This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

هذه النسخة الإلكترونية (PDF) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (ITU) والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلاً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

© International Telecommunication Union

UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

CCITT

COMITÉ CONSULTATIF
INTERNATIONAL
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

LIVRE BLEU

TOME IX

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS

RECOMMANDATIONS DE LA SÉRIE K

CONSTRUCTION, INSTALLATION ET PROTECTION DES CÂBLES ET AUTRES ÉLÉMENTS D'INSTALLATIONS EXTÉRIEURES

RECOMMANDATIONS DE LA SÉRIE L

IXe ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE
MELBOURNE, 14-25 NOVEMBRE 1988

Genève 1989

UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

CCITT

COMITÉ CONSULTATIF
INTERNATIONAL
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

LIVRE BLEU

BIBLIOTHÈQUE DE L' UIT GENÈVE

TOME IX

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS

RECOMMANDATIONS DE LA SÉRIE K

CONSTRUCTION, INSTALLATION ET PROTECTION DES CÂBLES ET AUTRES ÉLÉMENTS D'INSTALLATIONS EXTÉRIEURES

RECOMMANDATIONS DE LA SÉRIE L

IXe ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE
MELBOURNE, 14-25 NOVEMBRE 1988

Genève 1989

ISBN 92-61-03742-9

© UIT

Imprimé en Suisse

CONTENU DU LIVRE DU CCITT EN VIGUEUR APRÈS LA NEUVIÈME ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE (1988)

LIVRE BLEU

Tome I

FASCICULE I.1 – Procès-verbaux et rapports de l'Assemblée plénière.

Liste des Commissions d'études et des Questions mises à l'étude.

FASCICULE I.2 – Vœux et résolutions.

Recommandations sur l'organisation du travail du CCITT (série A).

FASCICULE I.3 – Termes et définitions. Abréviations et acronymes. Recommandations sur les moyens d'expression (série B) et les Statistiques générales des télécommunications (série C).

FASCICULE I.4 – Index du Livre bleu.

Tome II

FASCICULE II.1 – Principes généraux de tarification – Taxation et comptabilité dans les services internationaux de télécommunications. Recommandations de la série D (Commission d'études III).

FASCICULE II.2 – Service téléphonique et RNIS – Exploitation, numérotage, acheminement et service mobile. Recommandations E.100 à E.333 (Commission d'études II).

FASCICULE II.3 – Service téléphonique et RNIS – Qualité de service, gestion du réseau et ingénierie du trafic. Recommandations E.401 à E.880 (Commission d'études II).

FASCICULE II.4 – Services de télégraphie et mobile. Exploitation et qualité de service. Recommandations F.1 à F.140 (Commission d'études I).

FASCICULE II.5 – Services de télématique, de transmission de données et de téléconférence – Exploitation et qualité de service. Recommandations F.160 à F.353, F.600, F.601, F.710 à F.730 (Commission d'études I).

FASCICULE II.6 – Services de traitement des messages et d'annuaire – Exploitation et définition du service. Recommandations F.400 à F.422, F.500 (Commission d'études I).

Tome III

FASCICULE III.1 – Caractéristiques générales des communications et des circuits téléphoniques internationaux. Recommandations G.101 à G.181 (Commissions d'études XII et XV).

FASCICULE III.2 – Systèmes internationaux analogiques à courants porteurs. Recommandations G.211 à G.544 (Commission d'études XV).

FASCICULE III.3 – Supports de transmission – Caractéristiques. Recommandations G.601 à G.654 (Commission d'études XV).

FASCICULE III.4 – Aspects généraux des systèmes de transmission numériques; équipements terminaux. Recommandations G.700 à G.772 (Commissions d'études XV et XVIII).

FASCICULE III.5 – Réseaux numériques, sections numériques et systèmes de ligne numérique. Recommandations G.801 à G.956 (Commissions d'études XV et XVIII).

FASCICULE III.6 – Utilisation des lignes pour la transmission des signaux autres que téléphoniques. Transmissions radiophoniques et télévisuelles. Recommandations des séries H et J (Commission d'études XV).

FASCICULE III.7 – Réseau numérique avec intégration des services (RNIS) – Structure générale et possibilités de service. Recommandations I.110 à I.257 (Commission d'études XVIII).

FASCICULE III.8 – Réseau numérique avec intégration des services (RNIS) – Aspects généraux et fonctions globales du réseau, interfaces usager-réseau RNIS. Recommandations I.310 à I.470 (Commission d'études XVIII).

FASCICULE III.9 – Réseau numérique avec intégration des services (RNIS) – Interfaces entre réseaux et principes de maintenance. Recommandations I.500 à I.605 (Commission d'études XVIII).

Tome IV

FASCICULE IV.1 – Principes généraux de maintenance, maintenance des systèmes de transmission internationaux et de circuits téléphoniques internationaux. Recommandations M.10 à M.782 (Commission d'études IV).

FASCICULE IV.2 – Maintenance des circuits internationaux télégraphiques, phototélégraphiques et loués. Maintenance du réseau téléphonique public international. Maintenance des systèmes maritimes à satellites et de transmission de données. Recommandations M.800 à M.1375 (Commission d'études IV).

FASCICULE IV.3 – Maintenance des circuits radiophoniques internationaux et transmissions télévisuelles internationales. Recommandations de la série N (Commission d'études IV).

FASCICULE IV.4 – Spécifications des appareils de mesure. Recommandations de la série O (Commission d'études IV).

Tome V – Qualité de la transmission téléphonique. Recommandations de la série P (Commission d'études XII).

Tome VI

FASCICULE VI.1 – Recommandations générales sur la commutation et la signalisation téléphoniques. Fonctions et flux d'information pour les services du RNIS. Suppléments. Recommandations Q.1 à Q.118 *bis* (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.2 – Spécifications des Systèmes de signalisation n^{os} 4 et 5. Recommandations Q.120 à Q.180 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.3 – Spécifications du Système de signalisation n° 6. Recommandations Q.251 à Q.300 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.4 – Spécifications des Systèmes de signalisation R1 et R2. Recommandations Q.310 à Q.490 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.5 – Centraux numériques locaux, de transit, combinés et internationaux dans les réseaux numériques intégrés et les réseaux mixtes analogiques-numériques. Suppléments. Recommandations Q.500 à Q.554 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.6 – Interfonctionnement des systèmes de signalisation. Recommandations Q.601 à Q.699 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.7 – Spécifications du Système de signalisation n° 7. Recommandations Q.700 à Q.716 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.8 – Spécifications du Système de signalisation n° 7. Recommandations Q.721 à Q.766 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.9 – Spécifications du Système de signalisation n° 7. Recommandations Q.771 à Q.795 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.10 – Système de signalisation d'abonné numérique n° 1 (SAN 1), couche liaison de données. Recommandations Q.920 à Q.921 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.11 – Système de signalisation d'abonné numérique n° 1 (SAN 1), couche réseau, gestion usager-réseau. Recommandations Q.930 à Q.940 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.12 – Réseau mobile terrestre public, interfonctionnement du RNIS avec le RTPC. Recommandations Q.1000 à Q.1032 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.13 – Réseau mobile terrestre public. Sous-système application mobile et interface associées. Recommandations Q.1051 à Q.1063 (Commission d'études XI).

FASCICULE VI.14 – Interfonctionnement avec les systèmes mobiles à satellites. Recommandations Q.1100 à Q.1152 (Commission d'études XI).

Tome VII

FASCICULE VII.1 – Transmission télégraphique. Recommandations de la série R. Equipements terminaux pour les services de télégraphie. Recommandations de la série S (Commission d'études IX).

FASCICULE VII.2 – Commutation télégraphique. Recommandations de la série U (Commission d'études IX).

FASCICULE VII.3 – Equipements terminaux et protocoles pour les services de télématique. Recommandations T.0 à T.63 (Commission d'études VIII).

FASCICULE VII.4 – Procédures d'essai de conformité pour les Recommandations télétex. Recommandation T.64 (Commission d'études VIII).

FASCICULE VII.5 – Equipements terminaux et protocoles pour les services de télématique. Recommandations T.65 à T.101, T.150 à T.390 (Commission d'études VIII).

FASCICULE VII.6 – Equipements terminaux et protocoles pour les services de télématique. Recommandations T.400 à T.418 (Commission d'études VIII).

FASCICULE VII.7 – Equipements terminaux et protocoles pour les services de télématique. Recommandations T.431 à T.564 (Commission d'études VIII).

Tome VIII

FASCICULE VIII.1 – Communication de données sur le réseau téléphonique. Recommandations de la série V (Commission d'études XVII).

FASCICULE VIII.2 – Réseaux de communications de données: services et facilités, interfaces. Recommandations X.1 à X.32 (Commission d'études VII).

FASCICULE VIII.3 – Réseaux de communications de données: transmission, signalisation et commutation, réseau, maintenance et dispositions administratives. Recommandations X.40 à X.181 (Commission d'études VII).

FASCICULE VIII.4 – Réseaux de communications de données: interconnexion de systèmes ouverts (OSI) – Modèle et notation, définition du service. Recommandations X.200 à X.219 (Commission d'études VII).

FASCICULE VIII.5 – Réseaux de communications de données: interconnexion de systèmes ouverts (OSI) – Spécifications de protocole, essai de conformité. Recommandations X.220 à X.290 (Commission d'études VII).

FASCICULE VIII.6 – Réseaux de communications de données: interfonctionnement entre réseaux, systèmes mobiles de transmission de données, gestion inter-réseaux. Recommandations X.300 à X.370 (Commission d'études VII).

FASCICULE VIII.7 – Réseaux de communications de données: systèmes de messagerie. Recommandations X.400 à X.420 (Commission d'études VII).

FASCICULE VIII.8 – Réseaux de communications de données: annuaire. Recommandations X.500 à X.521 (Commission d'études VII).

Tome IX – Protection contre les perturbations. Recommandations de la série K (Commission d'études V). Construction, installation et protection des câbles et autres éléments d'installations extérieures. Recommandations de la série L (Commission d'études VI).

Tome X

FASCICULE X.1 – Langage de spécification et de description fonctionnelles (LDS). Critères d'utilisation des techniques de description formelles (TDF). Recommandation Z.100 et Annexes A, B, C et E, Recommandation Z.110 (Commission d'études X).

FASCICULE X.2 – Annexe D de la Recommandation Z.100: directives pour les usagers du LDS (Commission d'études X).

FASCICULE X.3 – Annexe F.1 de la Recommandation Z.100: définition formelle du LDS. Introduction (Commission d'études X).

FASCICULE X.4 – Annexe F.2 de la Recommandation Z.100: définition formelle du LDS. Sémantique statique (Commission d'études X).

FASCICULE X.5 – Annexe F.3 de la Recommandation Z.100: définition formelle du LDS. Sémantique dynamique (Commission d'études X).

FASCICULE X.6 – Langage évolué du CCITT (CHILL). Recommandation Z.200 (Commission d'études X).

FASCICULE X.7 – Langage homme-machine (LHM). Recommandations Z.301 à Z.341 (Commission d'études X).

TABLE DES MATIÈRES DU TOME IX DU LIVRE BLEU

Partie I – Recommandations de la série K

Protection contre les perturbations

N° de la Rec.		Page
K.1	Mise à la terre d'un circuit téléphonique à fréquences vocales en câble	3
K.2	Protection des systèmes de téléalimentation des répéteurs contre les perturbations dues aux lignes électriques voisines	4
K.3	Troubles provoqués par des signaux à fréquences vocales injectés dans un réseau de distribution d'énergie	4
K.4	Perturbations causées à la signalisation	4
K.5	Emploi conjoint de poteaux pour les télécommunications et pour la distribution d'électricité	5
K.6	Précautions à prendre aux croisements	5
K.7	Protection contre les chocs acoustiques	7
K.8	Séparation dans le sol entre câbles de télécommunications et mise à la terre des installations de transport d'énergie	7
K.9	Protection du personnel et des installations de télécommunications contre un gradient de potentiel élevé dans le sol, dû à une ligne de traction électrique voisine	11
K.10	Dissymétrie des installations de télécommunications par rapport à la terre	12
K.11	Principes de la protection contre les surtensions et les surintensités	19
K.12	Caractéristiques des parafoudres à gaz destinés à la protection des installations de télécommunications	27
K.13	Tensions induites dans les câbles à conducteurs isolés au moyen de matière plastique .	40
K.14	Emploi d'un écran métallique sur les câbles à revêtement en matière plastique	41
K.15	Protection des installations de téléalimentation et des répéteurs de ligne contre les coups de foudre et les perturbations dues aux lignes électriques voisines	47
K.16	Méthode simplifiée de calcul pour évaluer les effets d'induction magnétique des lignes électriques sur les répéteurs téléalimentés des systèmes de télécommunications sur paires coaxiales	50
K.17	Essais à exécuter sur des répéteurs téléalimentés à composants à état solide pour vérifier l'efficacité des mesures de protection contre les perturbations extérieures	72
K.18	Méthode de calcul des tensions induites par les émissions radioélectriques et méthode de réduction des perturbations	82

N° de la Rec. Page

K.19 Utilisation de tranchées, canalisations communes aux câbles de télécommunications et aux câbles électriques 99

K.20 Résistance des équipements de commutation aux surtensions et aux surintensités 100

K.21 Immunité des terminaux d'abonnés aux surtensions et aux surintensités 109

K.22 Immunité aux surtensions des équipements connectés à un bus T/S de RNIS 115

K.23 Types de bruit induit et description des paramètres de tension de bruit pour les réseaux de liaisons d'abonnés de base du RNIS 118

K.24 Méthode de mesure du bruit radioélectrique induit sur des paires de télécommunications 122

K.25 Protection des câbles à fibres optiques contre la foudre 123

K.26 Protection des lignes de télécommunications contre les effets nuisibles des lignes électriques et des chemins de fer électrifiés 126

Partie II – Recommandations de la série L

Structure, installation et protection des câbles et des équipements d'installations extérieures

L.1 Construction, installation et protection des câbles de télécommunications dans les réseaux publics 129

L.2 Imprégnation des poteaux en bois 129

L.3 Armure des câbles 130

L.4 Enveloppes de câble en aluminium 132

L.5 Réalisation d'enveloppes de câble en métaux autres que le plomb ou l'aluminium 135

L.6 Méthodes de maintien des câbles sous pression gazeuse 136

L.7 Application de la protection cathodique commune 137

L.8 Corrosion provoquée par des courants alternatifs 138

L.9 Techniques employées pour les terminaisons des conducteurs de câbles 139

L.10 Fibres optiques pour l'utilisation des câbles sous conduite, en galerie, aériens et enterrés 142

L.11 Utilisation de tunnels communs pour les canalisations et les câbles de télécommunications et normalisation des plans pour conduites souterraines 150

NOTES PRÉLIMINAIRES

1 Les Questions confiées à chaque Commission d'études pour la période 1989-1992 figurent dans la contribution n° 1 de la Commission correspondante.

2 Dans ce tome, l'expression «Administration» est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation privée reconnue de télécommunications.

PARTIE I

Recommandations de la série K

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS[1)]

Recommandation K.1

MISE À LA TERRE D'UN CIRCUIT TÉLÉPHONIQUE À FRÉQUENCES VOCALES EN CÂBLE

(New Delhi, 1960)

Introduction

En l'état actuel de la technique, on est arrivé à construire les câbles de telle façon que les capacités des divers circuits à fréquences vocales par rapport à l'enveloppe soient très exactement équilibrées.

Cet équilibrage des capacités suffit lorsqu'il s'agit de circuits dépourvus de toute mise dissymétrique à la terre.

En revanche, chaque mise à la terre, même avec une symétrie apparente, risque de faire entrer en jeu les dissymétries d'inductance et de résistance de chacun des circuits sur lesquels on effectue cette mise à la terre.

La résistance à la rupture diélectrique entre les conducteurs d'un câble est notablement plus petite que celle qui existe entre ces conducteurs et l'enveloppe, et, par suite, la mise à la terre de certains de ces conducteurs créerait un danger de rupture du diélectrique séparant les conducteurs quand le câble est soumis à une induction importante.

Lorsqu'un câble chargé est soumis à une force électromotrice induite élevée, la présence de mises à la terre permettrait le passage de courants dont l'intensité pourrait dépasser dans certains cas la limite admissible pour la bonne conservation des qualités magnétiques des bobines de charge.

Pour ces motifs, le CCITT recommande à l'unanimité

Qu'il convient de n'effectuer sur un circuit à fréquences vocales aucune mise à la terre en un point quelconque, sauf si tous les enroulements de ligne des transformateurs sont reliés en permanence à l'enveloppe par des connexions de faible résistance à l'une des extrémités du câble ou à ses deux extrémités.

En règle générale, il est recommandable de n'effectuer aucune mise à la terre en un point quelconque d'une installation (téléphonique ou télégraphique) reliée métalliquement à une ligne à grande distance en câble.

Si toutefois, pour des raisons spéciales, on est amené à effectuer la mise à la terre d'une installation directement reliée à des circuits à fréquences vocales, il y a lieu de prendre les précautions suivantes:

a) La mise à la terre doit être faite de manière à ne pas troubler la symétrie du circuit par rapport à la terre et par rapport aux circuits voisins.

b) La tension de claquage de l'ensemble de tous les autres conducteurs du câble, par rapport aux conducteurs du circuit relié à la terre, doit être notablement supérieure à la tension la plus forte qui, par suite de l'induction des lignes d'énergie voisines, pourrait exister entre ces conducteurs et ceux du circuit relié à la terre.

c) Lorsque l'installation reliée au câble est une installation télégraphique, il y a lieu, en outre, de se conformer aux recommandations du CCITT au sujet des conditions de coexistence de la téléphonie et de la télégraphie (Recommandations de la série H).

[1)] Voir le manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, UIT, Genève, 1988 (voir également la Recommandation K.26).

Recommandation K.2

PROTECTION DES SYSTÈMES DE TÉLÉALIMENTATION DES RÉPÉTEURS CONTRE LES PERTURBATIONS DUES AUX LIGNES ÉLECTRIQUES VOISINES

(New Delhi, 1960)

Afin d'éviter que le fonctionnement de la téléalimentation des répéteurs ne soit perturbé soit par l'induction magnétique d'une ligne électrique voisine, soit par suite d'un couplage galvanique avec une ligne électrique voisine, le CCITT recommande que, chaque fois que cela est possible, le système de téléalimentation des répéteurs soit établi de sorte que le circuit dans lequel circulent les courants de téléalimentation, compte tenu des organes qui lui sont connectés, reste symétrique par rapport à l'enveloppe et à la terre.

Recommandation K.3

TROUBLES PROVOQUÉS PAR DES SIGNAUX À FRÉQUENCES VOCALES INJECTÉS DANS UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'ÉNERGIE

(New Delhi, 1960)

Dans le cas où les services de distribution d'énergie électrique ont recours à l'injection de signaux à fréquences vocales dans le réseau de distribution d'énergie pour l'exploitation de systèmes de télécommande, ces signaux peuvent provoquer des troubles sur des lignes de télécommunications voisines.

Le calcul de ces troubles peut s'effectuer par application des formules des *Directives*, en déterminant la valeur des tensions perturbatrices équivalentes et des courants perturbateurs équivalents de ces signaux à fréquences vocales.

Recommandation K.4

PERTURBATIONS CAUSÉES À LA SIGNALISATION

(Genève, 1964)

Pour diminuer les perturbations causées à la signalisation à courant continu ou à courant alternatif de fréquence industrielle sur des lignes de télécommunications en fils aériens, en câbles aériens ou souterrains ou sur des lignes mixtes, par suite du voisinage de lignes électriques à courant continu ou à courant alternatif, il convient d'examiner la possibilité d'adopter l'une ou plusieurs des méthodes suivantes dans tous les cas où il apparaît que des perturbations de ce genre sont susceptibles de se produire ou dans tous les cas où elles ont déjà été observées:

- étude et application de systèmes:
  - a) où en toutes circonstances on conserve la symétrie du circuit de signalisation par rapport à la terre, même pendant les opérations de commutation (voir [1]);
  - b) qui, tout en étant symétriques, ne sont pas sensibles aux perturbations dues aux courants longitudinaux favorisés par les mises à la terre, directes ou non;
- choix de l'emplacement des prises de terre des centraux téléphoniques de façon à les éloigner, en particulier du voisinage des lignes de traction électriques, ainsi que des électrodes de mise à la terre d'énergie électrique;
- adoption de dispositions réduisant les courants induits (emploi de câbles téléphoniques à faible facteur réducteur, de transformateurs-suceurs sur les lignes à traction monophasée, etc.) qui facilitent l'utilisation des systèmes de signalisation existants;
- emploi de transformateurs-neutralisateurs ou de systèmes de réduction actifs pour compenser sur les circuits de télécommunications les courants produits par les tensions induites;
- emploi de circuits accordés pour assurer une impédance élevée aux fréquences du courant perturbateur.

Remarque – Les *Directives* [1] mentionnent une limite de 60 V pour la tension induite dans les lignes de télécommunications. Cette limite concerne exclusivement la sécurité du personnel et ne doit pas être considérée comme ayant pour but de garantir qu'il ne se produira aucune perturbation dans les systèmes de signalisation. Dans le cas de systèmes de signalisation dissymétriques par rapport à la terre, de telles perturbations peuvent être provoquées par des tensions beaucoup plus faibles, ainsi qu'il est indiqué en [2].

Références

[1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, vol. IX, Genève, 1988.

[2] *Ibid.*, vol. VI.

Recommandation K.5

EMPLOI CONJOINT DE POTEAUX POUR LES TÉLÉCOMMUNICATIONS ET POUR LA DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ

(Genève, 1964)

Les Administrations des télécommunications désirant adopter l'utilisation conjointe des mêmes supports pour les lignes de télécommunications en fils aériens ou en câbles et pour les lignes électriques sont invitées, lorsque les lois et règlements nationaux permettent de telles dispositions, à tenir compte des considérations générales suivantes:

1) L'emploi conjoint de poteaux par les Administrations des télécommunications et les autorités de l'électricité peut assurer des avantages d'ordre économique et esthétique.
2) En cas d'application de méthodes de construction conjointes appropriées, il existe cependant un risque accru de danger par rapport aux méthodes de construction ordinaires, tant pour le personnel appelé à travailler sur les lignes de télécommunications que pour les installations de télécommunications. Il est hautement désirable de donner au personnel appelé à travailler sur ces lignes une formation spéciale, notamment si les lignes électriques sont des lignes à haute tension.
3) Il est recommandé que les dispositions des *Directives* concernant le danger, le trouble, la sécurité du personnel, soient respectées [1].
4) Il est désirable que des accords spéciaux soient conclus entre l'Administration des télécommunications et les autorités de l'électricité intéressées à l'utilisation conjointe des mêmes poteaux, afin de définir leurs responsabilités respectives.
5) Dans le cas de coexistence sur de courtes sections (par exemple, de l'ordre de 1 km), il peut le plus souvent suffire de prendre quelques précautions simples pour que les perturbations provoquées par l'induction magnétique ou l'influence électrique soient tolérables.

Référence

[1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, vol. II, Genève, 1988.

Recommandation K.6

PRÉCAUTIONS À PRENDRE AUX CROISEMENTS

(Genève, 1964)

Introduction

Les croisements entre les lignes de télécommunications aériennes et les lignes électriques présentent des dangers pour les personnes et pour le matériel.

Un certain nombre de dispositions sont prises par les organismes responsables dans différents pays et donnent lieu à des règles sur le plan national. Ces règles sont parfois assez diverses et l'efficacité des dispositions prises est plus ou moins bonne.

Etant donné l'état actuel de la technique et l'expérience acquise dans les différents pays, il semble maintenant possible au CCITT d'émettre une Recommandation en recommandant les dispositions qui semblent les meilleures. Les différents pays pourront éventuellement s'inspirer de ces recommandations pour mettre au point ou pour réviser leurs réglementations nationales.

Il est donc recommandé, lorsqu'une ligne aérienne de télécommunications doit croiser une ligne électrique, d'employer une des deux méthodes suivantes: soit mettre la ligne de télécommunications en câble souterrain à l'endroit du croisement, soit la laisser en aérien.

1 La ligne est mise en souterrain

Cette méthode n'est pas toujours à recommander car, en cas de rupture du conducteur électrique, le câble souterrain peut se trouver dans une zone où le potentiel du sol peut atteindre une valeur élevée. Cette situation est dangereuse si le câble est muni d'une enveloppe métallique nue, et le danger est d'autant plus grand que la tension de la ligne électrique est plus haute, la section en câble plus courte et la résistivité du sol plus élevée. Cette situation dangereuse apparaît également chaque fois qu'un défaut à la terre se produit sur les pylônes voisins du câble.

Si des circonstances exigent le passage en câble de la ligne aérienne, des précautions spéciales devront être prises à l'endroit du croisement, par exemple:

- utilisation d'un revêtement isolant autour de l'enveloppe métallique du câble aux croisements;
- utilisation d'un câble dont l'enveloppe est entièrement en matière plastique.

2 La ligne est maintenue en aérien

La méthode consistant à interposer entre la ligne électrique et la ligne de télécommunications un fil de garde ou un filet ne peut être recommandée d'une façon générale.

De toute façon, et quelles que soient les circonstances, une distance verticale minimale est à respecter entre la ligne de télécommunications et la ligne électrique, conformément aux règles nationales.

Par ailleurs, un certain nombre de dispositions peuvent être mises en œuvre pour diminuer les risques de danger:

2.1 *Utilisation d'appuis communs* au point de croisement, sous réserve que les isolateurs de la ligne de télécommunications présentent une plus grande résistance au claquage.

2.2 *Isolation des conducteurs*, de préférence ceux de télécommunications, sous réserve que cette isolation soit réellement adaptée aux conditions existantes.

2.3 *Renforcement de la construction* de la ligne électrique dans la partie de croisement de façon à minimiser les risques de rupture.

3 Circonstances dans lesquelles ces différentes dispositions (§ 2.1, 2.2, 2.3) peuvent être appliquées

L'application de ces méthodes dépend essentiellement de la tension de la ligne électrique. Les échelons de tension à prendre en considération ne sont pas liés à la normalisation de la Commission électrotechnique internationale (CEI), compte tenu des exigences particulières du problème posé.

3.1 *Réseaux fonctionnant à des tensions inférieures ou égales à 600 V*

Dispositions à prendre: § 2.1 ou 2.2, ou les deux dispositions combinées.

3.2 *Réseaux fonctionnant à des tensions supérieures ou égales à 60 kV*

(En particulier, les réseaux dits «à grande sécurité de service» d'après [1].)

Dispositions à prendre: § 2.3, si c'est nécessaire.

3.3 *Réseaux à des tensions intermédiaires*

Etant donné la diversité des tensions, des caractéristiques mécaniques des lignes et des modes d'exploitation dans la gamme comprise entre 600 V et 60 kV, il n'est pas possible de donner des recommandations précises.

Toutefois, une ou plusieurs des dispositions décrites ci-dessus pourront être appliquées, certains cas particuliers exigeant un examen approfondi en collaboration étroite entre les services intéressés.

Référence

[1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, vol. VI, UIT, Genève, 1988.

Recommandation K.7

PROTECTION CONTRE LES CHOCS ACOUSTIQUES

(Genève, 1964; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984)

Dans certaines circonstances défavorables, des tensions d'une amplitude instantanée exceptionnellement élevée, de l'ordre de 1 kV, par exemple, et de courte durée peuvent être produites aux bornes d'un appareil téléphonique, normalement relié à une ligne en fils métalliques, du fait de perturbations électromagnétiques auxquelles cette ligne serait exposée.

Si elles apparaissent pendant une communication téléphonique, ces tensions sont susceptibles de causer, par l'intermédiaire de l'écouteur, des pressions acoustiques si fortes que l'état de fonctionnement de l'oreille humaine et du système nerveux est exposé à des dangers.

De telles crêtes de tension peuvent principalement être produites lorsque les parafoudres, insérés sur les deux conducteurs d'une ligne téléphonique, ne fonctionnent pas simultanément et que, de ce fait, un courant de compensation parcourt l'appareil téléphonique. Pour cette raison, le CCITT recommande l'emploi de dispositifs de protection contre les chocs acoustiques, particulièrement dans le cas de lignes équipées de parafoudres à gaz raréfié, pour la protection contre des tensions induites trop élevées (voir le § 6 du chapitre I des *Directives*, page 16).

De tels dispositifs se composent par exemple de deux redresseurs connectés en parallèle, dont les sens de passage sont opposés, ou d'autres éléments semi-conducteurs, connectés directement en parallèle sur le récepteur téléphonique.

Pour des appareils téléphoniques de conception plus récente, la suppression des chocs de tension de courte durée susceptibles d'être appliqués au récepteur peut être assurée par des caractéristiques convenables des circuits électriques, compris entre l'accès de la ligne d'où proviennent les tensions dangereuses, et l'écouteur lui-même.

Il est également recommandé que les dispositions envisagées tendent à limiter la gêne auditive que peuvent créer des signaux électriques anormaux appliqués aux systèmes d'abonnés, par suite de fausses manœuvres ou de fonctionnements imprévus des équipements auxquels ils sont reliés.

Les dispositions adoptées pour assurer la protection contre les chocs acoustiques doivent:

- être compatibles avec les exigences techniques applicables à l'équipement,
- se prêter à un contrôle aisé de leur efficacité,
- ne pas diminuer sensiblement la qualité de la transmission téléphonique.

Pour cela, il est recommandé plus particulièrement que:

1) dans le cas de dispositifs spécifiques, leurs dimensions soient telles qu'ils n'occupent qu'un volume restreint, permettant une mise en place dans le boîtier de l'appareil téléphonique de l'abonné ou du poste d'opérateur;
2) les caractéristiques électriques restent inaltérées dans les conditions de température et d'humidité qui peuvent se présenter à l'endroit de l'utilisation;
3) l'efficacité soit vérifiée conformément aux indications de la Recommandation P.36 du CCITT.

Recommandation K.8

SÉPARATION DANS LE SOL ENTRE CÂBLES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ET MISE À LA TERRE DES INSTALLATIONS DE TRANSPORT D'ÉNERGIE

(Mar del Plata, 1968; modifiée à Melbourne, 1988)

Introduction

Si un câble de télécommunications enterré sans un gainage isolant autour de l'enveloppe métallique est situé à proximité d'un système de mise à la terre à haute tension, une partie de l'augmentation de potentiel du sol en cas de défaut à la terre du système à haute tension peut se transmettre au système de télécommunications par couplage résistif.

Selon les documents du CCITT et de la CIGRE[1] [1-3], il est reconnu , il est reconnu que l'augmentation de potentiel du sol provenant d'installations électriques constitue une source de perturbation dangereuse pour les systèmes de télécommunications et présente un risque pour le personnel de service.

On peut calculer l'élévation de potentiel du sol à proximité des installations de transport d'énergie en appliquant les méthodes indiquées dans les *Directives* (voir les volumes II et III); cela est particulièrement recommandé s'agissant de dispositifs de mise à la terre des commutateurs.

La présente Recommandation a pour objet de donner des indications pratiques pour déterminer la distance de sécurité entre les câbles de télécommunications et les mises à la terre des installations de transport d'énergie en l'absence de mesures locales ou de valeurs calculées d'élévation de potentiel du sol.

1 Domaine d'application

Les défauts à la terre dans un réseau électrique donnent naissance à des courants dans la terre qui augmentent le potentiel du sol là où le courant de défaut provient du sol et y entre. La valeur de l'augmentation de potentiel du sol (APS) dépend de l'intensité du courant de défaut, de la résistance de la mise à la terre, de la résistivité du sol et de la disposition des aménagements de mise à la terre. La durée d'un défaut à la terre dépend du type de réseau d'énergie.

La présente Recommandation donne des renseignements concernant:

a) les emplacements où peuvent se produire les APS,

b) la durée de l'APS pour différents types de réseau d'énergie,

c) la «distance de sécurité» entre les installations de télécommunications et celles de transport d'énergie,

d) les mesures à prendre si l'on ne dispose pas de la distance de sécurité nécessaire.

2 Considérations d'ordre général

La séparation minimale dans le sol à recommander entre un système de mise à la terre d'une installation d'énergie et des câbles de télécommunications dépend d'un certain nombre de facteurs:

- le type de réseau de transport d'énergie,
- le niveau du courant de défaut,
- le système de mise à la terre,
- la résistivité du sol,
- les particularités locales.

3 Type de réseau de transport d'énergie

Les réseaux d'énergie sont classés d'après la manière dont le point neutre est relié à la terre. Le réseau de mise à la terre a une influence à la fois sur le niveau et la durée du courant de défaut et par conséquent sur l'APS.

3.1 *Réseaux ayant leur point neutre mis directement à la terre ou par l'intermédiaire d'une impédance faible*

Le courant de défaut à la terre est élevé. Un système de relais éliminera le défaut en un court intervalle de temps.

3.2 *Réseaux ayant leur point neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une bobine d'extinction d'arc*

Le courant de défaut à la terre est peu élevé, ne dépassant pas généralement 100 ampères par bobine; la durée du défaut à la terre est relativement courte.

Des réseaux de ce type peuvent être équipés de dispositifs de déclenchement à retard pour l'élimination des défauts à la terre permanents.

---

[1] CIGRE Conférence internationale des grands réseaux électriques.

3.3 *Réseaux à point neutre isolé*

Le courant de défaut à la terre est normalement faible. Toutefois, la durée du défaut peut être très longue. Les réseaux très étendus peuvent donner naissance à des courants de défaut importants d'origine capacitive.

Si ces réseaux sont équipés de dispositifs pour l'élimination automatique des dérangements, la durée du défaut est comprise dans l'intervalle «petit» à «moyen».

4 Emplacements où l'augmentation de potentiel au sol (APS) risque de se produire

4.1 *Postes électriques et sous-stations*

Les postes électriques et les sous-stations sont les points où risquent le plus de se produire les APS. Les dimensions de l'installation, le nombre et la construction des lignes de transport d'énergie raccordées à ce poste et l'aménagement de la mise à la terre sont des facteurs qui influent sur le niveau et la zone des APS. Comme indiqué dans l'article cité en [4], la disposition et la structure des aménagements de mise à la terre dépendent des règlements, des dimensions, de l'âge, de l'objectif et de l'emplacement. Si les lignes de transport d'énergie pénétrant dans un poste sont équipées de câbles de garde, ces derniers seront reliés à l'installation de mise à la terre du poste.

4.2 *Pylônes de ligne de transport d'énergie*

Les pylônes de ligne de transport d'énergie dont les socles sont équipés de prises de terre sont sujets à l'APS provoquée par le courant de défaut à la terre dans le système de transport d'énergie et aux courants dus aux décharges atmosphériques. Si la ligne est équipée de conducteurs de terre, ceux-ci seront normalement reliés aux prises de terre des pylônes. La probabilité d'une forte APS décroît lorsqu'une ligne de transport d'énergie est équipée de conducteurs de terre.

5 Valeur des augmentations de potentiel du sol

La valeur de l'APS dépend de la tension du système de transport d'énergie, de la construction de la ligne d'alimentation, du courant de défaut et de la résistance de la mise à la terre.

6 Zone d'augmentation du potentiel du sol (APS)

L'APS est mesurée à partir du potentiel du sol par rapport à une prise de terre neutre distante. La zone d'APS au voisinage d'un système de mise à la terre varie de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres selon la résistivité du sol, la disposition des électrodes de mise à la terre et d'autres particularités locales. On trouvera des renseignements complémentaires dans l'article cité en [5]. Les zones d'APS en régions urbaines sont petites comparativement à celles qu'on peut prévoir en régions rurales. Seules les zones d'APS pour lesquelles le potentiel est plus élevé que les valeurs données en [1] sont considérées comme dangereuses. Les responsables de la distribution d'énergie électrique effectuent les mesures et les calculs des zones d'APS.

7 Durée de l'augmentation du potentiel du sol

La durée des défauts à la terre et, par conséquent, de l'APS dépend du type de réseau de transport d'énergie.

7.1 *Réseaux ayant leur point neutre mis directement à la terre ou par l'intermédiaire d'une impédance faible*

La durée des défauts à la terre est généralement inférieure à 0,2 ou 0,5 seconde.

7.2 *Réseaux ayant leur point neutre mis à la terre au moyen d'une bobine d'extinction d'arc*

La durée des défauts à la terre est normalement inférieure à 0,8 seconde, mais peut atteindre plusieurs secondes dans certains cas. Ces réseaux peuvent être munis de dispositifs de déclenchement à retard (quelques secondes) pour l'élimination des défauts à la terre permanents.

7.3 *Réseaux ayant un point neutre isolé*

La durée d'un défaut à la terre peut être longue et le défaut peut se maintenir jusqu'à ce qu'il se produise un autre défaut à la terre.

Si ces réseaux sont équipés de dispositifs pour l'élimination automatique des dérangements, la durée du défaut peut être celle indiquée au § 7.1.

8 Séparation minimale dans le sol entre un câble de télécommunications enterré et une installation de mise à la terre du réseau de transport d'énergie

L'APS au voisinage d'un système de mise à la terre à haute tension peut être déterminée par des calculs fondés sur des électrodes de mise à la terre «idéales» et une résistivité de sol homogène dans la région APS. Dans la pratique, il n'est pas possible de calculer exactement le potentiel transmis d'un système de mise à la terre à un câble de télécommunications adjacent. Cependant, en injectant un courant dans le système de mise à la terre à partir d'une distance suffisamment grande, on peut mesurer la tension entre l'enveloppe du câble et une électrode auxiliaire dans la région du potentiel neutre. Le résultat peut être corrigé proportionnellement au courant de défaut à la terre effectif. (Sur les câbles armés, le facteur de correction n'est pas linéaire mais il dépend de la caractéristique magnétique du blindage ferromagnétique du câble). En l'absence d'autres expériences, de mesures locales ou de valeurs calculées d'APS, on doit respecter les valeurs de séparation minimales dans le sol du tableau 1/K.8, entre un câble de télécommunications «ordinaire» dont l'enveloppe métallique est en contact avec le sol et une installation de mise à la terre d'un réseau d'énergie à haute tension.

TABLEAU 1/K.8

Séparation dans le sol, exprimée en mètres, entre les câbles de télécommunications et des systèmes de mise à la terre d'ouvrages à haute tension, au-delà de laquelle aucun calcul ni mesure ne sont nécessaires

Résistivité du sol	Réseau de transport d'énergie avec		Emplacement
	Neutre isolé ou bobine d'extinction	Neutre mis directement à la terre	
inférieure à 50 ohms · m	2	5	Urbain
	5	10	Rural
50 à 500 ohms · m	5	10	Urbain
	10	20	Rural
500 à 5000 ohms · m	10	50	Urbain
	20	100	Rural
supérieure à 5000 ohms · m	10	50	Urbain
	20	100 à 200 [a]	Rural

[a] 200 mètres dans les régions aux conditions de sol extrêmement défavorables, c'est-à-dire de résistivité supérieure à 10 000 ohms · m.

Remarque 1 – Ces valeurs concernent en général les lignes et les installations dont la tension nominale est égale ou supérieure à 132 kV.

Remarque 2 – Les dangers dus aux décharges atmosphériques sur les installations électriques ne sont pas traités ici et pourront exiger de prendre en considération les méthodes du § 9 pour les zones de niveau kéraunique élevé.

Remarque 3 – En ce qui concerne les mises à la terre des pylônes de ligne électrique, on peut utiliser des distances beaucoup plus courtes si la ligne électrique comprend des fils de terre.

Remarque 4 – Les risques pour le personnel qui travaille sur les lignes de télécommunications dans la zone d'APS ne sont pas pris en considération dans ces chiffres; il faudra donc envisager des mesures ou des précautions supplémentaires à ce sujet.

9 Mesures à prendre pour pallier les dangers de l'APS

La principale méthode pour pallier les effets dangereux de l'APS consiste à accroître la distance entre les câbles de télécommunications et l'installation de mise à la terre du réseau de transport d'énergie. Si les particularités locales ne permettent pas d'assurer une séparation suffisante pour éviter une APS trop forte, ces câbles doivent être munis d'une isolation, par exemple, en mettant le câble dans un tube plastique isolant.

Lorsque la valeur de l'APS est extrêmement élevée ou lorsque la zone de l'APS est très étendue, on peut employer des câbles à fibres optiques ou des faisceaux hertziens à la place de câbles métalliques.

Références

[1] Manuel du CITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunications contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, vol. II et III, UIT, Genève 1988.

[2] Contribution à la Commission d'études V du CCITT n° 61/1979.

[3] CIGRE, n° 36-04/1970, *Elévation du potentiel de terre et lignes de télécommunication.*

[4] ELECTRA, n° 71/1980, *Mise à la terre des postes sous les aspects de la sécurité et des perturbations.*

[5] ELECTRA, n° 60/1978, *Zone d'influence de l'élévation du potentiel de terre.*

Recommandation K.9

PROTECTION DU PERSONNEL ET DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS CONTRE UN GRADIENT DE POTENTIEL ÉLEVÉ DANS LE SOL, DÛ À UNE LIGNE DE TRACTION ÉLECTRIQUE VOISINE

(Mar del Plata, 1968)

1 Considérations générales

Du point de vue technique, les dispositions mises en œuvre sur les chemins de fer électrifiés, en vue de la protection du personnel et des installations, peuvent différer en fonction d'un certain nombre de particularités, qui sont essentiellement les suivantes:

- valeur de la résistivité du sol;
- équipement électrique de la voie (circuits de voie) pouvant s'opposer à la mise au rail systématique des structures métalliques voisines du chemin de fer, cet équipement étant exigé par les installations de sécurité ferroviaire;
- dans le cas des électrifications à courant alternatif, la présence ou l'absence de transformateurs-suceurs modifie dans une certaine mesure les caractéristiques des dispositifs de protection à mettre en œuvre;
- le niveau d'isolement des lignes de contact qui peut également jouer dans la nature de ces dispositifs, tout particulièrement dans le cas des lignes électrifiées à une tension relativement basse, comme les lignes à 1500 volts à courant continu;
- la méthode à recommander pour connecter au rail une structure métallique en cas de surtension sans réaliser de liaison permanente (un moyen consiste à utiliser un éclateur).

2 Lignes électrifiées à courant alternatif

Dans le cas où il n'existe pas d'installation de sécurité interdisant de connecter au rail des structures métalliques voisines de la voie, il est recommandé de réaliser systématiquement la mise au rail de ces structures, par exemple pour celles qui sont situées en deçà d'une distance donnée par rapport à la voie.

Dans le cas où il n'est pas possible de réaliser la mise au rail de ces structures, il est recommandé de les mettre à la terre à l'aide d'une électrode présentant une résistance suffisamment faible.

3 Lignes électrifiées à courant continu

Les mesures de protection doivent aussi, le cas échéant, tenir compte de la nécessité d'éviter les risques de corrosion électrolytique. Ces mesures peuvent consister à ne mettre au rail que des structures métalliques suffisamment isolées du sol, ou à les mettre au rail par l'intermédiaire d'éclateurs, ou enfin à ne mettre ni au rail ni au sol les structures métalliques supportant des lignes de contact suffisamment isolées et pour une tension de service suffisamment basse.

4 Câbles de télécommunications

Il est recommandé, dans les installations nouvelles, de poser des câbles sous revêtement en matière plastique, éventuellement à haute rigidité diélectrique aux abords des rails, à l'entrée des sous-stations ou au passage de ponts métalliques lorsqu'il faut éviter tout contact entre les câbles et ces structures.

Toutefois, au moins dans les grandes gares, dans les cas de câbles à enveloppes métalliques existants, la connexion des enveloppes de câble au rail peut constituer une bonne solution.

5 Conditions à remplir par les installations de l'Administration des PTT se trouvant au voisinage de lignes électrifiées

Les principales dispositions mises en œuvre pour leur protection sont les suivantes:

- déplacement des installations à l'extérieur de la zone de danger;
- établissement d'un écran protecteur;
- remplacement des éléments métalliques par des éléments isolants, notamment pour les gaines ou enveloppes des câbles, ainsi que pour la confection des armoires et des boîtes de répartiteurs.

Remarque – Les recommandations ci-dessus se réfèrent uniquement à des considérations techniques qui sont à examiner soigneusement dans chaque cas. Il est bien entendu que chaque Administration doit se conformer à la législation et à la réglementation en vigueur dans son propre pays.

