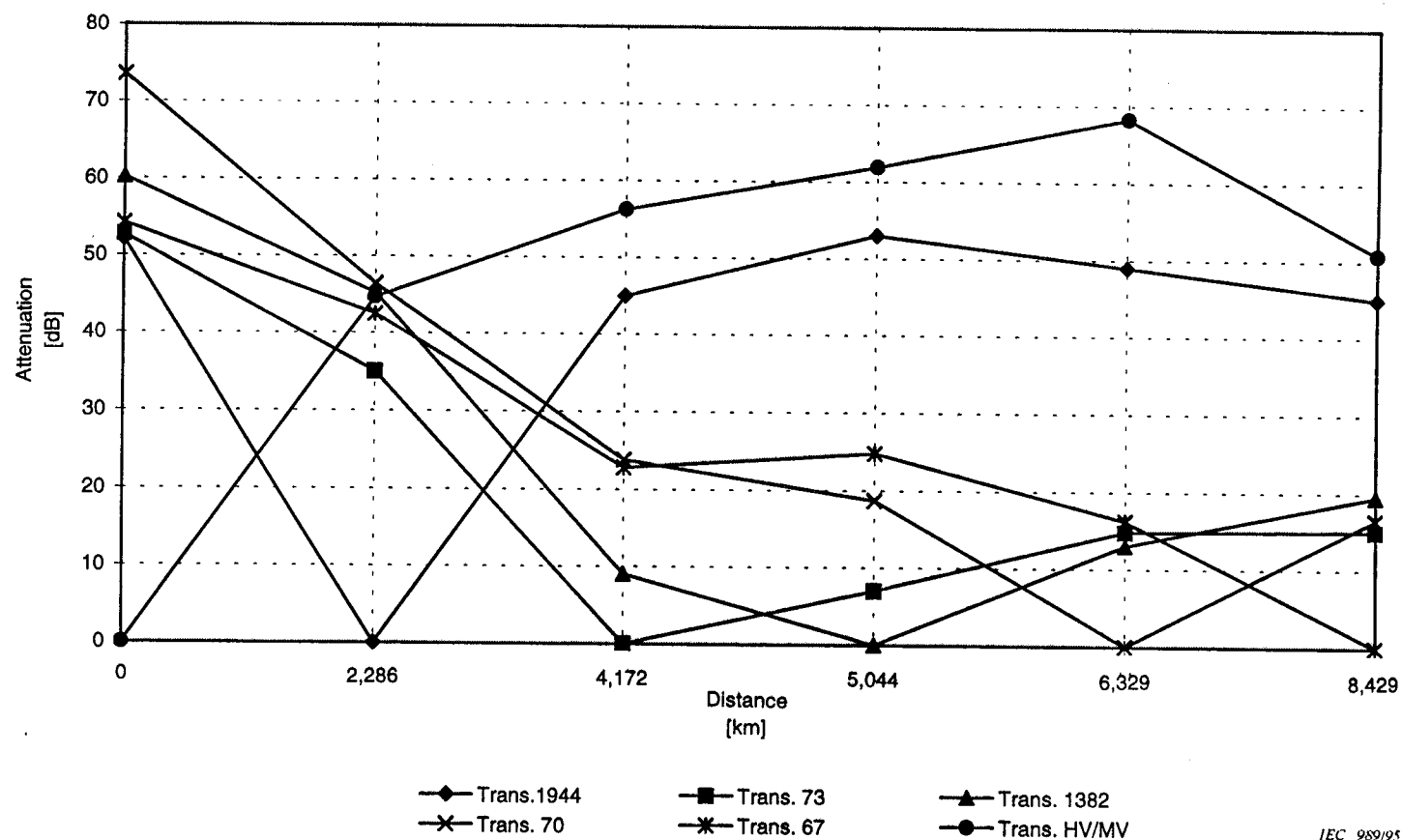


Figure 4c – Examples of attenuation versus distance of an MV cable connecting six MV/LV substations. Transmission from each substation and measurements at the others (phase-to-ground coupling)

IEC 989/95

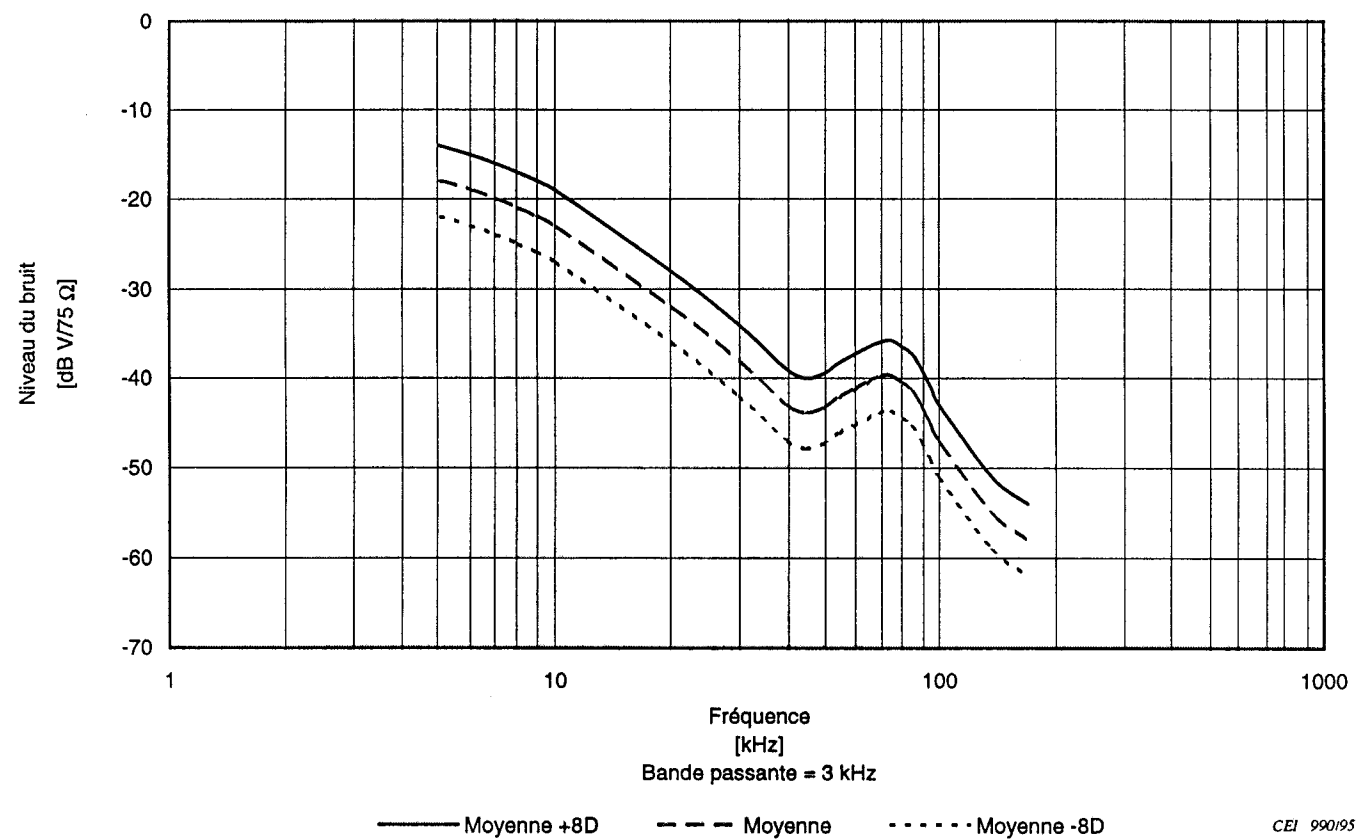


Figure 5a – Exemples de niveaux du bruit en fonction de la fréquence sur un réseau MT (câbles souterrains)

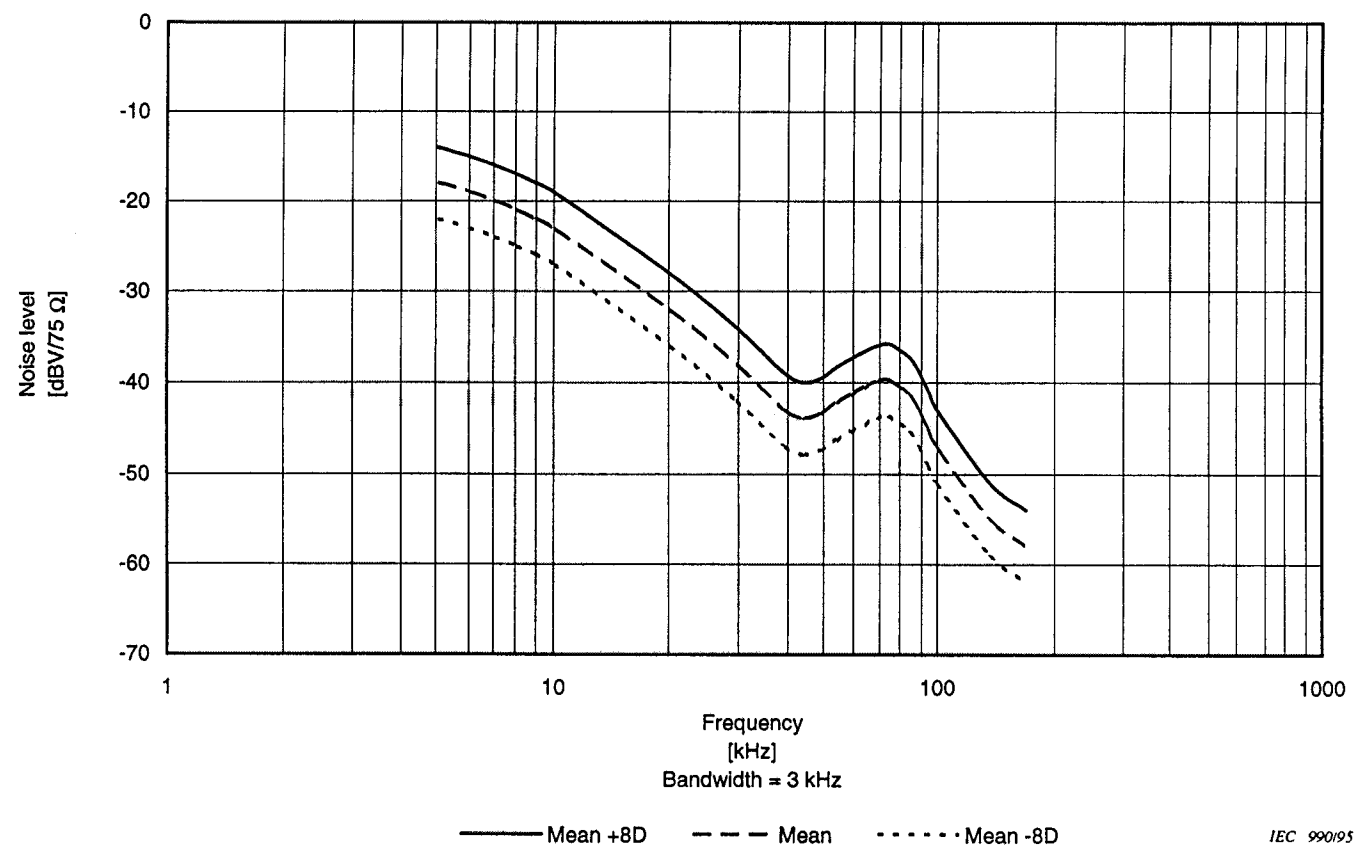


Figure 5a – Examples of noise level versus frequency on an MV network (underground cables)