Recommandation K.10

DISSYMÉTRIE DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS PAR RAPPORT À LA TERRE

(Mar del Plata, 1968; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984)

1 Dissymétrie par rapport à la terre des équipements de télécommunications

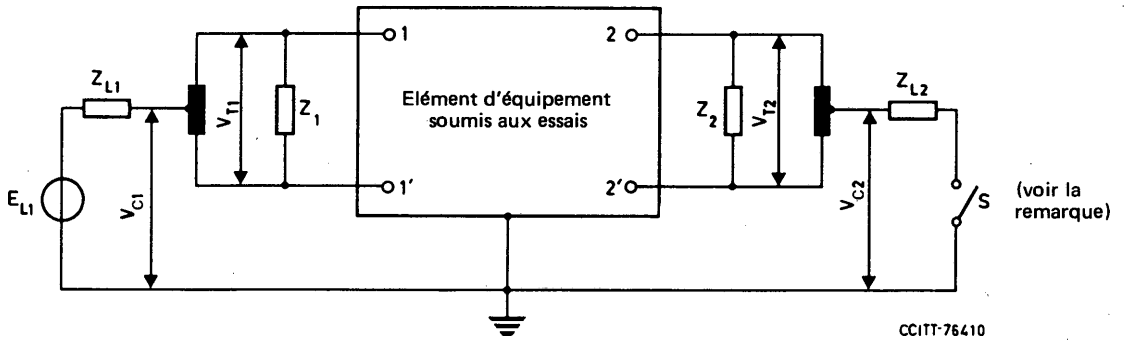
Pour maintenir une symétrie satisfaisante des équipements de télécommunications et des lignes qui leur sont connectées, il est recommandé que les valeurs minimales admissibles concernant la symétrie [affaiblissement de conversion longitudinale (ACL)] soient de 40 dB (de 300 à 600 Hz) et de 46 dB (de 600 à 3400 Hz). Cette recommandation, de caractère général, n'exclut nullement la possibilité de citer, dans d'autres Recommandations du CCITT[1], des valeurs minimales plus élevées appropriées à des besoins particuliers.

Le dispositif d'essai de la figure 1/K.10 devrait être utilisé pour mesurer la dissymétrie des équipements de télécommunications.

La nomenclature, la définition et la mesure de la dissymétrie sont fondées sur la Recommandation G.117 et la Recommandation O.121.

---

[1] Voir, en particulier, la Recommandation Q.45, et également la suite de l'étude de la Question 13/V [1].



Remarque – En général, les mesures sont effectuées et les limites sont spécifiées avec interrupteur S fermé. Cependant, pour certains équipements, par exemple ceux qui sont décrits dans la Recommandation Q.45, il peut être nécessaire de spécifier des limites pour l'ATCL avec interrupteur S fermé et interrupteur S ouvert.

FIGURE 1/K.10

Dispositifs d'essai

Dans la gamme des fréquences vocales, on devrait avoir $Z_{L1} = Z_1/4$ et $Z_{L2} = Z_2/4$ (voir la Recommandation Q.45 et le § 3.2 de la Recommandation O.121).

Les termes suivants sont spécifiés:

– affaiblissement de conversion longitudinale (ACL) (applicable aux réseaux à un et deux accès) =

$$20 \log_{10} \left| \frac{E_{L1}}{V_{T1}} \right| \text{ dB}$$

– affaiblissement de transfert de conversion longitudinale (ATCL) (applicable uniquement aux réseaux à deux accès) =

$$20 \log_{10} \left| \frac{E_{L1}}{V_{T2}} \right| \text{ dB}$$

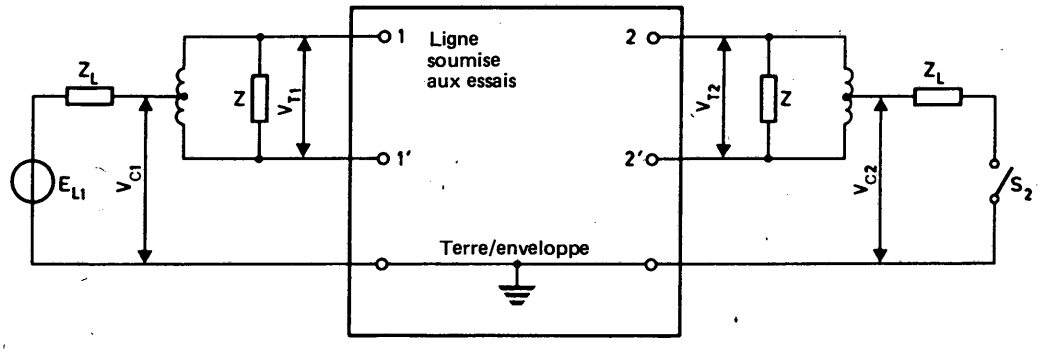
2 Dissymétrie des lignes de télécommunications par rapport à la terre

Si l'essai porte sur une ligne de grande longueur, il convient d'utiliser essentiellement le même circuit d'essai et les mêmes notations que dans la figure 1/K.10. Cependant, l'induction longitudinale et les dissymétries sont réparties le long de la ligne. De ce fait, les affaiblissements de conversion longitudinale (ACL) et les affaiblissements de transfert de conversion longitudinale (ATCL) sont déterminés non seulement par les paramètres intrinsèques, mais aussi par la distribution des tensions entre fil et terre et/ou fil et enveloppe. Pour obtenir l'effet de dissymétrie dans les cas de la pratique, il est recommandé d'effectuer les mesures avec une polarité constante pour la tension entre fil et enveloppe (c'est-à-dire alimentation en extrémité; voir le tableau 1/K.10) et avec changement de polarité de la tension entre fil et enveloppe au point milieu (c'est-à-dire alimentation au point milieu; voir le tableau 2/K.10).

Le tableau 3/K.10 résume les conclusions que l'on peut tirer de ces mesures.

TABLEAU 1/K.10

Résultats des mesures de dissymétrie d'une ligne, avec alimentation du trajet longitudinal à l'une des terminaisons



Accès 1		Accès 2	
Terminaison	Termes utilisés	Termes utilisés	Terminaison
E_{L1}	Affaiblissements de conversion longitudinale $20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L1}}{V^{o}_{T1}} \right\|$	Affaiblissements de transfert de conversion longitudinale $20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L1}}{V^{o}_{T2}} \right\|$	S_2 Ouverte
E_{L1}	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L1}}{V^{c}_{T1}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L1}}{V^{c}_{T2}} \right\|$	S_2 Fermée
S_1 Ouverte	Affaiblissements de transfert de conversion longitudinale $20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L2}}{V^{o}_{T1}} \right\|$	Affaiblissements de conversion longitudinale $20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L2}}{V^{o}_{T2}} \right\|$	E_{L2}
S_1 Fermée	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L2}}{V^{c}_{T1}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L2}}{V^{c}_{T2}} \right\|$	

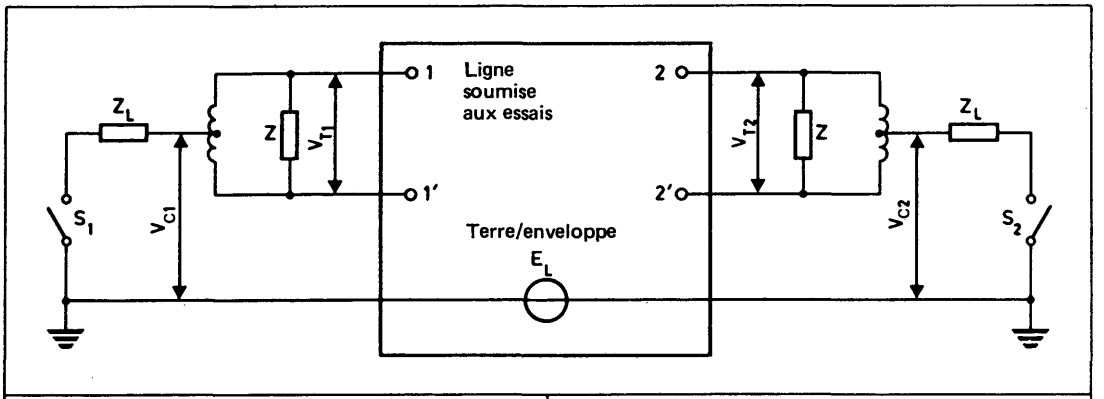
CCITT-76420

Remarque 1 – Les lettres o et c désignent respectivement l'état ouvert et l'état fermé de l'interrupteur S.

Remarque 2 – Les valeurs de V_{C1} et V_{C2} donnent une indication sur la distribution de la tension entre fil et terre et/ou fil et enveloppe.

TABLEAU 2/K.10

Résultats des mesures de dissymétrie d'une ligne, avec alimentation du trajet longitudinal, dans une situation intermédiaire



	Accès 1		Accès 2	
Essai n°	Terminaison	Affaiblissements de conversion longitudinale	Affaiblissements de conversion longitudinale	Terminaison
1	Ouverte S_1	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T1}^{oo}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T2}^{oo}} \right\|$	S_2 Ouverte
2	Fermée S_1	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T1}^{cc}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T2}^{cc}} \right\|$	S_2 Fermée
3	Ouverte S_1	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T1}^{oc}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T2}^{oc}} \right\|$	S_2 Fermée
4	Fermée S_1	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T1}^{co}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T2}^{co}} \right\|$	S_2 Ouverte

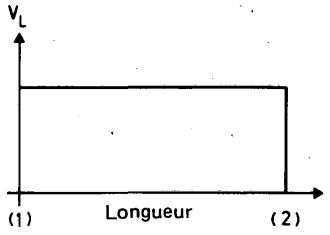
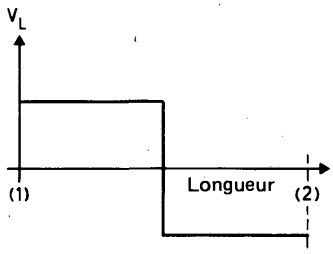
CCITT-76430

Remarque 1 – Les lettres o et c désignent respectivement l'état ouvert et l'état fermé de l'interrupteur S.

Remarque 2 – Les valeurs de V_{C1} et V_{C2} donnent une indication sur la distribution de la tension fil-terre/enveloppe.

TABLEAU 3/K.10

Méthodes de mesures pour déterminer la dissymétrie des lignes par rapport à la terre

Cas de mesure	Caractéristiques étudiées
f.é.m. appliquée aux extrémités (voir tableau 1/K.10)  Tension entre fil et enveloppe de même polarité	Degré de dissymétrie inhérent à la ligne : — normalement, tension transversale la plus élevée mesurée sur la ligne; — distribution de la dissymétrie le long de la ligne (en intervertissant l'émetteur et le récepteur); — détermination des sections de ligne ayant une dissymétrie anormalement élevée.
f.é.m. appliquée au point milieu de la ligne (voir le tableau 2/K.10)  Changement de polarité de la tension entre fil et enveloppe au point milieu	Influence de la distribution de la tension entre ligne et enveloppe le long de la ligne : — les tensions transversales concordent mieux avec les situations réelles; — effets de compensation dus au changement de polarité de la tension entre ligne et enveloppe; — indications sur la polarité de la dissymétrie par comparaison avec les résultats correspondant à d'autres distributions de la tension entre ligne et enveloppe.

CCITT-76440

Remarque – Si le trajet longitudinal est fermé par des interrupteurs, il y a simulation de l'effet produit par un équipement terminal connecté à une ligne ayant une faible impédance par rapport à la terre.

ANNEXE A

(à la Recommandation K.10)

Exemple de calcul des tensions transversales d'une ligne de télécommunications

A.1 *Considérations générales*

La contribution mentionnée en référence [2] contient de nombreuses valeurs de calcul concernant la relation entre la tension longitudinale et sa conversion en tension transversale. La présente annexe est un extrait de cette contribution. On y trouvera des renseignements fondamentaux sur l'application des propositions contenues dans la Recommandation K.10 pour les mesures sur les lignes.

Les résultats les plus importants sont résumés dans le tableau A-1/K.10. Ils concernent une paire symétrique composée de fils de cuivre de 0,9 mm de diamètre, isolés au papier et câblés en étoile (quartes), avec une capacité mutuelle équivalente de 34 nF/km. Pour les besoins du calcul, on a simulé uniquement le déséquilibre de capacité.

A.2 *Tensions entre fil et enveloppe*

La distribution des tensions entre fil et enveloppe (terre) dépend essentiellement (voir la colonne 2 du tableau A-1/K.10 où, pour plus de simplicité, on a admis une tension totale de 100 V pour la source qui débite dans le trajet longitudinal):

- de l'emplacement de la source longitudinale (voir la colonne 1 du tableau A-1/K.10), et
- de la terminaison du trajet longitudinal (voir la colonne 3 du tableau A-1/K.10).

Compte tenu des distributions représentées dans la colonne 2 du tableau A-1/K.10, il convient de mentionner les tendances suivantes:

a) Si la f.é.m. est appliquée à l'une des extrémités du trajet longitudinal, les tensions entre fil et enveloppe ont tendance à être uniformes; elles ont la même polarité tout au long de la ligne. Les tensions diminuent quand l'interrupteur S est en position fermée (comparer la ligne en trait plein et les lignes en trait interrompu dans la 1re rangée et la 2e colonne).

b) Si la f.é.m. est appliquée dans une section intermédiaire de la ligne – par exemple, si elle est concentrée au point milieu ou uniformément répartie – les tensions entre fil et terre ont la même valeur mais ont des polarités opposées dans chaque moitié de la ligne (voir les courbes en trait interrompu dans les 2e et 3e rangées). La symétrie de la distribution est perturbée en cas de fermeture d'un seul interrupteur d'extrémité (voir les courbes en trait plein dans les 2e et 3e rangées). Les différences entre les distributions de tension correspondant respectivement aux positions ouvert/fermé et fermé/fermé des interrupteurs d'extrémité ont tendance à diminuer quand la longueur de la ligne et la fréquence augmentent.

A.3 *Affaiblissements de conversion longitudinale*

Les affaiblissements de conversion longitudinale et les affaiblissements de transfert longitudinal (définis dans les tableaux 1/K.10 et 2/K.10) dépendent:

- de la distribution des tensions entre fil et enveloppe, voir le § A.2, et
- de l'amplitude et de la distribution du déséquilibre de capacité.

Trois cas ont été étudiés en ce qui concerne le second aspect. Ces trois cas sont indiqués dans le tableau A-1/K.10 comme unilatéral, égalisation parfaite et égalisation avec déséquilibre supplémentaire. Pour le cas unilatéral uniforme, $\Delta C = 600$ pF/km a tendance à simuler le cas le plus défavorable, lequel n'existe pas dans la pratique. De même, il est impossible d'obtenir une ligne à égalisation parfaite (avec croisement tous les 0,5 km).

Pour spécifier les amplitudes des affaiblissements de conversion longitudinale, on tient compte du fait suivant: les tensions transversales élevées sont dues à un déséquilibre de capacité, dans le cas où le point d'un déséquilibre coïncide avec celui d'une tension élevée entre fil et terre. Le déséquilibre d'une section subséquente tend à amplifier la tension transversale si le signe du déséquilibre et la polarité de la tension entre fil et terre sont les mêmes que dans la section précédente. En revanche, si l'un de ces deux paramètres est inversé, les tensions transversales résultantes diminuent.

Dans le cas d'une ligne convenablement égalisée, les affaiblissements de conversion longitudinale sont élevés et sont sensiblement indépendants du point d'application de la f.é.m. et de l'emplacement des interrupteurs aux extrémités (voir la colonne 5 du tableau A-1/K.10).

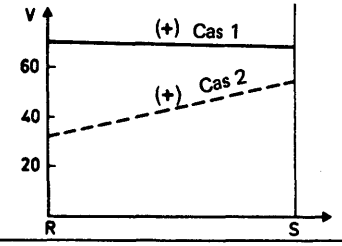
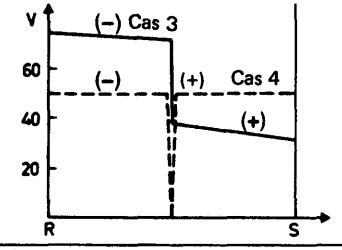
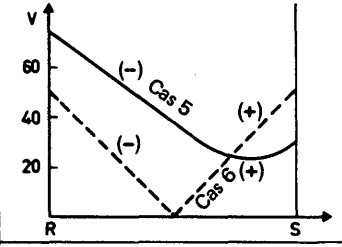
Si les affaiblissements de conversion augmentent beaucoup lorsqu'on ouvre l'interrupteur S et si leur valeur dépend du sens de l'alimentation, on peut s'attendre à avoir un déséquilibre local (voir la colonne 6 du tableau A-1/K.10).

Les petites valeurs des affaiblissements de conversion longitudinale (moins de 60 dB) pourraient être dues au fait que le déséquilibre de capacité est unilatérale (voir la colonne 4 du tableau A-1/K.10). C'est le cas prévu dans la Recommandation K.10, où la méthode de mesure décrite au § 2 peut donner pour les affaiblissements de conversion longitudinale des valeurs nettement plus élevées que celles obtenues dans les conditions réelles d'induction. Dans ce cas, on obtient des valeurs plus réalistes avec la méthode illustrée par le tableau 2/K.10.

TABLEAU A-1/K.10

Correspondance entre les tensions entre fil et terre et les affaiblissements de conversion longitudinale

(Longueur de câble: 10 km; fréquence: 800 Hz; déséquilibre de capacité: $\triangle C$ = 600 pf/km

	Application de la f.é.m.	Distribution de la tension	Terminaison du trajet longitudinal (position de l'interrupteur) à l'extrémité		Affaiblissements de conversion longitudinale					
					Nature de la distribution de $\triangle C$					
					ΔC unilatérale		égalisation parfaite		égalisation avec déséquilibre supplémentaire	
			R (1)	R (2)	R (1)	S (2)	R (1)	S (2)	R (1)	S (2)
1	A l'extrémité S (1)		Cas 1 Ouvert S	150 Ω	49	49	101	101	77	84
			Cas 2 Fermé 150 Ω S	150 Ω	53	53	112	102	83	90
2	Au point milieu		Cas 3 Ouvert S_2	150 Ω S_1 Fermé	57	58	96	100	78	84
			Cas 4 Fermé 150 Ω S_2	150 Ω S_1 Fermé	70	70	100	99	83	88
3	Uniforme		Cas 5 Ouvert S_2	150 Ω S_1 Fermé	57	58	95	102	78	84
			Cas 6 Fermé 150 Ω S_2	150 Ω S_1 Fermé	74	74	99	101	83	88
		Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4		Col. 5		Col. 6	

CCITT-70410

Le déséquilibre plus important, sur les lignes, est le déséquilibre de capacité, mais il peut arriver que le déséquilibre de résistance (R série) prenne aussi de l'importance. Comme indiqué plus haut, l'ouverture de l'interrupteur S_2 accentue l'effet du déséquilibre transversal (dans le cas de ligne *C*). Si le commutateur S_2 (ou S_1 et S_2 du tableau 2/K.10) étant ouvert, l'affaiblissement de conversion ne varie pas (ou même diminue), cela indique que le déséquilibre longitudinal n'est peut-être pas la cause principale de la dissymétrie de la ligne. Par contre, s'il y a augmentation, on peut conclure à la prédominance des déséquilibres longitudinaux. On notera le point suivant: Z_L et S_2 permettent à l'expérimentateur de faire la distinction entre les déséquilibres longitudinal et transversal de la ligne, mais l'efficacité de ce dispositif dépend de l'impédance transversale de la ligne, réalisée par la capacitance de la ligne par rapport à la terre (par exemple, longueur de la ligne [3]).

Références

[1] CCITT, Question 13/V *Dissymétrie des installations téléphoniques.*

[2] CCITT, contribution COM V-38 *Etudes de la relation entre la dissymétrie et les tensions induites transversales*, 1981-1984 (Administration hongroise).

[3] IEEE Std 455 – 1976; *IEEE Standard Test Procedure for Measuring longitudinal Balance of Telephone Equipment Operating in the Voice Band.* Publié par IEEE, Inc., 30 septembre 1976.

Recommandation K.11

PRINCIPES DE LA PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS ET LES SURINTENSITÉS

(Genève, 1972; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984 et à Melbourne, 1988)

Introduction

Les documents actuels du CCITT reconnaissent deux sources de perturbations dangereuses des lignes de télécommunications, capables de provoquer des dommages obligeant à interrompre le service et à faire des réparations, ou même d'exposer le personnel à des dangers, d'une part les décharges orageuses, d'autre part les défauts affectant des installations électriques voisines.

La présente Recommandation présente des principes dont l'observation doit permettre de limiter la fréquence et la gravité des effets de ces perturbations à des niveaux imposés par la qualité du service, les frais d'exploitation et la sécurité du personnel. Ces principes sont applicables à toutes les parties d'un système de télécommunications. On trouve des recommandations plus détaillées sur certaines méthodes de protection et pour certaines parties du système dans les références citées à la fin de la présente Recommandation et dans les Recommandations K.5, K.6, K.9, K.12, K.15, K.16 et K.17. Dans les références [1] et [2], on trouve des renseignements sur les phénomènes perturbateurs et sur les techniques de protection (voir aussi la Recommandation K.26).

La présente Recommandation traite principalement des centraux locaux, des organes constituant les lignes de raccordement locales et des équipements d'abonné, mais son contenu est susceptible d'une plus large application.

Remarque – Les phénomènes perturbateurs sont relativement rares et très brefs (en général leur durée est de l'ordre d'une fraction de seconde). La présente Recommandation n'aborde pas les méthodes permettant d'éviter que le fonctionnement des équipements soit interrompu pendant les perturbations elles-mêmes. Le CCITT poursuit l'étude des méthodes en question.

1 Considérations générales

1.1 *Origine des surtensions et des surintensités dangereuses*

1.1.1 *Décharges de foudre directes*

Ces décharges peuvent donner naissance, dans les fils ou les câbles, à des courants de plusieurs milliers d'ampères pendant quelques microsecondes. Il peut en résulter des dommages, et des surtensions de plusieurs kilovolts risquent d'exercer des contraintes sur les diélectriques des installations de ligne et des équipements terminaux.

1.1.2 *Décharges de foudre au voisinage*

Au moment d'un coup de foudre, les courants de décharge circulant des nuages vers la terre ou entre les nuages engendrent des surtensions dans les lignes aériennes ou souterraines situées à proximité. La zone intéressée peut être vaste dans les régions où la résistivité du sol est élevée.

1.1.3 *Induction produite par les courants de défaut circulant dans les lignes électriques, y compris les systèmes de traction électrique*

Les défauts à la terre dans les réseaux d'énergie électrique donnent naissance à des courants de déséquilibre de forte intensité qui parcourent les lignes électriques en induisant des surtensions dans les lignes de télécommunications voisines en rapprochement parallèle. Ces surtensions peuvent s'élever à plusieurs kilovolts et durer de 200 à 1000 millisecondes (et même parfois plus longtemps), selon le système utilisé sur la ligne électrique pour remédier au défaut.

1.1.4 *Contacts avec des lignes électriques*

Des contacts peuvent se produire entre les lignes électriques et les lignes de télécommunications lorsque des catastrophes locales, par exemple des tempêtes ou des incendies, endommagent ces deux types d'installation ou lorsque les normes de sécurité en matière de séparation et d'isolation ne sont pas respectées. Les surtensions dépassent rarement 240 V_{eff}, par rapport au potentiel de terre, dans les pays où cette tension est la tension normale de distribution, mais elles risquent de se prolonger pendant un temps indéterminé avant d'être décelées. Là où on utilise une tension de distribution plus élevée, par exemple 2 kV, les systèmes de protection des lignes électriques assurent généralement l'élimination rapide de la tension engendrée par un défaut. La surtension peut donner naissance à des courants d'intensité excessive le long de la ligne jusqu'au dispositif de mise à la terre du central, endommageant l'équipement et mettant en danger le personnel.

1.1.5 *Elévation du potentiel dans le sol*

Quand un défaut à la terre affecte un réseau d'énergie électrique, il y a circulation dans le sol de courants qui élèvent le potentiel au voisinage du défaut et de la prise de terre de la source d'énergie (voir aussi la Recommandation K.9). Ces gradients de potentiel dans le sol peuvent avoir un double effet sur les installations de télécommunications:

a) Les systèmes de signalisation risquent de mal fonctionner si la terre de signalisation est obtenue par une électrode implantée dans un sol dont le potentiel s'élève, ne serait-ce que de 5 V, par rapport au potentiel de terre normal. Une tension de cet ordre peut être causée par des défauts mineurs du système d'alimentation qui risquent de passer longtemps inaperçus.

b) Une élévation plus forte du potentiel de terre peut mettre en danger le personnel qui travaille dans la zone concernée ou, dans des cas extrêmes, être suffisante pour provoquer la rupture de l'isolation des câbles de télécommunications et causer des dommages importants.

1.2 *Méthodes de protection*

1.2.1 Certaines des mesures de protection des lignes décrites au § 2 ont pour effet de réduire les surtensions et les surintensités à la source et par conséquent les risques de dommages dans toutes les parties du système.

1.2.2 D'autres mesures de protection susceptibles d'être appliquées à telle ou telle partie du système, et dont il est question aux § 2, 3 et 4, se divisent en gros en deux groupes:

- l'utilisation de dispositifs de protection qui empêche qu'une énergie excessive atteigne des parties vulnérables, soit en déviant cette énergie, comme le font les parafoudres, soit en déconnectant la ligne, comme le font les fusibles;
- l'utilisation d'équipements capables de résister aux conditions qui leur sont imposées, du fait qu'ils possèdent une rigidité diélectrique, une capacité d'écoulement de courant et une impédance appropriées.

1.3 *Types d'organes de protection*

1.3.1 *Parafoudres à air à électrodes de carbone ou électrodes métalliques*

Généralement montés entre chaque fil d'une ligne et la terre, ils limitent la tension qui peut apparaître entre leurs électrodes. Ils sont peu coûteux, mais leur résistance d'isolement risque de baisser d'une façon appréciable après un fonctionnement répété et on peut être obligé de les remplacer fréquemment.

1.3.2 *Parafoudres à atmosphère gazeuse*

Ces tubes sont généralement montés entre chaque fil d'une ligne et la terre, ou utilisés comme des dispositifs à trois électrodes entre une paire et la terre. On peut assigner à leurs performances des limites strictes, cela en vue de respecter les conditions imposées aux systèmes. Ils sont de petites dimensions et n'exigent souvent aucune maintenance.

On trouve dans la Recommandation K.12 des indications détaillées applicables aux parafoudres à atmosphère gazeuse.

1.3.3 *Dispositifs de protection à semi-conducteurs*

Utilisés d'une manière semblable aux parafoudres à électrodes de carbone et aux parafoudres à atmosphère gazeuse, ils protègent l'équipement contre des surtensions pouvant descendre à 1 V seulement. Ils sont précis et rapides, mais peuvent être endommagés par des courants trop intenses.

1.3.4 *Fusibles*

Ils sont montés en série dans chaque fil d'une ligne pour couper le courant lorsque celui-ci est excessif. Les fusibles simples sont équipés d'un fil homogène qui fond sous l'effet de la chaleur dégagée. Les fusibles à action lente comportent à la fois un fil homogène qui fond rapidement lorsqu'il est parcouru par un courant intense et un élément fusible à ressort qui fond progressivement jusqu'à couper le courant lorsqu'un courant moins intense le parcourt pendant une période prolongée. Les valeurs de fonctionnement typiques sont de 2 A pour les courants intenses et 250 mA pour les courants prolongés. Après fonctionnement les fusibles ne doivent pas entretenir un arc. Ces fusibles n'assurent pas une protection contre les décharges de foudre, de sorte que dans les zones où ces décharges sont courantes, des fusibles à valeur nominale élevée (20 A au maximum) peuvent être nécessaires pour éviter les dérangements dus à des défaillances de fusibles. La protection ainsi assurée en cas de contacts avec des lignes électriques est parfois insuffisante. Les fusibles peuvent aussi être une source de bruit et provoquer des coupures intempestives.

1.3.5 *Bobines thermiques*

Montées en série sur chaque fil d'une ligne, les bobines thermiques déconnectent la ligne, la mettent à la terre ou effectuent ces deux opérations à la fois, la terre étant prolongée jusqu'à la ligne. Les bobines thermiques comportent un élément fusible et fonctionnent lorsqu'elles sont parcourues pendant environ 200 secondes par un courant d'une intensité de l'ordre de 500 mA.

1.3.6 *Limiteurs de courant à fonctionnement réversible*

L'inconvénient des fusibles et des bobines thermiques est de provoquer une interruption permanente du circuit lorsqu'ils ont fonctionné, et il est alors nécessaire de les remplacer manuellement. Certains dispositifs à impédance variable, dont la résistance électrique s'élève très fortement sous l'effet de l'échauffement produit par une surintensité, sont utilisables. Ces dispositifs retrouvent leur faible résistance initiale après la cessation de la surcharge. Il convient de porter attention aux temps de réaction et à l'aptitude de ces dispositifs à supporter des tensions élevées.

1.4 *Effets résiduels*

Les mesures de protection tendent à ce que la plus grande partie de l'énergie électrique due à une perturbation ne soit pas dissipée dans une partie vulnérable de l'installation et n'atteigne pas le personnel. Il n'existe toutefois aucun dispositif dont les caractéristiques soient telles qu'il supprime théoriquement toutes les tensions ou intensités associées aux perturbations, et cela pour les raisons suivantes.

1.4.1 *Surtensions résiduelles*

Il convient de tenir compte:

a) des tensions qui n'actionnent pas le dispositif de protection parce qu'elles se situent en dessous de son niveau de fonctionnement;
b) des tensions transitoires qui se produisent avant que le dispositif fonctionne;
c) des tensions résiduelles qui se maintiennent après que le dispositif a fonctionné;
d) des tensions transitoires produites par le fonctionnement du dispositif.

1.4.2 *Tensions transversales*

Les dispositifs de protection montés sur les deux fils d'une paire peuvent ne pas fonctionner simultanément, d'où apparition d'une impulsion transversale. Dans certaines conditions, en particulier si l'équipement à protéger a une impédance faible, le fonctionnement d'un dispositif de protection peut empêcher le fonctionnement de l'autre et une tension transversale subsiste alors aussi longtemps que les tensions longitudinales s'exercent sur la ligne.

1.4.3 *Effet sur le fonctionnement normal du circuit. Coordination*

Une marge suffisante doit être laissée entre la tension de fonctionnement des dispositifs de protection et la tension la plus élevée qui apparaît sur la ligne pendant le fonctionnement normal.

De même, les caractéristiques normales (impédances internes) des dispositifs de protection doivent être compatibles avec les conditions normales de fonctionnement des installations, lesquelles doivent tenir compte de leur présence éventuelle.

1.4.4 *Effets de modification*

Un dispositif de protection peut assurer la sécurité d'une partie de ligne aux dépens d'une autre; par exemple, si le fusible d'un répartiteur principal fonctionne par suite d'un contact avec une ligne électrique, la tension sur la ligne de télécommunications peut atteindre la valeur maximale de la tension sur la ligne électrique lorsque le fusible coupe la mise à la terre de la première.

De même, le fonctionnement d'un dispositif de protection est susceptible de réduire notablement l'impédance interne équivalente d'un circuit par rapport aux équipements qui lui sont reliés, ce qui peut permettre la circulation de courants éventuellement dangereux.

1.4.5 *Coordination de la protection primaire et de la protection secondaire*

Il est parfois nécessaire, pour protéger un équipement sensible, d'utiliser plusieurs dispositifs de protection, par exemple un dispositif à faible courant de coupure et à action rapide, tel qu'un semi-conducteur, et un dispositif à courant de coupure élevé et à action lente, tel qu'un parafoudre à atmosphère gazeuse. En pareil cas, il faut prendre des mesures pour que, dans l'éventualité d'une surtension prolongée, le dispositif à faible courant de coupure ne bloque pas le fonctionnement du dispositif à courant de coupure élevé; si cela se produisait, le dispositif à faible courant pourrait être endommagé ou encore le câblage d'interconnexion pourrait transmettre un courant excessif.

1.4.6 *Elévation de la température*

Les dispositifs de protection doivent être conçus et installés de telle manière que l'élévation de température qui accompagne leur fonctionnement ne soit pas susceptible d'endommager le matériel ou de créer un danger pour le personnel.

1.4.7 *Disponibilité du circuit*

Le circuit protégé peut être mis hors service temporairement ou durablement en cas de fonctionnement d'un dispositif de protection.

1.4.8 *Risques de dérangement*

L'utilisation de dispositifs de protection peut poser des problèmes de maintenance si ces dispositifs ne sont pas suffisamment fiables. Elle peut également empêcher l'application de certaines procédures d'essai des lignes et de l'équipement.

1.5 *Evaluation des risques*

1.5.1 Le comportement d'un système de télécommunications vis-à-vis des surtensions dépend des facteurs suivants:

- l'environnement, c'est-à-dire l'importance et la probabilité des surtensions se produisant dans le réseau de lignes associé au système;
- les méthodes de construction mises en œuvre dans ce réseau de lignes (voir le § 2);
- l'insensibilité aux surtensions des équipements que comporte le système;
- l'existence de dispositifs de protection;
- la qualité du système de mise à la terre prévu pour le fonctionnement des dispositifs de protection.

1.5.2 *L'environnement*

Pour juger de l'environnement, il convient de prendre en considération les facteurs mentionnés au § 1.1.

Le danger provenant des surtensions dues à la foudre est très variable selon les lieux. Le risque de coups de foudre directs et rapprochés augmente avec le niveau kéraunique et avec la résistivité du sol et, comme la foudre est à l'origine d'une forte proportion des défauts affectant un réseau électrique, les effets de l'induction augmentent aussi, de même que ceux d'un accroissement du potentiel de la terre. En revanche, la présence de corps métalliques enterrés, comme des canalisations d'eau, des câbles armés, etc., a un effet d'écran sur les câbles téléphoniques et réduit notablement les surtensions dues à la foudre ou à l'induction.

- L'expérience montre que, dans le centre d'une ville et dans une région de faible activité orageuse, les surtensions dépassent rarement les tensions résiduelles des dispositifs de protection. Ces environnements peuvent être considérés comme peu agressifs. Dans les Recommandations K.20 et K.21 on trouve les spécifications des essais auxquels il faut soumettre les équipements à utiliser sans protection dans de tels environnements; les résultats de ces essais donnent des indications sur les environnements les plus défavorables pouvant néanmoins être considérés comme non exposés aux surtensions.

– Tous les autres environnements peuvent être classés comme «agressifs», mais cette catégorie groupe évidemment une grande diversité de situations, y compris le cas d'expositions exceptionnelles, dans lesquelles on ne peut obtenir un service satisfaisant qu'en recourant à l'emploi de toutes les mesures de protection dont on dispose.

Dans les cas d'induction et d'élévation du potentiel de la terre, on peut calculer les surtensions comme indiqué dans les *Directives* [2], lesquelles recommandent également les valeurs maximales qui peuvent être permises dans diverses conditions.

1.5.3 *Statistiques des défauts*

Ce n'est qu'à la lumière de l'expérience que l'on peut convenablement évaluer les risques de surtensions et de surintensités. Il est donc recommandé que l'on tienne des statistiques des défauts sous une forme appropriée à cet objet. On séparera, dans ces statistiques, les défauts provenant de surtensions ou de surintensités de ceux qui ont pour origine un mauvais fonctionnement des organes de protection ou une défaillance d'une autre pièce de l'équipement.

1.6 *Décisions en matière de protection*

1.6.1 Lorsque l'on examine la mesure dans laquelle il convient qu'un réseau de télécommunications résiste aux surtensions, on peut reconnaître deux catégories de défaillances:

– les défaillances partielles, qui affectent seulement une faible proportion d'éléments du système; on peut les tolérer jusqu'à un niveau reconnu comme acceptable par l'Administration;

– les interruptions globales, telles que les incendies, les pannes de centraux, etc., que l'on doit autant que possible prévenir totalement.

On trouve dans la Recommandation K.20 des exemples de situations pouvant donner lieu à des défaillances légères, mais non à des interruptions sérieuses. Il est en outre souhaitable que la défaillance d'un organe de protection pris isolément ne puisse être à l'origine d'une interruption sérieuse.

1.6.2 Il faut accorder une attention particulière à la protection contre les surtensions et les surintensités des centraux ou des équipements d'abonné de conception récente, si l'on veut que les avantages attendus des perfectionnements de la technique ne soient pas annulés du fait de défaillances innacceptables causées par l'exposition aux surtensions ou aux surintensités. Il peut arriver sinon que ces équipements nouveaux soient intrinsèquement sensibles à ces conditions et que les dommages ou défauts de fonctionnement affectent de grandes parties d'un système.

1.6.3 Il convient de noter qu'un excès de protection, vu la présence de dispositifs de protection superflus, est non seulement contraire à l'économie mais risque bel et bien de dégrader les performances des systèmes, puisque ces dispositifs peuvent eux-mêmes être à l'origine de certaines défaillances.

Pour éviter que des perturbations ne soient causées aux circuits de télécommunications par l'amorçage des dispositifs de protection, les valeurs de tension d'amorçage et le nombre de parafoudres doivent être pris en considération.

1.6.4 Vu ce qui précède et compte tenu de ce qui a été dit au § 1.5 concernant l'évaluation des risques, on doit prendre une décision au sujet de la protection qu'il y a lieu d'assurer dans toutes les parties du système. Il convient de tenir compte de considérations d'ordre commercial, comme par exemple le coût des mesures de protection, le coût des réparations, les relations avec les usagers et la fréquence probable des défauts dus aux surtensions et aux surintensités par rapport à celle des défauts dus à d'autres causes.

La répartition des responsabilités concernant ces décisions doit être clairement établie afin que soit garantie et coordonnée la mise en œuvre de tous les dispositifs de protection nécessaires pour les lignes et les équipements.

Les Administrations exploitantes doivent faire connaître aux constructeurs des équipements les conditions que ceux-ci devront pouvoir supporter et les ingénieurs des lignes doivent savoir dans quelle mesure les équipements connectés aux lignes résisteront aux contraintes. L'ingénieur des lignes doit aussi définir les contraintes que rencontrera l'équipement connecté à la ligne, compte tenu des dispositions adoptées concernant la protection de celle-ci. Il peut arriver que différentes parties du réseau: appareils d'abonné, lignes, centres de commutation, etc., soient la propriété d'autorités différentes; la coordination peut alors exiger des procédures formelles, comme l'établissement de normes locales. Dans les Recommandations K.20 et K.21, on trouve des directives pour la préparation de ces normes.

2 Protection des lignes

2.1 *Mesures de protection extérieures aux conducteurs eux-mêmes*

2.1.1 Les lignes de télécommunications peuvent, dans une certaine mesure, être protégées contre la foudre par des structures métalliques voisines mises à la terre (par exemple, un réseau d'énergie électrique ou un réseau ferroviaire électrifié) qui font écran. Des écrans métalliques efficaces, par exemple une enveloppe de câble, une conduite de câble ou des fils-écrans de protection contre la foudre, réduisent les effets des surtensions produites par la foudre et de l'induction provoquée par les lignes électriques. Dans les zones très exposées à la foudre, on utilise souvent des câbles spéciaux avec écrans multiples et isolement à rigidité diélectrique élevée. La mise à la masse de toutes les structures métalliques est utile comme moyen de protection.

2.1.2 Il est possible de réduire au minimum l'induction produite par les lignes électriques en coordonnant les méthodes de construction des lignes électriques et des lignes de télécommunications. On peut diminuer le niveau d'induction à la source en installant des fils de terre et des limiteurs de courant dans le réseau électrique.

2.1.3 On diminue le risque de contacts entre lignes électriques et lignes de télécommunications si l'on applique des normes agrégées de construction, de séparation et d'isolation. Des considérations économiques entrent certes en jeu, mais il est souvent possible de tirer parti de l'utilisation conjointe de tranchées, poteaux et conduites, sous réserve d'adopter des méthodes de sécurité appropriées (voir les Recommandations K.5 et K.6). Il importe particulièrement d'éviter les contacts avec les lignes à haute tension par une construction de qualité élevée, car il peut être très difficile d'éviter que de graves conséquences en découlent.

2.2 *Câbles spéciaux*

Là où de fortes surtensions sont susceptibles de se produire, on peut utiliser des câbles spéciaux à haute rigidité diélectrique.

Les câbles courants avec isolant et gaine de matière plastique ont une rigidité diélectrique plus élevée que les câbles sous plomb isolés au papier; ils conviennent bien pour la plupart des situations dans lesquelles on employait auparavant des câbles avec un isolant particulièrement épais. L'emploi de câbles avec isolement renforcé peut se justifier dans des cas où la proximité ou la longueur de parallélisme avec des lignes électriques sont exceptionnelles, où il y a un fort accroissement du potentiel du sol au voisinage immédiat des stations électriques, ou encore lorsqu'il y a une très grande exposition à la foudre en raison d'un niveau kéraunique élevé et d'une faible conductivité du sol.

Voici d'autres exemples d'utilisation de câbles spéciaux:

- câbles munis d'une gaine métallique assurant un facteur de réduction intéressant dû à l'effet d'écran pour protéger les circuits qu'ils contiennent;
- câbles contenant des circuits qui aboutissent à des pylônes radioélectriques exposés et qui doivent pouvoir écouler des courants de décharges orageuses sans dommages;
- câbles en fibres optiques entièrement diélectriques (c'est-à-dire non métalliques), ayant pour but d'assurer l'isolement entre des longueurs de câbles à conducteurs.

2.3 *Utilisation de dispositifs de protection*

Il peut être souhaitable d'utiliser des dispositifs de protection dans les cas suivants.

2.3.1 S'il est plus économique d'utiliser de tels dispositifs que de recourir aux constructions spéciales décrites aux § 2.1 et 2.2, il ne faut pas, à cet égard, négliger les frais de maintenance, car le fait de prévoir des dispositifs de protection en entraîne forcément (alors qu'il n'y a habituellement rien de tel avec les câbles spéciaux, les écrans et autres) même si les dépenses de premier établissement peuvent être alors plus élevées.

2.3.2 Lorsque les câbles à isolement renforcé résistent eux-mêmes parfaitement aux surtensions et aux surintensités, une certaine proportion en est transmise à d'autres parties plus vulnérables du réseau. Il faut alors doter les câbles plus vulnérables d'une protection supplémentaire, laquelle est particulièrement importante s'il s'agit de gros câbles souterrains dont les réparations coûtent cher et affectent le service de nombreux abonnés.

2.3.3 Si les surtensions induites par les défauts des lignes électriques ou de traction peuvent encore dépasser les niveaux admis par les *Directives*, une fois toutes les mesures préventives possibles mises en œuvre.

2.4 *Installations de dispositifs de protection*

2.4.1 Pour protéger l'isolement des conducteurs, il est utile de réunir tous les écrans, enveloppes métalliques, etc., et de monter des dispositifs de protection contre les surtensions entre les conducteurs et la masse électrique ainsi constituée qui devrait être mise à la terre. Cette technique est particulièrement utile dans les zones où la résistivité du sol est élevée car elle évite d'avoir recours à des systèmes à électrodes coûteux pour la mise à la terre des dispositifs de protection.

2.4.2 Lorsque l'on emploie des parafoudres pour réduire les tensions élevées induites dans les lignes de télécommunications par des courants de défaut des lignes électriques, il convient d'en munir tous les fils à des intervalles convenables ainsi qu'aux deux extrémités de la longueur de ligne affectée, ou aussi près d'elle que cela est pratiquement possible.

2.4.3 Afin de protéger les câbles souterrains contre les surtensions dues à la foudre, on peut placer des dispositifs de protection aux points de connexion avec les lignes aériennes. Les dispositifs de protection montés sur le répartiteur principal ainsi que sur les équipements terminaux des abonnés réduisent les risques de dommages causés aux lignes, mais leur principale fonction est de protéger les organes dont la rigidité diélectrique est moindre que celle des câbles (voir à ce sujet les Recommandations K.20 et K.21.

2.4.4 Il convient que les connexions qui relient aux lignes et à la terre les organes de protection contre les surtensions dues à la foudre soient aussi courtes que possible, cela afin de réduire les surtensions résiduelles entre les lignes et le potentiel de masse.

2.5 *Planification des travaux*

Les considérations générales exposées aux § 1.5 et 1.6 s'appliquent à la protection des lignes. Dans toute la mesure du possible, il est recommandé que les mesures de protection appliquées à la ligne soient décidées dès le début d'un projet et qu'elles dépendent de l'environnement. Il peut être difficile et onéreux d'obtenir une fiabilité satisfaisante d'une ligne pour laquelle on n'a pas assez tenu compte dans le projet initial de la nécessité d'une protection.

2.6 *Politique qu'il est recommandé de suivre*

Dans les cas où les lignes d'un réseau de télécommunications sont exposées à des perturbations fréquentes ou graves en raison de défauts des lignes électriques ou de décharges atmosphériques, la tension de ces lignes par rapport au potentiel de terre local doit être limitée; on peut pour cela connecter les dispositifs de protection entre les conducteurs de ligne et la terre ou utiliser des méthodes appropriées pour la construction de la ligne.

3 Protection des équipements des centraux et du matériel de transmission

3.1 *Nécessité d'une protection extérieure*

Il convient que les compagnies exploitantes tiennent compte de la nécessité éventuelle de doter leurs équipements d'une protection extérieure, compte tenu des considérations ci-après.

3.1.1 Dans certaines conditions, une ligne de télécommunications assure une certaine protection à l'équipement. C'est par exemple le cas:

- si un conducteur fond et coupe un courant excessif;
- si l'isolant d'un conducteur claque et réduit une surtension;
- s'il y a amorçage au niveau de dispositifs de connexion, d'où réduction de la surtension.