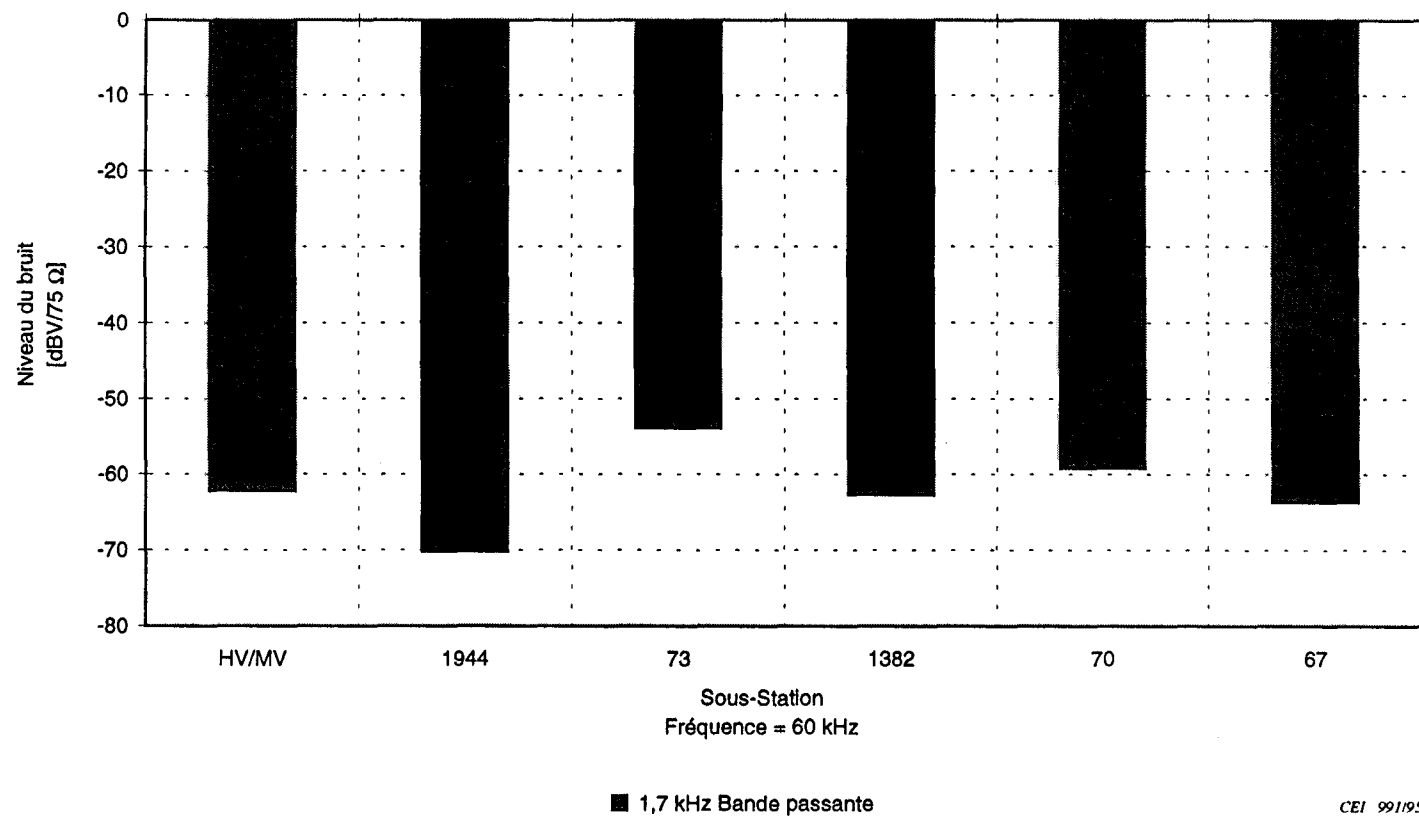


Figure 5b – Exemples de niveaux du bruit mesurés dans six sous-stations raccordées à une ligne aérienne MT (couplage phase-terre)