3.1.2 La plus grande robustesse des câbles isolés sous matière plastique a pour effet d'augmenter les surtensions et les surintensités qui peuvent circuler dans les lignes et être appliquées aux équipements. Inversement, l'emploi de composants électroniques miniaturisés dans les équipements de commutation et de transmission tend à rendre ces équipements plus vulnérables aux perturbations électriques.

Pour ces raisons, on est généralement obligé, dans les régions exposées à des perturbations fréquentes et sérieuses (coups de foudre, lignes d'énergie, sol de faible conductivité), d'installer des organes de protection des types décrits au § 1.3 entre les conducteurs de câble et l'équipement auquel ils sont reliés, cela de préférence au répartiteur principal. On évitera ainsi que le câble allant de ce répartiteur aux équipements soit le siège de surintensités.

Les organes de protection sont montés sur le répartiteur côté lignes; on évite ainsi que les courants de décharge traversent les fils jarretières du répartiteur et l'on expose le moins possible de câblage du répartiteur et des barrettes terminales à la tension du secteur au cas où un contact avec une ligne portée à cette tension ferait déconnecter la ligne par un organe de protection monté en série.

3.1.3 Dans les emplacements les moins exposés, il peut se faire que les caractéristiques statistiques de niveau et de fréquence des perturbations (tensions et intensités) soient si faibles que, dans la pratique, les risques ne dépassent pas ceux qui résultent des effets résiduels afférents aux régions exposées, dont il est question au § 1.4. Des organes de protection ne servent alors à rien et ils entraîneraient une dépense inutile.

3.2 *Nécessité pour les équipements d'avoir un minimum de robustesse électrique*

Là où les lignes sont exposées et où l'on a installé des dispositifs de protection, les effets résiduels dont il a été question au § 1 risquent de provoquer l'apparition de surtensions et de surintensités dans les équipements. Dans les emplacements moins exposés, les perturbations décrites au § 3.1.3 peuvent être la cause d'effets semblables. Il faut que les équipements puissent, par construction, supporter ces conditions; dans la Recommandation K.20, on trouve des recommandations détaillées sur la robustesse électrique qui doit être la leur.

3.3 *Effet des conditions de commutation*

Etant donné que la disposition et l'interconnexion des organes reliés à une ligne donnée varient nécessairement au cours de l'établissement d'une communication, il importe qu'on ne limite pas l'étude de la protection aux seuls équipements individuels des lignes. Il existe de nombreux organes qui sont communs à toutes les lignes et qui peuvent se trouver exposés à des perturbations quand ils sont reliés à telle ou telle ligne.

L'efficacité de la protection assurée peut dépendre du fait que la probabilité d'exposition est réduite si la durée pendant laquelle un élément est relié à la ligne est brève. D'autre part, un organe commun doit être doté d'une protection meilleure que les autres, car sa défaillance risque de dégrader plus sérieusement les performances du central ou même des télécommunications de la région.

4 Protection des équipements terminaux d'abonné

Les méthodes de protection des équipements de centraux décrites plus haut sont souvent utilement applicables aux équipements d'abonné. Des méthodes d'essai de la robustesse des équipements d'abonné sont données dans la Recommandation K.21. Il convient également de considérer les aspects spécifiques suivants.

4.1 *Degré d'exposition*

Les lignes qui, dans des zones urbaines ou industrielles, aboutissent à des installations voisines d'un central sont en général peu exposées aux surtensions, en raison de l'effet d'écran des nombreuses structures métalliques voisines, comme cela a été indiqué au § 2.1.

Au contraire, les lignes qui aboutissent à des installations éloignées de zones construites peuvent être très exposées du fait de leur longueur, de l'absence de dispositifs de protection, de la présence de lignes aériennes à leur extrémité côté abonné et de la forte résistivité du sol. La robustesse mécanique des câbles aériens situés à l'extrémité côté abonné rend les effets des surtensions d'autant plus graves que la ligne peut elle-même être le siège de tensions plus élevées et transporter des courants plus intenses.

4.2 *Rigidité diélectrique*

Il est souhaitable que l'isolement entre les parties conductrices reliées aux lignes et toutes les parties accessibles à l'usager aient une rigidité diélectrique élevée.

4.3 *Utilisation de parafoudres*

Lorsque des lignes téléphoniques sont exposées à des perturbations fréquentes et sérieuses dues à des défauts sur des lignes électriques ou à des décharges orageuses, on doit limiter leur tension par rapport au potentiel de terre local en installant des organes de protection des types décrits au § 1.3 entre les conducteurs de ces lignes et la borne de terre.

On choisira la rigidité diélectrique de l'équipement terminal en tenant compte de la tension de fonctionnement du dispositif de protection et de l'impédance de la connexion entre la ligne munie d'un parafoudre et la terre.

4.4 *Masse commune*

Il peut arriver que, là où se trouve l'équipement terminal d'un abonné, on ne dispose pas d'une terre de faible résistance pour les organes de protection contre les surtensions, ou encore que le prix afférent à la réalisation d'une terre adéquate de faible résistance soit excessif par rapport aux autres frais d'installation. Il peut en outre arriver que l'équipement terminal soit voisin de systèmes mis à la terre, comme des canalisations d'eau, ou qu'il soit alimenté par un réseau électrique.

Afin de réduire au minimum les dangers des tensions élevées tant pour le matériel que pour l'abonné même si la résistance de terre n'est pas suffisamment faible, il convient d'interconnecter, soit directement soit par l'intermédiaire d'un éclateur, tous les conducteurs devant être reliés à la terre, les terres de signalisation et le neutre du réseau électrique. Bien que cette mise à la masse puisse être coûteuse, elle évite la difficulté de réalisation d'une terre de faible résistance, aussi est-ce une technique très répandue. Dans certains pays, la connexion au neutre du réseau électrique est soumise à des règlements nationaux, aussi faut-il s'assurer de l'accord des services de l'électricité.

4.5 *Règlements nationaux*

Dans bien des pays, il y a lieu de tenir compte des normes nationales relatives à la protection des usagers du matériel de télécommunications, non seulement contre les risques découlant de la connexion au secteur de distribution mais encore contre les conditions auxquelles la ligne téléphonique peut se trouver soumise.

4.6 *Prix élevé de la maintenance des installations d'abonné*

Le prix de revient des réparations à effectuer sur des installations terminales exposées peut être élevé en raison de la distance au centre de maintenance, des temps de transport et éventuellement de la gravité des dommages. De plus, l'insuffisance de la protection est à l'origine d'interruptions de service répétées, lesquelles sont particulièrement nuisibles pour la qualité du service et pour la satisfaction des usagers. Cela justifie une attention particulière aux mesures de protection.

Références

[1] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*, UIT, Genève, 1974, 1978.

[2] CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, UIT, Genève, 1988.

Recommandation K.12

CARACTÉRISTIQUES DES PARAFOUDRES À GAZ DESTINÉS À LA PROTECTION DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

(Genève 1972; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984 et à Melbourne, 1988)

Introduction

La présente Recommandation donne les caractéristiques de base auxquelles doivent satisfaire les parafoudres à gaz destinés à la protection de l'équipement des centraux, des lignes d'abonné et des équipements d'abonné contre les surtensions. Il permettra d'uniformiser les spécifications actuellement en vigueur ou celles qui seront par la suite établies par les constructeurs de parafoudres à gaz, les fabricants d'équipements de télécommunications ou les Administrations.

Seules sont spécifiées les exigences minimales pour les caractéristiques jugées essentielles. Etant donné que certains usagers peuvent rencontrer des environnements différents ou se trouver devant des conditions d'exploitation, des objectifs de service ou des contraintes économiques différentes, ces caractéristiques peuvent être modifiées ou précisées pour tenir compte des conditions locales.

La Recommandation K.12 donne des directives sur l'utilisation des parafoudres à gaz destinés à réduire les surtensions sur les lignes de télécommunications.

1 Portée

La présente Recommandation:

a) donne les caractéristiques des parafoudres à gaz utilisés conformément aux dispositions de la Recommandation K.11 du CCITT relatif à la protection des équipements des centraux, des lignes d'abonné et des équipements d'abonné contre les surtensions;

b) traite des parafoudres à gaz ayant deux ou trois électrodes;

c) ne traite pas des montages et de leurs répercussions sur les caractéristiques du parafoudre. Les caractéristiques présentées s'appliquent aux seuls parafoudres à gaz, montés uniquement selon la méthode décrite pour les essais;

d) ne couvre pas les dimensions mécaniques;

e) ne traite pas des clauses de garantie de qualité;

f) ne s'applique pas aux parafoudres à gaz connectés en série avec des résistances dépendant de la tension de manière à limiter les courants résiduels dans les systèmes d'alimentation électrique;

g) peut ne pas être suffisant pour les parafoudres à gaz utilisés sur les systèmes à hautes fréquences ou les systèmes multivoies.

2 Définitions

L'appendice I donne les définitions d'un certain nombre de termes employés pour les parafoudres à gaz. Il comprend certains termes qui ne sont pas utilisés dans la présente Recommandation.

3 Conditions climatiques

Les parafoudres à gaz doivent pouvoir être exposés sans dommage aux conditions suivantes, en stockage:

– température: -40 à $+90$ °C;

– humidité relative: jusqu'à 95%.

Voir aussi les § 7.5 et 7.7.

4 Caractéristiques électriques

Les parafoudres à gaz doivent avoir les caractérisitiques suivantes lorsqu'ils sont essayés conformément aux dispositions du § 5.

Les § 4.1 à 4.5 s'appliquent aux parafoudres à gaz neufs, et, lorsque indiqué dans le § 4.6, aux parafoudres soumis à des essais de durée de vie utile.

4.1 *Tensions d'amorçage* (voir les § 5.1 et 5.2, et les figures 1/K.12, 2/K.12, 3/K.12)

4.1.1 Les tensions d'amorçage entre les électrodes d'un parafoudre à deux électrodes ou entre l'électrode de ligne et l'électrode de mise à la terre d'un tube à trois électrodes seront comprises dans les limites figurant au tableau 1/K.12.

TABLEAU 1/K.12

Tension continue d'amorçage			Tension maximale d'amorçage au choc	
nominale (V)	minimale (V)	maximale (V)	à 100 V/µs	à 1000 V/µs
230	180	300	700	900
250/1	200	450	700	900
250/2	200	300	700	900
300	255	345	700	900
350/1	265	600	1000	1100
350/2	290	600	900	1000

4.1.2 Pour les parafoudres à 3 électrodes, la tension d'amorçage entre les électrodes de ligne ne doit pas être inférieure à la tension continue d'amorçage indiquée dans le tableau 1/K.12.

4.2 *Conditions d'extinction* (voir § 5.5 et les figures 4/K.12 et 5/K.12)

Tous les types de parafoudres doivent avoir un temps de coupure du courant inférieur à 150 ms lorsqu'ils sont soumis à l'un ou plusieurs des essais suivants, selon l'utilisation projetée.

4.2.1 Les parafoudres à deux électrodes sont essayés sur un circuit correspondant à celui de la figure 4/K.12 et dont les éléments ont les valeurs indiquées dans le tableau 2/K.12.

TABLEAU 2/K.12

Elément	Essai 1	Essai 2	Essai 3
PS1	52 V	80 V	135 V
R3	260 Ω	330 Ω	1300 Ω
R2	remarque	150 Ω	150 Ω
C1	remarque	100 nF	100 nF

Remarque – Eléments omis dans cet essai.

4.2.2 Les parafoudres à 3 électrodes sont essayés sur un circuit correspondant à celui de la figure 5/K.12 dont les éléments ont les valeurs indiquées au tableau 3/K.12:

TABLEAU 3/K.12

Elément	Essai 1	Essai 2		Essai 3	
PS1	52 V	80 V		135 V	
PS2	0 V	0 V		52 V	
R3	260 Ω	330 Ω		1300 Ω	
R2	a)	150 Ω	272 Ω b)	150 Ω	272 Ω b)
C1	a)	100 nF	43 nF b)	100 nF	43 nF b)
R4 c)	136 Ω	136 Ω		136 Ω	
C2 c)	83 nF	83 nF		83 nF	

a) Les éléments sont omis dans cet essai.
b) Solution facultative.
c) Facultatif.

4.3 *Résistance d'isolement* (voir le § 5.3)

La valeur initiale ne doit pas être inférieure à 1000 Mohms.

4.4 *Capacité*

Elle ne doit pas dépasser 20 pF.

4.5 *Tension transversale en régime impulsionnel – parafoudres à 3 électrodes* (voir le § 5.9 et la figure 6/K.12)

La durée de l'intervalle ne doit pas dépasser 200 ns.

4.6 *Essais de durée de vie* (voir les § 5.6, 5.7 et 5.8)

Les valeurs spécifiées dans le § 4.6.1 pour l'intensité nominale seront appliquées. Après chaque application de courant, le parafoudre à gaz devra pouvoir satisfaire aux conditions énoncées au § 4.6.2. A l'issue du nombre d'applications de courant spécifié, le parafoudre doit pouvoir satisfaire aux conditions énoncées au § 4.6.3.

4.6.1 *Courant d'essai*

Les parafoudres à gaz destinés à n'être utilisés que dans les répartiteurs principaux ou dans des situations analogues, où ils sont connectés à des conducteurs de lignes réalisées elles-mêmes en câbles à paires symétriques, seront exposés aux courants indiqués dans les colonnes 2 et 3 du tableau 4/K.12. Les parafoudres à gaz destinés à des applications où ils sont directement connectés à des fils aériens seront désignés par les lettres EXT par l'acheteur et seront exposés aux courants indiqués dans les colonnes 2, 3 et 4 du tableau 4/K.12.

TABLEAU 4/K.12

Intensité nominale	Courant alternatif de 15 à 62 Hz pendant 1 seconde		Courant de choc 10/700, 500 applications; ou 10/1000, 300 applications	Courant de choc 8/20, 10 applications (tubes EXT seulement)
A	A valeur efficace	Nombre d'applications	Crête A	Crête kA
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2,5	2,5	5	50	2,5
5	5	5	100	5
10	10	5	100	10
20	20	10	200	20

4.6.2 *Caractéristiques pendant l'essai de durée de vie utile*

Résistance d'isolement: au moins 10 Mohms.

Tension continue et tension d'amorçage au choc: ne doivent pas dépasser les valeurs correspondantes indiquées au § 4.1.

4.6.3 *Caractéristiques après l'essai de durée de vie utile*

Résistance d'isolement: au moins 100 Mohms (10 Mohms si cela est particulièrement spécifié par l'acheteur).

Tension continue et tension d'amorçage au choc: comme indiqué dans le § 4.1.

Conditions d'extinction: comme indiqué dans le § 4.2.

5 Méthodes d'essai

5.1 *Tension continue d'amorçage* (voir le § 4.1 et les figures 1/K.12 et 2/K.12)

Le parafoudre à gaz sera placé dans l'obscurité pendant au moins 24 heures immédiatement avant essai puis essayé dans l'obscurité avec une tension augmentant assez lentement pour que la tension d'amorçage soit indépendante du taux de croissance de la tension appliquée. On applique généralement un taux de croissance de 100 V/s mais des vitesses plus élevées peuvent être utilisées si on peut démontrer que la tension d'amorçage ne s'en trouve pas modifiée de manière significative. Les tolérances sur la forme d'onde de la tension utilisée pour l'essai sont indiquées dans la figure 1/K.12. La tension est mesurée aux bornes du générateur en circuit ouvert. Sur la figure 1/K.12, U_{max} représente toute tension supérieure à la valeur maximale autorisée de la tension continue d'amorçage du parafoudre à gaz et inférieure à 3 fois la valeur minimale autorisée de la tension continue d'amorçage du parafoudre à gaz.

Pour l'essai, il convient d'employer un circuit adéquat semblable à celui qui est représenté à la figure 2/K.12. Un intervalle minimum de 15 minutes devra s'écouler entre les répétitions de l'essai, avec l'une ou l'autre des polarités, sur le même parafoudre à gaz.

Chaque paire de bornes d'un parafoudre à gaz à 3 électrodes devra être essayée séparément, l'autre borne n'étant pas connectée.

Remarque – On peut utiliser la figure 1/K.12 de la manière suivante:

Un seul gabarit suffira pour toutes les valeurs de U_{max} et de la valeur nominale du taux de croissance, à condition que les dimensions soient suffisantes pour la visualisation de la forme d'onde et que les échelles de U et de T de la forme d'onde puissent être ajustées. Cela tient au fait que l'axe des Y comporte des points arbitraires marqués 0 et U_{max} et une valeur 0,2 U_{max} se trouvant au point approprié situé entre eux, alors que l'axe des X comporte des points arbitraires marqués 0 et T_2, T_1 (T_1 = 0,2 T_2), 0,9 T_1, 1,1 T_1, 0,9 T_2, 1,1 T_2 étant marqués aux points appropriés. Les zéros de l'axe des X et de l'axe des Y ne coïncident pas nécessairement et en fait n'ont pas à être représentés.

Pour comparer la trace de la forme de l'onde avec le gabarit, il faut connaître les valeurs nominales de U_{max} et du taux de croissance pour la forme d'onde en question. A titre d'exemple, prenons une forme d'onde dont la valeur nominale U_{max} est de 750 V et dont le taux de croissance est de 100 V/s.

On a 0,2 U_{max} = 150 V, T_2 = 7,5 s, T_1 = 1,5 s.

Maintenir le gabarit sur la trace et ajuster l'échelle verticale de sorte que le repère à 150 V coïncide avec 0,2 U_{max} et le point 750 V avec U_{max}. Régler de la même manière l'échelle horizontale pour 1,5 seconde = T_1 et 7,5 secondes = T_2. Faire glisser le gabarit pour le point 150 V de la trace se trouve à l'intérieur de la limite inférieure de la fenêtre d'essai; le reste de la trace jusqu'à 750 V doit se trouver à l'intérieur de la fenêtre d'essai.

5.2 *Tension d'amorçage au choc* (voir le § 4.1 et les figures 1/K.12 et 3/K.12)

Le parafoudre à gaz sera placé dans l'obscurité pendant au moins 15 minutes immédiatement avant l'essai et essayé dans l'obscurité. La forme d'onde de tension mesurée à circuit ouvert aux bornes soumises à l'essai aura un taux de croissance nominal choisi conformément au § 4.1 et sera comprise dans les limites indiquées dans la figure 1/K.12. La figure 3/K.12 représente un exemple de montage pour l'essai avec une tension de choc ayant un taux de croissance de 1 kV/µs.

Un intervalle minimal de 15 minutes devra s'écouler entre les répétitions de l'essai, avec l'une ou l'autre des polarités, sur le même parafoudre à gaz.

Chaque paire de bornes d'un parafoudre à gaz à trois électrodes devra être essayée séparément, l'autre borne n'étant pas connectée.

5.3 *Résistance d'isolement* (voir le § 4.3)

La résistance d'isolement sera mesurée à partir de chaque borne vers chacune des autres bornes du parafoudre à gaz. La mesure devra se faire en appliquant une différence de potentiel d'au moins 100 V et inférieure à 90% de la valeur minimale autorisée de la tension continue d'amorçage. Le générateur utilisé pour la mesure devra être limité à un courant de court-circuit inférieur à 10 mA. Les bornes des parafoudres à gaz à trois électrodes ne participant pas à la mesure devront rester non connectées.

5.4 *Capacité* (voir le § 4.4)

La capacité sera mesurée pour chaque borne par rapport à chacune des autres bornes du parafoudre à gaz. Dans les mesures portant sur les parafoudres à gaz à trois électrodes, la borne qui n'est pas concernée sera connectée à la masse de l'instrument de mesure.

5.5 *Vérification des conditions d'extinction* (voir le § 4.2)

5.5.1 *Parafoudre à gaz à deux électrodes* (voir la figure 4/K.12)

Les essais devront être faits à l'aide du circuit de la figure 4/K.12. On choisira pour chaque condition d'essai les valeurs de PS1, R2, R3 et C1 indiquées dans le tableau 2/K.12. L'onde de choc produite par le générateur d'onde de choc devra posséder une forme: 100A, 10/1000 ou 10/700, mesurée sur un court-circuit remplaçant le parafoudre à gaz à l'essai. La polarité du courant de choc dans le parafoudre sera la même que le courant de PS1. Le temps de coupure du courant sera mesuré pour chaque direction du passage du courant à travers le parafoudre. Trois chocs seront appliqués à des intervalles ne dépassant pas une minute et le temps de coupure du courant sera mesuré pour chaque onde de choc.

5.5.2 *Parafoudre à gaz à trois électrodes* (voir la figure 5/K.12)

Les essais seront effectués à l'aide du circuit de la figure 5/K.12. Les valeurs des composants du circuit seront choisies d'après les indications du tableau 3/K.12. Les courants de choc simultanés qui sont appliqués aux éclateurs du parafoudre à gaz devront posséder la forme 100A, 10/1000 ou 10/700, mesurée à travers un court-circuit remplaçant le parafoudre à gaz à l'essai. La polarité du courant de choc à travers le parafoudre devra être la même que le courant de PS1 et PS2.

Pour chaque condition, la mesure du temps de coupure du courant sera faite pour deux polarités de l'onde de choc. Trois ondes de choc dans chaque direction seront appliquées à des intervalles ne dépassant pas une minute et le temps de coupure du courant sera mesuré pour chaque onde de choc.

5.6 *Robustesse au courant de choc — Tous types de parafoudres à gaz* (voir le § 4.6)

On utilisera des parafoudres à gaz neufs et les courants de choc seront appliqués comme indiqué dans le tableau 4/K.12, colonne 3, pour le courant nominal pertinent du parafoudre. La moitié du nombre d'essais spécifiés sera effectuée avec une polarité, puis l'autre moitié avec la polarité opposée. Ou bien la moitié des parafoudres d'un échantillon pourront être essayés avec une polarité et l'autre moitié avec la polarité opposée. La vitesse de répétition des passages du courant de choc doit être établie de manière à éviter l'accumulation thermique dans le parafoudre à gaz.

La tension du générateur devra dépasser la tension maximale d'amorçage au choc du parafoudre à gaz d'au moins 50%. Le courant de choc de décharge spécifié et la forme d'onde devront être mesurés par remplacement du parafoudre à gaz par un court-circuit. Pour les parafoudres à trois électrodes, des courants de choc indépendants, ayant chacun la valeur spécifiée dans le tableau 4/K.12, colonne 3, seront simultanément déchargés de chacune des électrodes vers l'électrode commune.

Le parafoudre à gaz sera testé après chaque passage du courant de choc de décharge ou à des intervalles moins fréquents, selon un accord entre le fournisseur et l'acheteur, pour déterminer si le parafoudre satisfait aux exigences énoncées dans le § 4.6.2.

Après l'application du nombre spécifié de courants de choc, le parafoudre sera soumis à l'essai spécifié dans le § 4.6.3 après refroidissement jusqu'à la température ambiante.

5.7 *Robustesse au courant de choc — Essais supplémentaires pour les parafoudres désignés EXT* (voir le § 4.6)

Comme dans le § 5.6, mais en appliquant les conditions du tableau 4/K.12, colonne 4.

5.8 *Robustesse au courant alternatif — Tous types de parafoudres* (voir le § 4.6)

On utilisera des parafoudres neufs et on appliquera des courants alternatifs selon les indications du tableau 4/K.12, colonne 2, pour le courant nominal pertinent du parafoudre.

L'intervalle entre les applications devra être établi de manière à éviter l'accumulation thermique dans le parafoudre. La valeur efficace de la tension alternative du générateur devra dépasser d'au moins 50% la tension maximale d'amorçage en continu du parafoudre à gaz.

Le courant alternatif de décharge spécifié et sa durée devront être mesurés par remplacement du parafoudre par un court-circuit. Pour les parafoudres à gaz à trois électrodes, des courants alternatifs de décharge ayant chacun la valeur spécifiée dans le tableau 4/K.12 devront être simultanément appliqués à chacune des électrodes vers l'électrode commune.

Le parafoudre à gaz devra être essayé après chaque passage du courant de décharge en alternatif pour déterminer s'il satisfait aux exigences énoncées dans le § 4.6.2.

Après le nombre spécifié d'applications de courant, le parafoudre sera essayé pour déterminer s'il satisfait aux conditions énoncées dans le § 4.6.3, après refroidissement jusqu'à la température ambiante.

5.9 *Tension transversale en régime impulsionnel* (voir le § 4.5 et la figure 6/K.12)

La durée de la tension transversale doit être mesurée pendant qu'une tension de choc, dont le front d'onde a une raideur conventionnelle de 1 kV/µs, est appliquée simultanément aux deux électrodes de ligne. Les mesures peuvent être effectuées avec un dispositif comme celui indiqué à la figure 6/K.12. L'intervalle de temps entre l'amorçage de la première électrode et celui de la seconde est spécifié au § 4.5.

6 Rayonnement

Le rayonnement émanant de toute substance radioactive utilisée pour préioniser l'espace entre électrodes doit se trouver dans les limites indiquées comme admissibles dans les règlements concernant la protection contre les radiations en vigueur dans le pays du fabricant et dans celui de l'usager. Cela s'entend aussi bien pour les parafoudres individuels que pour un lot de parafoudres (par exemple, en cas d'emballage dans un carton de transport, d'emmagasinage, etc.).

Le fournisseur de parafoudres à gaz contenant des substances radioactives devra fournir des recommandations conformes au «Règlement concernant la sécurité du transport des substances radioactives» publié par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), et à toutes les autres réglementations internationales portant sur les questions suivantes:

a) nombre maximal d'articles par paquet;

b) quantité maximale par expédition;

c) quantité maximale qui peut être emmagasinée dans un même lot;

d) toute autre condition relative à l'emmagasinage;

e) précautions et conditions de manutention;

f) procédé d'élimination.

7 Essais de tenue à l'environnement

7.1 *Robustesse des sorties*

L'usager devra spécifier, le cas échéant, un essai adéquat d'après la publication 68-2-21 (1975) de la Commission électrotechnique internationale (CEI).

7.2 *Soudabilité*

Les connexions soudables devront satisfaire aux conditions de soudabilité énoncées dans la publication 68-2-20 (1979) de la CEI, essai Ta, méthode 1.

7.3 *Résistance à la chaleur de soudage*

Les parafoudres à gaz comportant des sorties soudées devront pouvoir résister à l'essai Tb, méthode 1B de la publication 68-2-20 (1979) de la CEI. Après l'essai, le parafoudre devra être visuellement vérifié et ne présenter aucun signe de dommage et son amorçage en courant continu devra se trouver dans les limites fixées pour ce parafoudre.

7.4 *Vibration*

Un parafoudre à gaz devra pouvoir supporter sans dommage un déplacement de 0,15 mm avec une fréquence de 10 à 500 Hz indiqué dans la publication CEI 68-2-6 (1970) pendant 90 minutes. L'usager peut choisir un essai plus sévère dans le document mentionné. A la fin de l'essai, le parafoudre ne devra porter aucun signe de dommage et il devra satisfaire aux conditions de résistance d'isolement et d'amorçage en courant continu spécifiées dans les § 4.1 et 4.3.

7.5 *Essai accéléré de chaleur humide*

Un parafoudre à gaz devra pouvoir subir l'essai D, sévérité IV de la CEI 68-2-4. Après l'essai, le parafoudre devra satisfaire à la condition de résistance d'isolement spécifié dans le § 4.3.

7.6 *Etanchéité*

Un parafoudre à gaz devra pouvoir subir l'essai Qk, sévérité 600 heures, pour les légères fuites de gaz selon la publication CEI 68-2-17 (1978). L'hélium sera utilisé comme gaz d'essai. Le débit de fuite sera inférieur à 10^{-7} bar · cm^3 · s^{-1}.

Le parafoudre devra pouvoir ensuite subir l'essai Qc méthode 1, importante fuite de gaz.

7.7 *Froid*

Un parafoudre à gaz devra pouvoir subir sans dommage l'essai Aa −40 °C, durée 2 heures de la publication 68-2-1 de la CEI. A −40 °C, le parafoudre devra satisfaire aux conditions d'amorçage en continu et au choc du § 4.1.

8 Identification

8.1 *Marquage*

On inscrira sur le parafoudre, le cas échéant, des marquages visibles et permanents pour s'assurer que l'acheteur peut, par inspection, obtenir l'information suivante:

a) fabricant;

b) année de fabrication;

c) type.

L'acheteur peut spécifier les codes à utiliser pour ce marquage.

8.2 *Documentation*

Les documents seront fournis à l'acheteur pour qu'à partir des renseignements indiqués au § 8.1, il puisse établir les renseignements complémentaires suivants:

a) caractéristiques complètes indiquées dans la présente Recommandation;

b) nom de la substance radioactive utilisée dans le parafoudre ou indications qu'une telle matière n'a pas été utilisée.

9 Renseignements indiqués sur la commande

Les renseignements suivants devront être fournis par l'acheteur:

a) plan indiquant toutes les dimensions, détails concernant la finition et les sorties (y compris les numéros des électrodes et identification de l'électrode de mise à la terre);

b) tension nominale d'amorçage en courant continu choisie d'après le § 4.1.1;

c) intensité nominale choisie d'après le § 4.6.1;

d) la désignation EXT si les essais indiqués dans la colonne 4 du tableau 4/K.12 sont nécessaires;

e) exigences relatives aux conditions d'extinction prévues au § 4.2;

f) les codes de marquage nécessaires d'après le § 8.1;

g) la robustesse des sorties – essai nécessaire d'après le § 7.1;

h) conditions de destruction, le cas échéant, y compris l'état après destruction, défaillance. Voir la remarque;

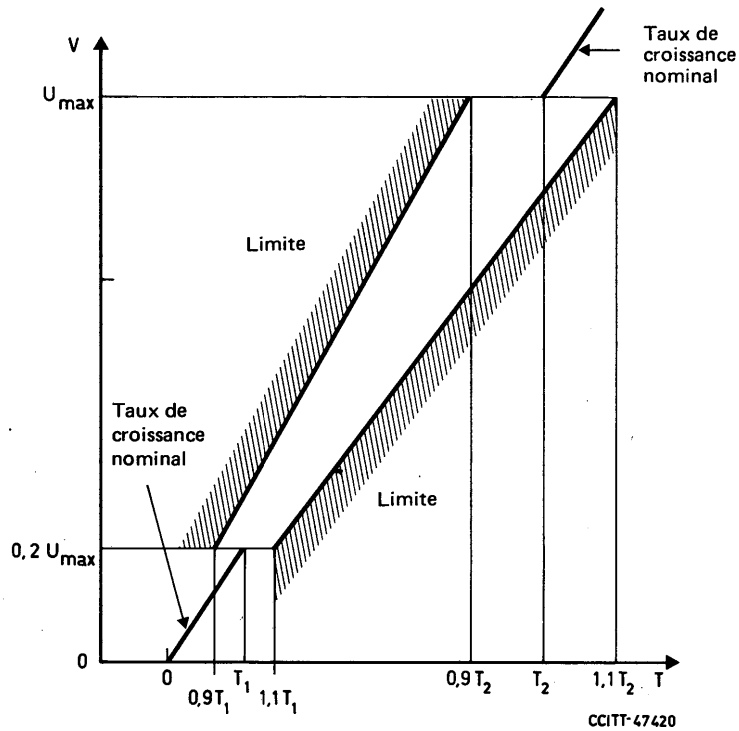
i) conditions de garantie de qualité.

Remarque – Après passage d'un courant alternatif ou impulsionnel de valeur notablement supérieure à celles figurant au § 4.6.1, le parafoudre peut être détruit, en ce sens que ses caractéristiques électriques sont profondément et définitivement modifiées. Deux situations peuvent se produire:

1) L'élément peut être considéré comme isolant et présente une rigidité diélectrique très supérieure à celle qu'il avait initialement. Il est alors dit en «circuit ouvert».

2) L'élément présente une résistance électrique limitée, généralement de faible valeur, empêchant en pratique l'exploitation normale de la liaison de télécommunications. Il est alors dit en «court-circuit». (Cette situation peut être avantageuse du point de vue de la protection des installations et de la maintenance).

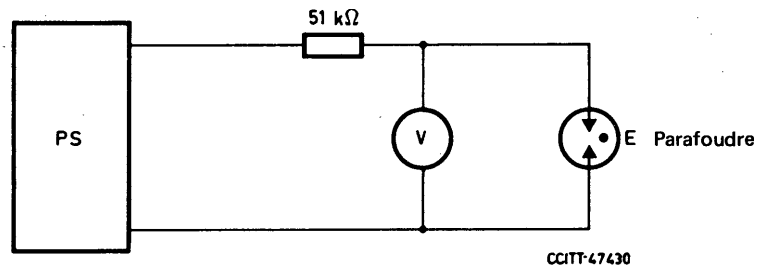
Les méthodes d'essais, les relations entre les valeurs de courant et de durées d'applications produisant une destruction ne sont pas explicitées dans la présente Recommandation, de même que l'état des éléments après destruction. Il appartiendra aux Administrations de développer ces conditions dans leurs spécifications.



Remarque – La forme d'onde de l'essai d'amorçage (avant conduction) doit se trouver dans les limites indiquées.

FIGURE 1/K.12

Forme d'onde de l'essai d'amorçage
(voir les § 4.1, 5.1 et 5.2)



PS Alimentation en énergie à tension variable

Remarque – Il conviendra de prévoir des moyens pour que le parafoudre à gaz ne s'amorce qu'une seule fois.

FIGURE 2/K.12

Circuit pour l'essai de tension continue d'amorçage
(voir les § 4.1 et 5.1)

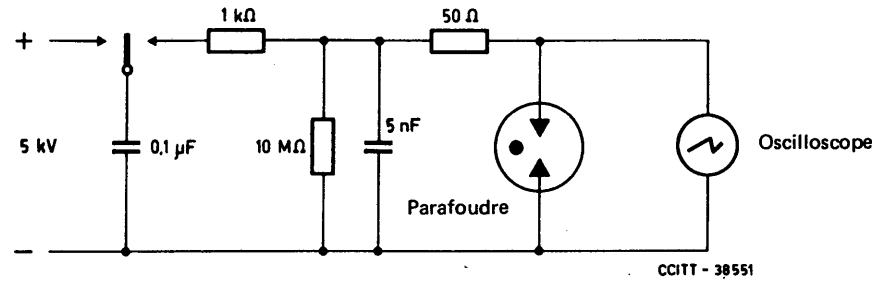
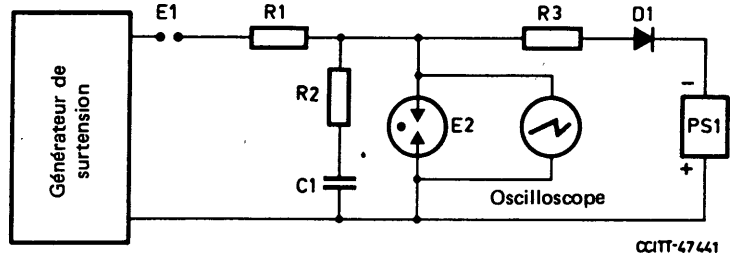


FIGURE 3/K.12

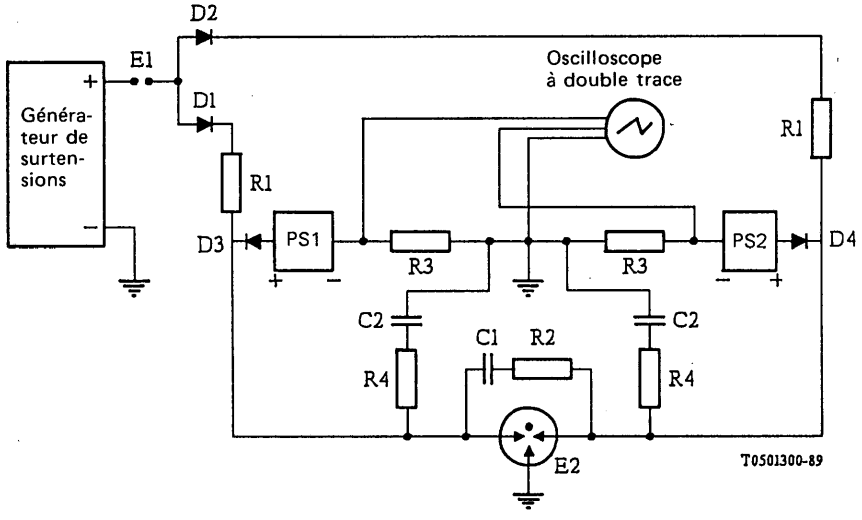
Montage d'essai produisant une tension de choc dont la forme d'onde a une raideur conventionnelle de 1 kV/µs
(voir les § 4.1 et 5.3)



PS1 Alimentation à tension constante ou pile
E1 Eclateur ou dispositif équivalent pour tension continue constante
E2 q Parafoudre à gaz
D1 Diode d'isolation ou autre dispositif d'isolation
R1 Résistance limitant le courant de choc ou réseau de forme d'onde

FIGURE 4/K.12

Circuit pour la vérification des conditions d'extinction d'un parafoudre à gaz à deux électrodes
(voir les § 4.2.1 et 5.5.1)



E1 Eclateur ou dispositif équivalent

E2 Parafoudre à gaz

PS1, PS2 Piles ou alimentations à tension continue

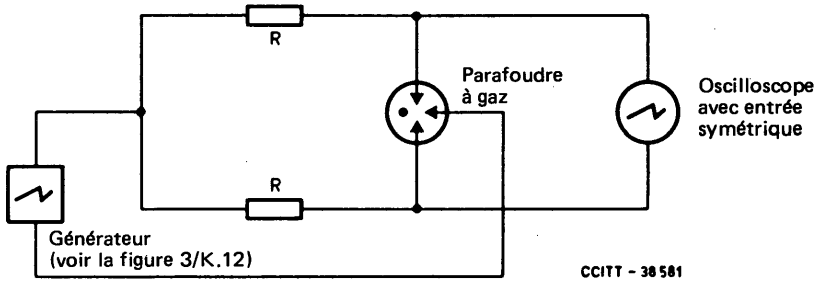
R1 Résistance limitant le courant de choc, ou réseau de forme d'onde

Remarque 1 – C2, R4 facultatif.

Remarque 2 – La polarité des diodes D1, D2, D3 et D4 doit être inversée si la polarité du générateur de courant continu et du générateur de courant de choc sont inversées.

FIGURE 5/K.12

Circuit pour la vérification des conditions d'extinction d'un parafoudre à gaz à 3 électrodes
(voir les § 4.2.2 et 5.5.2)



R = Impédance de la ligne

FIGURE 6/K.12

Circuit pour l'essai de tension transversale en régime impulsif
(voir les § 4.5 et 5.9)

APPENDICE I

à la Recommandation K.12)

Définitions de termes concernant les parafoudres à gaz

I.1 **courant d'arc**

Valeur instantanée du courant de décharge lorsque l'impédance du circuit permet le passage d'un courant qui dépasse le courant de passage du régime d'effluve au régime d'arc.

I.2 **tension d'arc**

Tension apparaissant aux bornes du parafoudre à gaz pendant le passage du courant d'arc.

I.3 **claquage**

Voir «amorçage».

I.4 **temps de rétablissement**

Temps nécessaire au parafoudre à gaz pour revenir à l'état non conducteur à la suite d'une période pendant laquelle il a été conducteur.

I.5 **conditions de destruction**

La relation entre la valeur du courant de décharge et la durée du passage de ce courant au bout de laquelle le parafoudre est détruit mécaniquement (rupture, court-circuit entre électrodes). Pour des durées comprises entre 1 microseconde et quelques millisecondes, il s'agit du courant de choc de décharge et pour les durées supérieures à 0,1 s, il s'agit du courant alternatif de décharge.

I.6 **courant de décharge**

Courant qui passe à travers un parafoudre à gaz lorsque l'amorçage se produit.

I.7 **courant alternatif de décharge**

Valeur efficace d'un courant alternatif à peu près sinusoïdal passant par le parafoudre à gaz.

I.8 **courant de choc de décharge**

Valeur de crête du courant de choc qui parcourt le parafoudre à gaz.

I.9 **tension de décharge**

Tension qui apparaît entre les bornes d'un parafoudre à gaz pendant le passage d'un courant de décharge. Aussi désigné «tension résiduelle».

I.10 **caractéristique de la tension de décharge en fonction du courant**

Variation des valeurs de crête de la tension de décharge par rapport au courant de décharge.

I.11 **courant résiduel**

Courant provenant du générateur connecté qui passe à travers un parafoudre à gaz pendant et après le passage du courant de décharge.

I.12 **parafoudre à gaz**

Un ou plusieurs éclateurs contenus dans un milieu de décharge fermé, autre que l'air à la pression atmosphérique, destinés à protéger les appareils ou le personnel, ou les deux, contre les surtensions. Egalement appelé «protecteur à gaz contre les surtensions».

I.13 **courant d'effluve**

Courant qui apparaît après l'amorçage lorsque l'impédance du circuit limite le courant de décharge à une valeur inférieure au courant de passage du régime d'effluve au régime d'arc.

I.14 **courant de passage de régime d'effluve au régime d'arc**

Courant nécessaire pour que le parafoudre à gaz passe du régime d'effluve au régime d'arc.

I.15 **tension d'effluve**

Chute de tension apparaissant entre les bornes du parafoudre à gaz lors du passage du courant d'effluve.

I.16 **tension d'extinction**

Tension la plus élevée en courant continu entre les bornes d'un parafoudre à gaz et au-dessous de laquelle on peut s'attendre à ce que le parafoudre se libère et retourne à l'état haute impédance après le passage d'une impulsion, dans des conditions de circuit spécifiées.

I.17 **courbe de tension d'amorçage au choc en fonction du temps**

Courbe qui représente la tension d'amorçage au choc en fonction du temps jusqu'à l'amorçage.

I.18 **forme d'onde de choc**

Une forme d'onde de choc désignée par x/y a un temps de montée de x µs et un temps de descente jusqu'à mi-valeur de y µs, conformément aux normes spécifiées dans la publication n° 60 de la CEI.

I.19 **courant alternatif de décharge nominal**

Pour une fréquence de 15 à 62 Hz, courant alternatif de décharge pour lequel le parafoudre est dimensionné, en tenant compte d'un temps de passage bien défini pour ce courant.

I.20 **tension continue nominale d'amorçage**

Valeur de la tension spécifiée par le fabricant pour désigner le parafoudre (pour le classement des types). Elle sert à indiquer la gamme d'applications du parafoudre par rapport aux conditions de service de l'installation à protéger. Les tolérances sur la tension continue d'amorçage sont aussi rapportées à cette valeur nominale.

I.21 **courant nominal de choc de décharge**

Valeur de crête du courant de choc pour laquelle le parafoudre à gaz raréfié est dimensionné, le temps de passage étant bien défini par la forme d'onde du courant.

I.22 **tension résiduelle**

Voir «tension de décharge».

I.23 **amorçage**

Disruption de l'espace entre les électrodes d'un parafoudre à gaz; est aussi appelée «claquage».

I.24 **tension d'amorçage**

Valeur de la tension qui provoque un amorçage lorsqu'elle est appliquée aux bornes d'un parafoudre à gaz.

I.25 **tension alternative d'amorçage**

Valeur efficace minimale de la tension ayant une fréquence comprise entre 15 Hz et 62 Hz et qui provoque un amorçage.

I.26 **tension continue d'amorçage**

Tension à laquelle le parafoudre à gaz amorce quand on lui applique une tension continue qui augmente lentement.

I.27 **tension d'amorçage au choc**

Tension la plus élevée qui apparaît aux bornes du parafoudre entre le moment où on lui applique une onde de choc de forme donnée et le moment où le courant commence à passer.

I.28 **tension transversale**

Pour un parafoudre comportant plusieurs éclateurs, différence de tension de décharge des éclateurs assignés aux deux conducteurs d'un circuit de télécommunications pendant le passage du courant de décharge.

TENSIONS INDUITES DANS LES CÂBLES À CONDUCTEURS ISOLÉS AU MOYEN DE MATIÈRE PLASTIQUE

(Genève, 1972)

D'après [1], on admet, en cas de défaut sur une ligne électrique voisine d'un câble de télécommunications dont tous les circuits sont terminés sur des translateurs, une force électromotrice longitudinale induite dans les conducteurs de ce câble au plus égale à 60% de la tension utilisée en vue de vérifier la rigidité diélectrique du câble fixée dans ses spécifications, lorsqu'on veut vérifier la résistance au claquage des conducteurs du câble par rapport à l'enveloppe. Cette valeur est en général de 1200 V_{eff} lorsque les conducteurs sont isolés au papier (60% de 2000 V). Les *Directives* ne contiennent aucune indication sur la fréquence de l'apparition de cette tension ni sur la durée admissible pour son existence. Pour que la tension dont il s'agit ne constitue pas un danger pour le personnel chargé de la maintenance des lignes, il faut observer les dispositions concernant la sécurité du personnel, qui figurent en [2].