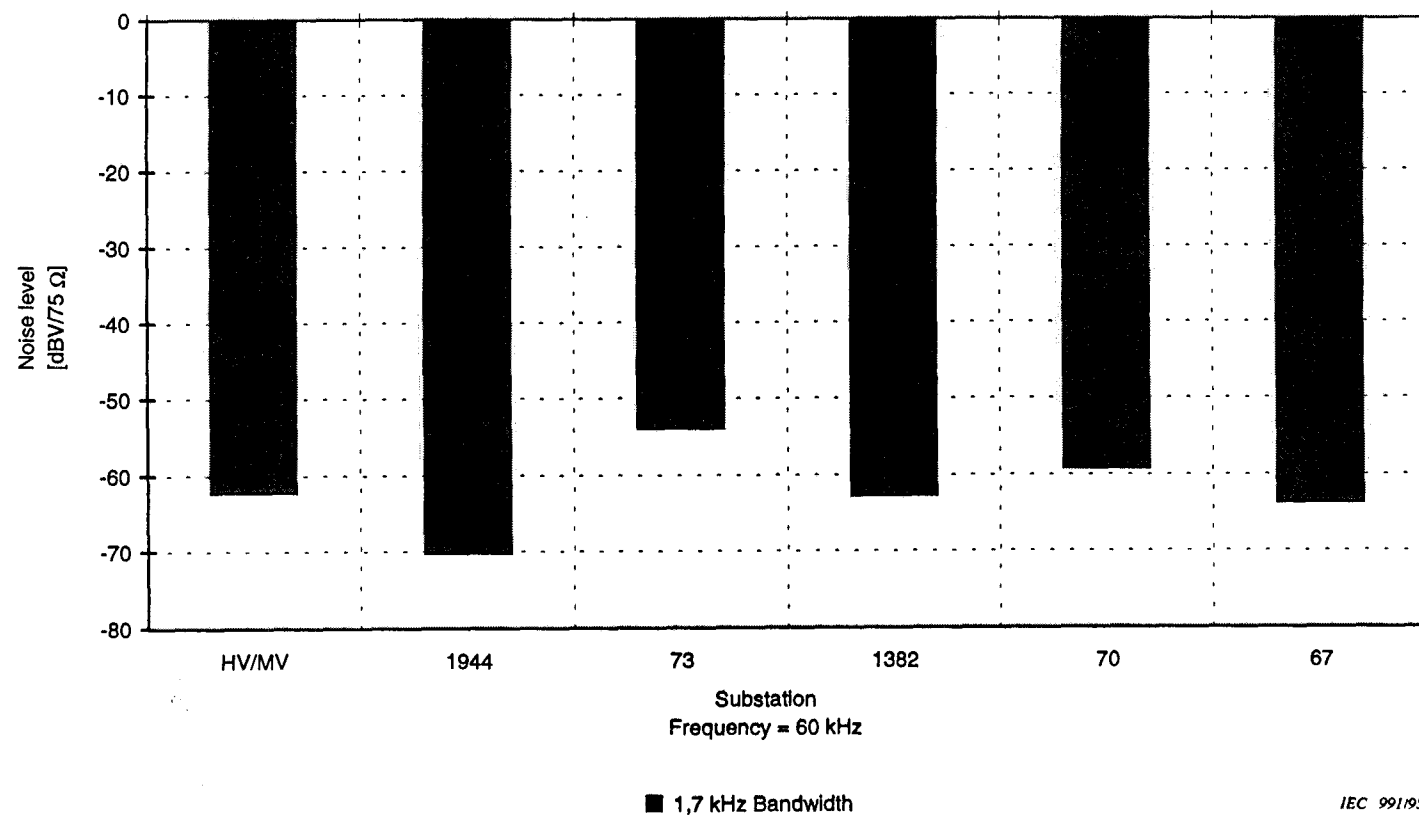
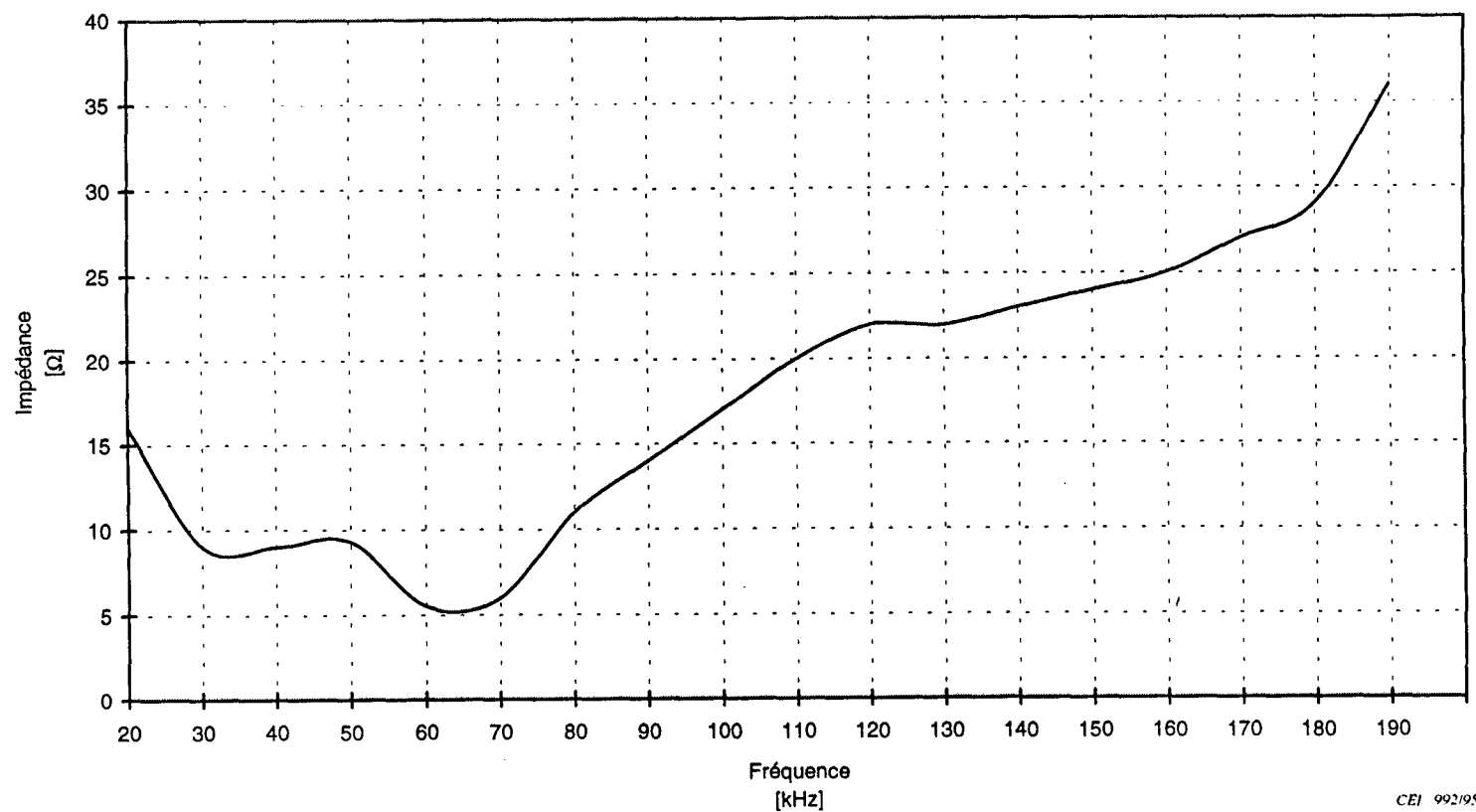
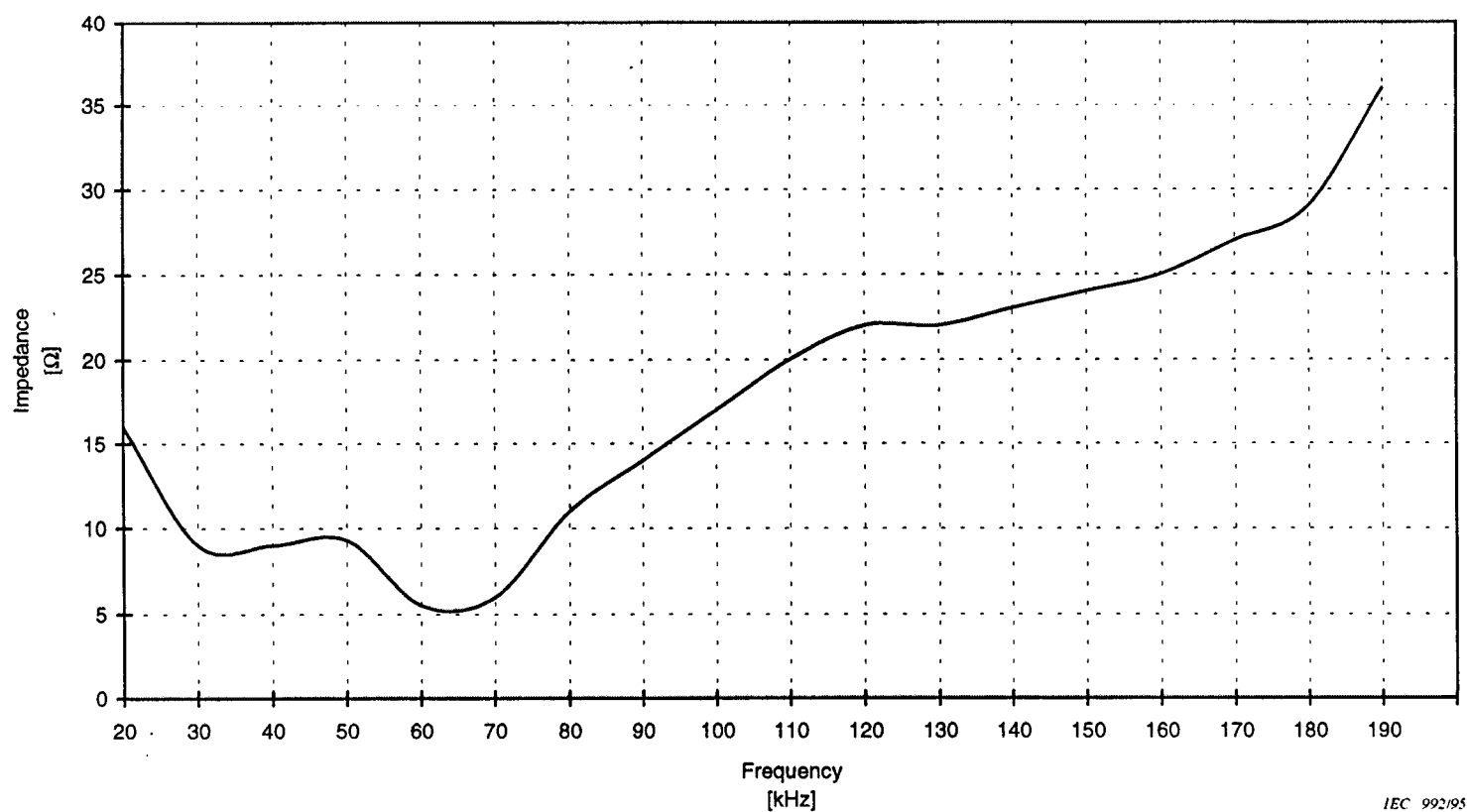


Figure 5b – Examples of noise levels measured in six MV/LV substations connected to an MV overhead line (phase-to-ground coupling)



CEI 992/95

Figure 6a – Exemple de point de couplage de l'impédance en fonction de la fréquence d'un réseau de câbles souterrains BT (couplage phase-neutre)



**Figure 6a – Example of coupling point impedance versus frequency
of an LV underground cable network (phase-to-neutral coupling)**

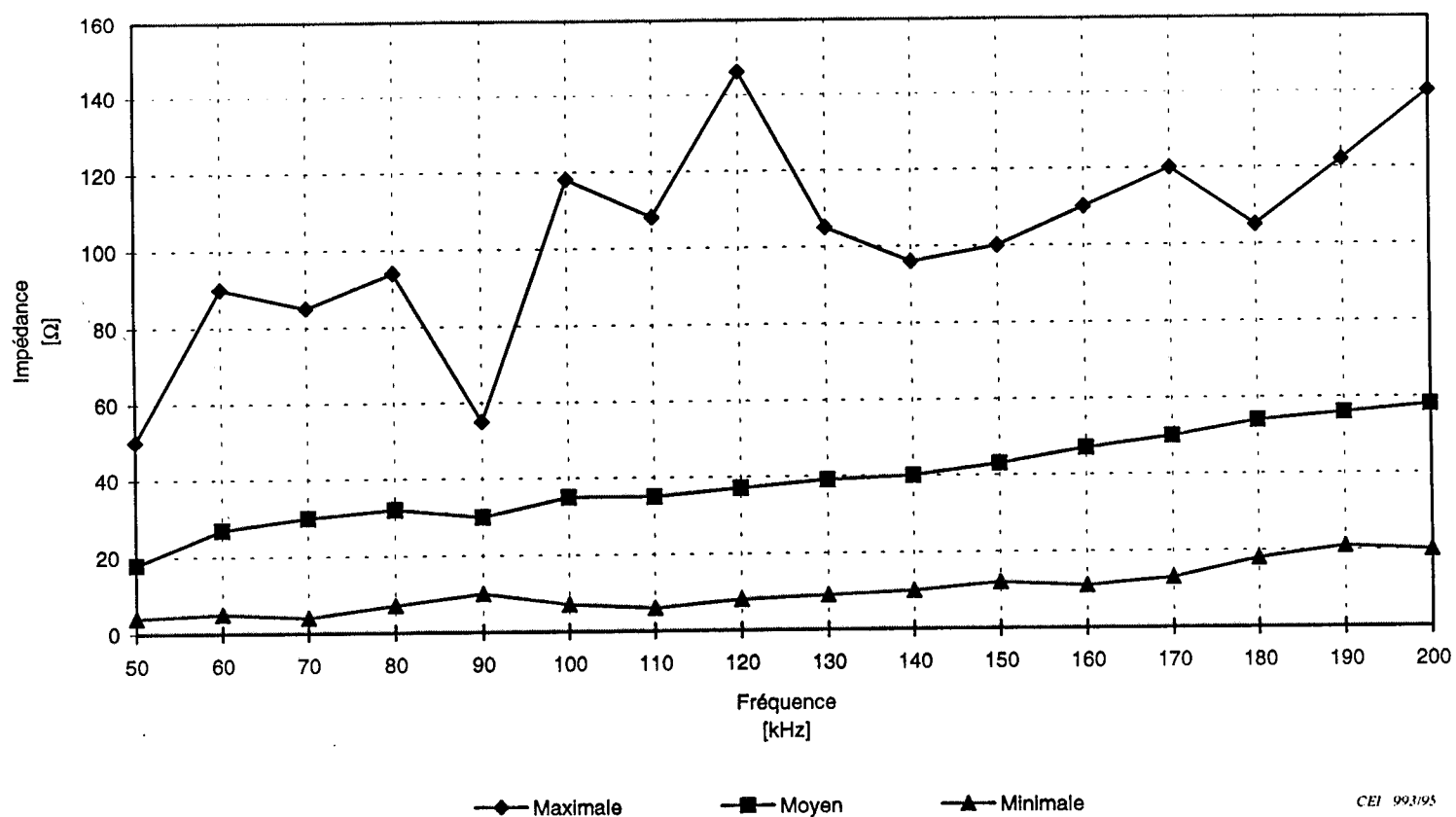


Figure 6b – Exemples de points de couplage de l'impédance en fonction de la fréquence d'un réseau de lignes aériennes BT (couplage phase-neutre)