On peut donner aux câbles à conducteurs isolés au moyen de matière plastique une rigidité diélectrique bien supérieure à celle des câbles isolés au papier. De plus, cette rigidité se conserve après les efforts mécaniques dus à la pose du câble. On ne doit pas avoir à redouter de claquage de l'isolant entre les conducteurs et l'enveloppe métallique en cas de f.é.m. induites lorsque celles-ci restent nettement inférieures à la tension de claquage du câble. On obtiendra une marge de sécurité suffisante en limitant ces tensions induites à une valeur égale à 60% de la tension fixée dans les spécifications et utilisée en vue de vérifier la rigidité diélectrique du câble, cette tension étant évidemment fonction de la tension de claquage.

Moyennant une faible dépense supplémentaire, on peut exécuter des manchons et des joints de telle façon qu'ils résistent à une tension égale à celle utilisée pour vérifier l'isolation entre les conducteurs du câble et son enveloppe métallique. Bien entendu, les translateurs et les dispositifs terminaux devront être protégés lorsque leur rigidité diélectrique ne répondra pas aux conditions exigées.

Si la ligne électrique qui est à l'origine des f.é.m. longitudinales est une ligne électrique à grande sécurité de service selon la définition des *Directives*, il y a une très faible probabilité pour que du personnel soit précisément en contact avec une ligne de télécommunications au moment où une telle tension de courte durée apparaît dans le câble de télécommunications. Le risque de danger pour le personnel est très réduit lorsque l'on considère en outre les dispositions à prendre pour la sécurité du personnel chargé de la maintenance des lignes téléphoniques susceptibles d'être portées à une tension élevée sous l'effet de lignes électriques.

Dans le cas où les circuits d'un câble ne sont pas terminés sur des translateurs, les conditions ci-dessus s'appliquent pourvu que l'on empêche les surtensions d'atteindre les équipements de télécommunications grâce à l'amorçage de parafoudres protecteurs installés aux extrémités des circuits.

Pour ces motifs, le CCITT recommande à l'unanimité:

1 Il est possible de construire des câbles de télécommunications à conducteurs isolés entre eux ainsi que de l'enveloppe métallique par des matières plastiques à haute rigidité diélectrique. Sur de tels câbles, en cas de défaut affectant une ligne d'énergie électrique voisine, on peut admettre une f.é.m. longitudinale induite qui ne dépasse pas 60% de la valeur de la tension d'essai appliquée entre les conducteurs et l'enveloppe métallique du câble pour en vérifier la rigidité diélectrique (cette tension d'essai, fixée dans les spécifications du câble, étant fonction de la tension de claquage) lorsque toutes les conditions suivantes sont remplies:

a) les circuits de ces câbles sont terminés à leurs extrémités et aux points de dérivation sur des translateurs ou munis de parafoudres;

b) les équipements, les joints et les têtes de câbles reliés aux conducteurs doivent être réalisés de façon qu'ils résistent à la même tension que celle qui est utilisée pour vérifier l'isolation entre les conducteurs et l'enveloppe métallique du câble, à cela près que les translateurs mentionnés sous a) doivent être protégés par des parafoudres lorsque leur rigidité diélectrique ne répond pas aux conditions exigées;

c) la ligne électrique inductrice doit être une ligne électrique à grande sécurité de service, selon la définition donnée en [1];

d) le personnel qui travaille sur des câbles de télécommunications doit observer les dispositions à prendre pour la sécurité du personnel indiquées en [2].

2 Si les circuits d'un tel câble sont reliés aux équipements de télécommunications directement, c'est-à-dire sans insertion de translateurs, s'ils ne sont pas munis de parafoudres et si la condition énoncée à l'alinéa c) du § 1 ci-dessus est respectée, on admet une f.é.m. longitudinale de 650 V.

Références

[1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, vol. VI, UIT, Genève, 1988.

[2] *Ibid.*, vol. VII.

Recommandation K.14

EMPLOI D'UN ÉCRAN MÉTALLIQUE SUR LES CÂBLES À REVÊTEMENT EN MATIÈRE PLASTIQUE

(Genève, 1972; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984)

Un revêtement métallique procure à un câble un écran électrostatique et, jusqu'à un certain degré, un écran magnétique; un revêtement en matière plastique ne possède aucune de ces propriétés. Certains câbles à revêtement de plastique, par exemple les câbles isolés au papier, comportent un écran métallique d'étanchéité. Un écran métallique de ce genre, généralement réalisé sous forme d'un ruban d'aluminium posé dans le sens de la longueur, offre les mêmes propriétés d'écran qu'une enveloppe de métal non ferreux ayant la même conductivité longitudinale. Cependant, le ruban doit être connecté aux systèmes de prise de terre des centraux téléphoniques, à ses extrémités et/ou à des points de mise à la terre convenablement placés, comme par exemple à des gaines métalliques de câbles, le long de son trajet. Il importe en outre que, aux points de soudure du câble, la continuité du ruban soit assurée par des connexions de très faible résistance. L'effet d'écran procuré par le ruban peut être faible à 50 Hz, mais il peut être notable à des fréquences sur lesquelles se produisent des bruits perturbateurs. La présence d'un écran sur un câble réduit aussi l'induction provenant de composantes haute fréquence de courants transitoires causés par la commutation de lignes de transport d'énergie ou par des décharges orageuses; de telles tensions induites transitoires sont d'autant plus redoutables qu'on emploie davantage de matériel de télécommunications miniaturisé à très faible capacité thermique.

Se fondant sur les considérations ci-dessus et sur l'expérience acquise en matière d'utilisation de câbles à revêtement en matière plastique,

le CCITT recommande:

1 Etant donné que les câbles à revêtement en matière plastique et non pourvus d'écran donnent satisfaction pour le raccordement des abonnés aux centraux, on peut les utiliser dans les endroits où il n'y a pas de chemins de fer électriques fonctionnant en courant alternatif. Il faut cependant toujours tenir compte du risque de perturbation que l'on peut observer au voisinage de chemins de fer électriques et spécialement de ceux dont les locomotives sont équipées de dispositifs commandés par des thyristors. Il faut également tenir compte des éventuelles perturbations par les émetteurs radioélectriques qui travaillent dans la même gamme de fréquences que les circuits acheminés sur le câble à revêtement en matière plastique.

2 Les câbles interurbains et de jonction devraient être munis d'un écran qui puisse avoir la forme d'un ruban d'étanchéité en aluminium. Des câbles munis d'un écran, dont la conductance est de l'ordre de la moitié de celle d'un câble sous plomb dont l'âme a le même diamètre, ont donné complète satisfaction là où il n'y a pas de risques graves d'induction magnétique.

3 Si un câble à revêtement en matière plastique est muni d'un écran de conductance équivalant à celle d'un câble sous plomb classique, on constate que, en présence d'induction, ce câble peut être utilisé exactement dans les mêmes circonstances que le câble sous plomb.

4 Si l'effet produit par l'écran spécifié aux § 2 et 3 n'est pas suffisant pour limiter à des valeurs admissibles l'induction à la fréquence du secteur ou à ses harmoniques, par les lignes électriques ou les voies ferrées électrifiées avoisinantes, on pourra améliorer cet effet réducteur:

4.1 en augmentant, si besoin est, l'inductance du revêtement métallique au moyen d'un enroulement comportant des rubans d'acier;

4.2 en augmentant la conductance de l'écran existant en insérant sous cet écran des rubans ou des fils métalliques supplémentaires.

Il peut être nécessaire aussi d'améliorer l'effet réducteur s'il y a un risque de bruit perturbateur au voisinage de voies ferrées électrifiées équipées de dispositifs commandés par des thyristors.

5 L'écran doit être connecté aux systèmes de prise de terre des centres de télécommunications. En ce qui concerne les câbles d'abonnés, l'extrémité éloignée doit être reliée à une prise de terre adéquate. Il importe en outre que, aux joints du câble, la continuité du ruban soit assurée par des connexions de très faible résistance.

6 Etant donné l'augmentation du nombre des installations électriques et l'intensité des harmoniques du fait des techniques nouvelles, il faut s'attendre à une aggravation des effets d'induction. A cet égard, il peut se révéler extrêmement utile d'améliorer l'effet réducteur des câbles à revêtement en matière plastique comme indiqué ci-dessus.

7 Si l'on est amené à poser des câbles dans des zones qui risquent de recevoir des décharges atmosphériques, l'attention est attirée sur l'importance de l'écran métallique et de sa construction pour la protection des câbles contre la foudre, de même que sur l'importance des interconnexions de l'écran à d'autres structures [1].

8 Facteur de réduction dû à l'écran

Pour tous les types de câble et quel que soit le revêtement extérieur en matière plastique, les développements suivants permettent une évaluation en général suffisante de leur facteur réducteur à la fréquence fondamentale. Ils montrent en particulier comment ce facteur à utiliser en pratique est fonction des conditions d'utilisation.

8.1 *Considérations générales*

L'effet produit par l'écran métallique du câble dépend essentiellement:

- de la fréquence de la f.é.m. induite. Ainsi, la limitation de cette f.é.m. à la fréquence fondamentale (16 2/3 Hz, 50 Hz, 60 Hz) est un élément déterminant pour le choix du câble, si l'on se place du point de vue sécurité du personnel et des installations. Par contre, l'atténuation aux fréquences plus élevées est aussi à considérer lors de la recherche d'une protection des équipements contre le brouillage. Une bonne réduction de la f.é.m. induite à la fréquence fondamentale peut être suffisante pour réaliser une protection complète;
- du niveau de la f.é.m. linéique induite si l'écran est composé de matériaux ferromagnétiques. L'effet réducteur d'un tel câble est optimal pour une valeur donnée de la f.é.m. linéique induite, ainsi un câble conçu pour la réduction de fortes f.é.m. linéiques induites, peut n'avoir aucune efficacité pratique pour la protection contre de faibles f.é.m. linéiques induites. La constitution de l'écran doit être adaptée au niveau de la f.é.m. linéique induite;
- de la qualité de sa mise à la terre. L'effet réducteur est déterminé par la valeur de l'intensité circulant dans l'écran métallique. La valeur de la résistance offerte par les parties permettant l'échange de courant entre écran et terre est donc déterminante. Dans le cas où la structure du câble comporte un revêtement extérieur plastique isolant, les mises à la terre de l'enveloppe doivent être ponctuelles, si elles sont réalisées aux seules extrémités elles doivent présenter une résistance de faible valeur (le revêtement doit être de préférence mis à la terre à intervalles réguliers tout au long de la ligne), dans le cas où cette structure est recouverte d'un revêtement plastique conducteur, la mise à la terre est, en pratique, effectuée de manière continue;
- de la longueur du tronçon de la liaison à protéger soumis à l'induction. L'effet réducteur obtenu est d'autant meilleur que le tronçon est long. La notion de longueur est ici relative à la qualité des mises à la terre à réaliser.

8.1.1 *Le facteur réducteur* (Pour la signification des symboles employés, voir l'appendice I)

Les *Directives* définissent les facteurs réducteurs suivants dont l'utilisation est la plus fréquente:

- Le facteur réducteur nominal k_n (voir la figure 1/K.14); il est facilement mesurable en laboratoire et permet de qualifier l'efficacité de l'effet réducteur.

$$k_n = \left| \frac{U_{FM}}{E} \right| = \left| \frac{Z_i^E}{Z_e^E + Z_S} \right|$$

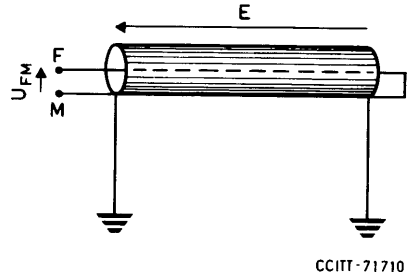


FIGURE 1/K.14

– Le facteur réducteur relatif à la terre distante $k_{ff'}$, (voir la figure 2/K.14). Ce facteur est à considérer, si l'on cherche à protéger une liaison contre le danger et le brouillage, les conducteurs des paires d'abonnés étant reliés, aux extrémités, à une terre neutre, à travers certains organes des équipements, en l'absence de translateurs.

$$k_{ff'} = \left| \frac{U_{FS}}{E} \right|$$

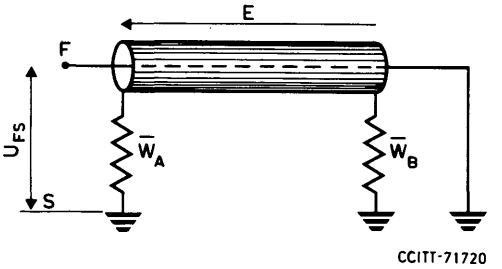


FIGURE 2/K.14

– Le facteur réducteur relatif à l'enveloppe k_{fm} (voir la figure 3/K.14). Ce facteur doit être considéré, dans le cas où les seules terres accessibles sont celles assurant la mise à la terre de l'écran. Les câbles reliant des centres de télécommunications entre eux sont concernés, leur écran étant relié aux prises de terre des centres.

$$k_{fm} = \left| \frac{U_{FM}}{E} \right|$$

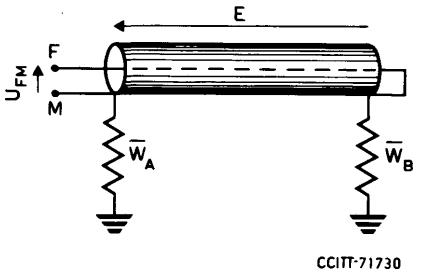


FIGURE 3/K.14

Les *Directives* contiennent des explications et des formules très détaillées permettant des calculs précis de ces coefficients dans les situations les plus variées. Néanmoins, et de façon complémentaire, l'évaluation de ces facteurs réducteurs peut être effectuée à partir d'expressions simples donnant une précision bien souvent suffisante. Ces expressions sont différentes suivant que le revêtement extérieur du câble est isolant ou conducteur, et font appel à des constantes ou des variables dont la liste est rappelée dans l'appendice I.

8.2 *Câbles à revêtement externe isolant*

Le revêtement extérieur de l'enveloppe métallique du câble est réalisé dans une matière plastique isolante. Pour obtenir un effet réducteur, cette enveloppe doit être mise à la terre à ses extrémités et éventuellement en d'autres points intermédiaires.

8.2.1 *Calcul du facteur réducteur*

Le facteur réducteur peut alors se calculer à l'aide des expressions (voir également les *Directives*, vol. II):

$$k_{ff'} = \left| \frac{Z_i^E L + \overline{W}_A + \overline{W}_B}{Z_e^E L + Z_s L + \overline{W}_A + \overline{W}_B} \right| \qquad (8\text{-}1)$$

$$k_{fm} = \left| \frac{Z_i^E L}{Z_e^E L + Z_s L + \overline{W}_A + \overline{W}_B} \right| \qquad (8\text{-}2)$$

En toute rigueur, l'utilisation de ces expressions suppose une mise à la terre de l'enveloppe aux seules extrémités. Cependant, on peut considérer que pour un rapprochement comportant peu de variations, seules les mises à la terre proches des extrémités ont une influence sur l'effet réducteur. Cette expression permet ainsi une bonne approximation de l'effet réducteur dans le cas de mises à la terre intermédiaires.

Généralement les mises à la terre intermédiaires ont pour effet d'améliorer $k_{ff'}$, mais par contre elles dégradent k_{fm}.

8.2.2 *Influence de la longueur*

Quand l'obtention d'un facteur réducteur $k_{ff'}$ proche de la valeur nominale k_n nécessite des mises à la terre de l'enveloppe ayant une valeur ohmique telle qu'elle est alors très difficile à obtenir, on peut considérer que la liaison est «courte». Dans l'autre cas, elle sera considérée comme «longue».

Remarque – Par «liaison», on entend la longueur de câble effectivement exposée à une induction.

8.2.2.1 *Liaisons «longues»*

L'examen des expressions (8-1) et (8-2) montre que pour des liaisons de grande longueur, les facteurs réducteurs $k_{ff'}$ et k_{fm} sont proches de k_n. Ceci est vrai pour des longueurs supérieures à environ

$$10 \frac{\overline{W_A} + \overline{W_B}}{Z_i^E}$$

Dans ce cas, l'utilisation d'un câble non armé (Z_e^E proche de Z_i^E) est possible. D'autre part, plus la liaison est longue plus la valeur ohmique des mises à la terre de l'enveloppe peut être importante.

Le choix du câble peut ne pas devoir en tenir compte, et peut être effectué d'après la courbe des valeurs du facteur réducteur nominal k_n pour les diverses valeurs de f.é.m. induite, puisque l'efficacité obtenue sera à peu près la même.

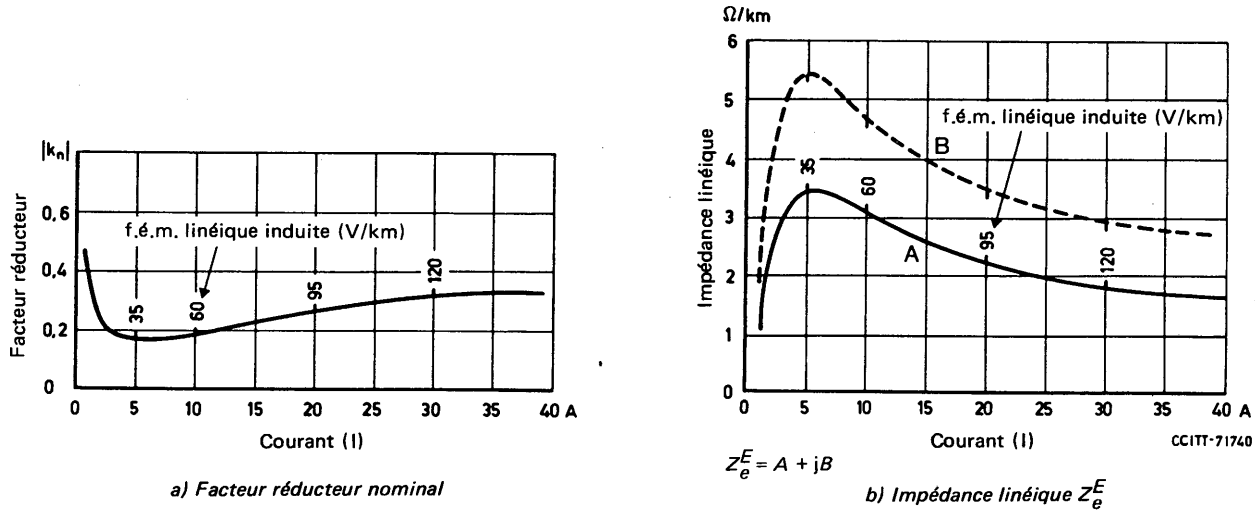
8.2.2.2 *Liaisons «courtes»*

Dans ce cas, la valeur du terme $Z_i^E L$ est du même ordre de grandeur que la somme des valeurs extrêmes des impédances de prise de terre $\overline{W_A} + \overline{W_B}$. Les facteurs réducteurs $k_{ff'}$ et k_{fm} peuvent être calculés à l'aide des équations (8-1) et (8-2).

Pour protéger de telles liaisons, l'utilisation d'un câble armé est nécessaire, l'effet réducteur étant alors assuré grâce à l'augmentation de la valeur de l'impédance Z_e^E obtenue par utilisation d'un matériau à forte perméabilité magnétique pour constituer la partie extérieure de l'enveloppe.

L'estimation de $k_{ff'}$ et de k_{fm} par les expressions (8-1) et (8-2) nécessite la connaissance de la courbe des variations de Z_e^E en fonction de l'intensité traversant l'enveloppe (voir la figure 4/K.14).

Le calcul nécessite alors quelques approximations successives simples pour évaluer Z_e^E après avoir choisi une valeur de $\overline{W_A}$ et $\overline{W_B}$ correspondant à des mises à la terre raisonnablement réalisables compte tenu de la résistivité du sol aux extrémités de la liaison.



a) Facteur réducteur nominal

b) Impédance linéique Z_e^E

FIGURE 4/K.14

Paramètres du câble – Exemple pour un câble protégeant des liaisons contre de faibles f.é.m. linéiques induites généralement créées par des lignes de traction électriques

8.3 *Câbles à revêtement externe conducteur*

Le revêtement extérieur de l'enveloppe métallique du câble est réalisé dans une matière plastique conductrice assurant un contact électrique entre cette enveloppe et la terre environnant le câble.

La réalisation de connexions ponctuelles de l'enveloppe à la terre, ailleurs qu'aux extrémités, ne se justifiera pas si la résistivité de la matière conductrice est proche ou meilleure que celle du sol environnant (des valeurs de l'ordre de 50 Ω × m sont aisément obtenues).

L'intensité traversant l'enveloppe varie le long de la liaison, particulièrement au voisinage des extrémités et garde dans la partie centrale une valeur très proche de $I_M = e/(Z_e^E + Z_s)$ correspondant à l'intensité qui circulerait dans l'enveloppe si elle était parfaitement mise à la terre (prises de terre de valeur ohmique nulle).

Ainsi, pour calculer le facteur réducteur $k_{ff'}$ peut-on admettre l'équivalence qui consiste à remplacer ce câble par un câble dont l'enveloppe est à chaque extrémité connectée à la terre par des prises de terre de résistance nulle et dont la longueur est égale à celle de la liaison L diminuée de chaque côté d'une longueur l telle que $|P|\, l = 1$.

Ceci revient à considérer que le câble possède un facteur réducteur nominal sur une longueur plus courte égale à: $L - 2l$.

L'expression suivante permet alors d'évaluer $k_{ff'}$ approximativement:

$$k_{ff'} = k_n \left(1 - \frac{2l}{L}\right) + \frac{2l}{L} \tag{8-3}$$

De la même façon k_{fm} peut être exprimé par:

$$k_{fm} = k_n \left(1 - \frac{2l}{L}\right)$$

Dans le cas où les mises à la terre de l'enveloppe métallique sont vraiment excellentes, l'équation (8-3) ne s'applique pas. La liaison est alors considérée comme «longue» et $k_{ff'} = k_{fm} = k_n$.

Les paramètres nécessaires au calcul sont ceux du câble (Z_e^E, Z_i^E) la f.é.m. linéique induite et l'admittance linéique Y de l'enveloppe par rapport à la terre, que l'on peut choisir suivant la résistivité des sols entre 1 S et 10 S (choisir 1 S si l'on ignore tout de la qualité de la mise à la terre).

8.3.1 *Influence de la longueur*

Les mêmes remarques que celles concernant les câbles à gaine isolante s'appliquent ici.

8.3.2 *Liaisons «longues»*

Le facteur réducteur est proche de k_n. Le câble peut être armé ou non, selon le résultat recherché.

8.3.3 *Liaisons «courtes»*

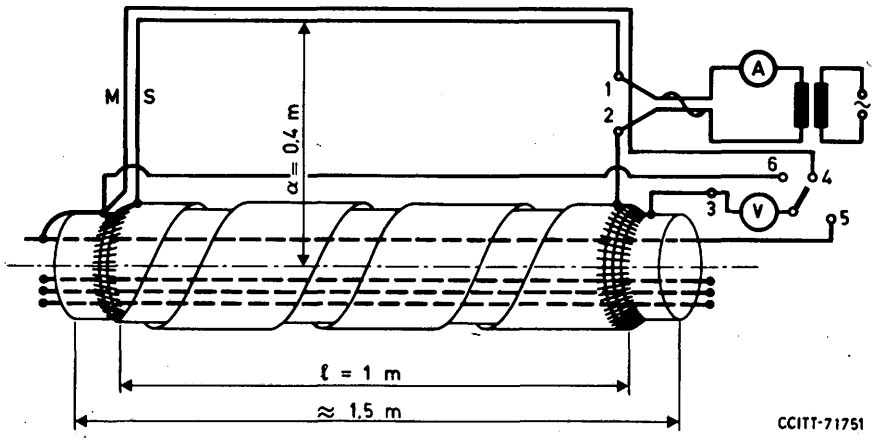
Le facteur réducteur $k_{ff'}$ peut être estimé à l'aide de l'expression (8-3). Le câble doit être armé dans la plupart des cas.

8.4 *Connaissance des paramètres du câble*

Si le coefficient réducteur nominal et l'impédance linéique Z_i^E peuvent être mesurés à l'aide du montage contenu dans les *Directives* (tome IX, § 3.3.3.4), la connaissance de l'impédance linéique Z_e^E peut être basée:

- soit sur un calcul effectué à partir du diagramme vectoriel, tracé à l'aide des paramètres I, U_{oi} et U_{oe} mesurés;
- soit sur la mesure de la tension U_{oe} apparaissant entre l'extrémité d'un fil conducteur plaqué à l'extérieur de l'enveloppe et le point de référence 3, l'autre extrémité de ce fil étant reliée à l'enveloppe (voir la figure 5/K.14).

Pour certains câbles dont l'écran se compose de plusieurs couches non ferromagnétiques à haute conductivité, la mesure de ces paramètres à l'aide d'un montage de mesure de type coaxial peut être plus adaptée.



$$k_n = \frac{U_{oi}}{U_{oe}} = \frac{U_{53}}{U_{43}}$$

$$Z_i^E = \frac{U_{oi}}{I \cdot l} = \frac{U_{53}}{I \cdot l}$$

$$Z_e^E = \frac{U_{oe}}{I \cdot l} = \frac{U_{63}}{I \cdot l}$$

FIGURE 5/K.14

Mesure des paramètres du câble

APPENDICE I

(à la Recommandation K.14)

Symboles des grandeurs considérées dans la Recommandation K.14

Z_i^E : Impédance linéique interne avec retour externe. Sa valeur est proche, pour les fréquences industrielles, de la résistance linéique pour le courant continu.

Z_e^E : Impédance linéique externe avec retour externe.

Z_s : Impédance linéique de retour par le sol.

Y : Admittance linéique du circuit «enveloppe-terre».

P : Constante de propagation du circuit «enveloppe-terre».

K : Impédance caractéristique du circuit «enveloppe-terre».

$\overline{W_A}$, $\overline{W_B}$: Impédance des prises de terre aux extrémités de l'enveloppe.

L : Longueur de la liaison exposée à l'induction.

e : f.é.m. linéique induite.

E : f.é.m. totale induite.

I : Intensité traversant l'enveloppe.

Référence

[1] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*, chapitre 4, § 2.1, UIT, Genève, 1974, 1978.

PROTECTION DES INSTALLATIONS DE TÉLÉALIMENTATION ET DES RÉPÉTEURS DE LIGNE CONTRE LES COUPS DE FOUDRE ET LES PERTURBATIONS DUES AUX LIGNES ÉLECTRIQUES VOISINES

(Genève, 1972)

Avis préliminaire

Afin de réduire les effets des perturbations d'origine extérieure sur le fonctionnement de la téléalimentation des répéteurs, le CCITT recommande que, chaque fois que possible, le système de téléalimentation des répéteurs soit établi de sorte que le circuit dans lequel circulent les courants de téléalimentation, compte tenu des organes qui lui sont connectés, reste symétrique par rapport à l'enveloppe et à la terre et qu'il ne présente pas de trajet à faible impédance pour les courants longitudinaux.

Introduction

La présence de composants ne pouvant supporter que des surtensions modérées, en particulier d'éléments semi-conducteurs (transistors, etc.) dans les équipements de télécommunications, oblige à prendre des mesures de protection contre les surtensions qui peuvent apparaître à leurs bornes, et cela même si les surtensions ne dépassent que de peu les tensions de service, car elles sont encore capables de perturber le fonctionnement de ces éléments ou même de provoquer leur destruction.

Outre cela, le fonctionnement des liaisons comportant des répéteurs peut être perturbé par les forces électromotrices induites par des lignes électriques, la perturbation étant fonction du mode d'exploitation de ces lignes électriques et pouvant exister même en l'absence de tout défaut sur lesdites lignes.

Les composants, et en particulier les éléments semi-conducteurs des appareils qui sont reliés directement aux conducteurs des lignes de télécommunications, risquent d'être endommagés, étant donné que ces conducteurs, qu'ils soient en câbles ou en lignes aériennes, sont exposés aux surtensions dues aux perturbations extérieures, comme, par exemple, l'induction magnétique créée par des lignes électriques ou par les décharges atmosphériques.

Les répéteurs insérés sur les lignes de télécommunications font partie de cette catégorie d'équipements. Comme la téléalimentation se fait par les conducteurs en câbles ou en lignes aériennes qui sont utilisés pour la transmission, les surtensions peuvent parvenir directement aux bornes des éléments semi-conducteurs et endommager ceux-ci, à moins qu'on n'ait prévu des dispositifs de protection ou une conception appropriée des circuits qui limitent les surtensions aux points sensibles à des valeurs admissibles ou qui en empêchent l'apparition.

Les mesures de protection à prendre dépendent en partie:

- de la valeur des f.é.m. qui peuvent se produire;
- de la constitution de la ligne, surtout s'il s'agit de paires en câbles;
- des dispositions prises en ce qui concerne le conducteur extérieur des paires coaxiales par rapport à l'enveloppe métallique du câble (potentiel flottant ou mise à la terre);
- de la nature de la téléalimentation (courant continu ou courant alternatif).

Si les surtensions apparaissant sur les conducteurs utilisés pour la téléalimentation sont dues à l'induction magnétique créée par des lignes électriques voisines, on peut commencer par déterminer leurs valeurs à l'aide des méthodes de calcul indiquées dans les *Directives*. En vue d'établir les mesures de protection requises, des calculs supplémentaires sont nécessaires.

Si les surtensions sont dues aux décharges atmosphériques, le calcul de leurs valeurs ne donne que des résultats approximatifs. Les protections prévues doivent donc être essayées dans l'appareil concerné et dans des conditions qui se rapprochent le plus possible des conditions réelles.

Les mesures recommandées ci-dessous répondent aux exigences énoncées ci-dessus. Ces mesures ne prétendent pas être complètes, étant donné que la technique évolue encore; elles doivent cependant procurer au fabricant et à l'utilisateur de telles installations un degré élevé de protection.

1 Méthodes de calcul

1.1 En principe, les *Directives* [1] permettent le calcul de la f.é.m. longitudinale induite dans le circuit de téléalimentation. La méthode de calcul est valable aussi bien dans ces conditions de fonctionnement normal qu'en cas de défaut sur la ligne électrique.

1.2 Pour le calcul supplémentaire des tensions et courants induits dans une paire coaxiale, on partira de la f.é.m. longitudinale calculée d'après les indications données dans le § 1.1. Pour ce calcul, il est recommandé de se référer à la Recommandation K.16. (Voir également la référence [2].)

1.3 Pour l'évaluation des tensions et courants (valeur de crête des impulsions de courte durée) qui peuvent apparaître dans les circuits de téléalimentation à la suite des décharges atmosphériques, il est recommandé de consulter le manuel cité en [3]. (Voir également la publication mentionnée en [4].)

2 Valeurs limites des surtensions

2.1 *Tensions longitudinales provoquées par l'induction magnétique*

En principe, les valeurs limites des tensions longitudinales induites indiquées en [5] ne doivent pas être dépassées si l'on n'est pas certain que le matériel (câbles, conducteurs, équipements) est capable de supporter des tensions supérieures. Des limites plus élevées peuvent cependant être admises si un examen préalable de la résistance à la rupture diélectrique de l'isolation des conducteurs et des équipements qui leur sont reliés indique qu'il n'existe aucun risque de claquage [5].

Si l'équipement de téléalimentation porte en permanence le conducteur à un potentiel élevé par rapport à l'enveloppe métallique du câble ou par rapport à la terre, il faut tenir compte du fait que la tension induite se superpose à la tension de téléalimentation [5].

2.2 *Surtensions provoquées par des décharges atmosphériques*

Les valeurs limites admissibles des tensions de choc dépendent en premier lieu de la rigidité diélectrique de l'isolant des conducteurs et des équipements qui leur sont connectés, à moins que des mesures supplémentaires ne soient prises (par exemple, dans les installations) pour limiter les surtensions à des valeurs inférieures aux tensions de claquage. Les limites admissibles aux bornes des appareils comportant des éléments semi-conducteurs dépendent des caractéristiques de ces éléments.

3 Mesures de protection

3.1 *Protection contre les surtensions*

Les dispositifs de protection devraient être conçus de manière à remplir leur rôle quelle que soit l'origine des surtensions (induction magnétique, décharges atmosphériques, etc.).

3.1.1 *Protection des conducteurs en câbles*

Si les valeurs limites indiquées aux § 2.1 et 2.2 sont dépassées, il est recommandé d'appliquer des mesures de protection appropriées. Par exemple, la rigidité diélectrique de l'isolation peut être augmentée quand on réalise de nouvelles installations. Il est également possible d'utiliser des câbles avec un facteur réducteur amélioré. En outre, les tensions peuvent être limitées par des parafoudres ou par d'autres dispositifs limiteurs de tension. Dans le dernier cas, il faut veiller à ce que le parafoudre cesse de fonctionner après la disparition de la surtension et à ce que le conducteur d'alimentation soit de nouveau en état de service; d'autres mesures de protection ne sont pas exclues.

Dans les câbles composites dont certaines paires sont utilisées pour la téléalimentation, il est recommandé d'harmoniser les mesures de protection pour tous les conducteurs de manière qu'il ne se produise pas d'effets défavorables sur l'ensemble du câble.

3.1.2 *Protection des répéteurs*

Une protection doit être prévue aussi bien à l'entrée et à la sortie du répéteur que sur son circuit de téléalimentation.

Il est recommandé d'incorporer aux répéteurs utilisant des composants à état solide, dès leur fabrication, des protections qui auront pour effet d'empêcher les surtensions dangereuses d'arriver aux bornes des composants sensibles, par exemple, les éléments semi-conducteurs.

Si l'on utilise des parafoudres pour limiter les surtensions, il faut faire attention au fait que certaines surtensions dont l'amplitude est inférieure à la tension d'amorçage sont encore assez élevées pour endommager certains composants, par exemple, les éléments semi-conducteurs, transistors, etc., montés dans les équipements. Il est donc conseillé de réaliser la protection interne en associant aux parafoudres d'autres éléments de protection, par exemple, des diodes Zener ou des filtres (qui peuvent déjà exister dans l'équipement). La combinaison de ces éléments à l'intérieur de l'équipement constitue une protection intégrée par l'effet de laquelle les surtensions, quelles que soient leur origine et leur valeur, sont réduites par paliers successifs à un niveau suffisamment faible pour ne pas causer de détériorations.

Il se peut que la protection des répéteurs contre les tensions induites en permanence par les lignes électriques ou les lignes de traction nécessite moins d'éléments et revienne moins cher, si le conducteur extérieur des paires coaxiales est à un potentiel flottant, que s'il est mis à la terre. En contrepartie, quand le conducteur extérieur est relié à la terre, le personnel travaillant sur les lignes à paires coaxiales est mieux protégé contre un contact accidentel avec le conducteur intérieur qui, étant utilisé pour la téléalimentation, est porté de ce fait à un certain potentiel. Les deux formules ayant leurs avantages et leurs désavantages, le choix de l'une ou de l'autre dépendra des exigences de l'exploitation.

3.2 *Mesures à prendre pour assurer un fonctionnement satisfaisant de l'équipement en présence d'une tension perturbatrice induite en permanence sur le câble*

Des mesures doivent être effectuées afin de contrôler le fonctionnement satisfaisant du répéteur, en présence de tensions et de courants perturbateurs induits en permanence par des lignes électriques ou des lignes de traction sur les conducteurs du câble. Les mesures concernent le cas où les lignes électriques perturbatrices ne présentent pas de défauts. Les valeurs des tensions et courants induits peuvent être évaluées au moyen des méthodes de calcul indiquées dans le § 1.1.

4 Essai des répéteurs téléalimentés utilisant des composants à état solide

4.1 *Considérations générales*

Il convient que les conditions d'essai se rapprochent le plus possible des conditions réelles. Ces conditions d'essai doivent reproduire non seulement les conditions de fonctionnement normal, mais aussi des circonstances accidentelles comme, par exemple, lorsqu'un conducteur, qui est normalement isolé, entre accidentellement en contact avec l'enveloppe métallique du câble ou avec la terre.

4.2 *Essai au moyen de tensions de choc*

Il est recommandé de se servir des indications contenues dans la Recommandation K.17 lors de l'essai au moyen de tensions et de courants de choc. Il convient de souligner qu'en ce qui concerne le choix de l'amplitude des ondes il ne faut pas se contenter de la faire croître jusqu'au maximum, mais il faut aussi faire un essai avec une amplitude inférieure à toutes tensions de seuil des protections (par exemple, tension d'amorçage des parafoudres). L'efficacité des éléments de protection (par exemple, des diodes) est ainsi mise en évidence pour des surtensions dont l'amplitude est faible, mais dont l'énergie peut être élevée.

Dans le cas où l'on utilise des parafoudres, il est nécessaire de s'assurer que leurs tensions d'amorçage sont inférieures à la rigidité diélectrique existant entre les conducteurs et le châssis de l'équipement, afin qu'aucun claquage ne se produise.

4.3 *Essai au moyen de tensions alternatives*

Si les répéteurs sont alimentés par des paires symétriques ou par des paires coaxiales, dont les conducteurs extérieurs sont isolés du sol ou de l'enveloppe métallique du câble, il est recommandé de faire un essai avec une tension alternative pour s'assurer que la rigidité de l'isolement par rapport à la terre est supérieure aux valeurs qui sont admises dans les *Directives* pour les tensions dues à l'induction magnétique.

Pour vérifier le comportement des répéteurs et de leur chemin d'alimentation en cas d'amorçage des parafoudres, on applique aux bornes de ce chemin d'alimentation un courant alternatif correspondant aux indications données dans la Recommandation K.17.

Dans les installations où l'on peut s'attendre à une tension d'induction magnétique permanente due, par exemple, au courant de traction de chemins de fer à courant alternatif, il faut superposer au courant d'alimentation un courant alternatif de même fréquence (50 Hz, 60 Hz, 16 2/3 Hz) et intensité que celui engendré dans la section d'alimentation, quand la tension induite atteint la valeur indiquée en [5]. Pendant le passage de ce courant, le bruit de modulation doit être suffisamment petit pour que les limites sur les sections des circuits fictifs de référence suggérées par la COM XV dans sa Question 11 soient respectées.

Références

[1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunications contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, UIT, Genève, 1988.

[2] KEMP (J.), SILCOOK (H. W.), STEWARD (C. J.): «Power Frequency Induction on Coaxial Cables with Application to Transistorized Systems», *Electrical Communication*, vol. 40, n° 2, pp. 255-266, 1965.
(Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, vol. 40, n° 2, pp. 254-263, 1965.)

[3] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunications contre la foudre*, UIT, Genève, 1974, 1978.

[4] KEMP (J.): «Estimating Voltage Surges on Buried Coaxial Cables Struck by Lightning», *Electrical Communication*, vol. 40, n° 3, pp. 381-385, 1965.
(Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, vol. 40, n° 3, pp. 398-402, 1965.)

[5] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunications contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, fascicule VI, UIT, Genève, 1988

Recommandation K.16

MÉTHODE SIMPLIFIÉE DE CALCUL POUR ÉVALUER LES EFFETS D'INDUCTION MAGNÉTIQUE DES LIGNES ÉLECTRIQUES SUR LES RÉPÉTEURS TÉLÉALIMENTÉS DES SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS SUR PAIRES COAXIALES

(Genève, 1972)

1 Sommaire

La publication mentionnée en [1] contient un exposé général couvrant tous les cas possibles d'induction magnétique et permettant de calculer la variation, en fonction de l'emplacement, des tensions induites et des courants induits lorsqu'une artère est exposée à l'induction en totalité ou en partie. La présente Recommandation donne des indications générales pour déterminer un circuit équivalent permettant de calculer rapidement les valeurs maximales des tensions et des courants dans les conducteurs d'un câble, quelles que soient la longueur et la position de la section du câble exposée à l'induction. Les capacités localisées et l'impédance de transfert de ce circuit équivalent doivent être choisies de façon appropriée. Il n'est besoin ici que de deux groupes de paramètres, selon que la longueur de la section exposée est au plus égale, ou au contraire supérieure, à la moitié de celle de la section d'alimentation. La façon de passer des formules complexes de la publication [1] au calcul simplifié est exposée en annexe A.

Pour vérifier l'utilité de ce circuit équivalent d'application générale, on a calculé en annexe B les valeurs maximales des tensions et des courants induits dans les conducteurs d'un câble lorsque les conducteurs extérieurs sont à potentiel flottant, pour quelques-unes des valeurs de rapprochement qui ont fait l'objet d'une application numérique dans la publication mentionnée ci-dessus. On a également présenté ces valeurs sur des graphiques et l'on peut constater que la méthode de calcul indiquée dans cette annexe B fournit des résultats assez précis pour une utilisation pratique.

L'annexe C montre comment le circuit équivalent doit être modifié dans le cas où les conducteurs extérieurs des paires coaxiales sont reliés à la terre aux extrémités et aux points d'amplification.

Une méthode de calcul analogue, concernant les effets de l'induction magnétique des lignes électriques sur les systèmes de télécommunications installés sur des câbles à paires coaxiales dont le conducteur extérieur est isolé, se trouve également dans la publication mentionnée en [2].

2 Avantages du circuit équivalent

Parmi les grandeurs de référence qui apparaissent dans les formules exactes des publications mentionnées ci-dessus figure la tension longitudinale induite dans le câble, tension que l'on peut calculer selon les méthodes habituelles (voir les *Directives* du CCITT).

Une fois connue la tension longitudinale induite dans le câble, ces formules exactes permettent une évaluation numérique très précise des tensions et des courants induits, mais les résultats obtenus s'écartent des valeurs réelles en raison de la précision limitée avec laquelle sont donnés les paramètres fondamentaux utilisés; or l'expérience montre que cette précision est faible, certains facteurs importants — tels que la conductivité effective du sol — ne pouvant être déterminés avec exactitude.

Etant donné l'imprécision inhérente au calcul de la tension longitudinale induite, laquelle est utilisée comme grandeur de référence, on tolère dans la suite du calcul une erreur supplémentaire d'au plus 20%. Les formules exactes peuvent donc être considérablement simplifiées pour toutes les applications (puisqu'on a presque toujours, en pratique, $\Gamma \cdot l \leqslant 2$ et $\overline{\Gamma} \cdot l \leqslant 2$); il est alors possible pour chaque cas de trouver des circuits équivalents correspondants (Γ et $\overline{\Gamma}$ sont respectivement les constantes de propagation des circuits *enveloppe du câble-conducteur extérieur* et *conducteur extérieur-conducteur intérieur*).

3 Enoncé du problème

On peut considérer des circuits équivalents pour les quatre cas d'induction suivants:

1) conducteur extérieur mis à la terre, induction uniforme;
2) conducteur extérieur à un potentiel flottant, induction uniforme (voir la figure A-1/K.16);
3) conducteur extérieur mis à la terre, exposition partielle sur une faible longueur au milieu de la section;
4) conducteur extérieur à un potentiel flottant, exposition partielle sur une faible longueur au milieu de la section (voir la figure A-2/K.16).

En pratique, avoir à considérer un seul circuit équivalent au lieu de quatre représente une grande simplification. Il est en outre avantageux de pouvoir définir, à l'aide de la publication mentionnée en [1], un circuit équivalent uniforme d'application générale qui fournisse des indications suffisamment précises sur les valeurs maximales des tensions et des courants induits dans un câble, même en cas de rapprochement partiel en n'importe quel endroit du parcours entre la section d'alimentation et la ligne inductrice.

Comme on le verra dans l'annexe A, on peut déterminer un tel circuit équivalent à l'aide des schémas de circuits qui font l'objet des figures A-1/K.16 et A-2/K.16. Ce circuit est représenté par la figure 2/K.16.

4 Paramètres employés et notations

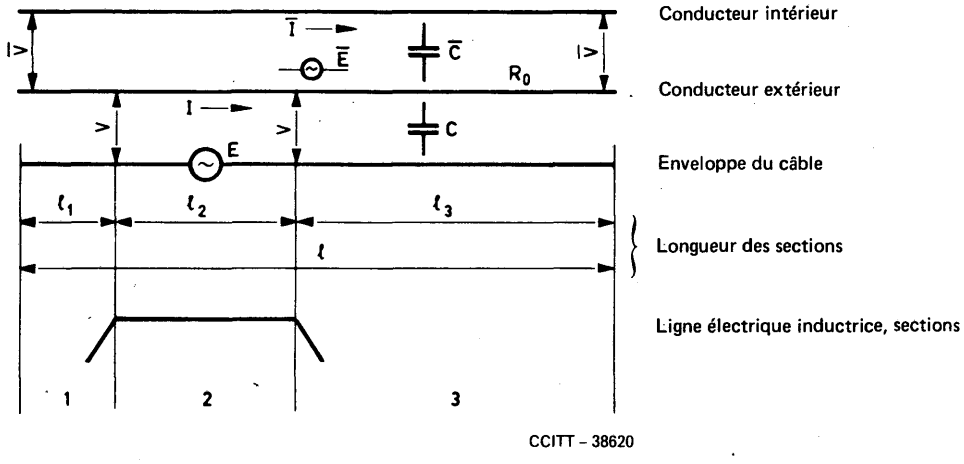
Dans l'hypothèse générale qu'une section d'alimentation à conducteurs extérieurs se trouvant à un potentiel flottant (c'est-à-dire non reliée à l'enveloppe du câble ou à un système de mise à la terre) est exposée à l'induction le long d'une section de position arbitrairement choisie, on peut tracer la figure 1/K.16 ci-après, qui indique les conventions et notations adoptées.

On utilisera les symboles E, C, V, I pour les grandeurs associées au circuit *enveloppe du câble-conducteur extérieur* et les symboles surlignés $\overline{E}$, $\overline{C}$, $\overline{V}$, $\overline{I}$ pour les grandeurs associées au circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur.*

5 Circuit équivalent d'application générale

Les considérations exposées en annexe A ont permis de définir un circuit équivalent d'application générale, qui est représenté sur la figure 2/K.16.

Pour tous les systèmes de communication à grande distance dont les sections d'alimentation sont soit uniformément exposées à l'effet de l'induction magnétique, soit partiellement exposées à cet effet en une partie centrale de faible longueur, ce circuit équivalent permet de déterminer les valeurs maximales des tensions et des courants induits dans les deux circuits de la figure 1/K.16, avec une précision d'environ 10%. Lorsqu'on applique ce circuit à d'autres cas d'exposition, on peut s'attendre à des erreurs atteignant 20% des valeurs théoriques. Ce taux de 20% peut toutefois être toléré dans la pratique étant donné l'imprécision inhérente à la détermination de la tension longitudinale induite E et le fait que la méthode permet d'obtenir des résultats rapides.



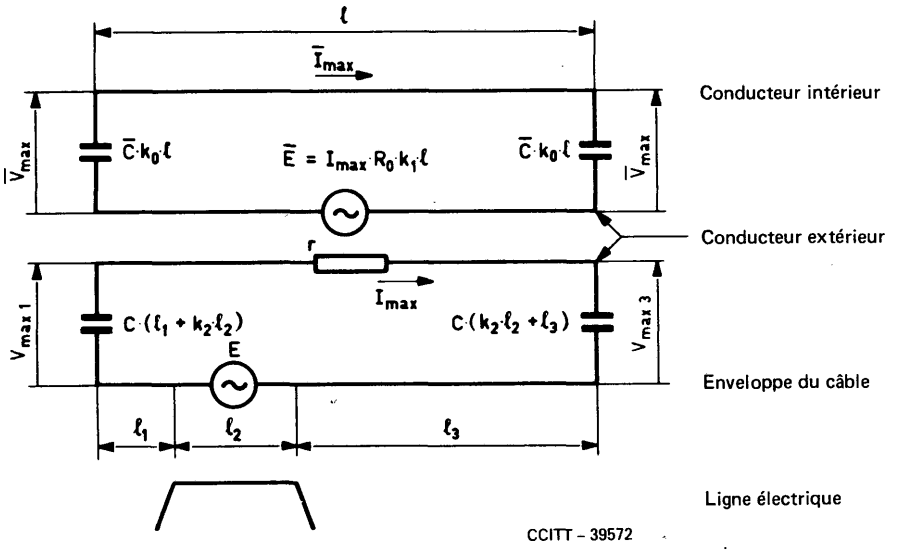
$\underline{E}$ = tension longitudinale induite dans le câble (volts)
$\overline{E}$ = tension longitudinale dans la paire coaxiale (volts)
l_2 = longueur de la section exposée (km)
l_1, l_3 = longueur des sections non exposées (km)
l = longueur de la section d'alimentation (km) = $l_1 + l_2 + l_3$
$V, \overline{V}, I, \overline{I}$ = valeurs maximales à déterminer pour les tensions et les courants induits
$C, \overline{C}$ = capacités effectives par unité de longueur (F/km)
où

$$C = \frac{C_{0s} \cdot l_s + C'_{0s}}{l_s} \text{ et } \overline{C} = \frac{C_{i0} \cdot l_s + C_f}{l_s}$$

C_{0s} = capacité par unité de longueur entre le conducteur extérieur et l'enveloppe du câble (F/km)
C'_{0s} = capacité entre le conducteur extérieur et l'enveloppe du câble à l'endroit où se trouve éventuellement un répéteur (F)
C_{i0} = capacité par unité de longueur entre le conducteur extérieur et le conducteur intérieur (F/km)
C_f = total de toutes les capacités entre le trajet d'alimentation et le conducteur extérieur dans les filtres d'aiguillage d'alimentation d'un répéteur (F)
l_s = longueur du tronçon d'amplification (km)
Z_t = impédance effective de transfert par unité de longueur (Ω/km) entre le circuit *enveloppe-conducteur extérieur* et le circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur*
R_0 = résistance par unité de longueur (Ω/km) du conducteur extérieur seul
R_i = résistance par unité de longueur (Ω/km) du conducteur intérieur auquel est ajouté un terme correctif correspondant à la valeur, ramenée au km, de la résistance des filtres d'aiguillage.

FIGURE 1/K.16

Représentation schématique des circuits



Valeur des paramètres k			
	k_0	k_1	k_2
pour $\ell_2 \leqslant \frac{\ell}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
pour $\ell_2 > \frac{\ell}{2}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$

Remarque – La résistance r n'est à considérer que dans le cas des conducteurs extérieurs réunis à la terre (voir annexe C).

FIGURE 2/K.16

Circuit équivalent

Les remarques suivantes permettent de mieux comprendre le schéma simplifié:

1) Tous les éléments des lignes de transmission du cas réel sont supposés concentrés, ce qui est acceptable pour une ligne ouverte aux deux extrémités et courte, compte tenu de la longueur d'onde correspondant à 50 Hz.

2) La résistance des conducteurs n'est pas prise en compte dans les circuits, sauf pour constituer l'impédance de transfert d'un circuit sur l'autre, elle est introduite pondérée par un coefficient k_1 qui dépend de la longueur de la section exposée et tel que $k_1 < 1$.

Cela suppose que les circuits dessinés sur la figure 2/K.16 sont effectivement ouverts (pour les courants induits à 50 Hz) aux extrémités de la section de téléalimentation. Il peut ne pas en être ainsi, en particulier si les dispositifs d'alimentation comportent des filtres et des dispositifs de symétrie pour fixer les potentiels des conducteurs intérieurs par rapport à la terre. Le circuit *conducteur intérieur-conducteur extérieur* est alors fermé sur des condensateurs de valeur élevée qui doivent être ajoutés en parallèle sur $C k_0 l$ aux deux extrémités de la figure 2/K.16. Dans ce cas, la résistance en série du conducteur intérieur ne peut plus être négligée. Un exemple d'application est donné en annexe C.

3) Les capacités Cl_1 et Cl_3 correspondent à la terminaison exacte au-delà de la section exposée; la capacité de la section exposée est introduite pondérée par un coefficient k_2 qui dépend de la longueur de la section exposée et tel que $2\ k_2 < 1$.

4) Le schéma simplifié conduit à des tensions dissymétriques dans le circuit *enveloppe-conducteur extérieur.* Il permet de déterminer les valeurs maximales aux extrémités. Une représentation suffisante pour la pratique de la tension et de l'intensité tout le long de la section de téléalimentation est donnée sur la figure 3/K.16. La tension varie peu hors de la section exposée et est nulle près de son milieu. L'intensité maximale se trouve près du milieu de la section exposée; l'intensité est évidemment nulle aux extrémités puisque le circuit est ouvert dans le cas où le conducteur extérieur a un potentiel flottant.

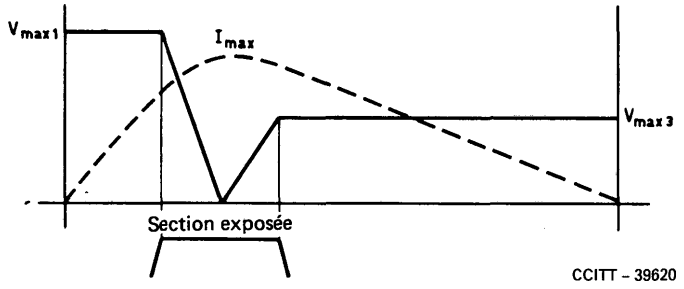


FIGURE 3/K.16

Tension et intensité le long de la section de téléalimentation dans le circuit *enveloppe-conducteur extérieur*

5) Par contre, dans le circuit *conducteur intérieur-conducteur extérieur,* la tension et l'intensité sont beaucoup plus symétriques. La capacité est pondérée par un coefficient k_0 qui dépend de la longueur de la section exposée et tel que $2\ k_0 < 1$.

6) Le schéma simplifié permet, comme indiqué dans l'alinéa 4 ci-dessus, de calculer dans le circuit *conducteur intérieur-conducteur extérieur* la tension et l'intensité maximales. Selon la nature du circuit considéré, ces valeurs peuvent être beaucoup plus faibles que dans le circuit *enveloppe-conducteur extérieur.* La figure 4/K.16, appropriée pour des applications pratiques, donne une idée de la représentation de la tension et de l'intensité tout le long de la section de téléalimentation. Les tensions extrêmes sont symétriques, la tension nulle et l'intensité maximale sont toujours très voisines du milieu de la section de téléalimentation, quelle que soit la position de la section exposée.

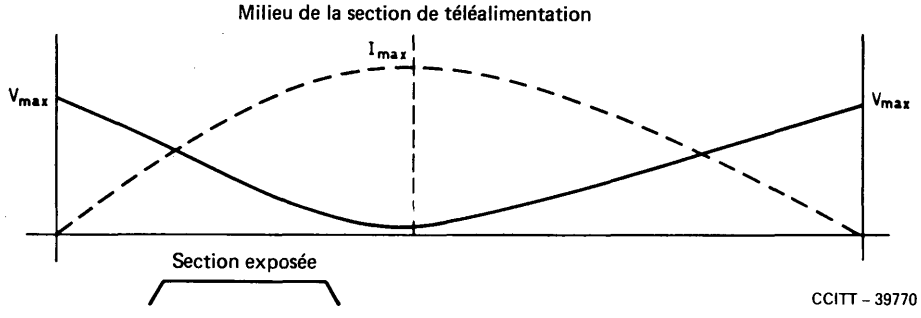


FIGURE 4/K.16

Tension et intensité le long de la section de téléalimentation dans le circuit *conducteur intérieur-conducteur extérieur*

ANNEXE A

(à la Recommandation K.16)

Justification des paramètres figurant dans le circuit équivalent d'application générale

A.1 *Cas général*

La publication mentionnée en [1] donne des systèmes d'équations contenant les paramètres de transmissions complexes des deux circuits en cause.

Ces équations permettent de résoudre complètement le problème dans le cas des circuits ouverts aux deux extrémités. Ces formules développent un nombre important de termes en fonctions hyperboliques de paramètres complexes qui en rendent l'application incommode. Plusieurs étapes d'approximations sont nécessaires pour aboutir à un schéma très simple permettant un calcul élémentaire.

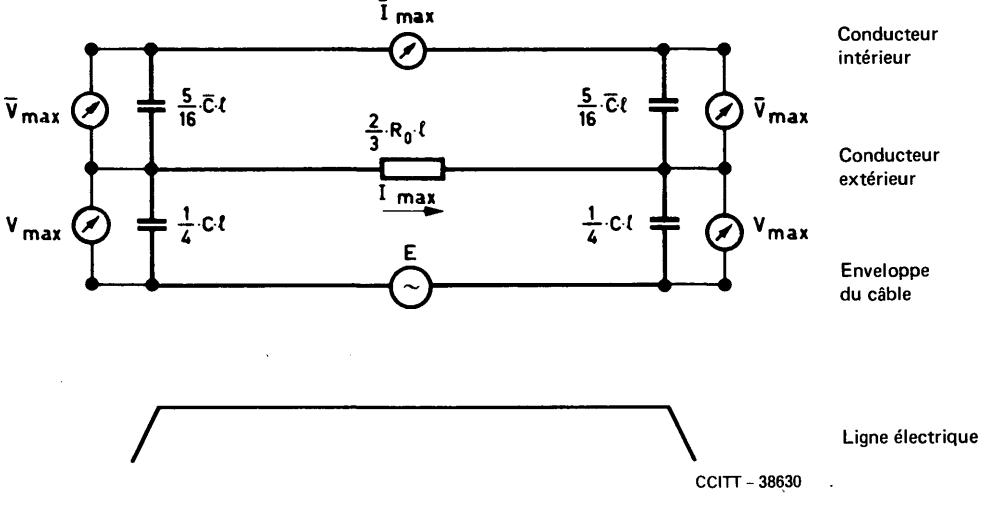
A.2 *Première étape — Exposition symétrique — Calcul complet*

Les formules générales sont appliquées à deux cas d'exposition symétrique représentés sur les figures A-1/K.16 et A-2/K.16: dans le premier cas, l'exposition couvre tout le tronçon de téléalimentation, dans le second, elle est limitée à une faible longueur au milieu de la section. Les courbes résultant des calculs figurent dans la publication [1] et sont rappelées sur la figure B-1/K.16.

A.3 *Deuxième étape — Exposition symétrique — Schéma simplifié*

On tient compte de la courte longueur électrique des lignes et de l'angle de phase voisin de ± 45° des paramètres secondaires de propagation. Cela permet de remplacer les éléments répartis par des condensateurs et des résistances localisées représentées sur les figures A-1/K.16 et A-2/K.16. Les coefficients tels que 5/16, 1/4, 1/2, 1/3 proviennent du développement en série des termes hyperboliques complexes.

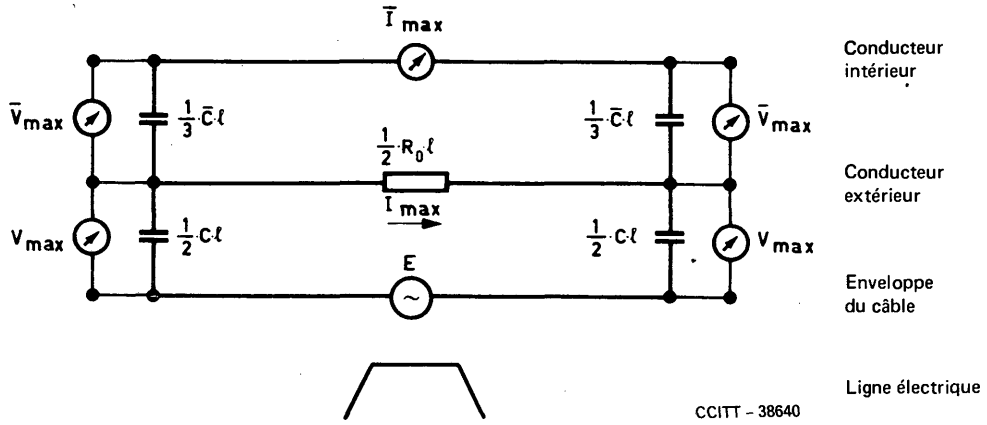
Les circuits équivalents des figures A-1/K.16 et A-2/K.16 permettent d'effectuer le calcul des tensions et intensités maximales dans deux cas d'exposition symétrique; ces cas étant très exceptionnels, il faut y rattacher le cas général d'une exposition dissymétrique de longueur quelconque. C'est l'objet de l'étape suivante.



E = tension longitudinale induite dans le câble (volts)
R_0 = résistance du conducteur extérieur (Ω/km)
l = longueur de la section d'alimentation

FIGURE A-1/K.16

Section d'alimentation exposée uniformément à l'induction



E = tension longitudinale induite dans le câble (volts)
R_0 = résistance du conducteur extérieur (Ω/km)
l = longueur de la section d'alimentation

FIGURE A-2/K.16

Exposition partielle sur une faible longueur au milieu de la section

A.4 *Troisième étape – Cas général – Schéma simplifié*

A.4.1 *Circuit enveloppe du câble-conducteur extérieur*

Dans la section exposée 2 dont la longueur est l_2, le circuit *enveloppe du câble-conducteur extérieur* peut être traité comme une ligne bifilaire exposée à une induction uniforme et se terminant par les capacités de ligne des sections 1 et 3 adjacentes et non exposées.

Si la section 2 est beaucoup plus longue que les sections 1 et 3 ($l_2 \gg l/2$), la répartition du courant et de la tension dépend surtout de la section exposée elle-même, et est presque ou tout à fait symétrique par rapport au point milieu de la section. Les valeurs effectives de capacité indiquées dans la figure A-1/K.16 pour une ligne bifilaire exposée à une induction uniforme peuvent alors s'appliquer à la section 2. On obtient ainsi pour $l_2 \gg l/2$ le schéma représenté sur la figure A-3/K.16.

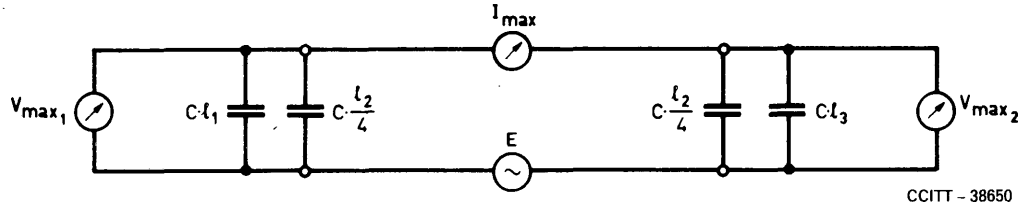


FIGURE A-3/K.16

Circuit *enveloppe du câble-conducteur extérieur* – cas d'une section exposée longue

Si, au contraire, la section exposée est beaucoup plus courte que les sections non exposées ($l_2 \leqslant l/2$), la répartition du courant et de la tension dépend surtout des admittances aux extrémités de la section. Le maximum du courant induit se déplace vers l'extrémité de la section 2 adjacente à la plus longue des deux sections non exposées. Ce maximum se déplace le plus lorsque la section 2 est située directement au début ou à la fin de la section d'alimentation ($l_1 = 0$ ou $l_3 = 0$, respectivement). Dans ce cas limite, l_2 tend à se trouver dans les mêmes conditions qu'une ligne bifilaire soumise à une induction uniforme et dont l'une des extrémités est en court-circuit.

On se servira alors du circuit équivalent de la figure A-4/K.16 pour déterminer la valeur maximale du courant induit.

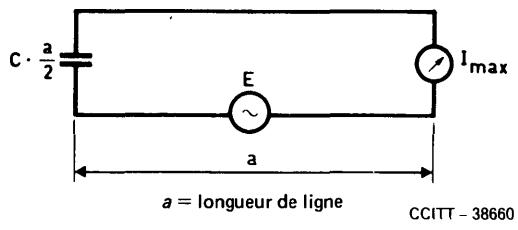


FIGURE A-4/K.16

Ligne terminée par un court-circuit à une extrémité

Ce schéma correspond à la moitié de la figure A-1/K.16 relative à une ligne de longueur $l = 2\ a$, soumise à une induction uniforme, les deux extrémités étant ouvertes et une connexion étant établie au point milieu. Cette connexion ne modifie pas les conditions.

Cependant, puisque l'extrémité de la section 2 n'est pas en court-circuit dans le cas limite qui nous intéresse, mais que cette section se termine sur des admittances finies ($\omega\ C \cdot l_3$ et $\omega\ C \cdot l_1$, respectivement), la capacité effective localisée $C \cdot l_2/x$ associée à la section 2 dans le circuit équivalent partiel doit être comprise entre:

$$C \cdot \frac{l_2}{4} < C \cdot \frac{l_2}{x} < C \cdot \frac{l_2}{2}$$ à l'extrémité où se trouve le prolongement le plus court et

$$C \cdot \frac{l_2}{4} > C \cdot \frac{l_2}{x} > 0$$ à l'autre extrémité.

Comme il est montré plus loin, le fait de prendre $x = 3$ à chaque extrémité constitue un compromis qui donne des résultats satisfaisants pour tous les emplacements de la section exposée quand elle est de faible longueur. On obtient en conséquence la figure A-5/K.16 suivante pour $l_2 \ll l/2$.

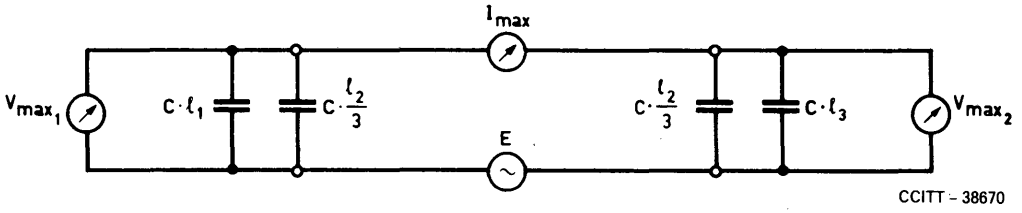


FIGURE A-5/K.16

Circuit *enveloppe du câble-conducteur extérieur* – cas d'une section exposée courte

A.4.2 *Impédance effective de transfert*[1)]

Le courant I circulant dans le circuit *enveloppe du câble-conducteur extérieur* engendre une tension longitudinale $\bar{E}$ aux bornes de la résistance du conducteur extérieur du système à paires coaxiales. Ce courant I atteint son maximum dans la section exposée et tend vers zéro aux extrémités de l'artère. Une résistance effective à utiliser avec le maximum de courant I apparaît dans les circuits équivalents réalisés selon les formules simplifiées. Dans la méthode du circuit équivalent, on introduit une résistance effective dont la connaissance, associée à celle du courant I, permet de calculer $\bar{E}$. Cette résistance effective, désignée par $Z_t \cdot l$, est appelée l'impédance effective de transfert; elle remplace la résistance $R_0 \cdot l$. La valeur de $\bar{E}$ est donnée par l'égalité $\bar{E} = I_{max} \cdot Z_t \cdot l$.

Si l'induction est uniforme sur toute la section d'alimentation, comme dans le cas de la figure A-1/K.16, la valeur à utiliser pour l'impédance de transfert est donnée par:

$$Z_t \cdot l = \frac{2}{3} \cdot R_0 \cdot l.$$

Cette valeur peut également être utilisée lorsque les variations du courant I le long du trajet sont très semblables à celles qui se produisent dans le cas d'une induction uniforme ($l_2 \gg l/2$).

Dans le cas d'une exposition partielle de faible longueur au milieu de la section d'alimentation comme dans le cas de la figure A-2/K.16, on doit utiliser l'égalité:

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} \cdot R_0 \cdot l$$

pour calculer l'impédance de transfert.

Lorsque la partie exposée de faible longueur est située au commencement ou à la fin de la section d'alimentation, on obtient la même valeur (on peut le montrer à l'aide du circuit équivalent pour une exposition partielle au milieu de la section, en remplaçant l par $2 \cdot l$).

---

1) L'impédance de transfert est souvent aussi appelée impédance de couplage de l'enveloppe métallique du câble.

On est en droit de supposer, en première approximation, que la valeur obtenue ne varie pas sensiblement, même lorsque l'emplacement de la section exposée de faible longueur est arbitrairement choisi.

On trouve en conséquence, pour l'impédance du transfert du circuit équivalent:

$$Z_t \cdot l = \frac{2}{3} R_0 \cdot l \text{ pour } l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ et}$$

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} R_0 \cdot l \text{ pour } l_2 \ll \frac{l}{2}$$

A.4.3 *Circuit conducteur extérieur-conducteur intérieur*

Dans le circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur*, la tension longitudinale $\bar{E}$ règne sur toute la longueur de la section d'alimentation, même en cas d'exposition partielle. Comme on peut le constater en consultant les figures de l'annexe B, le minimum de la tension $\bar{V}$ entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur se produit exactement à mi-chemin dans le cas d'une exposition symétrique et presque à mi-chemin dans tous les cas d'expositions asymétriques (même lorsqu'il s'agit de tronçons très courts soumis à l'effet d'induction et situés au début ou à la fin de la section d'alimentation). Les valeurs calculées pour le courant et la tension dans la paire coaxiale ne présenteront donc pas d'écarts appréciables si l'on suppose que l'intensité du champ dû à la tension longitudinale $\bar{E}/l$ est répartie symétriquement, quelles que soient la longueur et la position de la section exposée.

Dans cette hypothèse, les schémas de circuits de la figure A-6/K.16, inspirés des figures A-1/K.16 et A-2/K.16 pour le cas d'une exposition symétrique, peuvent aussi en règle générale s'employer pour une configuration quelconque.

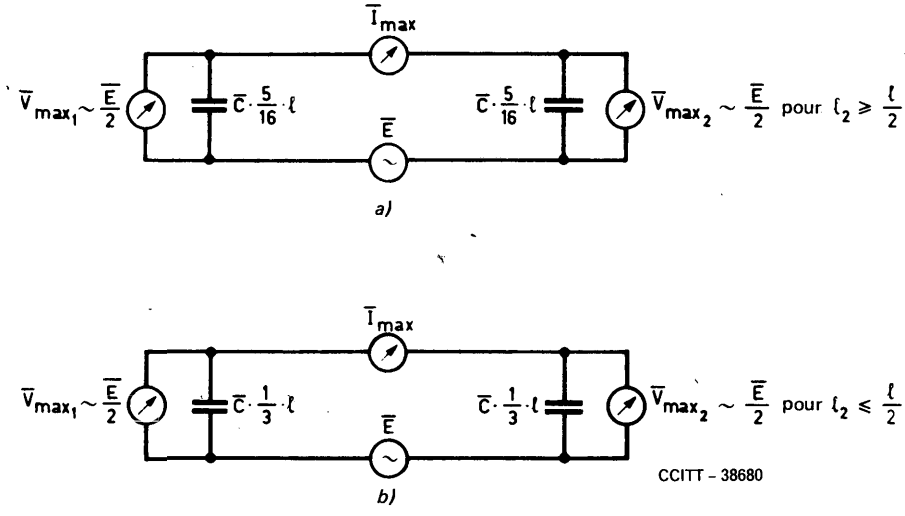


FIGURE A-6/K.16

Circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur*;
***a)* section exposée longue, *b)* section exposée courte**

A.5 *Conclusions de l'annexe A*

En assemblant les schémas élémentaires des figures A-3/K.16 à A-6/K.16, on obtient un schéma de circuit équivalent d'application générale, où l'on adoptera pour les capacités et l'impédance de transfert des valeurs numériques différentes selon la longueur du tronçon exposé:

$$l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ et } l_2 \ll \frac{l}{2} \text{ respectivement.}$$

Comme on peut le démontrer sur des exemples numériques, on obtient des résultats satisfaisants en conservant les paramètres associés au cas $l_2 \ll l/2$ même lorsque $l_2 = l/2$. Si donc nous remplaçons:

$$l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ par } l_2 > \frac{l}{2} \text{ et}$$

$$l_2 \ll \frac{l}{2} \text{ par } l_2 \leq \frac{l}{2}$$

toutes les possibilités d'exposition seront couvertes au moyen de deux groupes de paramètres et l'erreur affectant les plages intermédiaires restera dans des limites tolérables.

Le circuit équivalent d'application générale fait l'objet de la figure 2/K.16.

ANNEXE B

(à la Recommandation K.16)

Exemples d'application des calculs complets et du calcul simplifié.
Cas où les conducteurs extérieurs sont à potentiel flottant

Pour s'assurer de l'utilité du circuit équivalent dans des cas d'exposition partielle arbitrairement choisis, on a calculé les valeurs maximales des tensions et des courants au moyen du circuit équivalent dans certains cas d'exposition ayant fait l'objet, dans la publication [1], d'un calcul complet et les valeurs trouvées ont été portées sur les figures correspondantes reproduites d'après cette publication.

Les valeurs suivantes, relatives à des systèmes à 300 voies sur câble à paires coaxiales de petit diamètre, ont été utilisées pour les calculs comparatifs:

$C = 0{,}12\ \mu F/km$; $R_0 = 6{,}2\ \Omega/km$; $\overline{C} = 0{,}2\ \mu F/km$; $l = 64$ km.

Les figures B-1/K.16 à B-5/K.16 sont tracées des courbes qui, établies avec précision, donnent les tensions et courants induits dans un système de télécommunications à 300 voies. Ces figures correspondent aux figures 4/K.16 et A-1/K.16 à A-3/K.16 telles que reproduites de la référence [1], mais on a choisi comme quantité de référence une tension longitudinale E de 1000 volts au lieu de 2000 volts. Les valeurs approximatives des maximums telles qu'elles sont calculées à l'aide du circuit équivalent y sont indiquées par des points noirs. Dans tous les cas, on constate une concordance satisfaisante avec les valeurs obtenues par une analyse exacte.

Exemple de calcul pour la figure B-4/K.16 ci-après

On suppose qu'une section d'alimentation de 64 km appartenant à un système à 300 voies sur câble à paires coaxiales de petit diamètre, dont le conducteur extérieur est à un potentiel flottant, est exposée à l'effet d'induction d'une ligne électrique entre le 12e et le 28e kilomètre. La tension longitudinale dans le câble est par hypothèse de 1000 volts à 50 Hz et il faut évaluer les valeurs maximales des tensions et des courants induits apparaissant dans le câble.

On a dans ce cas: $l_1 = 12$ km, $l_2 = 16$ km et $l_3 = 36$ km, $l/2 = 32$ km. Comme l_2 est plus petit que $l/2$, on utilisera les paramètres suivants pour la détermination du circuit équivalent (voir la figure 2/K.16): $k_0 = 1/3$, $k_1 = 1/2$, $k_2 = 1/3$, $\overline{C} = 0{,}2\ \mu F/km$, $R_0 = 6{,}2\ \Omega/km$, $C = 0{,}12\ \mu F/km$.

Schéma de calcul:

$Cl_1 = 0{,}12 \times 12 = 1{,}44\ \mu F$

$Ck_2\, l_2 = 0{,}12 \times \frac{1}{3} \times 16 = 0{,}64\ \mu F$

$Cl_3 = 0{,}12 \times 36 = 4{,}32\ \mu F$

$1{,}44 + 0{,}64 = 2{,}08\ \mu F$

$0{,}64 + 4{,}32 = 4{,}96\ \mu F$

$\frac{1}{\omega C}$ à 50 Hz: $1530\ \Omega + 640\ \Omega = 2170\ \Omega$

$I_{max} = \frac{1000\ V}{2170\ \Omega} = 0{,}461$ A

$\times\ 1530\ \Omega = V_{max_1} = 705$ volts

$\times\ 640\ \Omega = V_{max_2} = 295$ volts

$\times\ 198{,}5\ \Omega = \overline{E} = 91{,}6$ volts

$\frac{1}{2} R_0\, l = \frac{1}{2} \times 6{,}2 \times 64 = 198{,}5\ \Omega$

$\frac{1}{2}\overline{E} \approx \overline{V}_{max_1} \approx \overline{V}_{max_2} = 45{,}8$ volts

$\frac{1}{3}\omega \overline{C} l = \frac{1}{3} \times 314 \times 0{,}2 \times 10^{-6} \times 64 = 1{,}34 \times 10^{-3}$ mhos

$\overline{I}_{max} = 1{,}34 \times 10^{-3} \times 45{,}8 = 61{,}5$ mA

CCITT - 3525

TABLEAU B-1/K.16

Comparaison entre les valeurs obtenues à l'aide du circuit équivalent et les valeurs maximales calculées avec précision

(Valeurs tirées de la figure B-4/K.16)

Valeurs maximales	Valeurs résultant du calcul exact	Valeurs résultant de l'application du circuit équivalent	Ecart par rapport au calcul exact
V_{max1}	685 V	705 V	+2,9 %
V_{max2}	315 V	295 V	−6,3 %
I_{max}	0,455 A	0,461 A	+1,3 %
$\overline{V}_{max1}$	48 V	45,8 V	−4,6 %
$\overline{V}_{max2}$	37,5 V	45,8 V	+22 %
$\overline{I}_{max}$	55 mA	61,5 mA	+11,8 %

Cette comparaison montre qu'à l'exception de la valeur $\overline{V}_{max2}$, tous les écarts observés par rapport aux valeurs résultant d'un calcul exact sont inférieurs à 12% et que les valeurs obtenues à l'aide du circuit équivalent sont généralement supérieures à celles qui résultent du calcul exact. L'écart de 22% observé dans le cas de $\overline{V}_{max2}$ n'a pas d'importance pratique puisqu'il concerne le plus petit des deux maximums de $\overline{V}$.

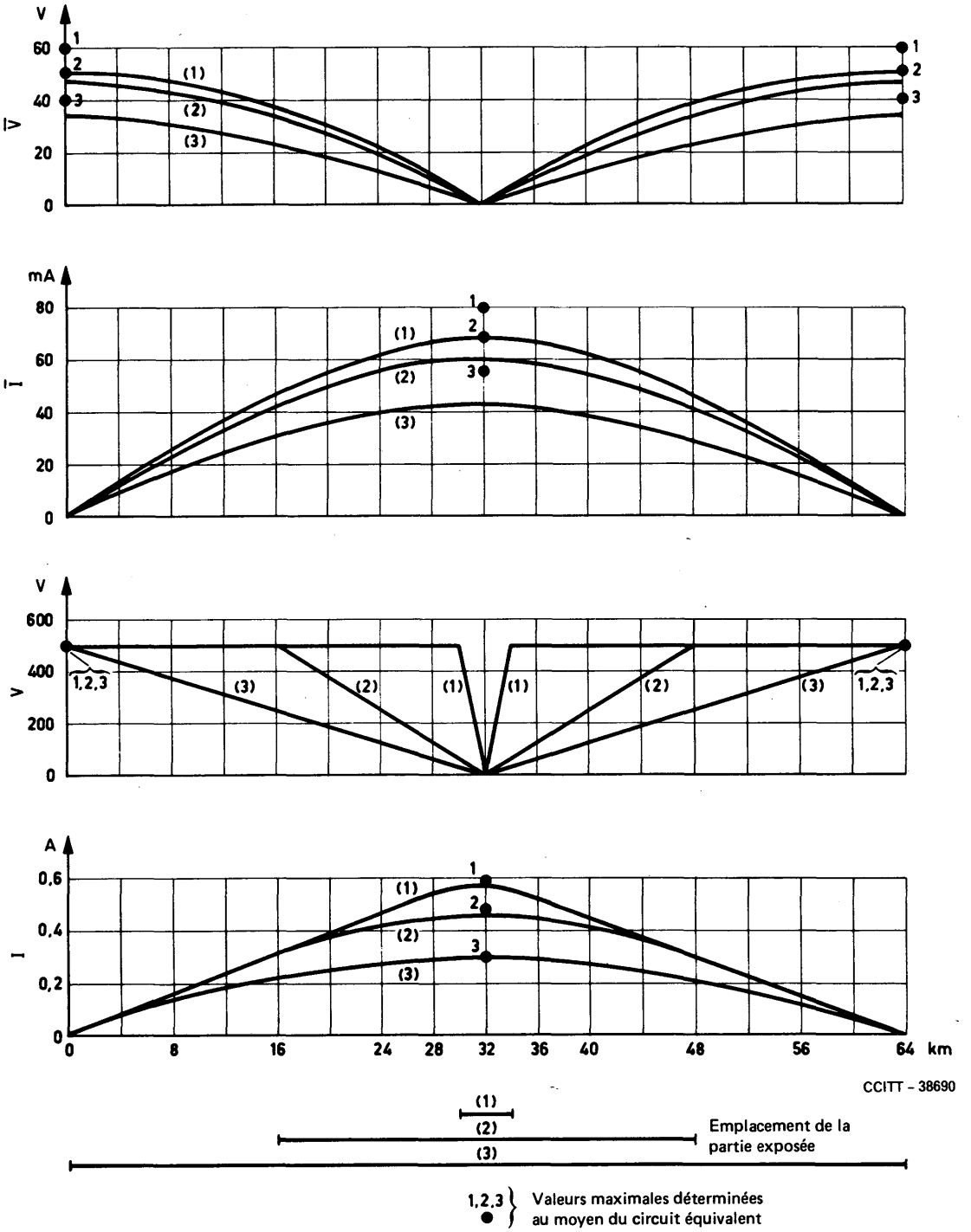


FIGURE B-1/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements symétriques avec une ligne inductrice. Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

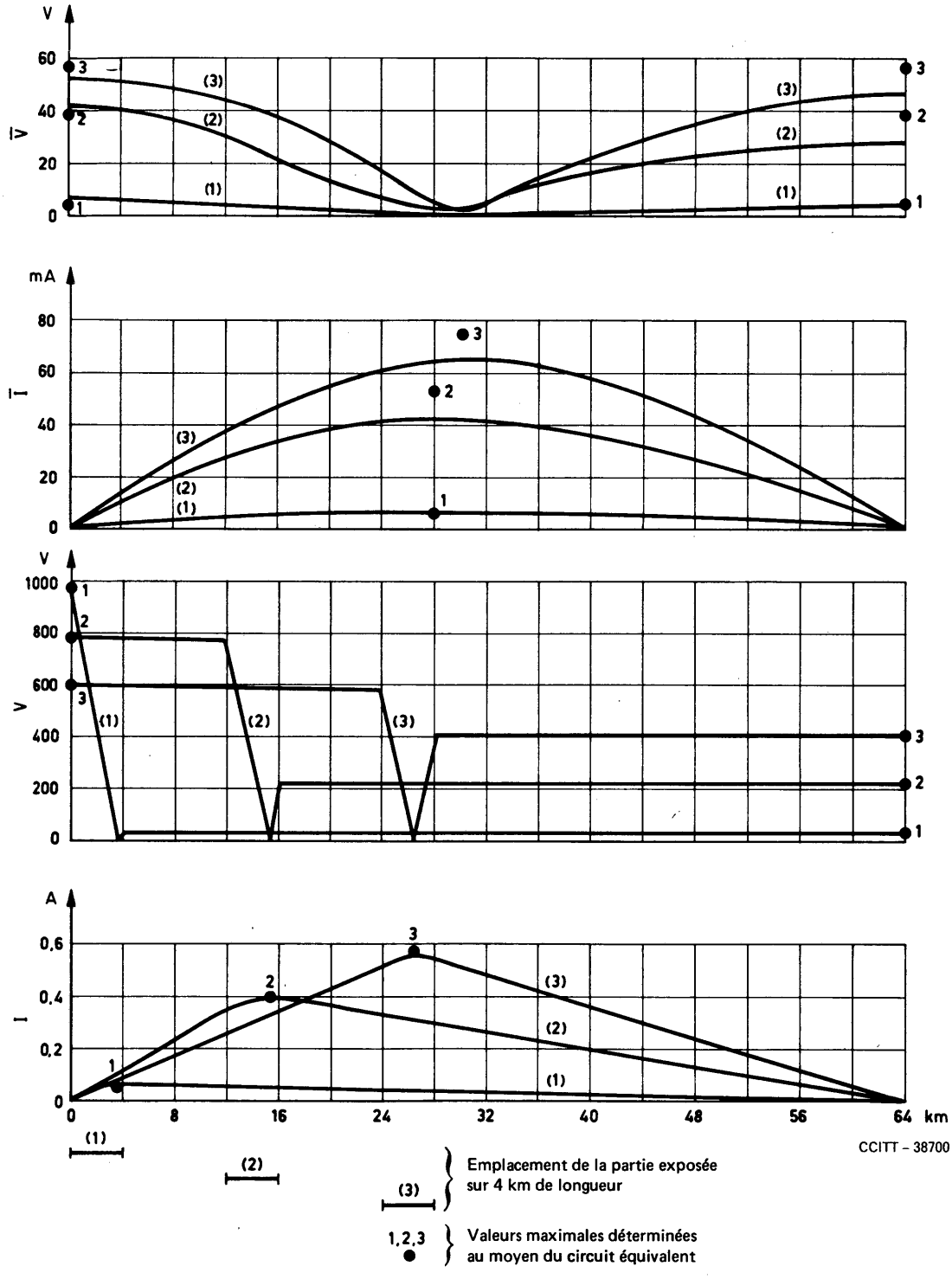


FIGURE B-2/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 4 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

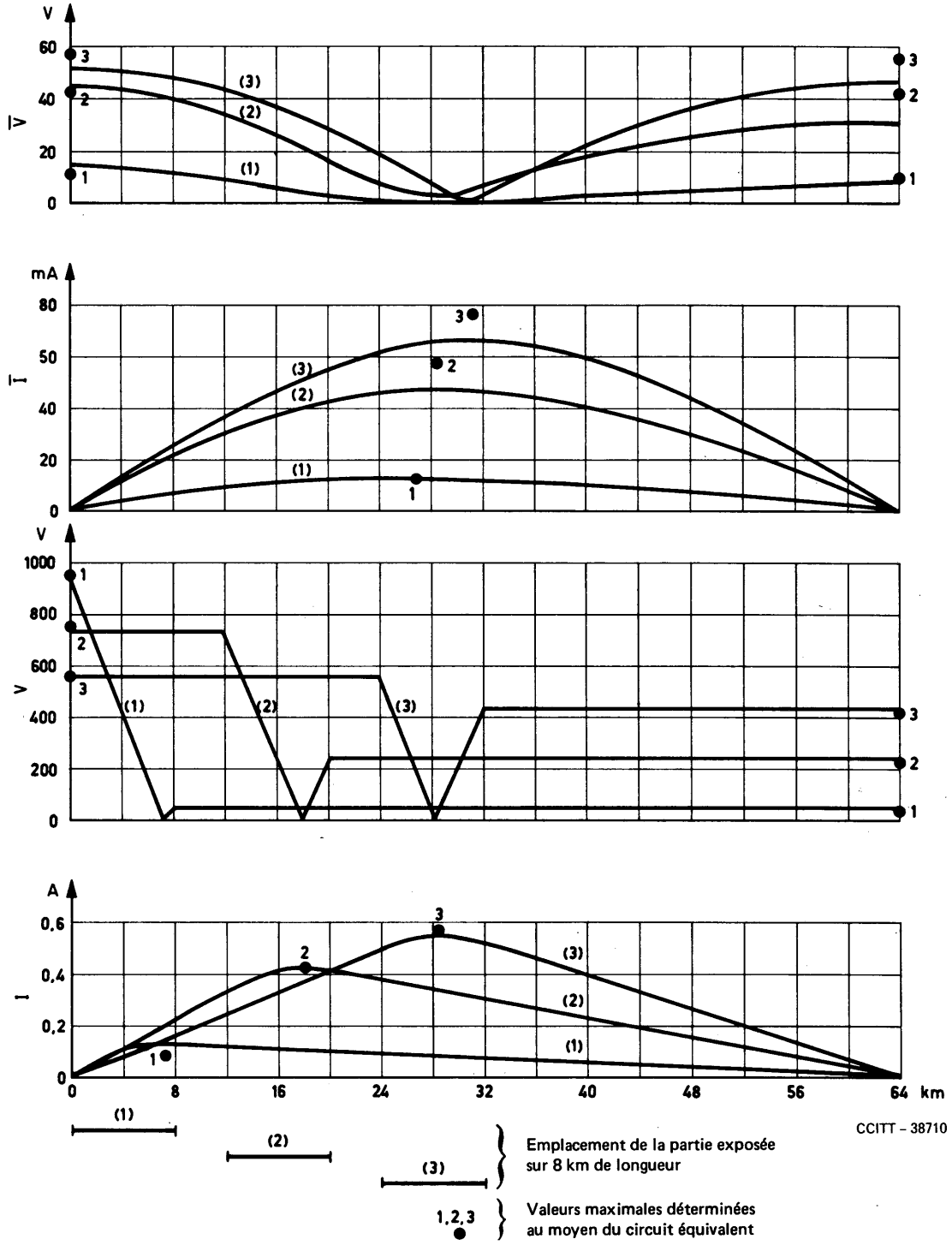


FIGURE B-3/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 8 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