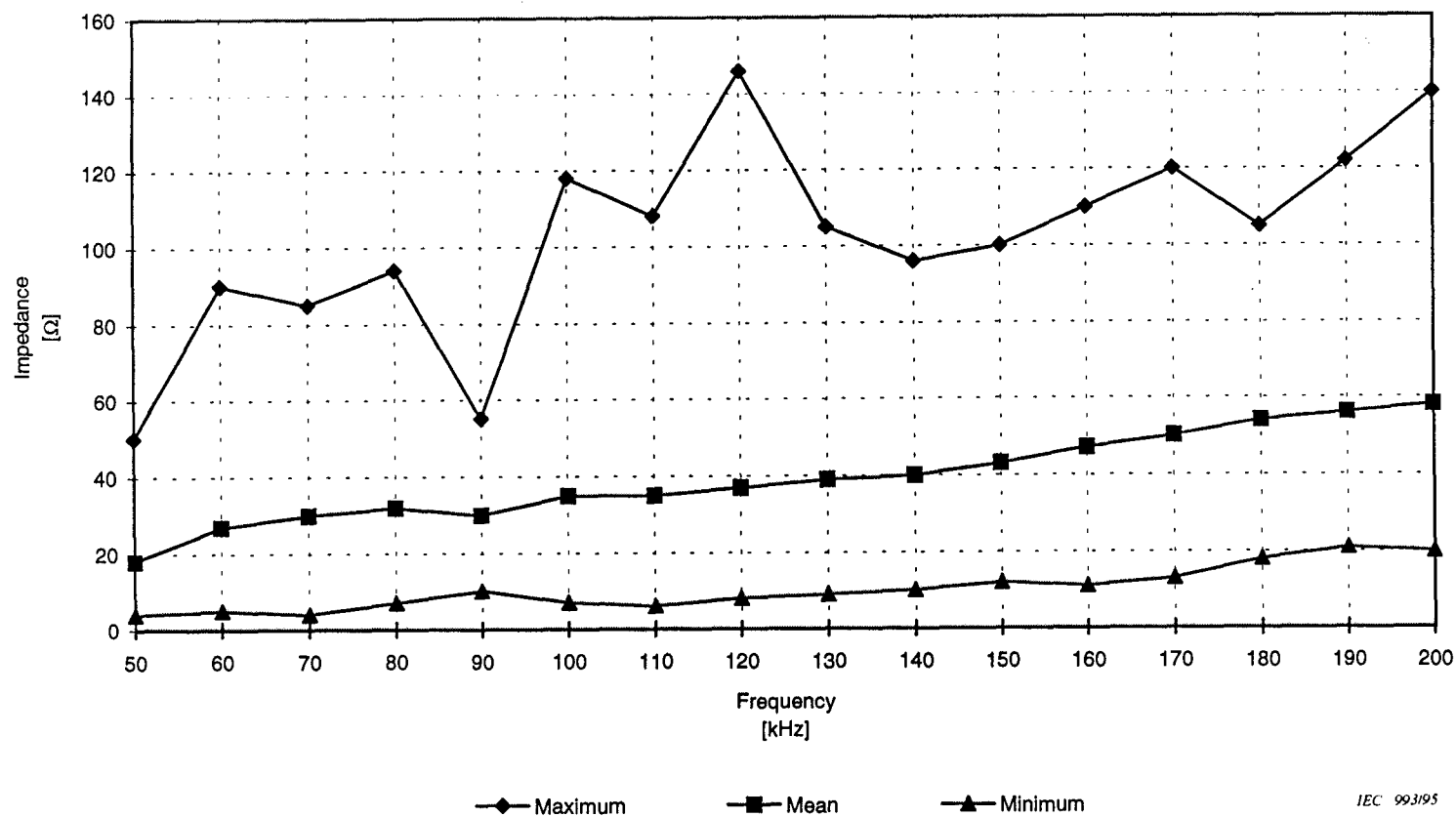


Figure 6b – Examples of coupling point impedance versus frequency
of an LV overhead line network (phase-to-neutral coupling)

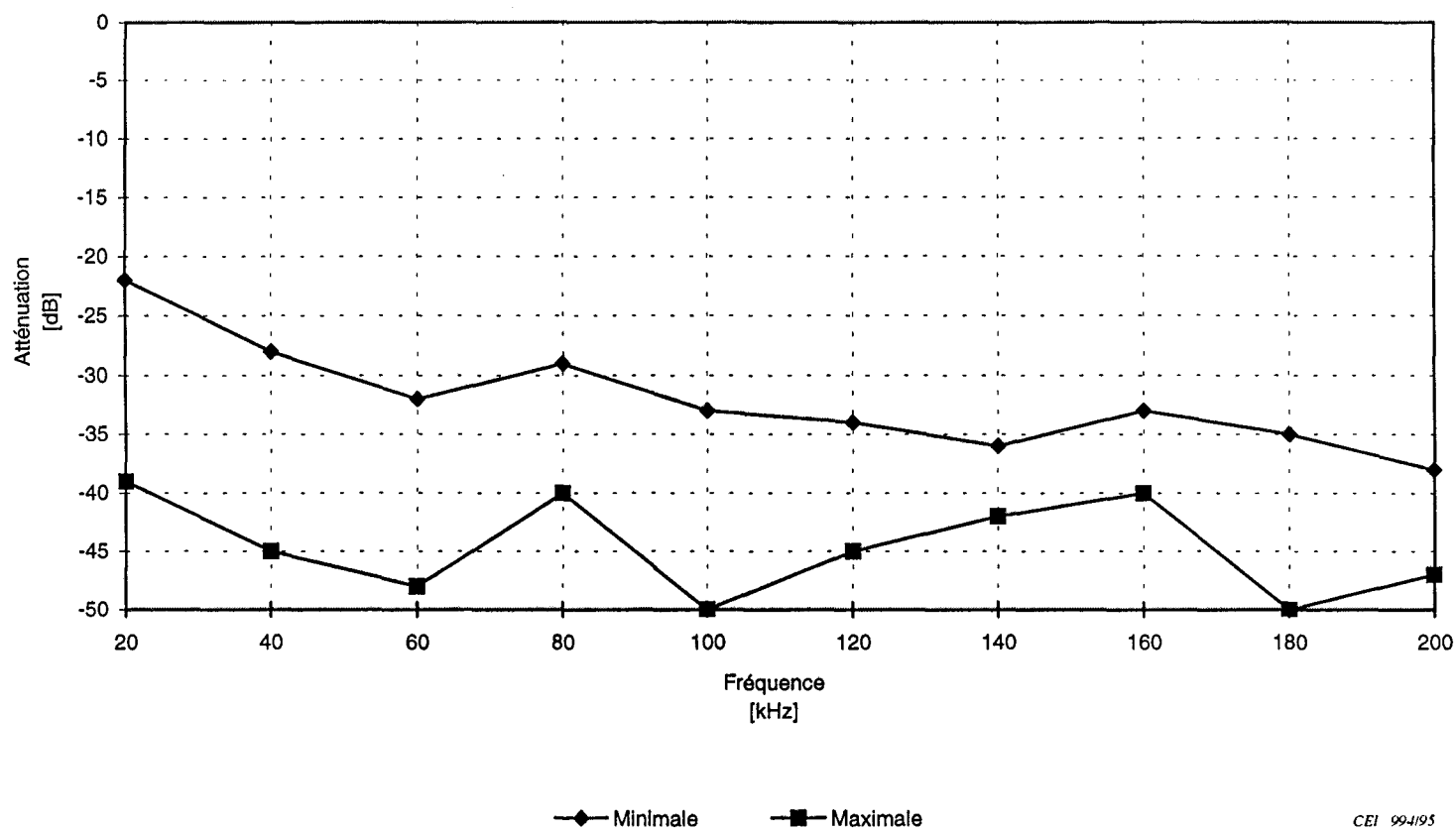


Figure 7 – Exemples d'atténuation en fonction de la fréquence d'un réseau de câbles souterrains BT d'une longueur jusqu'à 500 m (couplage phase-neutre)