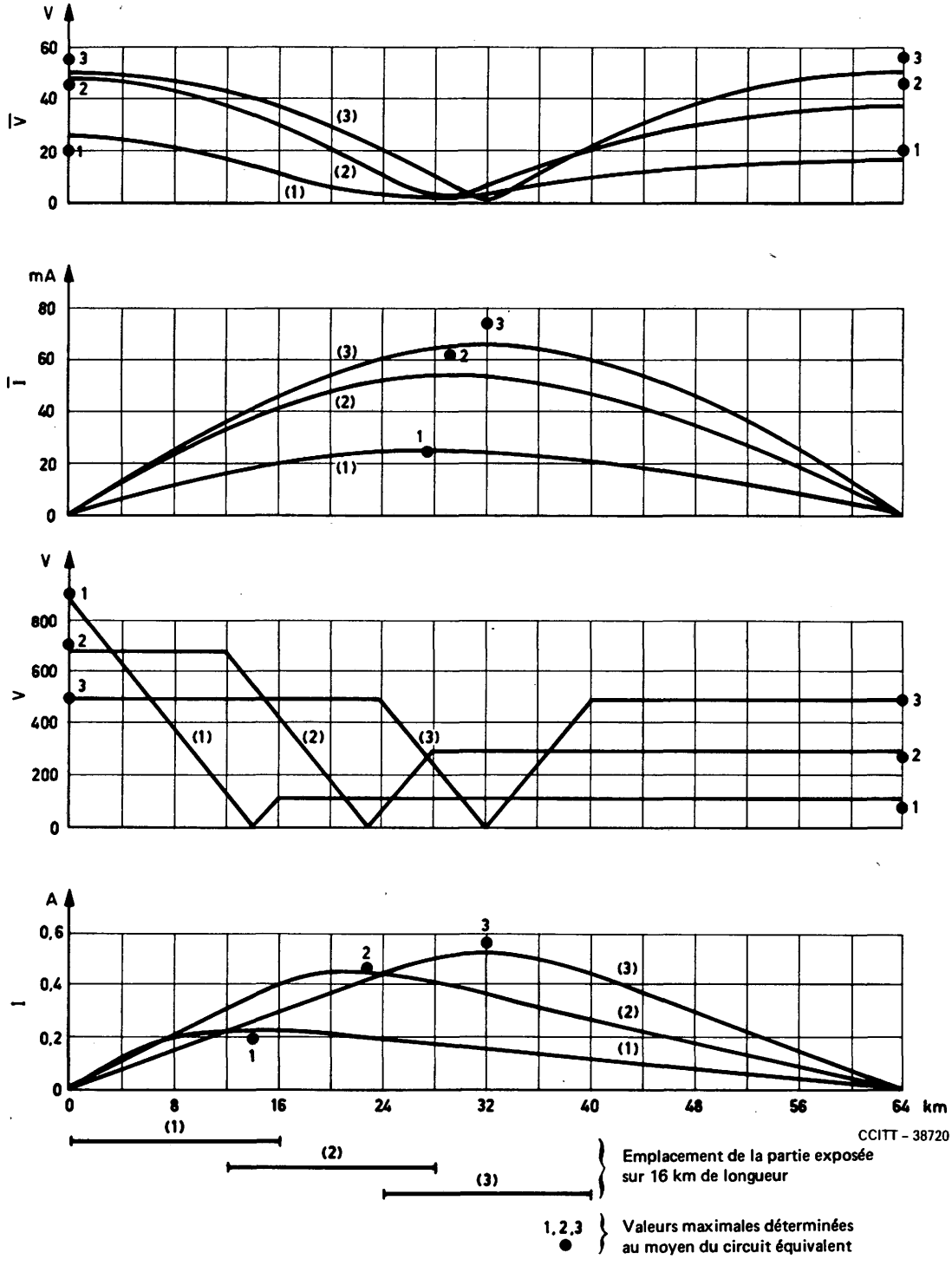


FIGURE B-4/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 16 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

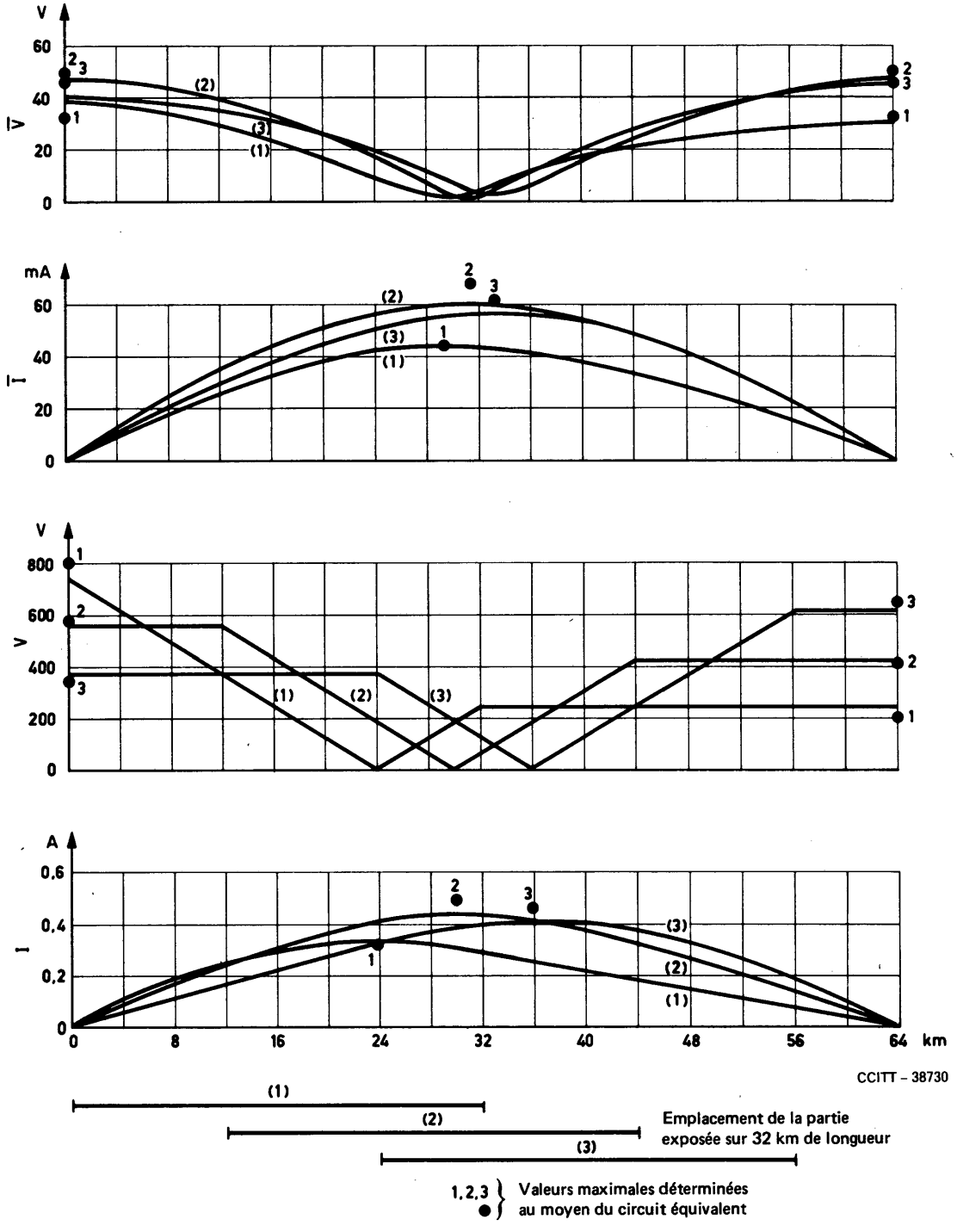


FIGURE B-5/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 32 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

ANNEXE C

(à la Recommandation K.16)

Exemples d'application des calculs complets et du calcul simplifié.
Cas où les conducteurs extérieurs sont reliés à la terre

C.1 *Cas où les conducteurs intérieurs sont à une tension régulée, peu découplée*

Dans le cas où les conducteurs extérieurs sont à la terre et où les conducteurs intérieurs sont reliés à une tension régulée dont les condensateurs de découplage à la terre sont de faible valeur, il convient de ne prendre en considération dans le circuit équivalent que la partie du schéma relative au circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur*, et d'insérer logiquement la capacité $\overline{C}$ au lieu de C. La résistance $k_1 R_0 l$ représentant l'impédance de transfert est également omise. Le schéma universel se réduit dans ce cas à celui de la figure C-1/K.16.

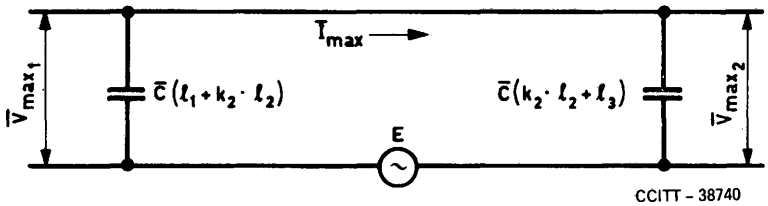


FIGURE C-1/K.16

Circuit *enveloppe du câble-conducteur extérieur* (section longue)

C.2 *Cas où les conducteurs intérieurs sont mis à la terre à travers une impédance de faible valeur située dans la station d'alimentation en énergie*

Le schéma universel se réduit dans ce cas à celui de la figure C-2/K.16.

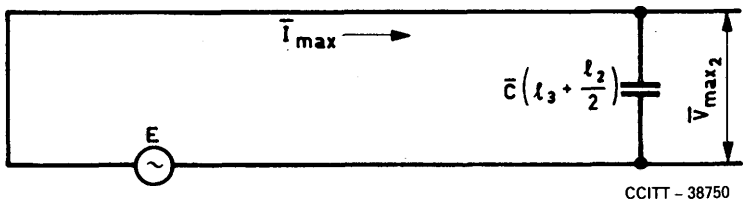


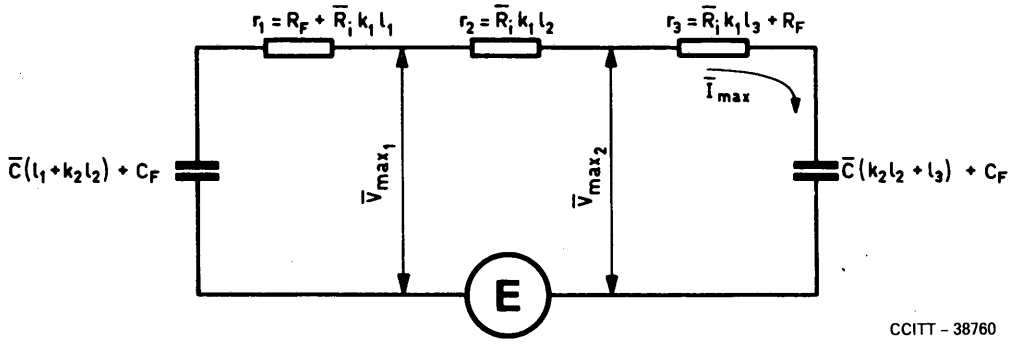
FIGURE C-2/K.16

Ligne en court-circuit à une extrémité

C.3 *Cas où les conducteurs intérieurs sont à une tension régulée, fortement découplée*

Dans le cas où les conducteurs extérieurs sont à la terre et où les conducteurs intérieurs sont reliés à une tension régulée dont les condensateurs de découplage à la terre sont de fortes valeurs (plusieurs µF), le schéma simplifié de la figure C-1/K.16 n'est plus suffisant. Il faut tenir compte aussi de la résistance des conducteurs centraux des paires coaxiales (éventuellement des résistances que l'on rencontre en série dans les alimentations des amplificateurs).

Pour s'assurer de la validité du circuit équivalent modifié dans ce cas, un calcul a été fait sur un exemple concret correspondant à un cas d'exploitation. Il s'agit encore de systèmes à 300 voies sur paires coaxiales de petit diamètre, pour lesquels on a considéré une liaison de 66 km, avec $\overline{C}$ = 0,11 µF/km, R_i = 17 Ω/km, l'impédance de découplage des systèmes d'alimentation régulée étant équivalente à une résistance R_F de 50 ohms en série avec une capacité C_F de 15 µF. Le schéma correspondant est représenté sur la figure C-3/K.16.

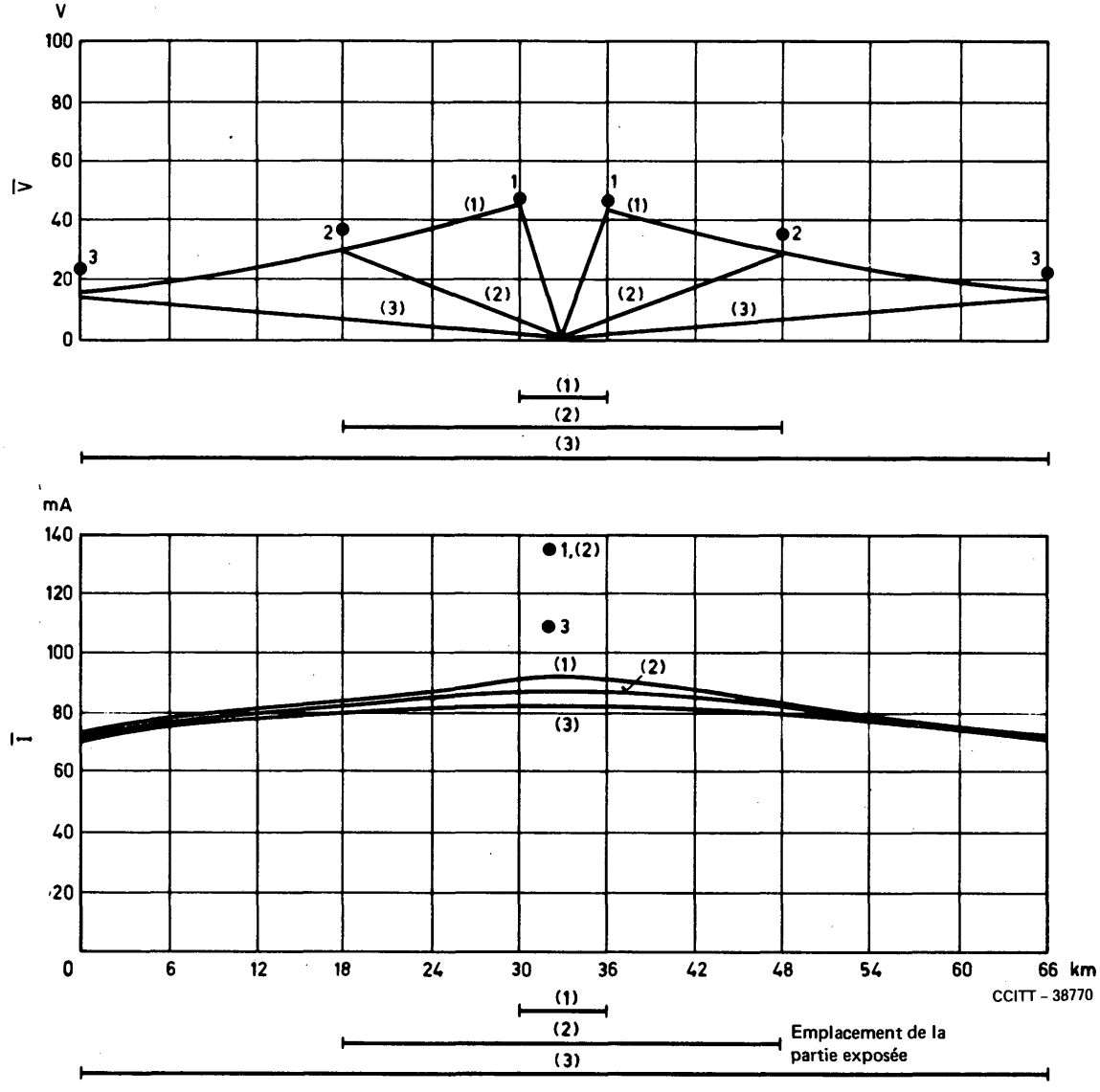


Remarque – $\bar{R}_i$ est la résistance kilométrique du conducteur intérieur, à laquelle est ajoutée la valeur totale de la résistance de tous les filtres d'aiguillage des répéteurs, valeur exprimée par kilomètre.

FIGURE C-3/K.16

Circuit équivalent dans le cas où les conducteurs extérieurs des paires coaxiales sont reliés à la terre, et où les conducteurs intérieurs sont reliés à une alimentation régulée fortement découplée

La tension induite est supposée telle que, compte tenu du facteur réducteur du câble, la tension perturbatrice à prendre en considération soit égale à 100 volts. (Si la tension ne pouvait pas être limitée à une valeur de cet ordre, une autre solution serait employée, par exemple, le retour à un potentiel flottant.) Pour une tension induite de $E = 100$ V et après avoir tenu compte du facteur réducteur combiné de l'enveloppe de câble et du conducteur extérieur mis à la terre, les figures C-4/K.16 à C-7/K.16 ci-après indiquent les valeurs des tensions et courants obtenues sur le circuit complet; on a reporté sur les mêmes figures les points correspondant à l'utilisation du circuit équivalent de la figure C-3/K.16. La concordance entre les deux séries de résultats est tout à fait satisfaisante.

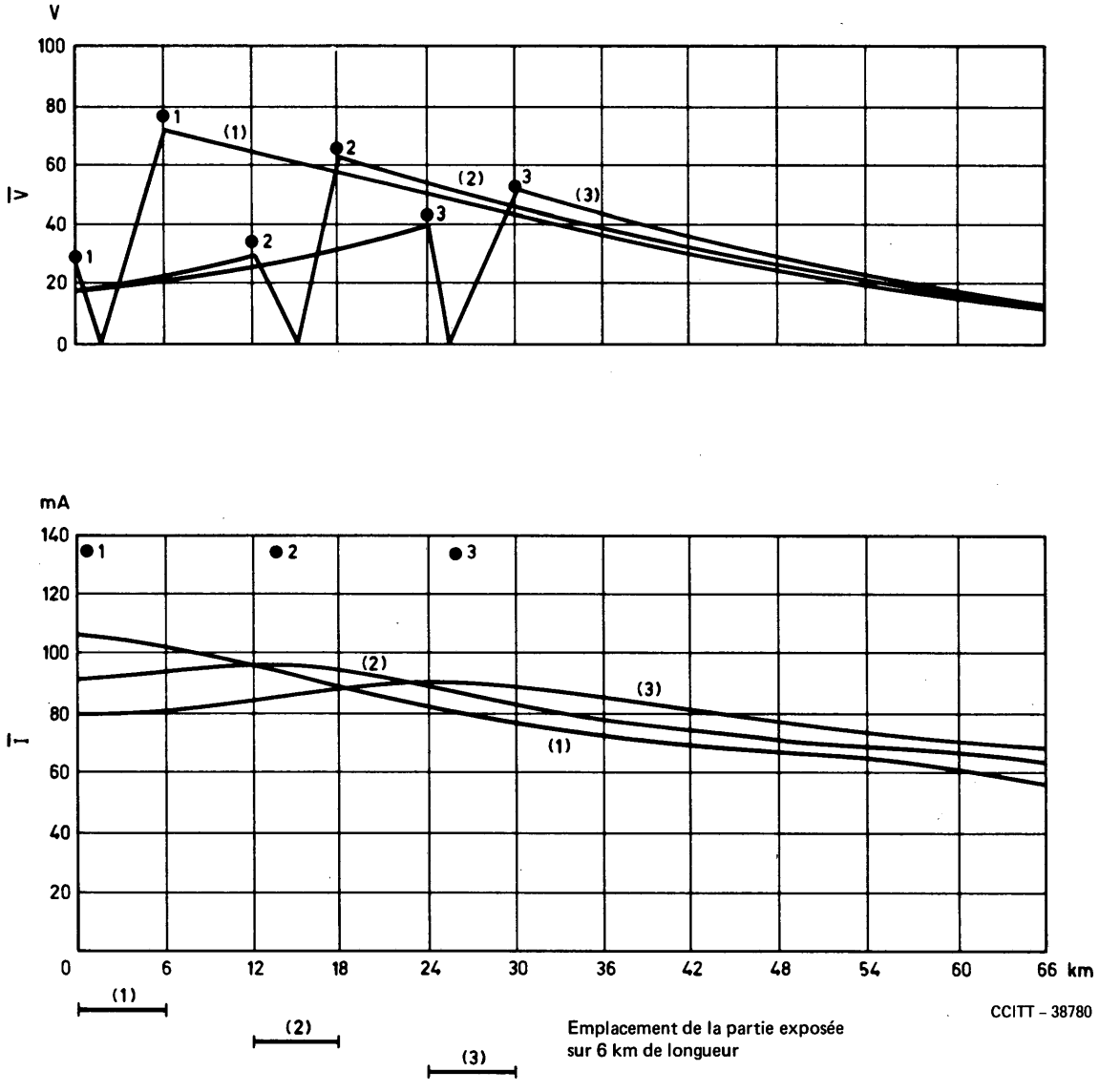


1, 2, 3 ● } Valeurs maximales déterminées au moyen du circuit équivalent

Longueur du rapprochement: 6 km, 30 km, ou 66 km
Tension inductrice : 100 volts

FIGURE C-4/K.16

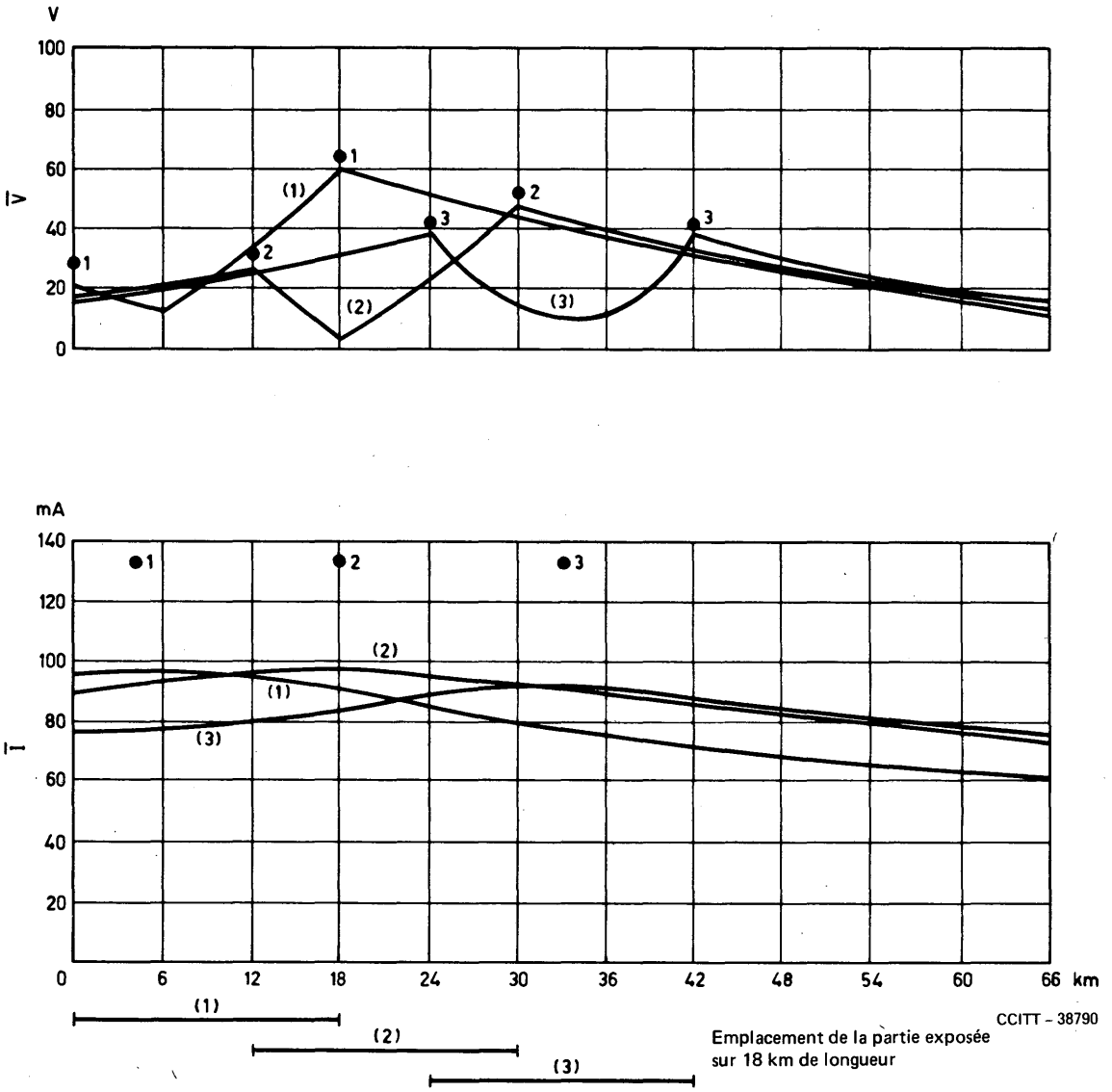
Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements symétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre)



Longueur du rapprochement: 6 km
Tension inductrice : 100 volts

FIGURE C-5/K.16

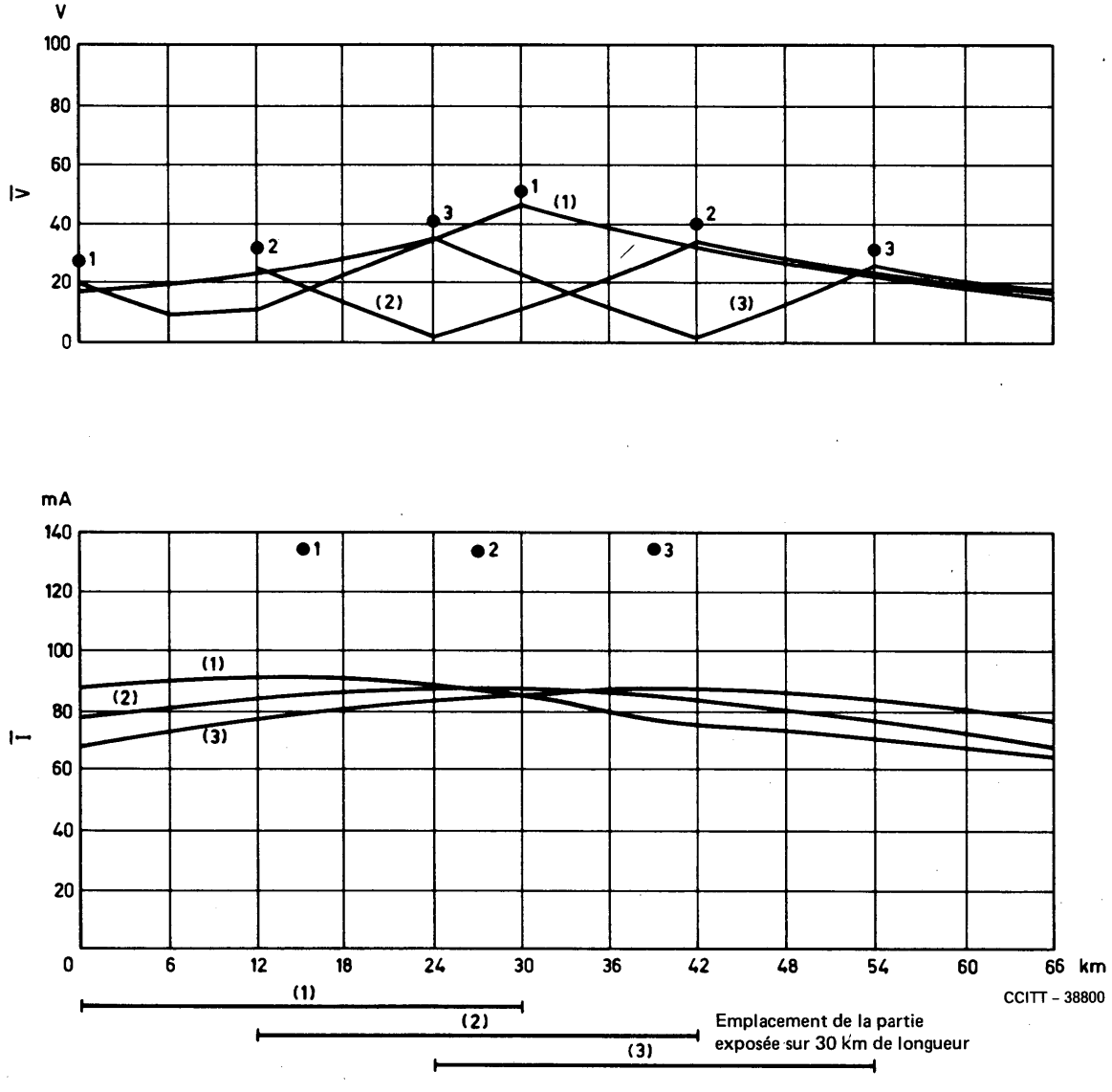
Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre)



Longueur du rapprochement : 18 km
Tension inductrice : 100 volts

FIGURE C-6/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre)



1, 2, 3 ● } Valeurs maximales déterminées au moyen du circuit équivalent

Longueur du rapprochement: 30 km
Tension inductrice : 100 volts

FIGURE C-7/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre)

Références

[1] KEMP (J.), SILCOOK (H. W.), STEWARD (C. J.): «Power Frequency Induction on Coaxial Cables with Application to Transistorized Systems», *Electrical Communication*, vol. 40, n° 2, pp. 255-266, 1965. (Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, vol. 40, n° 2, pp. 254-263, 1965.)

[2] SALZMANN (W.), VOGEL (W.): «Berechnung der Starkstrombeeinflüssung von Nachrichtenkabeln mit Koaxialpaaren und isolierten Aussenleitern» («Calculation of Power Current Interference in Telecommunication Cables with Coaxial Pairs and Insulated Outer Conductors»), *Signal und Draht 57*, n° 12, pp. 205-211, 1965.

Bibliographie

KEMP (J.): «Estimating Voltage Surges on Buried Coaxial Cables Struck by Lightning», *Electrical Communication*, vol. 40, n° 3, pp. 381-385, 1965. (Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, vol. 40, n° 3, pp. 398-402, 1965.)

POPP (E.): «Lightning Protection of Line Repeaters», *Conference Proceedings, ICC 68 of the IEEE*, pp. 169-174.

Recommandation K.17 [1], [2]

ESSAIS À EXÉCUTER SUR DES RÉPÉTEURS TÉLÉALIMENTÉS À COMPOSANTS À ÉTAT SOLIDE POUR VÉRIFIER L'EFFICACITÉ DES MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS EXTÉRIEURES

(Genève, 1976; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984 et à Melbourne, 1988)

1 Introduction

1.1 Ainsi qu'il est souligné dans le § 4.1 de la Recommandation K.15, il est souhaitable que les conditions d'essai se rapprochent le plus possible des conditions réelles. Comme certaines Administrations peuvent être exposées à des conditions ambiantes différentes ou visent des objectifs de service ou obéissent à des contraintes économiques différents, ces essais peuvent être modifiés en vue de leur adaptation aux conditions locales.

Lorsque les conditions ambiantes ne sont pas connues, il convient d'appliquer le texte donné dans la présente Recommandation.

1.2 Aucun des essais indiqués dans la présente Recommandation ne doit modifier essentiellement les caractéristiques des répéteurs essayés.

Cette disposition vise notamment:

a) l'intensité et la tension du courant d'alimentation,

b) la caractéristique de gain en fonction de la fréquence,

c) le bruit total,

d) le taux d'erreur sur les bits.

Les essais comprennent:

– des essais de prototype,

– des essais de réception.

Ils ont pour but de vérifier l'efficacité de l'ensemble des mesures prises pour protéger les répéteurs utilisant des composants à état solide. Ces mesures comprennent les appareils de protection incorporés comme partie intégrante du répéteur ou installés à l'extérieur.

1.3 *Essais de prototype*

Les essais de prototype ont pour but de vérifier l'efficacité du modèle de répéteur et des éléments de protection dans un environnement rigoureux.

Pour définir ce que doivent être les mesures de protection, on doit prendre en considération les forces électromotrices les plus dangereuses qui peuvent apparaître à l'entrée ou à la sortie des répéteurs à composants à état solide, même si elles ne se manifestent que très rarement.

---

[1] Voir également les Recommandations K.15 et K.16.

[2] Les essais spécifiés dans la Recommandation K.17 peuvent aussi être appliqués dans les mêmes conditions aux équipements terminaux – par exemple: répéteurs à alimentation locale, filtres séparateurs d'énergie, équipements d'alimentation – qui sont influencés de la même manière que les répéteurs intermédiaires.

Quand un répéteur à composants à état solide comportant des parafoudres à ses bornes d'entrée (ou de sortie) est soumis à une tension de choc, l'énergie (résiduelle) qui peut parvenir à ses composants dans l'intervalle de temps compris entre zéro et l'amorçage des parafoudres dépend entre autres choses de la raideur du flanc de montée de l'impulsion.

Lors de l'essai de prototype, l'énergie résiduelle devra être aussi grande que dans le cas le plus défavorable qu'on peut prévoir en service.

On réalisera cette condition en choisissant une onde de choc d'amplitude et de raideur appropriées. Toutefois, il est également recommandé d'appliquer au répéteur une impulsion d'amplitude inférieure à la tension d'amorçage des parafoudres, afin de déterminer comment le répéteur se comporte sous l'influence de l'onde de choc complète.

1.4 *Essais de réception*

Ces essais sont destinés à montrer, une fois la construction de l'équipement terminée, que la protection fonctionne convenablement. En général, on se contentera d'une épreuve moins rigoureuse que celle à laquelle est soumis le répéteur lors de l'essai de prototype, afin de ne pas risquer de faire subir à certains éléments une détérioration que peut-être aucun procédé de mesure ne permettrait de déceler. Cependant, il est laissé aux utilisateurs la possibilité de prescrire des essais plus rigoureux (correspondant à des conditions réelles particulières).

L'utilisateur décidera si les essais de réception doivent être effectués sur chaque équipement ou par échantillonnage.

Remarque – Dans certains cas, les utilisateurs peuvent juger utile d'effectuer des essais supplémentaires qui correspondent à leurs besoins particuliers et qui, de ce fait, ne se trouvent pas parmi les essais indiqués ci-dessous.

2 Méthodes d'essai

2.1 *Méthodes d'essai concernant la protection des répéteurs contre les surtensions dues à des coups de foudre (essais en onde de choc)*

On utilisera pour ces essais un dispositif constitué selon la figure 1/K.17. Les valeurs des composants C_2 et R_3 sont indiquées au tableau 1/K.17. Le condensateur C_1 devra résister à une tension de charge égale à la tension de crête indiquée dans ce tableau.

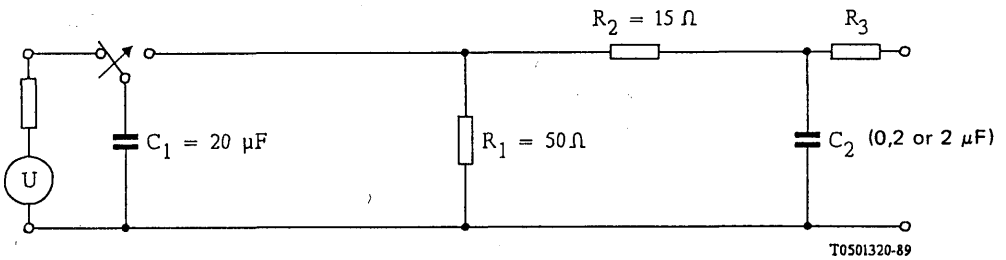


FIGURE 1/K.17

Schéma du générateur d'onde de choc

Remarque – Quand on doit essayer des amplificateurs pour paires symétriques ou micropaires coaxiales, il convient de limiter, au moyen de la résistance R_3, l'intensité du courant de court-circuit de l'équipement d'essai à des valeurs adéquates, compte tenu du fait que les conducteurs des lignes à paires symétriques et des micropaires coaxiales ont une plus grande résistance que ceux des lignes en câbles à paires coaxiales.

Les formes d'ondes données par le tableau sont en accord avec les définitions figurant en [1]. (Les tensions et formes d'ondes se réfèrent à un générateur non chargé.)

TABLEAU 1/K.17

Caractéristiques des formes d'ondes à utiliser pour les essais

	Répéteurs pour paires coaxiales (⩾ 1,2/4,4 mm)				Répéteurs pour paires symétriques				Répéteurs pour micro-paires coaxiales (0,7/2,9 mm)			
	Essais de prototype		Essais de réception		Essais de prototype		Essais de réception		Essais de prototype		Essais de réception	
	Essai 1 Essai 2	Essai 3 [a]	Essai 1 Essai 2	Essai 3 [a]	Essai 1 Essai 1a Essai 2 Essai 2a	Essai 3	Essai 1 Essai 1a Essai 2 Essai 2a	Essai 3	Essai 1 Essai 2	Essai 3 [a]	Essai 1 Essai 2	Essai 3 [a]
Colonne n°	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Forme d'onde [b]	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700
Charge	0,1 coulomb	max. 0,1 coulomb	0,06 coulomb	max. 0,06 coulomb	0,03 coulomb	0,03 coulomb	0,03 coulomb	0,03 coulomb	0,1 coulomb	max. 0,1 coulomb	0,06 coulomb	max. 0,06 coulomb
Tension de crête	5 kV	5 kV	3 kV	3 kV	1,5 kV	1,5 kV	1,5 kV	1,5 kV	5 kV	5 kV	3 kV	3 kV
Courant de court-circuit à la décharge	333 A		200 A		37,5 A		37,5 A		125 A		75 A	
Courant de crête dans le circuit de téléalimentation		50 A		50 A		37,5 A		37,5 A		50 A		50 A
C_2	0,2 µF	0,2 µF	2 µF	2 µF	0,2 µF	0,2 µF	2 µF	2 µF	0,2 µF	0,2 µF	2 µF	2 µF
R_3	[c]	[c]	[c]	[c]	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω
Nombre d'impulsions	10	10	2	2	10	10	2	2	10	10	2	2

[a] Pour l'essai 3 sur répéteurs pour câbles à paires coaxiales, on peut abaisser la tension de crête à un niveau tel que le courant correspondant ne dépasse pas 50 A.

[b] Valeurs approximatives (voir aussi la remarque du § 2.1).

[c] La résistance R_3 (0-2,5 ohms) peut être introduite pour empêcher une décharge oscillatoire. Elle peut dépasser 2,5 ohms si C_2 et R_2 sont ajustés pour maintenir la forme d'onde avec la charge.

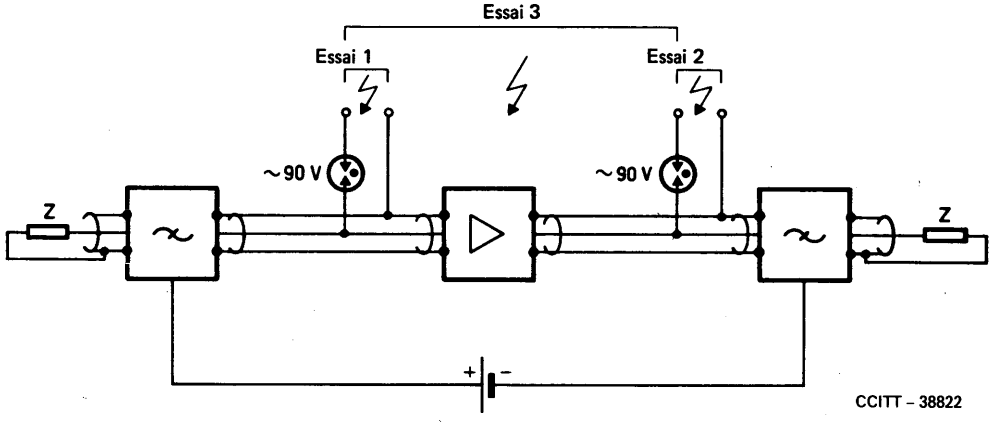
Les impulsions sont appliquées avec polarité inversée d'une impulsion à l'autre, avec un intervalle d'une minute entre impulsions successives; le nombre d'impulsions à chaque point d'essai dans les différents cas est indiqué par la dernière ligne du tableau 1/K.17. Les ondes de choc doivent être appliquées aux points suivants:

- *Essai 1:* à l'entrée du répéteur, la sortie étant fermée sur son impédance caractéristique;
- *Essai 1a:* entre les bornes d'entrée du répéteur et l'enveloppe conductrice normalement reliée à la terre dans le cas de répéteurs à paires symétriques;
- *Essai 2:* à la sortie du répéteur, l'entrée étant fermée sur son impédance caractéristique;
- *Essai 2a:* entre les bornes de sortie du répéteur et l'enveloppe conductrice normalement reliée à la terre dans le cas de répéteurs à paires symétriques.
- *Essai 3:* (dans le sens longitudinal) entre le conducteur intérieur côté entrée et le conducteur intérieur côté sortie du répéteur dans le cas des répéteurs pour paires coaxiales (aux bornes du circuit de téléalimentation dans le cas des répéteurs pour paires symétriques).

Les équipements protégés par des parafoudres et installés sur les câbles à paires symétriques, qui sont influencés par des lignes de transport d'énergie ou de traction à courant alternatif, peuvent être essayés en courant alternatif pendant 0,5 seconde. L'intensité et la fréquence sont comparables aux courants alternatifs qu'on rencontre vraisemblablement en pratique, mais ne doivent pas dépasser 10 A_{eff}.

Le répéteur doit être alimenté pour les essais 1, 1a, 2 et 2a; il ne doit pas être alimenté pour l'essai 3.

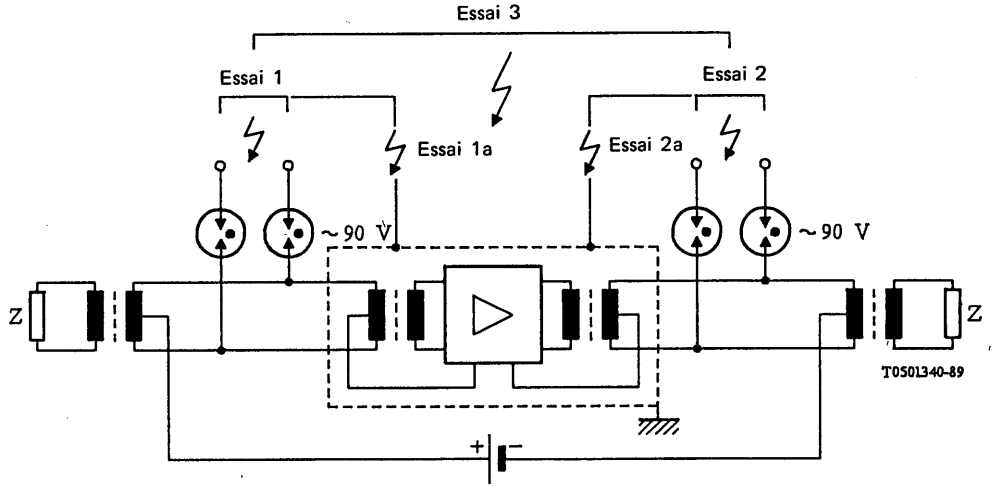
Pour ces essais, on peut avoir intérêt à adopter le circuit représenté à la figure 2/K.17 pour les paires coaxiales ou à la figure 3/K.17 pour les paires symétriques. Le couplage du générateur d'impulsions avec le répéteur pourra se faire au moyen de parafoudres ayant une tension d'amorçage de 90 V environ, comme illustré aux figures 2/K.17 et 3/K.17.



Remarque – *Z* à spécifier suivant les caractéristiques du système à l'essai.

FIGURE 2/K.17

Exemple de montage pour l'essai de tension de choc sur des répéteurs téléalimentés pour câbles à paires coaxiales



Remarque – *Z* à spécifier suivant les caractéristiques du système à l'essai.

FIGURE 3/K.17

Exemple de montage pour l'essai de tension de choc sur les répéteurs téléalimentés utilisés pour des câbles à paires symétriques

2.2 *Méthodes d'essai concernant la protection des répéteurs contre les influences du courant alternatif dues à un dérangement dans une ligne électrique*

2.2.1 *Essais en courant alternatif aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur*

Une f.é.m. (de fréquence 16 2/3, 25, 50 ou 60 Hz) est appliquée:

- à l'entrée du répéteur, la sortie étant fermée sur une impédance double de l'impédance caractéristique,
- à la sortie du répéteur, l'entrée étant fermée sur une impédance double de l'impédance caractéristique.

La valeur, la durée de la f.é.m. et l'impédance interne de cette source doivent être représentatives des conditions locales. (Cet essai n'est spécifié que pour les répéteurs pour paires coaxiales.)

2.2.2 *Essais en courant alternatif aux bornes du circuit d'alimentation du répéteur*

Un courant alternatif de fréquence et d'intensité appropriées est appliqué aux bornes du circuit d'alimentation en énergie.

Si la charge additionnelle résultant de l'application de l'énergie est négligeable, il ne faut pas appliquer d'énergie pendant les essais indiqués au § 2.2. Par contre, si cette charge n'est pas négligeable, il convient de simuler le niveau le plus élevé de la charge due à l'alimentation pendant les essais en courant alternatif.

2.3 *Méthodes d'essai concernant la protection des répéteurs contre les perturbations dues à une tension alternative longitudinale induite en permanence par des lignes électriques*

Pour qu'un répéteur fonctionne de façon satisfaisante en présence de tensions induites en régime permanent (voir le § 3.2 de la Recommandation K.15), sa caractéristique de bruit de modulation doit être conforme aux recommandations pour les sections principales prévues par la Commission d'études XV, comme cela est signalé au § 4.3 de la Recommandation K.15 et la qualité de la transmission qu'il assure ne doit pas se modifier sensiblement (voir la Recommandation citée en [2]) quand il est connecté à une ligne ordinaire d'alimentation en énergie qui le soumet:

a) à une tension alternative de fréquence appropriée (50 Hz, 16 2/3 Hz, etc.) appliquée:
   i) aux bornes d'entrée des signaux, ou
   ii) aux bornes de sortie des signaux.

   La source de cette tension alternative doit avoir, à ses points de jonction au circuit d'essai, une impédance telle que les caractéristiques de transmission de ce dernier en fonction de la fréquence ne soient pas sensiblement modifiées, par l'application de cette tension;

b) à un courant alternatif de fréquence appropriée superposé au courant d'alimentation du répéteur.