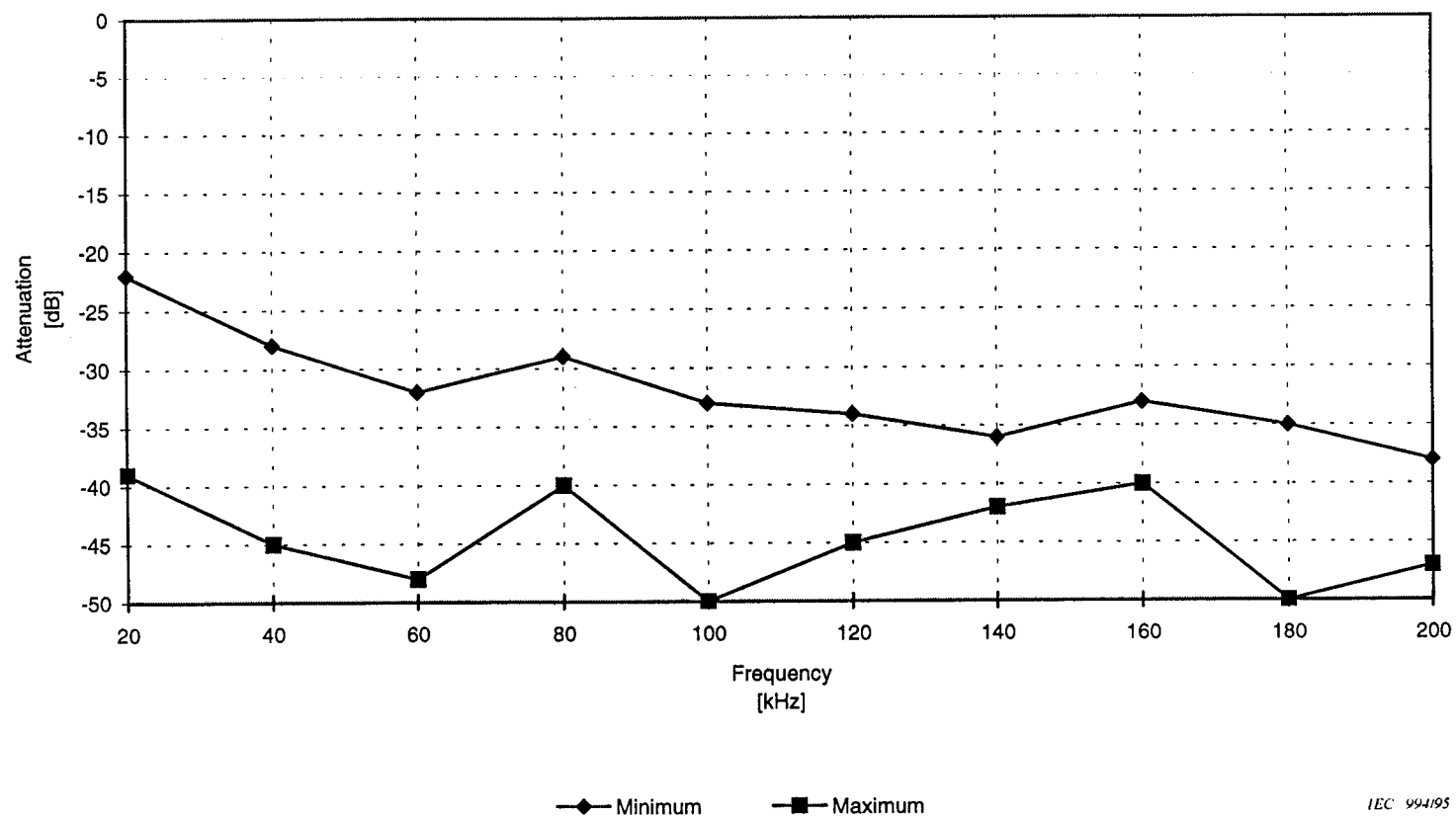


Figure 7 – Examples of attenuation versus frequency of an LV underground cable with a length up to 500 m (phase-to-neutral coupling)

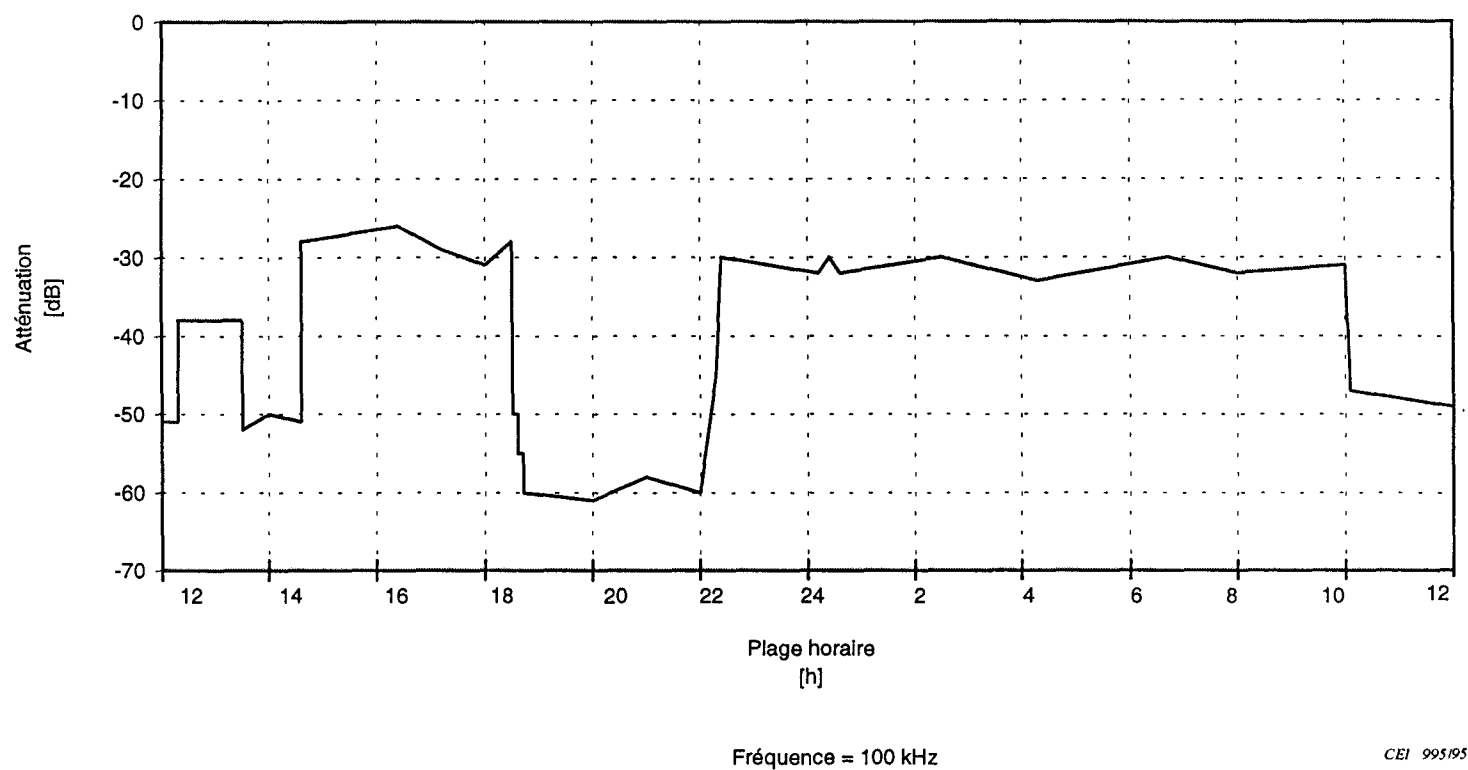


Figure 8 – Exemples d'atténuation en fonction de la plage horaire d'un câble souterrain BT d'une longueur jusqu'à 500 m (couplage phase-neutre)

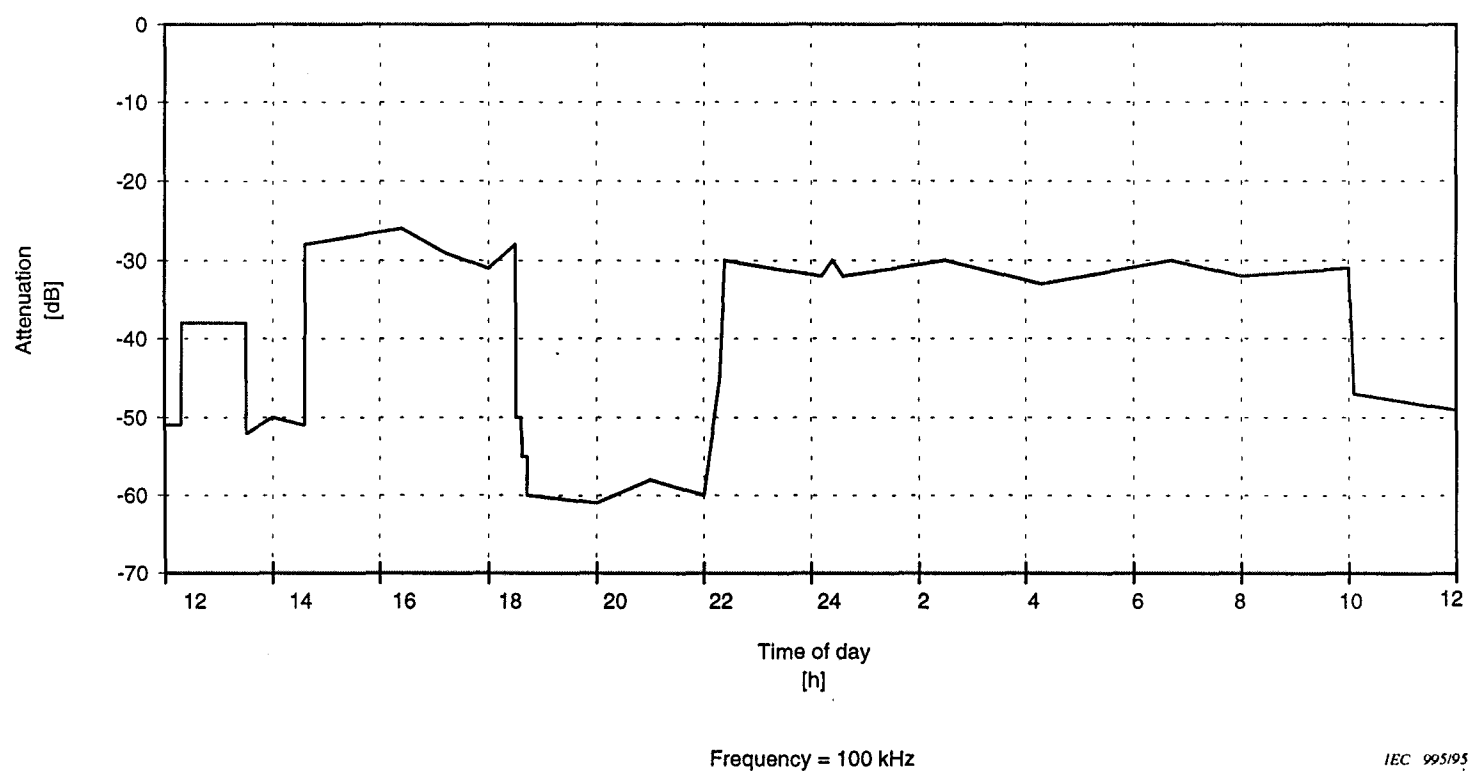


Figure 8 – Example of attenuation versus time of day of an LV underground cable with a length up to 500 m (phase-to-neutral coupling)

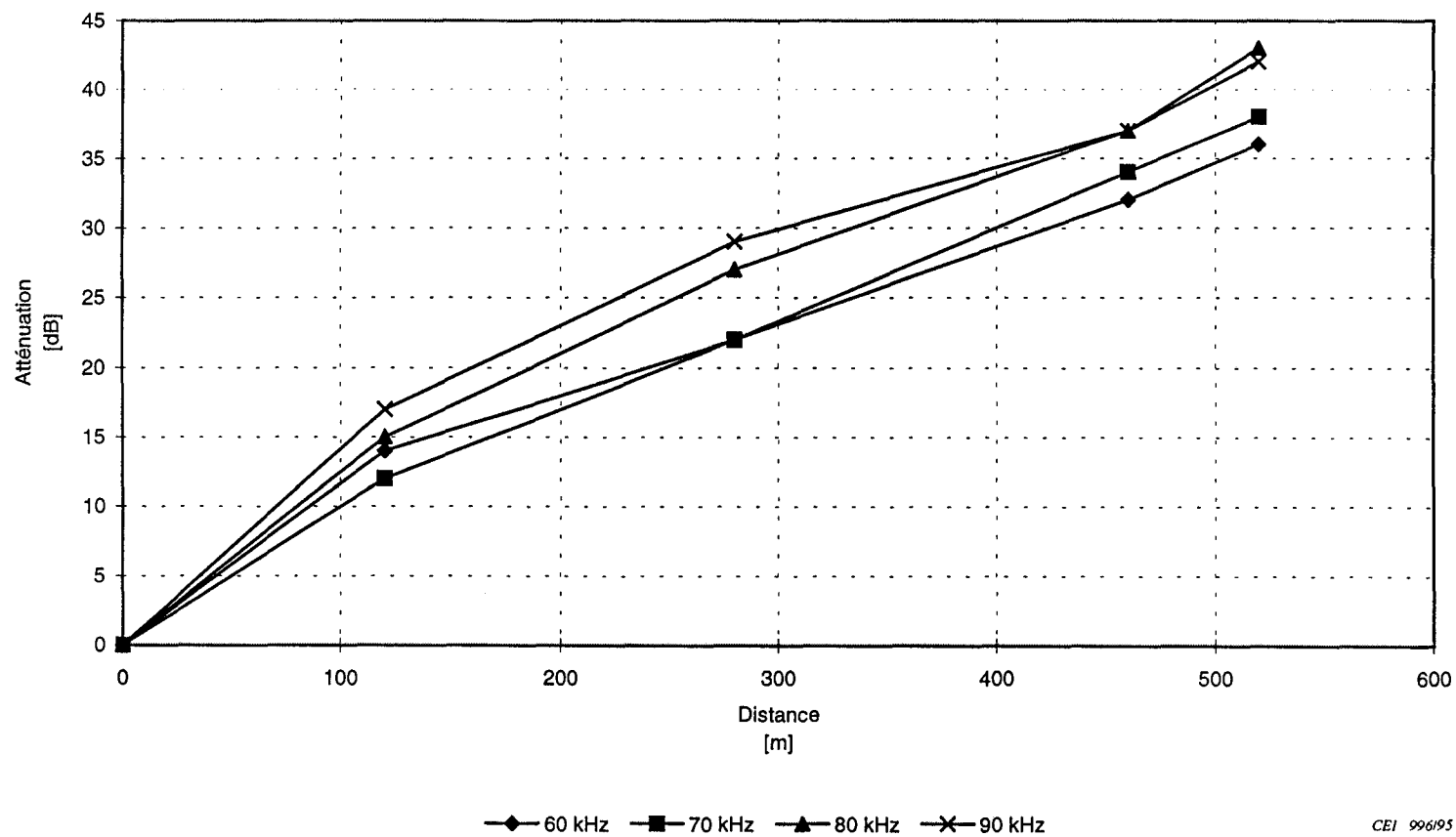


Figure 9 – Exemples d'atténuation en fonction de la distance d'une ligne aérienne BT (couplage phase-neutre)

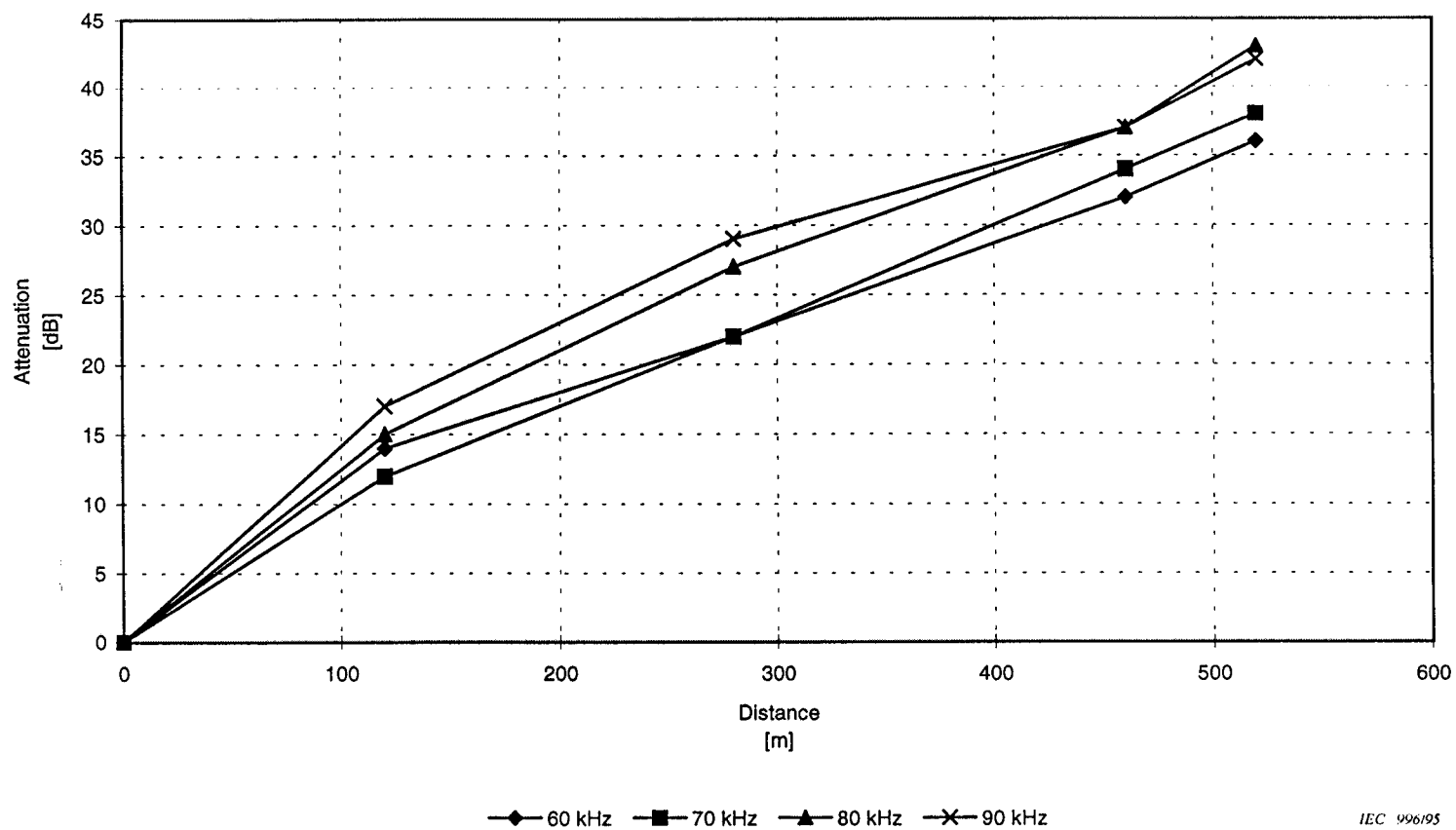


Figure 9 – Examples of attenuation versus distance of an LV overhead line (phase-to-neutral coupling)