L'essai spécifié en a) est à exécuter sous 60 V ou 150 V suivant les limites de la force électromotrice induite en permanence [3]. L'essai spécifié en b) doit être exécuté avec un courant d'une intensité correspondant à une tension de 60 V ou 150 V calculée selon la méthode décrite dans la Recommandation K.16 en se plaçant dans les conditions les plus défavorables.

3 Essais à effectuer dans les différents cas

3.1 *Conditions d'essais concernant les répéteurs pour paires coaxiales*

Les essais qui suivent ont été mis au point pour le cas où le conducteur extérieur est relié à l'enveloppe métallique du câble. Cela couvre le cas où le conducteur extérieur, ayant normalement un potentiel flottant, entrerait accidentellement en contact avec l'enveloppe métallique.

3.1.1 *Essais de prototype*

3.1.1.1 *Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur*

3.1.1.1.1 *Essais en ondes de choc*

Ces essais auront lieu dans les conditions indiquées dans la colonne 1 du tableau 1/K.17.

Si la protection est assurée par les *dispositifs à seuil* (par exemple, parafoudres), situés à l'entrée ou à la sortie du répéteur, et s'ils n'amorcent pas dans les conditions d'essais indiquées ci-dessus, il sera nécessaire d'augmenter progressivement la tension de charge du condensateur C_1 jusqu'à ce qu'ils amorcent (sans dépasser 7 kV[3]).

[3] Si des répéteurs utilisés pour micropaires coaxiales sont mis à l'essai, la tension maximale de crête ne doit pas dépasser 5 kV.

Si les parafoudres n'amorcent pas à 7 kV ou si les répéteurs soumis aux essais de prototype ne sont pas munis de parafoudres, il est possible que la forme d'onde proposée ci-dessus ne soit pas appropriée. Une forme d'impulsion simulant un claquage dans le câble peut être produite par le générateur d'essai ci-dessus, si un éclateur de tension approprié est connecté en parallèle sur le circuit. Lorsqu'il y a des parafoudres et s'ils amorcent lors des essais mentionnés ci-dessus, on doit réduire progressivement la tension de charge du condensateur C_1, jusqu'à ce qu'ils n'amorcent plus.

3.1.1.1.2 *Essais en courant alternatif* [4)]

Une source qui produira une tension de 1200 V efficace aux bornes d'une résistance de 150 ohms sera appliquée pendant 0,5 seconde:

- à l'entrée du répéteur, la sortie étant terminée sur une résistance de 150 ohms;
- à la sortie du répéteur, l'entrée étant terminée sur une résistance de 150 ohms.

L'impédance de la source devra être telle que l'intensité des courants qui circulent soit comprise entre 8 et 10 A.

La f.é.m. de la source devrait être telle qu'une tension d'au moins 1200 V_{eff} apparaisse aux bornes d'une résistance de charge de 150 ohms. La figure 4/K.17 montre un exemple de circuit d'essai convenant pour la fréquence 50 Hz.

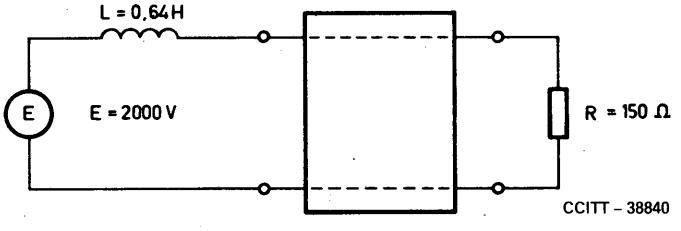


FIGURE 4/K.17

Exemple de circuit pour essais en courant alternatif à 50 Hz

3.1.1.1.3 *Essais avec une tension alternative induite en régime établi*

Ces essais doivent être exécutés selon le § 2.3.

3.1.1.2 *Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur*

3.1.1.2.1 *Essais en onde de choc*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 2 du tableau 1/K.17.

Dans ces essais, le condensateur C_1 peut être chargé à 5 kV ou sous une tension plus basse, à condition que l'intensité de crête du courant circulant dans le circuit d'alimentation atteigne 50 A.

3.1.1.2.2 *Essais en courant alternatif*

Ces essais consistent à faire circuler dans le circuit de téléalimentation un courant alternatif dont l'intensité et la fréquence correspondent au courant alternatif auquel on peut s'attendre en service. Ce courant sera appliqué pendant 0,5 seconde et ne devra pas dépasser une intensité efficace de 10 A.

3.1.1.2.3 *Essais avec une tension alternative induite en régime établi*

Ces essais doivent être exécutés selon le § 2.3.

[4)] Cette partie de la Recommandation pourra être modifiée à la suite des études et expériences futures. Si une Administration estime que ces valeurs sont trop élevées pour ses besoins eu égard aux conditions locales, une valeur plus faible peut être spécifiée.

3.1.2 *Essais de réception*

3.1.2.1 *Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 3 du tableau 1/K.17.

3.1.2.2 *Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 4 du tableau 1/K.17. Pour ces essais, on peut charger le condensateur C_1 sous 3 kV ou sous une tension plus basse, à condition que le courant de crête dans le circuit de téléalimentation atteigne alors 50 A.

3.2 *Conditions d'essais concernant les répéteurs pour paires symétriques*

3.2.1 *Essais de prototype*

3.2.1.1 *Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur*

3.2.1.1.1 *Essais en onde de choc*

On utilisera pour ces essais une forme d'onde ayant les caractéristiques indiquées dans la colonne 5 du tableau 1/K.17.

Lorsque la rigidité diélectrique des paires symétriques est plus grande que celle des paires isolées au papier, il est conseillé d'utiliser une tension de crête plus élevée que celle indiquée dans le tableau 1/K.17.

Lorsqu'il y a des parafoudres et s'ils amorcent lors des essais mentionnés ci-dessus, on doit réduire progressivement la tension de charge du condensateur C_1 jusqu'à ce qu'ils n'amorcent plus.

Remarque – Lorsqu'il y a des parafoudres entre les bornes d'entrée et de sortie du répéteur et son châssis, il faut connecter une des bornes au châssis avant de faire l'essai de tension transversale, afin de simuler l'amorçage d'un parafoudre.

3.2.1.1.2 *Essais en courant alternatif*

Il n'est pas spécifié d'essai en courant alternatif.

3.2.1.2 *Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur*

3.2.1.2.1 *Essais en ondes de choc*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 6 du tableau 1/K.17.

3.2.1.2.2 *Essais en courant alternatif*

Ces essais consistent à faire circuler dans le circuit de téléalimentation un courant alternatif auquel on peut s'attendre en service. Ce courant sera appliqué pendant 0,5 seconde.

On peut omettre ces essais si, dans les conditions ambiantes, les répéteurs ne sont pas sujets à des f.é.m. longitudinales induites par des lignes électriques qui donneraient naissance à des courants longitudinaux.

3.2.1.2.3 *Essais avec une tension alternative induite en régime établi*

Ces essais doivent être exécutés selon le § 2.3.

3.2.2 *Essais de réception*

3.2.2.1 *Essais aux bornes d'entrée et de sortie des répéteurs*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 7 du tableau 1/K.17.

3.2.2.2 *Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 8 du tableau 1/K.17.

3.3 *Conditions d'essais concernant les régénérateurs et les sources d'alimentation employés sur les systèmes de transmission à fibres optiques*

Les essais qui suivent s'appliquent à tous les types de régénérateurs.

En principe, il existe deux types de régénérateurs: les régénérateurs avec enveloppes à potentiel flottant et les régénérateurs avec enveloppes reliées à la terre locale. Les régénérateurs peuvent également être téléalimentés par l'intermédiaire de convertisseurs séparés fournissant du courant continu. On peut considérer ces deux éléments autonomes comme un «régénérateur» unique dans le cadre de la présente Recommandation.

3.3.1 *Essais de prototype*

3.3.1.1 *Essais en onde de choc*

Ces essais auront lieu dans les conditions indiquées dans la colonne 1 du tableau 2/K.17.

Ces essais seront appliqués aux équipements comme indiqué à la figure 5/K.17.

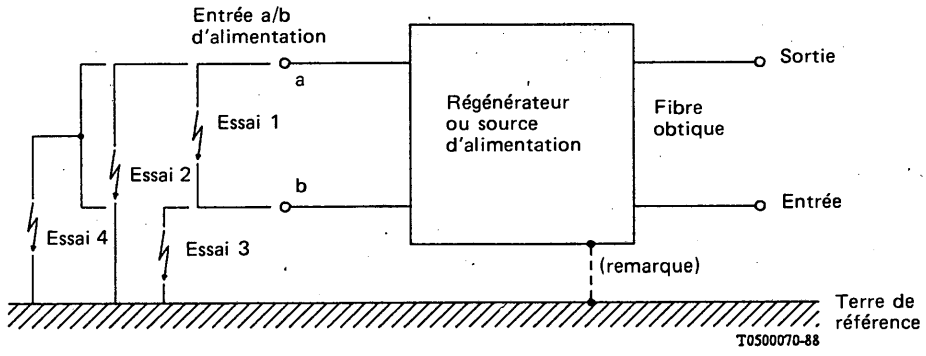
- *Essai 1*: entre les bornes *a* et *b* du circuit d'alimentation;
- *Essai 2*: entre la borne *a* du circuit d'alimentation et la terre de référence;
- *Essai 3*: entre la borne *b* du circuit d'alimentation et la terre de référence;
- *Essai 4*: entre les bornes *a* et *b* du circuit d'alimentation reliées ensemble et la terre de référence;

Les liaisons des enveloppes avec la terre de référence seront les mêmes que celles employées en pratique.

TABLEAU 2/K.17

Caractéristiques des formes d'onde de choc à utiliser pour l'essai de systèmes à fibres optiques

	Essais en onde de choc	
	essais de prototype	essais de réception
	Essai 1 Essai 2 Essai 3 Essai 4	Essai 1 Essai 4
N° de colonne	(1)	(2)
Forme d'onde	10/700	100/700
Charge	0,1 coulomb	0,06 coulomb
Tensions de crête	5 kV	3 kV
Courant de court-circuit	333 A	200 A
C_2	0,2 µF	2 µF
R_3	2,5 Ω	2,5 Ω
Nombre d'impulsions	10	2



Remarque — Liaison à la terre si elle existe en pratique.

FIGURE 5/K.17

Aménagement du circuit pour les essais en onde de choc

3.3.1.2 *Essais en courant alternatif*

3.3.1.2.1 *Induction à courant alternatif de courte durée*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans le tableau 3/K.17.

Les essais 1, 2, 3 et 4 devront être appliqués à l'équipement comme indiqué à la figure 5/K.17 et expliqué au § 3.3.1.1.

TABLEAU 3/K.17

Courants et tensions pour essais en courant alternatif des systèmes à fibres optiques

	Essais en courant alternatif	
	Essai 1	Essai 2 Essai 3 Essai 4
Tension		1200 V_{eff}
Courant	10 A_{eff}	max. 10 A_{eff}
Durée	0,5 s	0,5 s
Nombre d'essais	1	1

3.3.1.2.2 *Induction à courant alternatif en régime établi*

Ces essais seront effectués conformément au § 2.3b) et l'équipement devra fonctionner pendant les essais sans accroissement important du taux d'erreur sur les bits.

3.3.1.3 *Essai d'immunité aux transitoires rapides induits dans le circuit d'alimentation*

On peut effectuer ces essais pour garantir que le régénérateur est suffisamment protégé contre les transitoires apparaissant dans le circuit d'alimentation.

Ces essais seront appliqués à l'équipement comme indiqué à la figure 6/K.17.

On devra utiliser pour l'essai un générateur conforme à la Publication 801-4 de la CEI. Aux tensions d'essai allant jusqu'à 1 kV, la transmission des signaux simulée ne devrait pas être sérieusement perturbée. Il est recommandé d'effectuer cet essai si le circuit d'alimentation est insuffisamment blindé ou si l'on peut prévoir des perturbations dues au fonctionnement des appareils de connexion dans les systèmes de transport d'énergie.

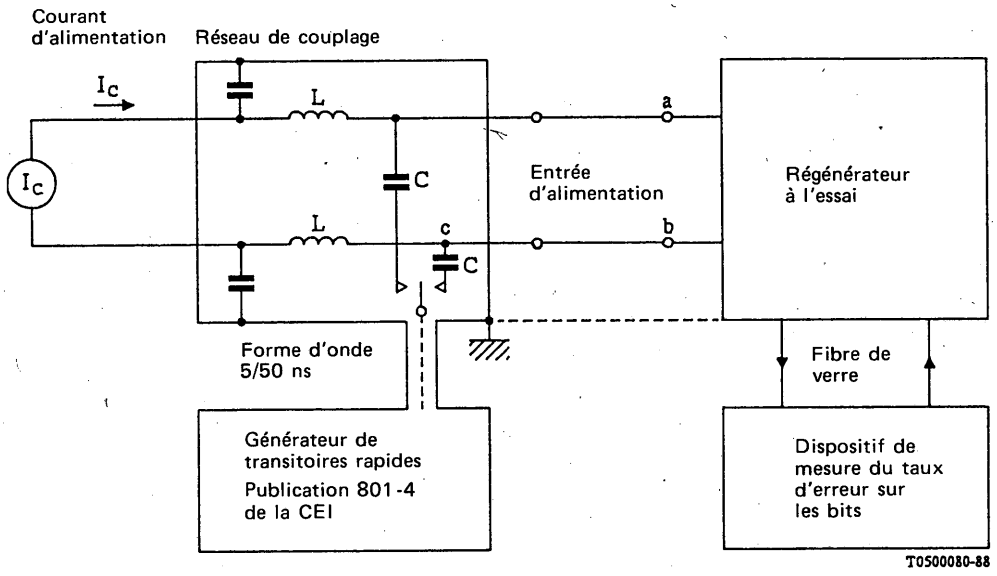


FIGURE 6/K.17

Essai d'immunité des régénérateurs de systèmes à fibres de verre

3.3.2 *Essais de réception*

On effectuera uniquement les essais en onde de choc dans les conditions indiquées dans la colonne 2 du tableau 2/K.17.

Les essais 1, 4 devront être effectués compte tenu des remarques indiquées au § 1.4.

Références

[1] Publication n° 60-2 de la CEI. *Techniques des essais à haute tension. Deuxième partie: modalités d'essais*, Genève, 1973.

[2] Recommandation du CCITT *Modulation non désirée et gigue de phase*, Rec. G.229, § 1.3.

[3] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunications contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, vol. VI, UIT, Genève, 1988.

Recommandation K.18

MÉTHODE DE CALCUL DES TENSIONS INDUITES PAR LES ÉMISSIONS RADIOÉLECTRIQUES ET MÉTHODE DE RÉDUCTION DES PERTURBATIONS

(Genève, 1980; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984 et à Melbourne, 1988)

1 Introduction

De façon générale, il est rare qu'on observe dans les circuits en câbles enterrés ou souterrains des perturbations causées par l'effet inducteur d'ondes radioélectriques. En revanche, on a signalé à maintes reprises des cas de perturbations de ce type dans les circuits en lignes aériennes, en câbles aériens ou en câbles placés à l'intérieur des bâtiments.

Des perturbations sur les circuits à fréquences vocales se produisent parce que l'onde radioélectrique induite est détectée et démodulée par les composants non linéaires de l'appareil téléphonique ou par la couche d'oxyde métallique qui se forme aux épissures des conducteurs. Cette perturbation consiste principalement en un bruit intelligible et, selon les rapports, elle se produit jusqu'à environ 5 km d'une station radioélectrique dont la puissance rayonnée dépasse plusieurs dizaines de kilowatts.

Sur les circuits de transmission à courants porteurs ou sur les circuits de transmission d'un signal vidéo, l'onde radioélectrique induite dégrade directement la qualité de fonctionnement du circuit quand sa fréquence tombe dans la gamme des fréquences d'exploitation du système de transmission. Cette perturbation se traduit habituellement par un son de fréquence pur dans une voie téléphonique, et elle est inintelligible. Elle provoque une dégradation du rapport signal/bruit (S/B) du système de transmission et se produit dans un rayon important autour de la station radioélectrique. On connaît peu d'exemples de perturbations causées aux circuits de transmission d'un signal vidéo, mais ce problème est appelé à prendre de l'importance à mesure que les services de transmission de signaux vidéo deviendront plus nombreux.

Un exemple peu fréquent de perturbations causées par les courants d'ondes radioélectriques induites est celui de brûlures perçues par le personnel chargé de la maintenance des installations extérieures. De tels inconvénients n'ont été constatés qu'à proximité immédiate de l'antenne d'une station radioélectrique.

2 Analyse des perturbations

Pour procéder à l'analyse théorique de la tension induite par une onde radioélectrique, on admet les conditions suivantes:

- la résistivité du sol est homogène et uniforme;
- un câble ou un fil est tendu en ligne droite à hauteur constante au-dessus du sol;
- l'écran métallique du câble est mis à la terre aux deux extrémités;
- le champ électrique de l'onde radioélectrique a une intensité constante et un angle d'incidence constant et les variations de phase le long du câble sont uniformes;
- l'onde radioélectrique est à l'origine polarisée verticalement mais, au cours de sa propagation à la surface du sol, une composante horizontale apparaît par suite de la conductivité du sol de valeur finie.

Les constantes et les variables utilisées pour l'analyse théorique sont indiquées dans l'annexe A.

2.1 Pour les lignes de télécommunications sans écran métallique, la composante horizontale du champ électrique de l'onde joue directement le rôle d'une force électromotrice qui s'applique à la ligne de télécommunications. Il en résulte un bruit induit aux extrémités lorsque le circuit présente un déséquilibre d'impédance par rapport au sol. Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'une ligne de télécommunications sans écran métallique sont données par les formules (B-1) et (B-2).

2.2 Pour les câbles de télécommunications avec écran métallique, la composante horizontale du champ électrique de l'onde joue le rôle d'une force électromotrice qui donne naissance à un courant induit dans le circuit de retour par le sol, composé de l'écran métallique du câble et le sol. Sous l'action du courant qui parcourt l'écran métallique, l'impédance de transfert entre les conducteurs et l'écran métallique engendre une force électromotrice induite dans les conducteurs. Cette force électromotrice peut provoquer une perturbation sur un circuit métallique du câble, selon son degré de déséquilibre par rapport à l'écran métallique (ou au sol).

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'un câble de télécommunications muni d'un écran métallique sont données par les formules (B-3) et (B-4). La référence [1] montre que les valeurs calculées au moyen de ces formules concordent avec les valeurs mesurées.

2.3 Les formules de l'annexe B sont cependant très compliquées et font entrer en jeu de nombreux paramètres. Dans ces conditions, il est utile de pouvoir calculer approximativement la valeur maximale de la tension longitudinale induite en appliquant la formule simplifiée qui suit:

$$V_2(0)\ \text{dB}\ [\approx V_2(l)] = 20 \log_{10} V_2(0)$$

$$= 20 \log_{10} \frac{PE_v (\cos\theta)\ Z_K}{4Z_{01}} - 30 \log_{10} f - 20 \log_{10} \alpha_{20} + 300 \qquad (2\text{-}1)$$

où

$$l \geqslant \frac{1{,}5\ \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8 \qquad (2\text{-}2)$$

$$20\ \Omega < |\ Z_{1R}\ |, |\ Z_{1L}\ | \leqslant |\ Z_{01}\ | \qquad (2\text{-}3)$$

$\gamma_2 = \alpha_2 + j\beta_2$

$\alpha_2 = \alpha_{20}\sqrt{f} \times 10^{-3}$ (dB/km)

α_{20} est l'affaiblissement linéique à 1 MHz (dB/km)

f est la fréquence de l'onde radioélectrique exprimée en Hz

Les autres constantes et variables sont indiquées dans l'annexe A.

La formule (2-1), qui donne la tension longitudinale induite maximale en dB (0 dB = 0,775 V), est obtenue à partir des éléments suivants:

La tension longitudinale induite, calculée à l'aide de la formule de l'annexe B atteint une valeur initiale de crête pour une longueur de câble,

$$l = \frac{1{,}5\ \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8$$

et ensuite atteint une série de valeurs de crête. Sa valeur maximale apparaît à l'une des premières crêtes pour une longueur de câble,

$$l \geqslant \frac{1{,}5\ \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8.$$

La tension longitudinale induite atteint sa valeur maximale à l'une des premières valeurs de crête à cause de l'affaiblissement que subit l'onde radioélectrique induite au cours de sa propagation le long du câble (voir la figure 3/K.18).

L'erreur due à l'application de la formule (2-1), au lieu des formules rigoureuses de l'annexe B, est indiquée dans l'annexe C.

2.4 Quand la configuration de la ligne est très complexe, il faut la diviser en plusieurs tronçons et calculer pour chacun d'eux la tension longitudinale induite au moyen des formules (B-1) à (B-4). On combine ensuite les tensions induites ainsi calculées pour chaque tronçon de façon à obtenir la tension induite globale, compte tenu des caractéristiques de transmission et des conditions aux limites de la ligne considérée.

Lorsqu'on applique la formule simplifiée (2-1) à une ligne complexe, on peut utiliser un modèle correspondant à une ligne droite pour calculer la tension longitudinale induite maximale. On doit commencer les calculs au point situé le plus près de la station radioélectrique et la plus petite valeur d'angle d'incidence de l'onde radioélectrique doit être retenue pour ces calculs.

2.5 Quand le champ électrique de l'onde perturbatrice est mesuré sur le terrain, c'est cette valeur qu'on prend pour E_v dans la formule (2-1).

A défaut de mesure, la formule (2-4) fournit la valeur théorique du champ E_v en fonction de la puissance d'émission et de la distance de la station radioélectrique [2].

$$E_v = \frac{1}{r}\sqrt{\frac{1{,}5\ P\ Z_0}{2\pi}} \qquad (2\text{-}4)$$

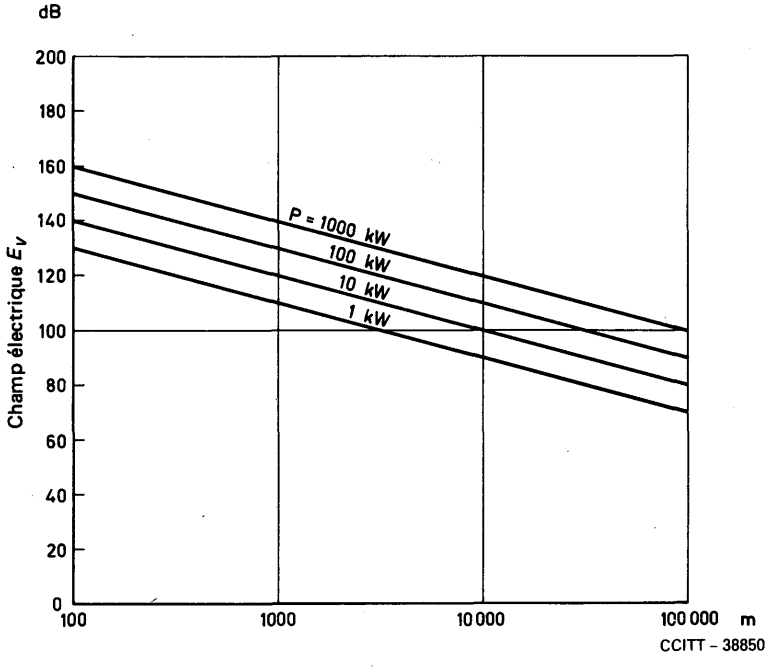
où

P est la puissance d'émission de la station radioélectrique (W)

r est la distance de la station radioélectrique (m)

Z_0 est l'impédance intrinsèque de l'espace libre ($\approx 377\ \Omega$)

La figure 1/K.18 montre le résultat calculé en appliquant la formule (2-4) en utilisant plusieurs valeurs de P.



Remarque – E_v est exprimé en dB (0 dB = 1 µV/m).

FIGURE 1/K.18

Champ électrique de l'onde radioélectrique en fonction de la distance jusqu'à la station

2.6 L'angle d'incidence de l'onde radioélectrique sur la ligne de télécommunications dépend considérablement des circonstances.

Lorsque la ligne de télécommunications est installée dans une région dégagée d'obstacles, on peut utiliser comme valeur de cet angle d'incidence soit la valeur mesurée, soit la valeur calculée à partir de la position géographique relative de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications.

Quand la ligne de télécommunications est installée à proximité de constructions qui font obstacle à la propagation des ondes radioélectriques, on peut admettre que l'angle d'incidence est nul, et les conditions les plus défavorables.

2.7 On calcule comme suit la tension longitudinale induite aux extrémités d'un câble de télécommunications (voir la figure 2/K.18), à l'aide de la méthode d'estimation indiquée ci-dessus.

En insérant les valeurs des paramètres P, f, α_{20}, β_2 et θ indiquées sur la figure 2/K.18 et les valeurs calculées pour E_v et Z_K dans les formules (2-1) et (2-2), on obtient les résultats suivants:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -35{,}0 \text{ dB}$$

$$l \geqslant 210 \text{ m}$$

de plus, en utilisant $\theta = 0°$ pour représenter les conditions les plus défavorables, on obtient le résultat ci-après:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -32{,}0 \text{ dB}$$

$$l \geqslant 210 \text{ m}$$

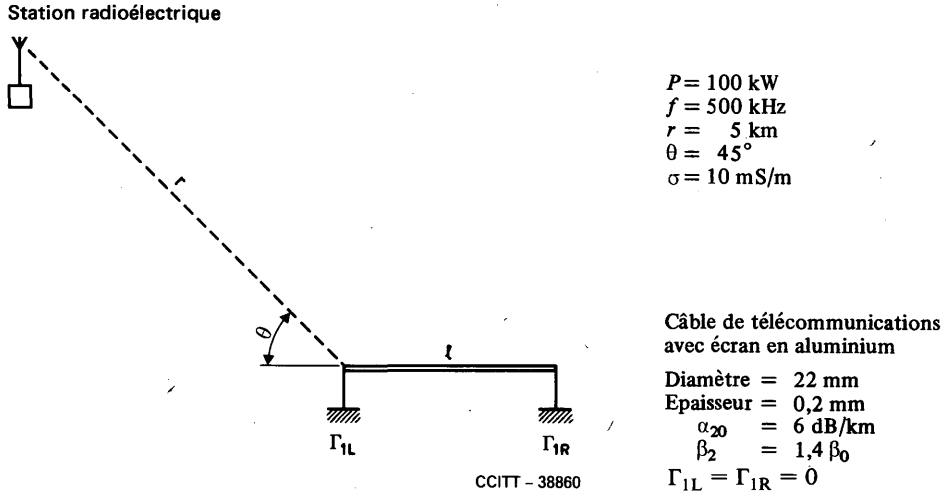


FIGURE 2/K.18

Positions relatives de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications

La figure 3/K.18 compare les résultats obtenus en utilisant la méthode de calcul simplifiée avec les résultats calculés en appliquant la formule rigoureuse de l'annexe B où les valeurs de V_2 sont exprimées en fonction de la longueur de câble. Il semble que la méthode simplifiée est celle qui convient le mieux pour l'estimation de la perturbation la plus forte susceptible d'apparaître.

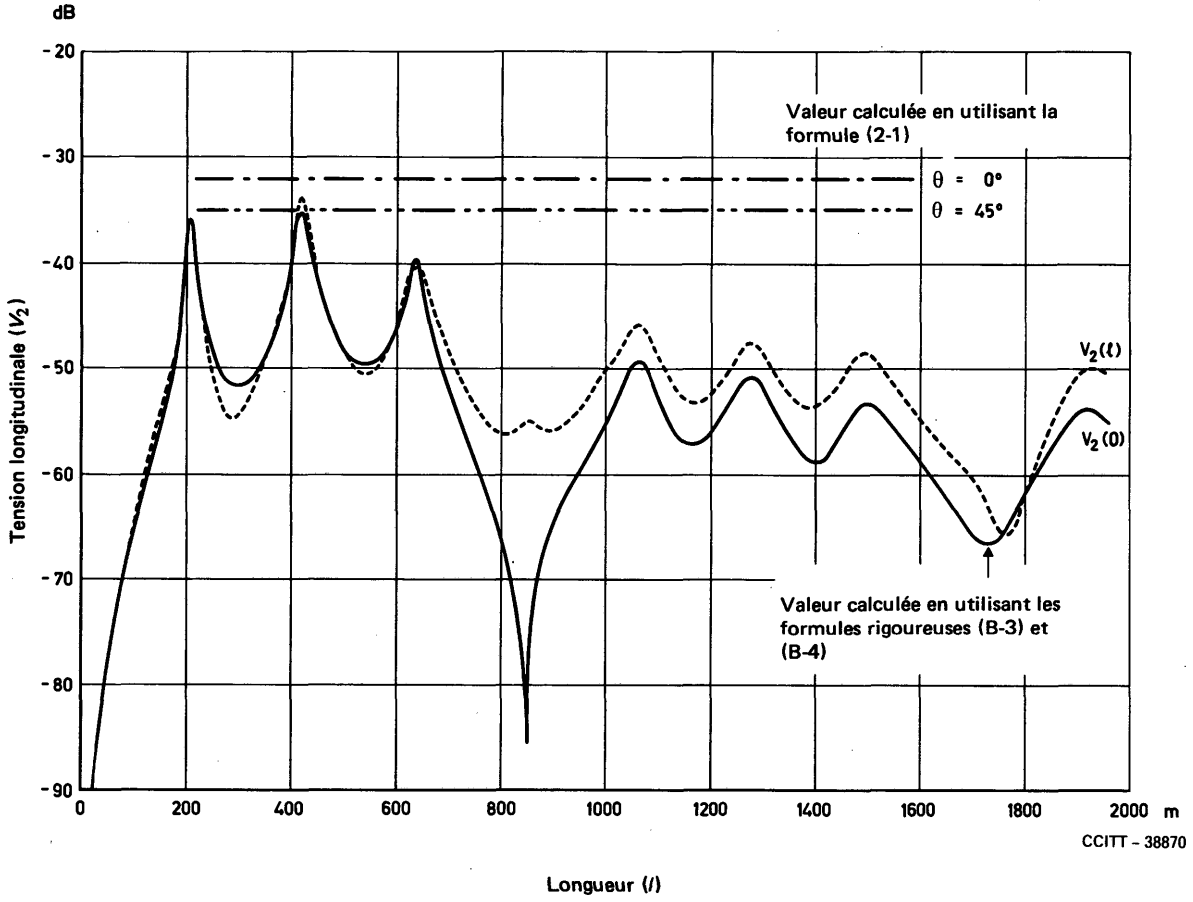


FIGURE 3/K.18

Tension longitudinale induite calculée aux extrémités du câble comme indiqué à la figure 2/K.18

2.8 Des tensions transversales qui provoquent du bruit se produisent à cause du défaut de symétrie du circuit par rapport à l'écran métallique (ou à la terre). Si le rapport λ entre les tensions longitudinale et transversale est connu, le niveau de bruit peut être obtenu à partir de la valeur calculée ou de la valeur mesurée de la tension longitudinale induite.

$$V = \lambda \cdot V_2$$

où

V_2 [$V_2(0)$ ou $V_2(l)$] est la tension longitudinale aux extrémités du circuit longitudinal à circuit ouvert,

et V [$V(0)$ ou $V(l)$] est la tension transversale aux extrémités du circuit métallique fermé sur son impédance caractéristique à ses deux extrémités.

Par exemple, dans le cas illustré par la figure 2/K.18 et pour une valeur de λ égale à -40 dB, on obtient comme suit la valeur du niveau de bruit V:

(Dans ce cas, $V_2 = -35$ dB [0 dB = 0,775 V])

$V = -35 - 40$ dB $= -75$ dB

3 Réduction des perturbations

Les mesures suivantes peuvent être prises afin de réduire les perturbations:

3.1 Les perturbations causées à des circuits à fréquences vocales peuvent être réduites en insérant une capacité de 0,01 à 0,05 µF entre les conducteurs et la terre au niveau des bornes d'entrée de l'équipement terminal ou de l'appareil téléphonique, de façon à court-circuiter le courant induit par les ondes radioélectriques.

3.2 Les perturbations causées à un système de transmission à courants porteurs et à un système de transmission de signal vidéo peuvent être efficacement réduites par les mesures suivantes:

3.2.1 Un écran approprié doit être incorporé au câble, par exemple, un écran en aluminium de 0,2 mm d'épaisseur autour d'un câble assure une réduction de la perturbation d'environ 70 dB. L'écran en aluminium doit être mis à la terre aux deux extrémités, à travers une résistance de mise à la terre inférieure à $\left| Z_{01} \right|$ Ω, lorsque la conductivité du sol est elle-même inférieure à 0,1 S/m. Quand on porte de 0,2 à 1,0 mm l'épaisseur de l'écran en aluminium, l'effet réducteur est augmenté de 50 à 60 dB.

3.2.2 Au niveau des épissures et des bornes de raccordement des câbles, les conducteurs doivent être entourés d'un écran métallique complet.

Remarque – Si l'écran est supprimé sur une trentaine de centimètres, la tension induite augmente de l'ordre de 30 dB, même s'il n'est pas isolé électriquement. A l'extrémité d'un câble, si on supprime éventuellement l'écran métallique sur environ 5 cm, la tension induite augmente d'environ 10 dB.

3.2.3 Sur des sections exposées à des perturbations par des ondes radioélectriques, un câble souterrain doit être installé ou bien des trajets de pose de câble différents doivent être utilisés.

3.2.4 Les distances entre répéteurs doivent être réduites afin d'obtenir pour le système un rapport signal/bruit (S/B) acceptable.

3.2.5 Le déséquilibre d'admittance par rapport à la terre de l'équipement terminal et des répéteurs à la fréquence de l'onde radioélectrique doit être amélioré (réduction).

3.2.6 Un réglage de préaccentuation dans le système de transmission doit être utilisé.

3.3 Pour réduire les tensions induites qui présentent un danger pour le personnel de maintenance, il est possible d'insérer à intervalles appropriés des condensateurs entre les conducteurs et la terre, à l'intérieur de la section subissant la perturbation afin de court-circuiter le courant induit.

En pareils cas, il faut choisir des condensateurs de capacité appropriée pour réduire au minimum l'affaiblissement dans la gamme des fréquences de transmission tout en réalisant une mise à la terre efficace à la fréquence des ondes radioélectriques. En même temps, il faut veiller à ce que le condensateur ne soit pas endommagé par des surtensions qui pourraient apparaître sur les conducteurs.

ANNEXE A

(à la Recommandation K.18)

Constantes et variables utilisées dans la Recommandation K.18

A.1 Le rapport P entre la composante horizontale et la composante verticale du champ électrique de l'onde radioélectrique à la surface du sol est donné par la formule:

$$P = \frac{E_h}{E_v} = \left| \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r - j \dfrac{\sigma}{\omega \varepsilon_0}}} \right| \approx \sqrt{\frac{\omega \varepsilon_0}{\sigma}} \qquad \text{(A-1)}$$

où

E_h est la composante horizontale du champ électrique de l'onde radioélectrique (V/m)

E_v est la composante verticale du champ électrique de l'onde radioélectrique (V/m)

ε_r est la constante diélectrique spécifique du sol

ε_0 est la constante diélectrique de l'espace libre (F/m)

Z_0 est l'impédance intrinsèque de l'espace libre (Ω)

β_0 est la constante de phase de l'espace libre (rad/m)

σ est la conductivité du sol (S/m)

ω est la pulsation de l'onde radioélectrique (rad/s)

f est la fréquence de l'onde radioélectrique (Hz)

A.2 L'impédance de transfert Z_K de l'écran métallique d'une enveloppe de câble est donnée par la formule:

$$Z_K = \frac{Kt}{\sinh Kt} \cdot R_{dc} \qquad \Omega/m \qquad \text{(A-2)}$$

où

R_{dc} est la résistance linéique de l'écran métallique en courant continu (Ω/m)

$K = \sqrt{j\omega\mu g}$

μ est la perméabilité de l'écran métallique (H/m)

g est la conductivité de l'écran métallique (S/m)

t est l'épaisseur de l'écran métallique (m)

A.3 En ce qui concerne les symboles ci-après, voir la figure A-1/K.18.

θ est l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications (rad)

l est la longueur du câble (m)

x est la distance mesurée le long du câble à partir de l'extrémité du câble proche de la station radioélectrique (m)

Z_{01} est l'impédance caractéristique du circuit de retour par le sol (Ω)

γ_1 est l'exposant de propagation du circuit de retour par le sol

Z_{02} est l'impédance caractéristique du circuit longitudinal (Ω)

γ_2 est l'exposant de propagation du circuit longitudinal

Z_{1L}, Z_{1R} sont les impédances terminales du circuit de retour par le sol (Ω)

Z_{2L}, Z_{2R} sont les impédances terminales du circuit longitudinal (Ω)

$\Gamma_{1L} = \dfrac{Z_{01} - Z_{1L}}{Z_{01} + Z_{1L}}$ est le coefficient de réflexion de courant du circuit de retour par le sol à $x = 0$

$\Gamma_{1R} = \dfrac{Z_{01} - Z_{1R}}{Z_{01} + Z_{1R}}$ est le coefficient de réflexion de courant du circuit de retour par le sol à $x = l$

$\Gamma_{2L} = \dfrac{Z_{02} - Z_{2L}}{Z_{02} + Z_{2L}}$ est le coefficient de réflexion de courant du circuit longitudinal à $x = 0$

$\Gamma_{2R} = \dfrac{Z_{02} - Z_{2R}}{Z_{02} + Z_{2R}}$ est le coefficient de réflexion de courant du circuit longitudinal à $x = l$

$V_{1m}(x)$ (pour $m = 0$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec adaptation aux deux extrémités

$V_{1m}(x)$ (pour $m = L$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec défaut d'adaptation à $x = 0$

$V_{1m}(x)$ (pour $m = R$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec défaut d'adaptation à $x = l$

$V_{2m}(x)$ (pour $m = 0$) est la tension sur le circuit longitudinal avec adaptation aux deux extrémités

$V_{2m}(x)$ (pour $m = L$) est la tension sur le circuit longitudinal avec défaut d'adaptation à $x = 0$

$V_{2m}(x)$ (pour $m = R$) est la tension sur le circuit longitudinal avec défaut d'adaptation à $x = l$

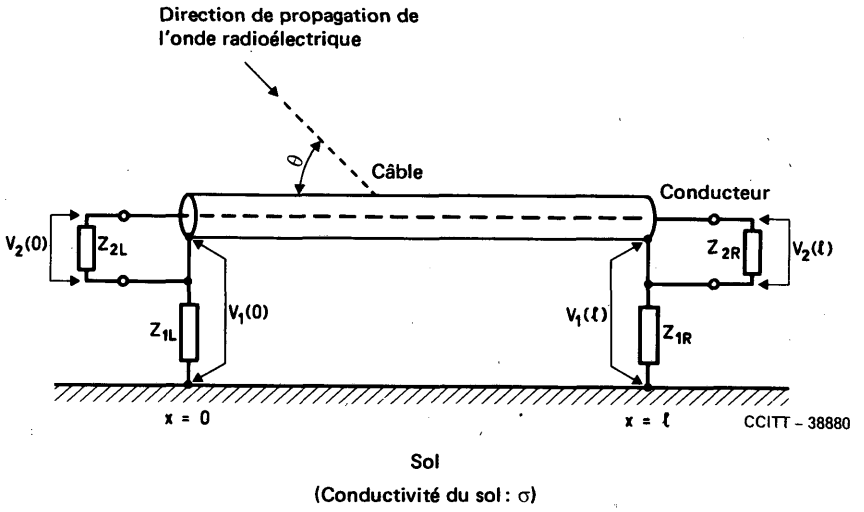


FIGURE A-1/K.18

Terminaison du circuit de retour par le sol (Z_{1L}, Z_{1R}) et du circuit longitudinal (Z_{2L}, Z_{2R})

ANNEXE B

(à la Recommandation K.18)

Calcul de la tension longitudinale induite

B.1 *Lignes de télécommunications sans écran métallique*

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'une ligne de télécommunications sans écran métallique sont données par les formules (B-1) et (B-2).

Tension longitudinale induite à l'extrémité proche de la station radioélectrique:

$$\left.\begin{aligned} V_1(0) &= V_{10}(0) + V_{1L}(0) + V_{1R}(0) \\ V_{10}(0) &= -\frac{PE_V \cos\theta}{2} \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} \\ V_{1L}(0) &= \frac{-\Gamma_{1L}\left[1 - \Gamma_{1R}\, e^{-2\gamma_1 l}\right]}{1 - \Gamma_{1L}\,\Gamma_{1R}\, e^{-2\gamma_1 l}}\, V_{10}(0) \\ V_{1R}(0) &= \frac{-\Gamma_{1R}\, e^{-\gamma_1 l}\left[1 - \Gamma_{1L}\right]}{1 - \Gamma_{1L}\,\Gamma_{1R}\, e^{-2\gamma_1 l}}\, V_{10}(l) \end{aligned}\right\} \quad \text{(B-1)}$$

Tension longitudinale induite à l'extrémité éloignée de la station radioélectrique:

$$
\left.
\begin{aligned}
V_1(l) &= V_{10}(l) + V_{1L}(l) + V_{1R}(l) \\
V_{10}(l) &= \frac{PE_V \cos\theta}{2} e^{-j\beta_0 \cos\theta l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} \\
V_{1L}(l) &= \frac{-\Gamma_{1L} e^{-\gamma_1 l}\left[1 - \Gamma_{1R}\right]}{1 - \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \\
V_{1R}(l) &= \frac{-\Gamma_{1R}\left[1 - \Gamma_{1L} e^{-2\gamma_1 l}\right]}{1 - \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)
\end{aligned}
\right\} \quad \text{(B-2)}
$$

où les constantes et les variables ont le sens indiqué dans l'annexe A.

B.2 *Câbles de télécommunications munis d'un écran métallique*

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'un câble de télécommunications muni d'un écran métallique sont données par les formules (B-3) et (B-4).

Tension longitudinale induite à l'extrémité proche de la station radioélectrique:

$$
\left.
\begin{aligned}
V_2(0) &= V_{20}(0) + V_{2L}(0) + V_{2R}(0) \\
V_{20}(0) &= -\frac{PE_V(\cos\theta)\, Z_K}{4\, Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} \right\} \cdot \right. \\
&\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_2 + j\beta_0 \cos\theta} + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \cdot \right. \\
&\quad \cdot \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos\theta l} e^{-\gamma_1 l} \cdot \right. \\
&\quad \left. \left. \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1) l}}{\gamma_2 + \gamma_1} + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \right. \\
&\quad + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \right. \\
&\quad \left. \left. \left. + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 (\cos\theta) l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1) l}}{\gamma_2 - \gamma_1} \right] \\
V_{2L}(0) &= \frac{-\Gamma_{2L}\left[1 - \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}\right]}{1 - \Gamma_{2L}\Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0) \\
V_{2R}(0) &= \frac{-\Gamma_{2R} e^{-\gamma_2 l}\left[1 - \Gamma_{2L}\right]}{1 - \Gamma_{2L}\Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l)
\end{aligned}
\right\} \quad \text{(B-3)}
$$

Tension longitudinale induite à l'extrémité éloignée de la station radioélectrique:

$$V_2(l) = V_{20}(l) + V_{2L}(l) + V_{2R}(l)$$

$$V_{20}(l) = \frac{PE_V \cos\theta\, Z_K}{4\, Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} \right\} \cdot \right.$$

$$\cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos\theta} e^{-j\beta_0 \cos\theta\, l} + \left\{ - \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} + \right.$$

$$+ \frac{1}{1 - \Gamma_{1L}\, \Gamma_{1R}\, e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \Gamma_{1L}\, \Gamma_{1R}\, e^{-j\beta_0 \cos\theta\, l} \cdot \right.$$

$$\left. \left. \cdot e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1)\, l}}{\gamma_2 - \gamma_1} e^{-\gamma_1 l} +$$

$$+ \left\{ - \frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L}\, \Gamma_{1R}\, e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L}\, \Gamma_{1R}\, e^{-2\gamma_1 l} \cdot \right. \right. \qquad \text{(B-4)}$$

$$\left. \left. \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \Gamma_{1R}\, e^{-j\beta_0 \cos\theta\, l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} \right) \right\} \cdot$$

$$\left. \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1)\, l}}{\gamma_2 + \gamma_1} e^{\gamma_1 l} \right]$$

$$V_{2L}(l) = \frac{-\Gamma_{2L}\, e^{-\gamma_2 l} \left[1 - \Gamma_{2R} \right]}{1 - \Gamma_{2L}\, \Gamma_{2R}\, e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0)$$

$$V_{2R}(l) = \frac{-\Gamma_{2R} \left[1 - \Gamma_{2L}\, e^{-2\gamma_2 l} \right]}{1 - \Gamma_{2L}\, \Gamma_{2R}\, e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l)$$

où les constantes et les variables ont le sens indiqué dans l'annexe A.

ANNEXE C

(à la Recommandation K.18)

Erreur entraînée par l'application de la formule simplifiée (2-1)

La formule simplifiée (2-1) peut être utilisée lorsque 3 dB/km $\leqslant \alpha_{20} \leqslant$ 30 dB/km, 1,2 $\beta_0 \leqslant \beta_2 \leqslant 3\,\beta_0$, 500 kHz $\leqslant f \leqslant$ 1,6 MHz, 10 mm $\leqslant d \leqslant$ 50 mm, 0° $\leqslant \theta \leqslant$ 90°, 0,1 mS/m $\leqslant \sigma \leqslant$ 500 mS/m et $-1 \leqslant \Gamma \leqslant 1$. Ces conditions sont considérées comme suffisantes pour les câbles aériens.

L'erreur entraînée par l'application de la formule (2-1) au lieu de la formule rigoureuse de l'annexe B dépend plutôt de σ et Γ que d'autres paramètres. La figure C-1/K.18 donne un exemple de cette relation. L'erreur est indiquée dans le tableau C-1/K.18 pour les gammes de σ et Γ de la figure C-2/K.18. On ne tient compte ici que de la gamme $\Gamma_1 \geqslant 0$, étant donné que $|Z_1| \leqslant Z_{01}$ est facile à obtenir. Dans la figure C-2/K.18, la gamme (I) est le cas habituel, tandis que les gammes (II) et (IV) sont des cas peu fréquents et que la gamme (III) est difficile à réaliser. Dans une gamme où se produit une erreur importante (par exemple, les gammes II, III et IV), ou lorsque la longueur de câble est trop courte pour satisfaire aux conditions de la formule (2-2), il est souhaitable de procéder aux calculs en appliquant la formule rigoureuse de l'annexe B.

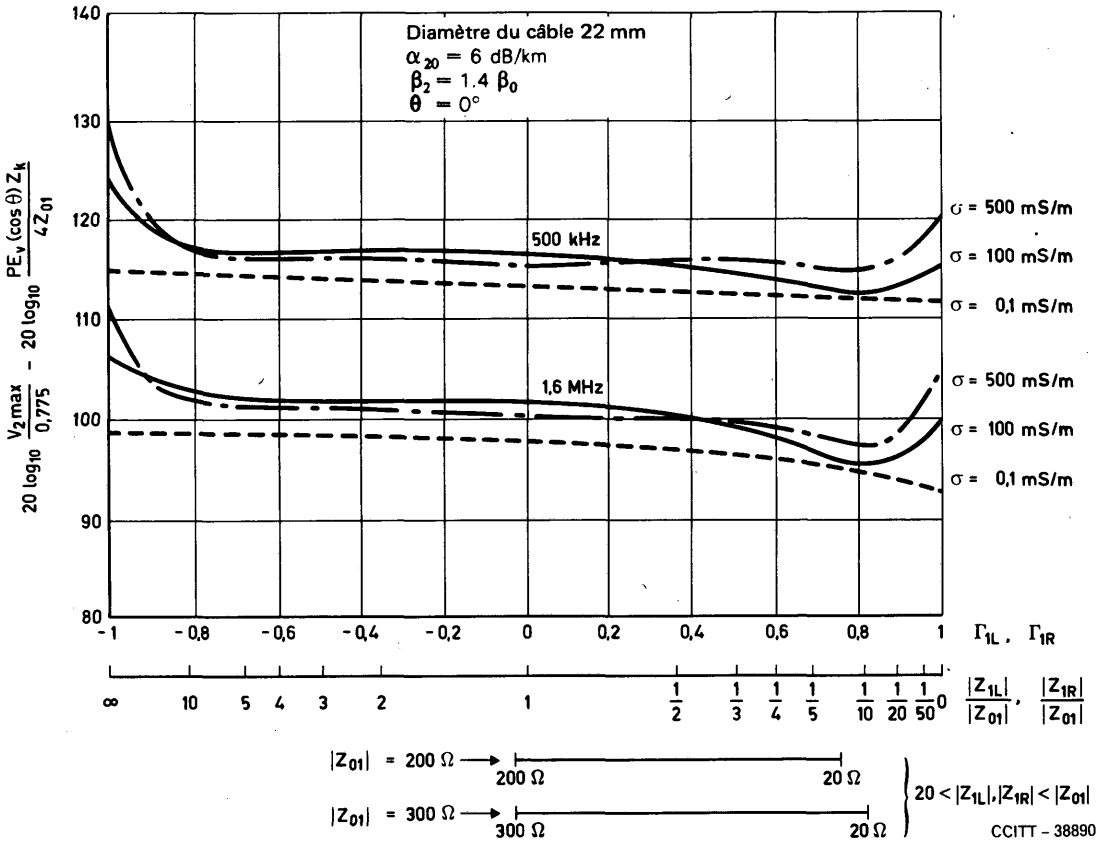


FIGURE C-1/K.18

Exemple de relation entre la tension longitudinale induite et (σ, Γ)

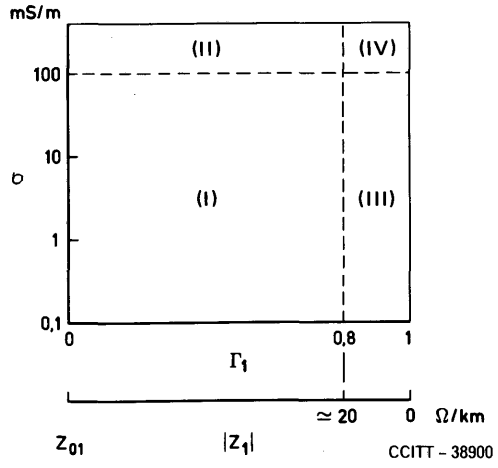


FIGURE C-2/K.18

Gammes de (σ, Γ)

TABLEAU C-1/K.18

Erreur entraînée par l'application de la formule (2-1) au lieu de la formule rigoureuse de l'annexe B

Gamme	Erreur
(I) (cas habituel)	± 5 dB
(II) (cas rare)	± 8 dB
(III) (cas rare)	de −5 à +15 dB
(IV) (cas rare)	de −5 à +23 dB

ANNEXE D

(à la Recommandation K.18)

Influence, sur le champ électrique mesuré de l'onde, des conditions au voisinage de la ligne de télécommunications

(Rapport de la NTT)

Le champ électrique de l'onde radioélectrique n'est pas affecté par les conditions au voisinage de la ligne de télécommunications et il est en bon accord avec la valeur prévue par la théorie (voir la figure D-1/K.18).

En revanche, ces conditions exercent une très forte influence sur l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications, mais il est très difficile d'en évaluer quantitativement les effets. Cependant, en zone dégagée, cet angle d'incidence correspond sensiblement à la valeur calculée d'après l'emplacement relatif de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications (voir la figure D-2/K.18).

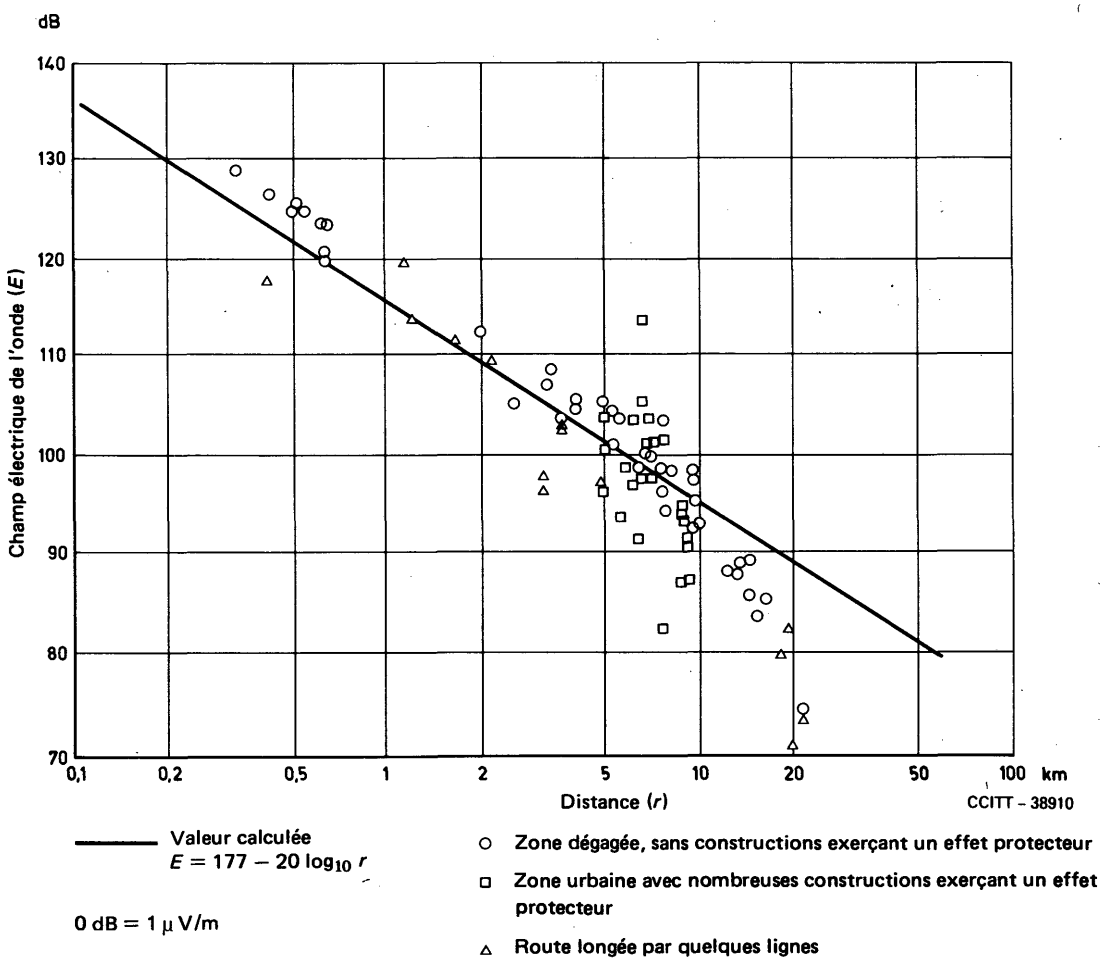


FIGURE D-1/K.18

Rapport entre le champ électrique de l'onde et la distance (*r*) jusqu'à la station radioélectrique

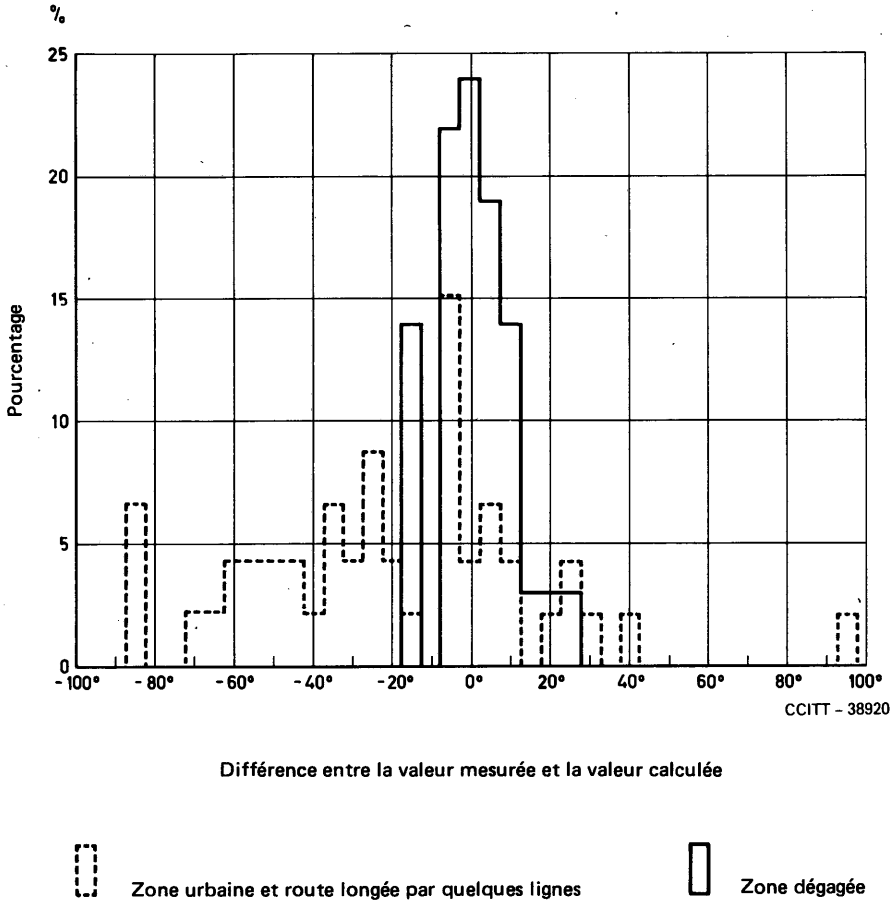


FIGURE D-2/K.18

Histogramme de la différence entre la valeur mesurée et la valeur calculée de l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications

ANNEXE E

(à la Recommandation K.18)

Exemples de rapport de conversion λ entre tension longitudinale induite et tension transversale

(Rapport de la NTT)

Les tensions longitudinale et transversale (de bruit) induites par les ondes radioélectriques dans les câbles aériens ont été mesurées dans des cas concrets.

La figure E-1/K.18 donne des exemples de valeur du rapport de conversion λ établi sur la base de valeurs mesurées de la tension longitudinale V_2 et de la tension transversale V ($\lambda = V - V_2$ dB).

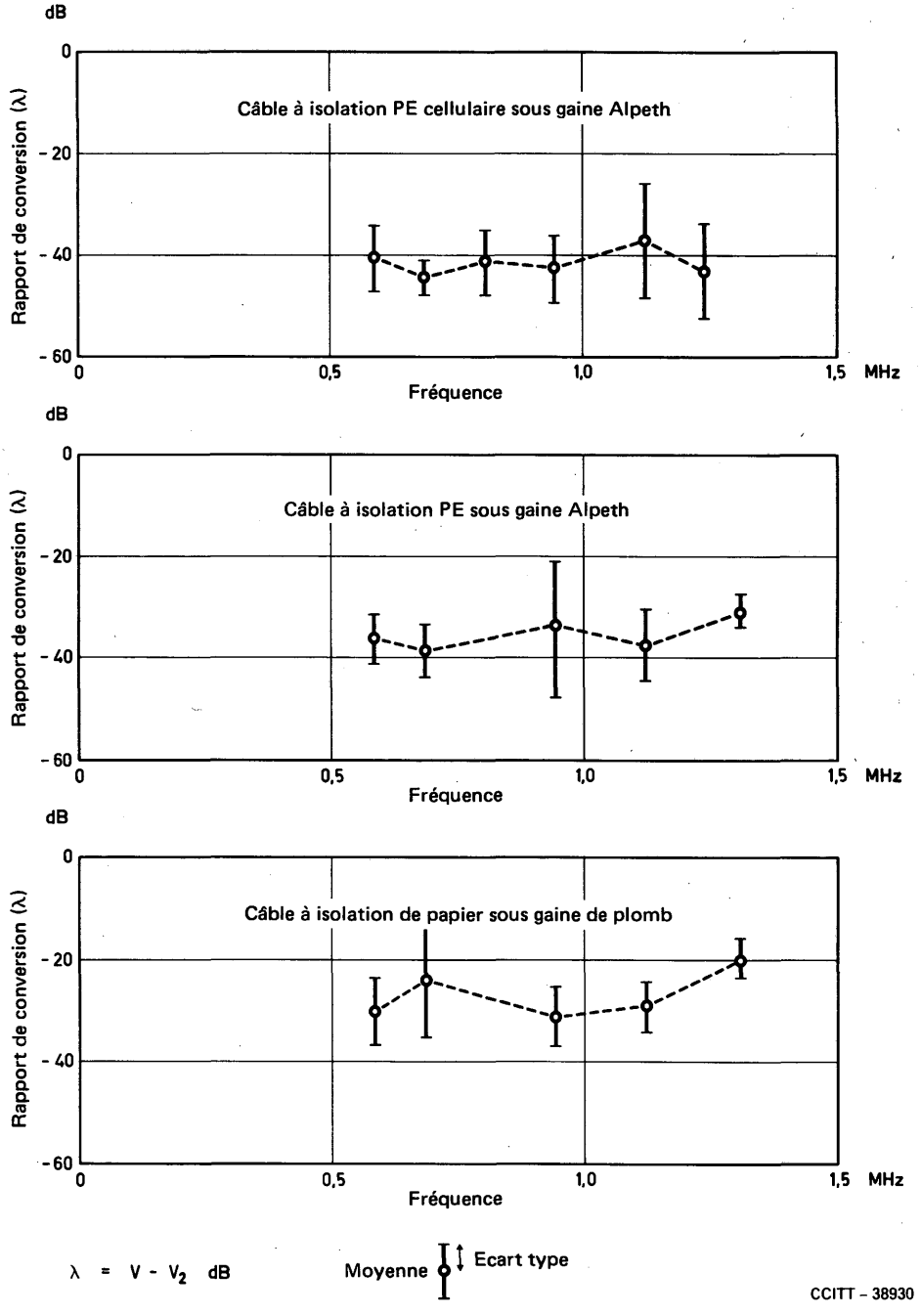


FIGURE E-1/K.18

Exemples de rapport de conversion λ

ANNEXE F

(à la Recommandation K.18)

Exemples de perturbations par une onde radioélectrique et dispositions adoptées dans divers pays

(Sur la base du rapport du Rapporteur spécial présenté à la réunion de 1978 de la Commission d'études V)

Divers exemples de perturbations par induction causées par une onde radioélectrique à divers systèmes de télécommunications sont récapitulés dans le tableau F-1/K.18, ainsi que les mesures de protection pertinentes.

Il est rare que l'on observe des perturbations par induction provoquées par une onde radioélectrique dans le cas de circuits en câbles souterrains.

TABLEAU F-1/K.18

Perturbations par inductions provoquées par une onde radioélectrique et dispositions adoptées

Nature du circuit	Onde inductrice		Zone affectée et valeur du champ électrique	Etat du circuit affecté par la perturbation	Perturbation	Mesures de protection
	Fréquence	Puissance				
Circuit à fréquences vocales	Ondes km et hm (essentiellement ondes de radiodiffusion)	supérieure à plusieurs dizaines de kW	Dans un rayon de 5 km autour de la station radioélectrique (plusieurs V/m)	– Câble aérien (à enveloppe essentiellement en matière plastique, avec ou sans écran métallique, ou à enveloppe en plomb) – Ligne aérienne	Bruit démodulé intelligible provenant du programme de radiodiffusion, parfois inintelligible	– Insertion de capacités (aux bornes d'entrée de l'appareil téléphonique) – Remplacement par un câble à écran métallique – Mise sous écran de la ligne d'introduction – Insertion dans le circuit de bobines d'arrêt
Circuit de transmission à courants porteurs et circuit de transmission de signal vidéo	Ondes km et hm (principalement hm)	supérieure à plusieurs kW	– Jusqu'à plusieurs dizaines de km – Dans le cas de systèmes à courants porteurs d'abonnés, on a signalé des perturbations jusqu'à près de 1000 km (0,03 à 1,8 V/m)	– Essentiellement câble aérien avec écran métallique (paires symétriques, paires coaxiales) – Câblage dans des bâtiments (entre le multiplex et l'antenne, entre étages de démodulation) – Ligne aérienne	Tonalité à une seule fréquence ou bruit inintelligible dans une voie téléphonique démodulée (dégradation du rapport S/B dans le système de transmission)	– Amélioration de l'efficacité de l'écran dans le câble, le câblage, etc. – Amélioration de la mise à terre de l'enveloppe du câble du répéreur, de l'équipement terminal, etc. – Adoption d'un câble souterrain – Adoption d'un trajet de pose du câble différent – Augmentation du niveau de signal, diminution de l'espacement des répéteurs – Correction du déséquilibre d'admittance de la paire par rapport au sol – Adjonction d'un compresseur-extenseur à l'extrémité terminale du circuit à courants porteurs en fils aériens – Installation d'une bobine d'arrêt longitudinale suffisamment équilibrée aux circuits à courants porteurs
Echauffement par induction causé par fréquences radioélectriques	Ondes hm (radiodiffusion)	–	Au voisinage immédiat de l'antenne de la station radioélectrique	– Ligne aérienne – Ligne d'introduction	Brûlures imputables aux fréquences radioélectriques	– Insertion de condensateurs entre les conducteurs et le sol

ANNEXE G

(à la Recommandation K.18)

Perturbations induites par les ondes radioélectriques dans les câbles à paires coaxiales des stations de répéteurs Mesures correctrices

G.1 *Systèmes de transmission affectés et perturbations*

On a observé des cas de perturbations induites par des émissions radioélectriques dans les systèmes de transmission à courants porteurs des stations de répéteurs.

Si la fréquence de l'onde radioélectrique induite tombe dans la bande des fréquences de transmission, elle introduit un bruit à une seule fréquence, ou bruit inintelligible, dans la voie téléphonique démodulée. Les perturbations sont causées par les courants induits dans les conducteurs extérieurs ou les écrans des câbles à paires coaxiales, dans la station de répéteur.

Les fréquences perturbatrices des ondes radioélectriques sont le plus souvent des fréquences des bandes hectométriques et décamétriques (de l'ordre de 1 à 15 MHz).

G.2 *Champ électrique*

Les ondes radioélectriques provoquent des perturbations quand le champ électrique dépasse 100 dBμV/m à l'extérieur du bâtiment d'une station ou 80 dBμV/m à l'intérieur.

L'affaiblissement introduit par le bâtiment dépend de la nature de la construction. Par exemple, dans le cas d'un bâtiment en béton, cet affaiblissement peut être de 20 à 30 dB entre 1 et 15 MHz.

Le champ électrique n'est pas homogène à l'intérieur d'un bâtiment. On a observé de grandes variations, de l'ordre de 20 à 30 dB.

G.3 *Mesures correctrices*

Une des mesures de protection les plus efficaces consiste à améliorer le blindage des câbles à paires coaxiales. L'efficacité du blindage de ces câbles dépend de l'impédance de transfert (Z_T) et il est utile d'avoir un câble à faible impédance de transfert. On a utilisé, par exemple, un câble à paires coaxiales avec blindage en mu-métal (Z_T = 0,01 mΩ/m à 1 MHz) et un câble blindé à triple tresse (Z_T = 0,1 mΩ/m à 1 MHz). On peut obtenir une diminution de 15 à 20 dB en remplaçant un câble à paires coaxiales à double tresse par un câble à triple tresse.

On obtient de bons résultats en utilisant une connexion à faible impédance de transfert entre le câble de la station et l'équipement, et en réalisant avec soin la mise à la terre dans la station de répéteur.

Références

[1] SATO (T.), NAKAHIRA (M.), KOJIMA (N.): «Radio Wave Interference in Overhead Communication Cables», *Comptes rendus de la 22e réunion de l'IWCS*, 1973.

[2] SCHULTZ (E.), VOGEL (W.): «Beeinflussung von Trägerfrequenz-Nachrichtensystemen durch hochfrequente Beeingflussungsquellen», (Perturbation des systèmes à courants porteurs par des sources à haute fréquence), *ETZ-A*, Bd. 85, H. 20, 1964.

Recommandation K.19

UTILISATION DE TRANCHÉES, CANALISATIONS COMMUNES AUX CÂBLES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ET AUX CÂBLES ÉLECTRIQUES

(Genève, 1980)

1 Observations générales

L'utilisation de tranchées, conduites communes aux câbles de télécommunications et aux câbles électriques peut, dans des conditions favorables, offrir les avantages suivants:

- réduction des coûts globaux;
- utilisation plus rationnelle de l'espace disponible pour les services à réseaux souterrains;
- réduction des travaux de réfection des chaussées et, par conséquent, réduction des gênes causées à la circulation;
- la séparation entre câbles d'énergie et câbles de télécommunications est précisément mieux assurée.

2 Sécurité électrique

Si les câbles électriques et les câbles de télécommunications ne sont pas faciles à distinguer les uns des autres, il convient de les marquer clairement.

Les câbles électriques devraient en général être enterrés à une profondeur plus grande que les câbles de télécommunications.

Les câbles électriques et les câbles de télécommunications devraient être séparés par un espacement adéquat en fonction:

a) de la tension du câble électrique,
b) du type de câble électrique,
c) du type de câble de télécommunications,
d) de la nature du matériel utilisé pour la séparation.

L'espacement minimum est souvent stipulé dans les normes nationales.

Les normes nationales peuvent aussi autoriser des espacements réduits dans les conditions suivantes:

- le câble électrique ayant un conducteur neutre concentrique est utilisé en basse tension et le câble de télécommunications est muni d'une armure mise à la terre, ou
- les câbles sont séparés par un remplissage en béton ou autre matériau similaire.

Si l'excavation manuelle présente des risques pour le personnel, les câbles électriques à haute tension doivent être protégés par des couches de matériaux appropriés (briques, béton, etc.).

3 Induction électromagnétique

Pour éviter les risques élevés inadmissibles et les perturbations causés aux câbles de télécommunications par les câbles électriques, il convient d'observer les indications données dans les *Directives*. En général, ces effets se produisent surtout lorsque:

a) le câble électrique appartient à un réseau possédant un neutre directement relié à la terre;
b) les conducteurs de chaque phase de la ligne électrique empruntent des câbles distincts (câbles triphasés à âme unique); ou
c) les courants passant dans les lignes électriques ont un niveau d'harmonique élevé.

On ne constate pas de risques ni de perturbations lorsque:

- le câble électrique fonctionne dans des conditions d'exploitation normales et lorsque, dans le cas des câbles triphasés à âme unique, les câbles de chaque phase sont correctement disposés et torsadés, ou
- la longueur du parallélisme est relativement courte (par exemple, de quelques centaines de mètres seulement).

Une disposition et une torsion correcte des conducteurs de phase du système de câbles d'énergie sont efficaces pour obtenir une réduction de l'induction électromagnétique.

Les autres conducteurs métalliques partageant la même canalisation (par exemple, les conduites ou les revêtements en béton) exercent généralement un effet réducteur sur les tensions longitudinales induites. L'ampleur de ce facteur réducteur dépend, dans une large mesure, de la disposition des diverses installations dans la canalisation et du mode de construction de la canalisation et, par conséquent, il n'est possible de le déterminer que de cas en cas.

4 Autres dangers

L'utilisation de tranchées et de canalisations communes peut accroître les dangers auxquels est exposé le personnel des télécommunications, par exemple:

- heurts de câbles électriques au cours d'une excavation;
- difficultés d'accès et problèmes d'isolement pendant le travail à l'intérieur des galeries;
- explosions dues à des fuites de gaz lorsque les canalisations de gaz se trouvent dans des canalisations communes;
- accumulation d'air vicié dans les galeries souterraines.

L'arrangement de travail conclu entre toutes les entreprises intéressées devrait spécifier des méthodes de travail adéquates et sûres permettant d'éliminer les dangers en question.

5 Limites pratiques

Pour que l'utilisation de tranchées et de tunnels communs soit couronnée de succès, il est nécessaire que toutes les parties concernées fassent preuve d'un esprit de discipline. Il convient de définir avec précision les devoirs et responsabilités incombant à chaque partie. Il se peut que des mesures spéciales s'avèrent nécessaires pour surmonter la difficulté liée au fait que l'espace souterrain est limité et pour faciliter la maintenance ultérieure des câbles; il convient de convenir de ces mesures spéciales avant le début des travaux communs de construction.

Recommandation K.20

RÉSISTANCE DES ÉQUIPEMENTS DE COMMUTATION AUX SURTENSIONS ET AUX SURINTENSITÉS

(Malaga-Torremolinos, 1984)

1 Considérations générales

La présente Recommandation définit des méthodes d'essai et des critères de résistance des équipements de commutation des télécommunications aux surtensions et aux surintensités. Il convient de l'associer au manuel sur la *protection des lignes et installations de télécommunications contre la foudre* et à la Recommandation K.11, laquelle traite de la protection sous ses aspects généraux économiques et techniques. Les méthodes peuvent faire l'objet de variantes selon les conditions locales et selon les progrès de la technique.

2 Portée de la Recommandation

La présente Recommandation vise les centraux téléphoniques et autres centres de commutation des télécommunications semblables; elle traite essentiellement des conditions d'essai à appliquer aux points prévus pour la connexion de lignes d'abonné à deux fils. Aux accès auxquels sont reliés des circuits plus complexes ou par lesquels passe un trafic plus concentré (comme c'est, par exemple, le cas des jonctions ou des circuits multivoies), on peut exécuter des essais conformes à la présente Recommandation ou, si on le juge approprié, à d'autres textes, comme les Recommandations K.15 et K.17.

Les essais prévus sont applicables à des équipements types. S'ils sont en toute rigueur applicables à un centre de commutation complet, on peut seulement y soumettre des organes isolés pendant les phases de leur conception et de leur réalisation. Lorsqu'on procède aux essais, on doit tenir compte de toutes les conditions de commutation qui, soit dans le dispositif soumis aux essais, soit ailleurs, sont susceptibles d'influer sur les résultats.

3 Surtensions et surintensités

Les types de perturbations ou d'incidents auxquels se rapporte la présente Recommandation sont les suivants:

- chocs électriques dus à des décharges atmosphériques frappant les lignes ou proches de celles-ci (il se peut que les équipements qui satisfont à la présente Recommandation ne résistent pas à de fortes décharges atmosphériques directes);
- induction de courte durée d'une tension alternative provenant d'une ligne électrique ou d'un réseau ferroviaire voisin, cela en général lorsqu'un défaut s'est produit sur cette ligne ou ce réseau;
- contacts directs entre des lignes de télécommunications et des lignes électriques, généralement à basse tension.

On reconnaît qu'il peut dans certains cas y avoir des dommages spécifiques, si des surtensions ou des surintensités se produisent simultanément sur un certain nombre de lignes et s'il en résulte des courants de forte intensité dans le câblage ou les composants. Ce cas n'est pas traité dans la présente Recommandation. Les effets des élévations de potentiel du sol ne sont pas traités, mais ils sont actuellement étudiés par le CCITT.

4 Niveaux de résistance

4.1 Il n'est question, dans la présente Recommandation, que de deux niveaux de résistance: un niveau inférieur, valable pour les environnements peu agressifs, où les surtensions et les surintensités sont faibles, et un niveau supérieur, valable pour les environnements agressifs. Il est tenu compte du fait que, dans ce dernier cas, les organes de protection peuvent être montés sur le répartiteur principal ou en un autre endroit, extérieur à l'équipement.

4.2 Le cas des conditions extrêmes n'est pas envisagé dans la présente Recommandation. Dans les emplacements peu exposés, il peut se faire que des équipements d'une résistance aux surtensions inférieure à celle qui y est spécifiée fonctionnent de façon satisfaisante. A l'opposé, il peut arriver que, dans des expositions exceptionnelles, on doive prévoir une résistance aux surtensions encore plus grande. D'autres combinaisons de résistance des équipements et de protection extérieure sont d'autre part possibles. Il y a, par exemple, certains appareils qui exigent une protection même dans des environnements peu agressifs, alors que d'autres sont capables de fonctionner de manière satisfaisante dans des environnements agressifs et sans protection extérieure. S'il est question de deux niveaux de résistance seulement dans la présente Recommandation, c'est qu'ils couvrent une grande proportion des besoins actuels.

4.3 Il incombe aux Administrations de déterminer quel type d'environnement correspond à un centre de commutation donné, en tenant compte de considérations de caractère commercial, économique et technique. On trouve dans la Recommandation K.11 des renseignements de nature à faciliter la décision à prendre à ce sujet.

4.4 Les conditions et tensions d'essai indiquées dans le tableau 1/K.20 représentent les conditions auxquelles il y a lieu de s'attendre sur les lignes dans les environnements peu agressifs.

4.5 Les conditions et tensions d'essai indiquées dans le tableau 2/K.20 simulent les effets d'un environnement agressif sur un équipement muni d'organes de protection montés sur le répartiteur principal; elles constituent des conditions supplémentaires imposées pour assurer la compatibilité avec une protection extérieure ainsi qu'un fonctionnement convenable dans l'environnement plus agressif. Il se peut que des tensions plus élevées se produisent sur les lignes mais, du fait de la protection interposée sur le répartiteur, les effets sur l'équipement peuvent fort bien ne pas être plus graves.

4.6 Les équipements qui satisfont aux conditions relatives à un environnement agressif peuvent être utilisés dans un tel environnement ainsi que dans un environnement peu agressif, mais ceux qui satisfont uniquement aux conditions relatives à un environnement peu agressif ne devraient être utilisés que dans un tel environnement.

5 Limites de l'équipement du central

Vu la diversité des types d'équipement, le central doit être considéré comme une «boîte noire» ayant trois bornes, A, B et la terre. L'équipement peut être déjà doté de certains dispositifs de protection, placés sur ses cartes d'équipement de ligne, etc., ou reliés à ses bornes. Pour les besoins de ces essais, il est demandé aux constructeurs de définir les limites de la «boîte noire», et tout dispositif de protection qui y est inclus doit être considéré comme étant inséparable du central.

6 Conditions des essais

Les conditions ci-après s'appliquent à tous les essais décrits dans le § 8.

6.1 Tous les essais sont prévus pour des équipements types.

6.2 Les bornes d'entrée où se dérouleront les essais sur l'équipement doivent être identifiées par le constructeur et être désignées par A, B et terre.

6.3 L'équipement devrait être mis à l'essai dans n'importe quel état de fonctionnement de durée notable.

6.4 L'équipement doit pouvoir subir avec succès les essais décrits dans le § 8, dans toute la gamme des températures et des niveaux d'humidité prévus pour son utilisation.

6.5 Dans le cas des emplacements exposés, il est courant de protéger les lignes d'abonné dans le répartiteur principal au moyen de parafoudres tels que des parafoudres à gaz. Comme la présence de ces dispositifs est vraisemblablement nécessaire dans la plupart des cas pour écouler de fortes surintensités et expose les équipements de commutation des centraux à des conditions différentes, il convient que les caractéristiques de ces dispositifs fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur des équipements et l'Administration. Au cours des essais, il convient d'utiliser des parafoudres de caractéristiques correspondantes, lorsque le cas est prévu dans le tableau 2/K.20. Après l'achèvement de chaque séquence d'essais, on peut faire usage d'un nouveau jeu de parafoudres. Alternativement, les Administrations peuvent décider de ne pas installer de parafoudres extérieurs et d'adopter des conditions d'essai différentes pour les tensions et pour les durées prévues, de telle sorte qu'elles représentent celles auxquelles on pourrait raisonnablement s'attendre en présence des parafoudres.

6.6 Dans tous les cas où une tension maximale est spécifiée, il est utile de faire également des essais à des tensions plus basses, pour confirmer que les équipements résisteront effectivement à toutes les conditions de sévérité moindres que la limite supérieure indiquée.

6.7 Il convient de répéter chaque essai autant de fois que l'indique le tableau approprié. L'intervalle entre les essais devrait être d'une minute et, lorsqu'il s'agit d'essais par impulsions, deux impulsions successives devraient être de polarités opposées.

6.8 Les essais correspondant à l'induction par des lignes électriques et aux contacts avec des lignes électriques doivent être effectués aux fréquences du secteur ou à celles des lignes de traction électrique du pays dans lequel l'équipement sera utilisé.

7 Tolérance en matière de défaut de fonctionnement ou de dommage

Deux niveaux de tolérance sont prévus:

Critère A – L'équipement doit pouvoir supporter l'essai sans dommage ni perturbation (comme, par exemple, une altération du logiciel ou un mauvais fonctionnement des systèmes de protection contre les dérangements) et doit fonctionner correctement dans les limites spécifiées après l'essai. On notera qu'il n'est pas exigé que le fonctionnement soit correct pendant que les conditions d'essai sont appliquées. Si l'Administration l'autorise expressément, il peut se faire que l'essai provoque le fonctionnement de fusibles ou d'autres organes qui devront être remplacés ou reréglés avant que le fonctionnement normal soit rétabli.

Critère B – Il ne doit pas apparaître de flammes dans l'équipement du fait des essais. Tout dommage ou défaut de fonctionnement permanent se produisant ne devrait affecter qu'un petit nombre de circuits d'interface avec une ligne extérieure.

On considère que les conditions susceptibles de justifier le critère B sont si rares qu'il n'est pas économique de prévoir une protection complète contre leurs effets.

8 Essais

8.1 *Considérations générales*

Les circuits d'essai utilisés pour les trois cas de surtension ou de surintensité sont les suivants:

- figure 1/K.20: Surtensions dues à la foudre;
- figure 2/K.20: Induction par des lignes électriques;
- figure 3/K.20: Contacts avec des lignes électriques.

Remarque – Certaines considérations justifiant les essais proposés sont exposées dans l'annexe A à la présente Recommandation. La réponse de l'équipement aux surtensions dues à la foudre peut être modifiée par son impédance d'entrée. Pour expliquer cet effet, on a choisi un exemple dans lequel, pour fixer les idées, on attribue des valeurs à l'impédance d'entrée, afin de pouvoir comparer les niveaux instantanés de tension en différents points du circuit. Ces valeurs sont données à titre d'exemple seulement et ne constituent pas de spécifications de la présente Recommandation.

8.2 *Environnement peu agressif*

Les essais d'un équipement à utiliser sans protection extérieure dans un environnement peu agressif doivent se dérouler conformément au tableau 1/K.20.

8.3 *Environnement agressif*

Un équipement à utiliser dans un environnement agressif doit subir avec succès les essais décrits au tableau 2/K.20 en plus de ceux décrits au tableau 1/K.20.

TABLEAU 1/K.20

Conditions d'essai et tensions pour un environnement peu agressif

N°	Essai	Entre	Circuit soumis aux essais	Tension d'essai et durée maximales	Nombre d'essais	Critères d'acceptation
1	Simulation de surtensions dues à la foudre	A et E avec B à la terre	Figure 1a)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 1 kV Voir remarque 1	10	Critère A (voir le § 7)
		B et E avec A à la terre	Figure 1a)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 1 kV Voir remarque 1	10	
		A + B et E	Figure 1b)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 1 kV Voir remarque 1	10	
2	Introduction par des lignes électriques	A + B et E	Figure 2/K.20 $R_1 = R_2 = 600\ \Omega$ S_2 ouvert Essais effectués avec S_1 ouvert et S_1 fermé	$U_{ac\,(max)}$ = 300 V_{eff} 200 ms Voir remarque 2	5 pour chaque position de S_1	Critère A (voir le § 7)
3	Contacts avec des lignes électriques	A + B et E	Figure 3/K.20 Essais effectués avec commutateur S dans chaque position Voir remarque 3	$U_{ac\,(max)}$ = 220 V_{eff} 15 min Voir remarque 2	1 pour chaque position de S	Critère B (voir le § 7)

Remarque 1 – Les Administrations peuvent fixer une valeur plus faible pour $U_{c\,(max)}$.

Remarque 2 – Les Administrations peuvent fixer des valeurs plus faibles pour $U_{ac\,(max)}$ et des durées différentes d'essai, cela afin d'adapter celui-ci à leurs propres besoins (par exemple à la tension du secteur).

Remarque 3 – Les bobines thermiques, les fusibles, les câbles des fusibles, etc., peuvent rester en circuit au cours de ces essais.

TABLEAU 2/K.20

Conditions d'essai et tensions pour un environnement peu agressif

N°	Essai	Entre	Circuit soumis aux essais	Tension d'essai et durée maximales	Nombre d'essais	Protection supplémentaire (Voir le § 6.5)	Critères d'acceptation
1	Simulation de surtensions dues à la foudre	A et E avec B mis à la terre	Figure 1a)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 1 kV Voir remarque 1	10	Néant	Critère A (voir le § 7)
		B et E avec A mis à la terre	Figure 1a)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 1 kV Voir remarque 1	10	Néant	
		A + B et E	Figure 1b)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 1 kV Voir remarque 1	10	Néant	
2	Simulation de surtensions dues à la foudre	A et E avec B mis à la terre	Figure 1b)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 4 kV Voir remarque 2	10	Protection primaire convenue	Critère A (voir le § 7)
		B et E avec A mis à la terre	Figure 1a)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 4 kV Voir remarque 2	10	Protection primaire convenue	
		A + B et E	Figure 1b)/K.20	$U_{c\,(max)}$ = 4 kV Voir remarque 2	10	Protection primaire convenue	
3 (a)	Induction par des lignes électriques	A + B et E	Figure 2/K.20 $R_1 = R_2 = 600\ \Omega$ S_2 fermé	$U_{ac\,(max)}$ = 300 V_{eff} 200 ms Voir remarque 3	5	Protection primaire convenue	Critère A (voir le § 7)
3 (b)	Induction par des lignes électriques	A + B et E	Figure 2/K.20 $R_1 = R_2 = 200\ \Omega$ S_2 fermé	Voir remarque 4	1	Protection primaire convenue	Critère B (voir le § 7)

Remarque 1 – Dans le cas où la tension de choc d'amorçage maximale de la protection primaire convenue est inférieure à 1 kV, les Administrations peuvent décider de réduire $U_{c\,(max)}$.

Remarque 2 – Les Administrations peuvent fixer des valeurs différentes pour $U_{c\,(max)}$, cela afin d'adapter celui-ci à leurs propres besoins.

Remarque 3 – Les Administrations peuvent adopter des valeurs plus faibles pour U_{ac} et des durées différentes d'application.

Remarque 4 – Les tensions et les durées devraient être conformes aux Directives du CCITT ou à toute autre limite que les Administrations pourraient fixer.

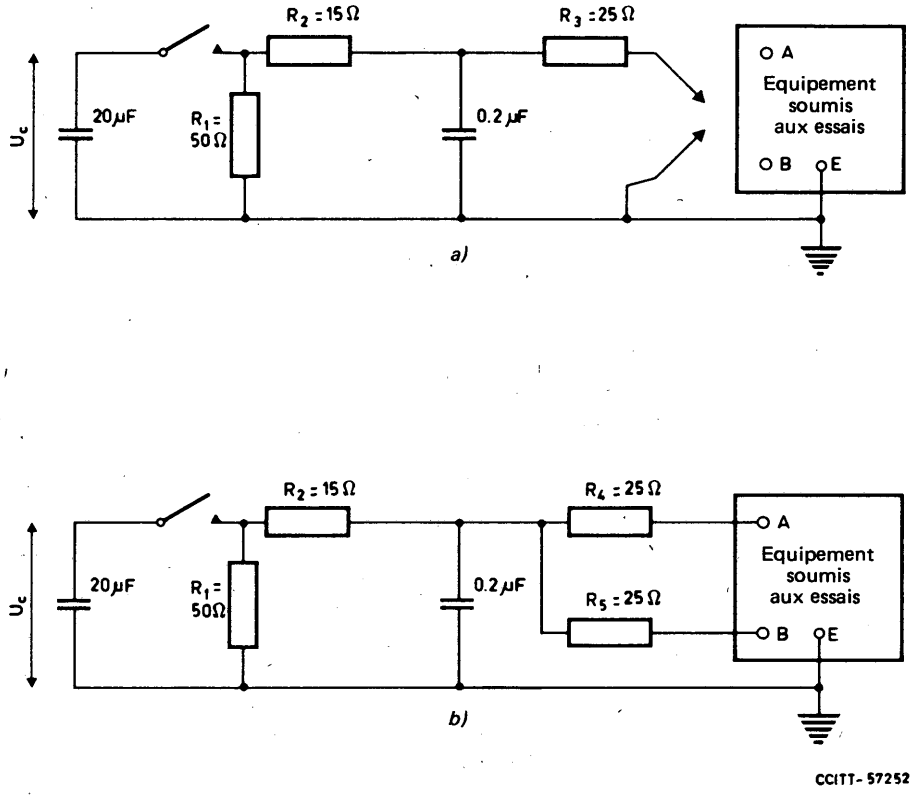


FIGURE 1/K.20

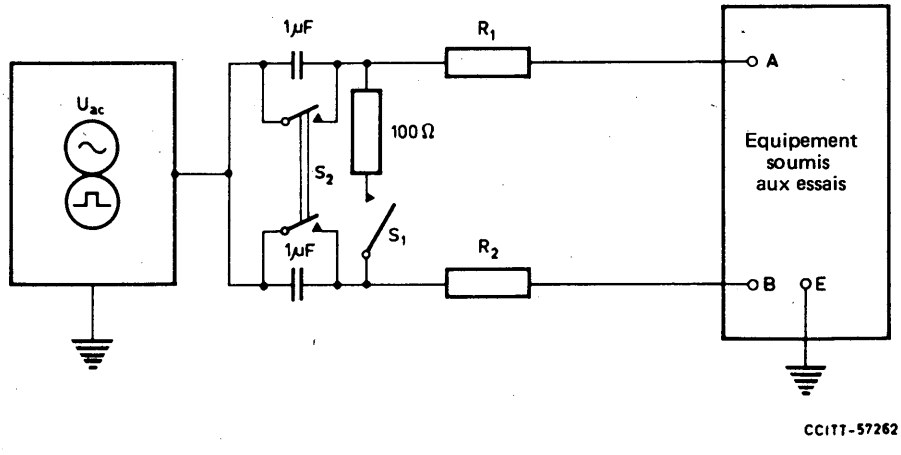


FIGURE 2/K.20