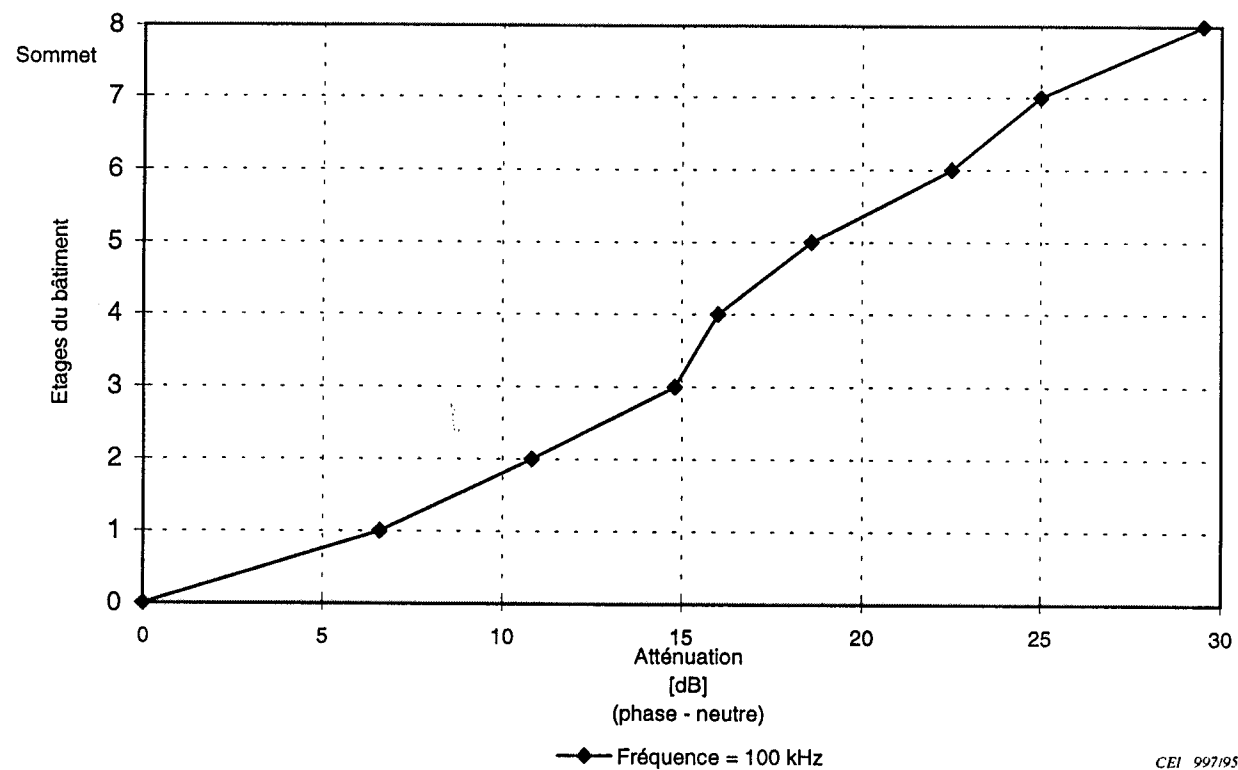


Figure 10 – Exemple d'atténuation sur un câble BT à différents étages d'un bâtiment (émission à partir du rez-de-chaussée)

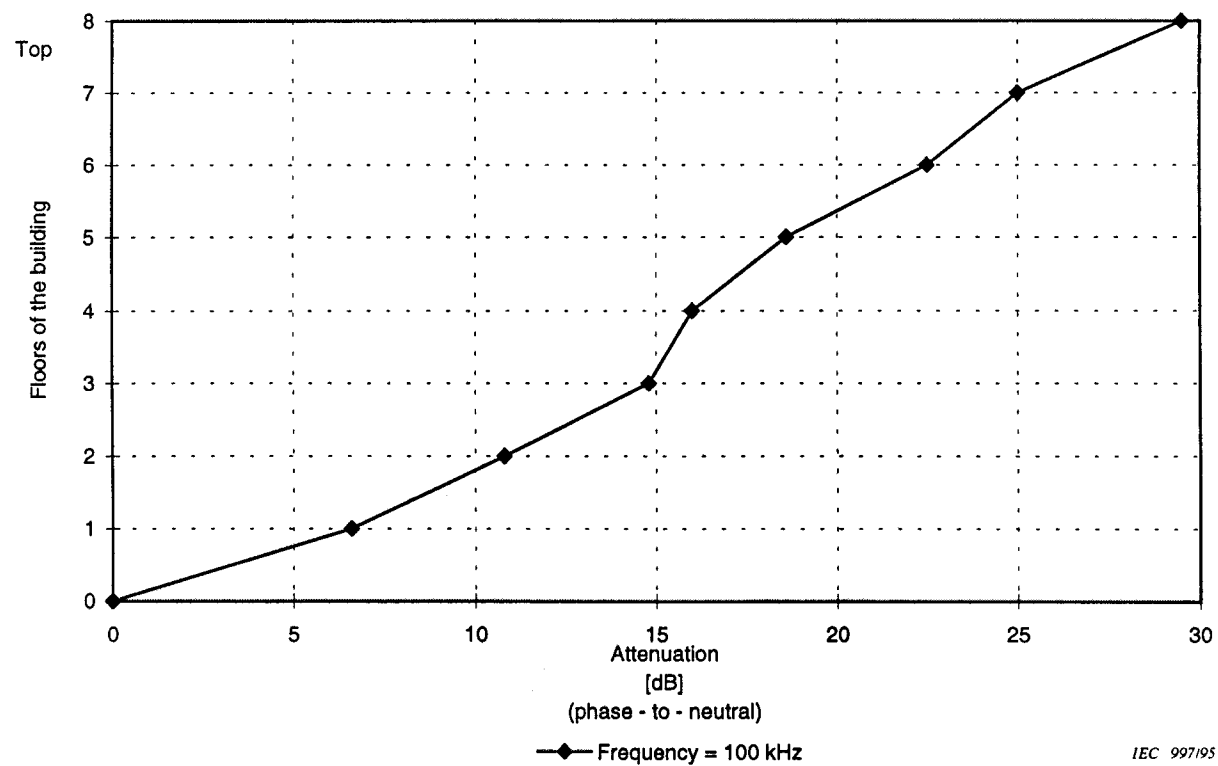


Figure 10 – Example of attenuation of an LV cable at different floors of a building (signal injection, ground floor)

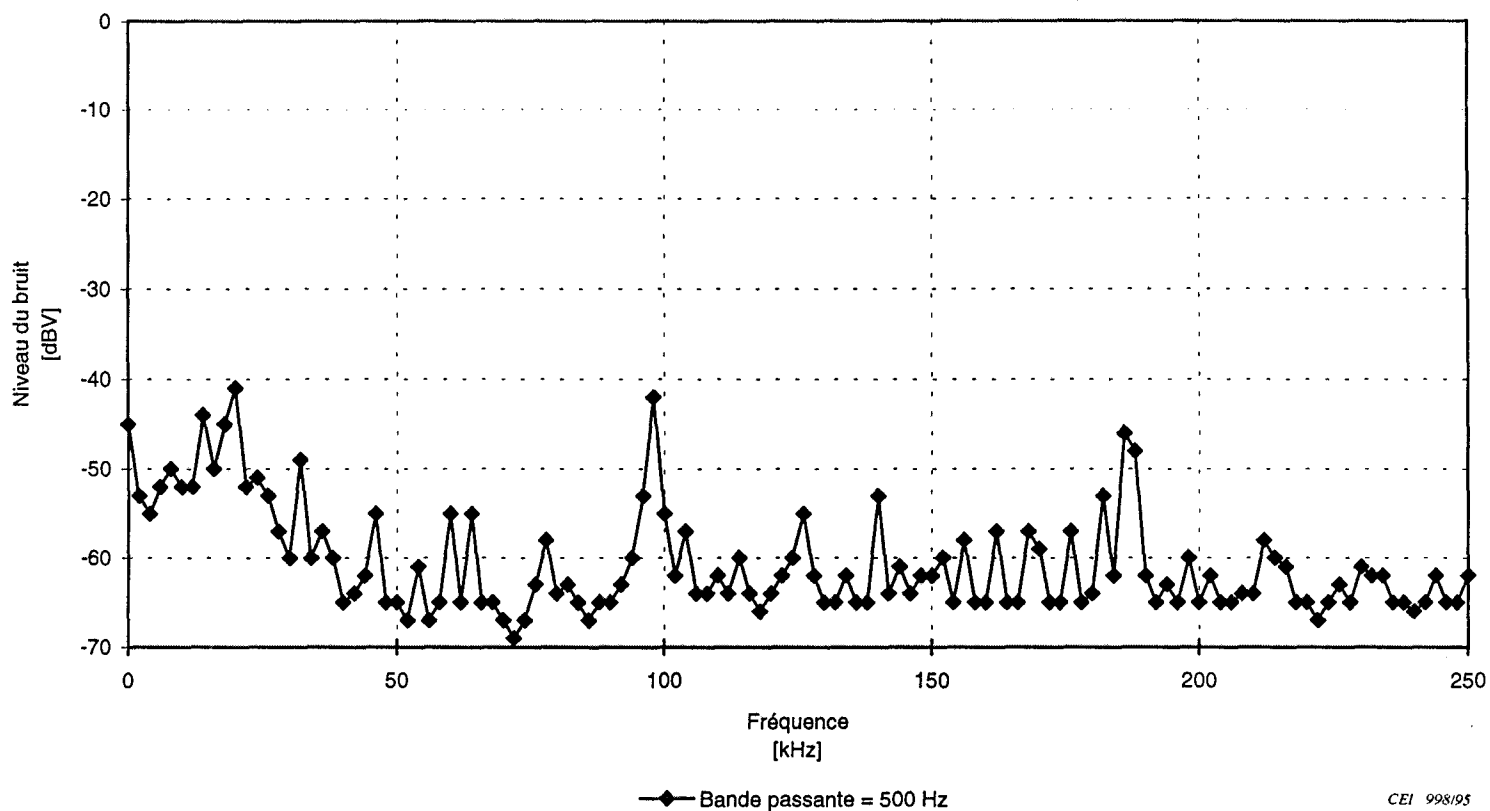


Figure 11a – Exemple de niveau du bruit en fonction de la fréquence sur un réseau de lignes aériennes BT (couplage phase-neutre)

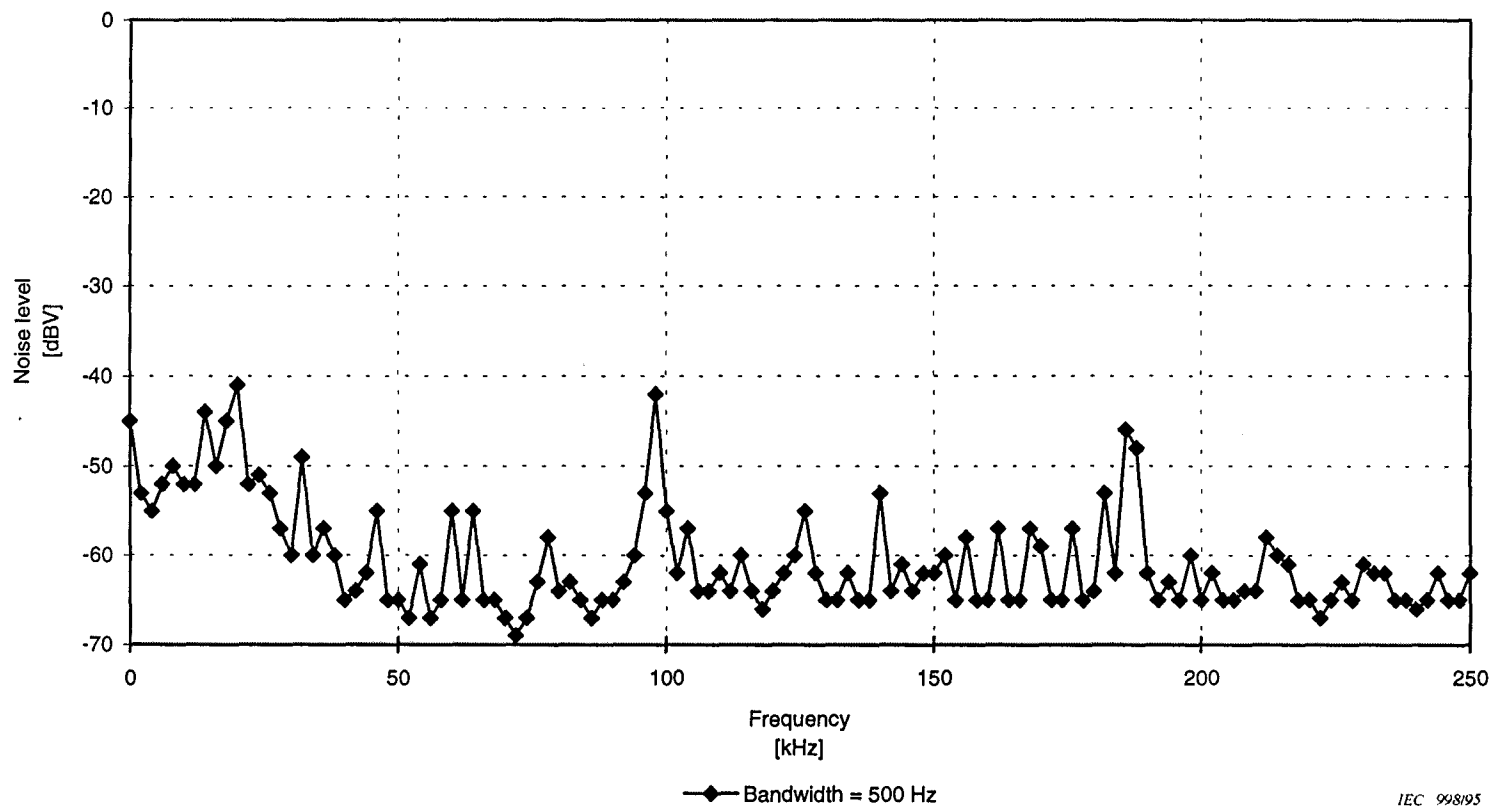


Figure 11a – Example of noise level versus frequency on an LV overhead line network (phase-to-neutral coupling)

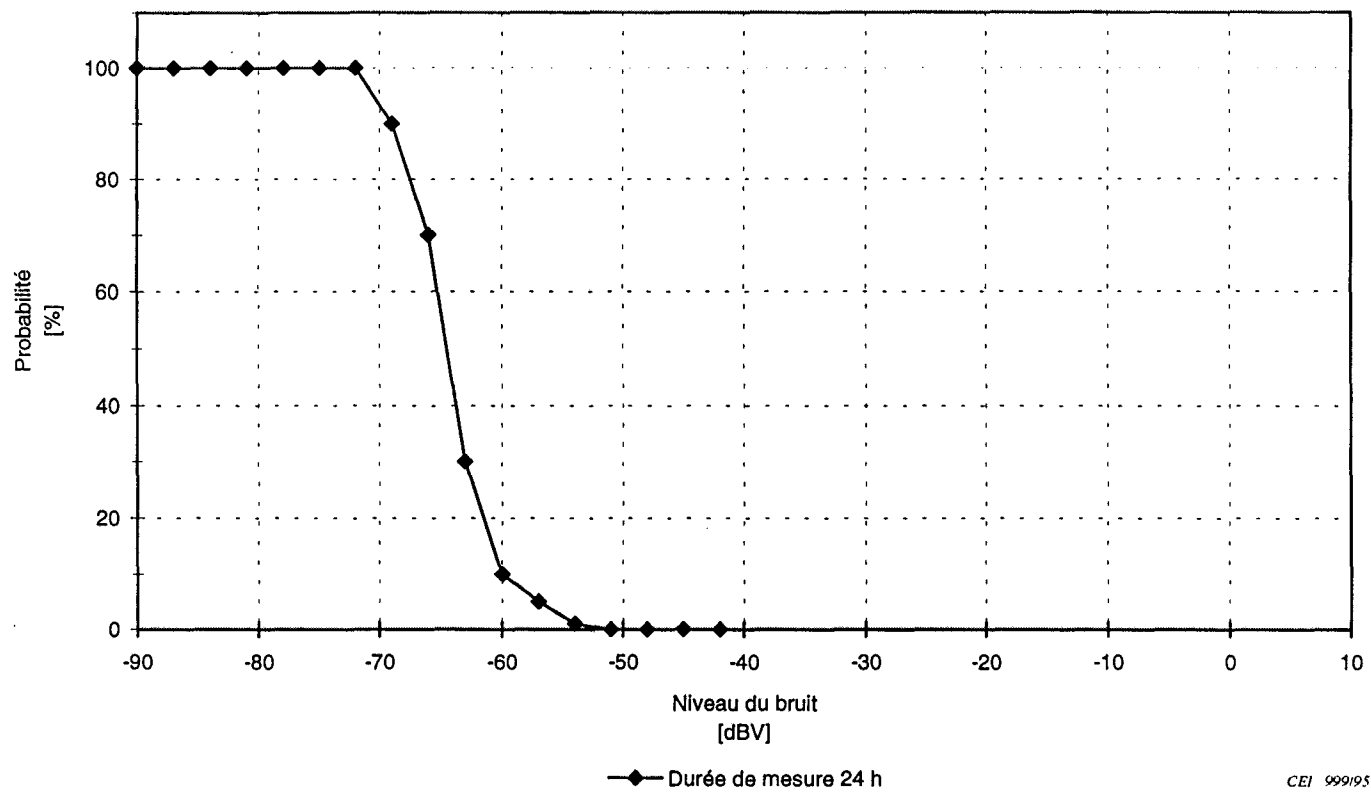


Figure 11b – Exemple de probabilité de distribution de niveau du bruit sur un réseau de lignes aériennes BT (fréquence de signal = 80 kHz, couplage phase-neutre)

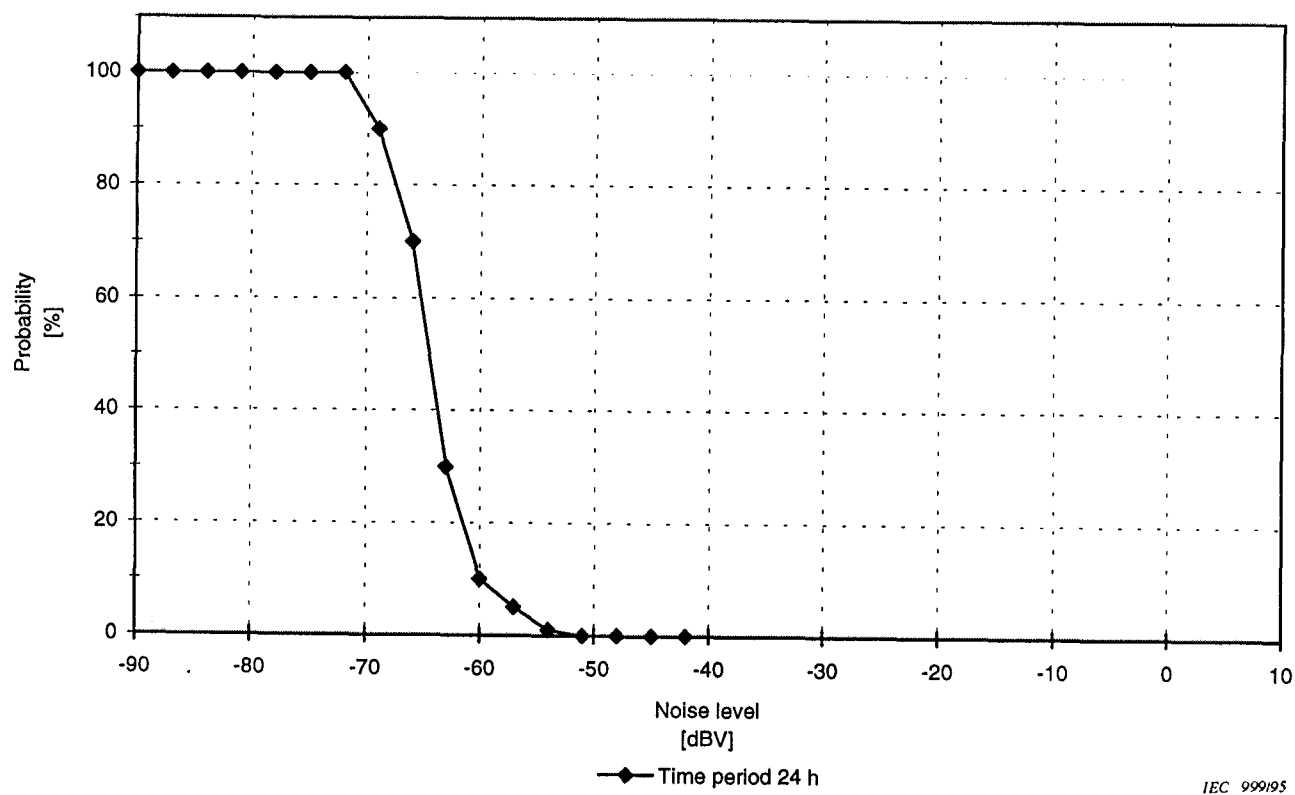


Figure 11b – Example of noise level distribution probability on an LV overhead line network (signal frequency = 80 kHz, phase-to-neutral coupling)

ICS 29.240.20 ; 33.200

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND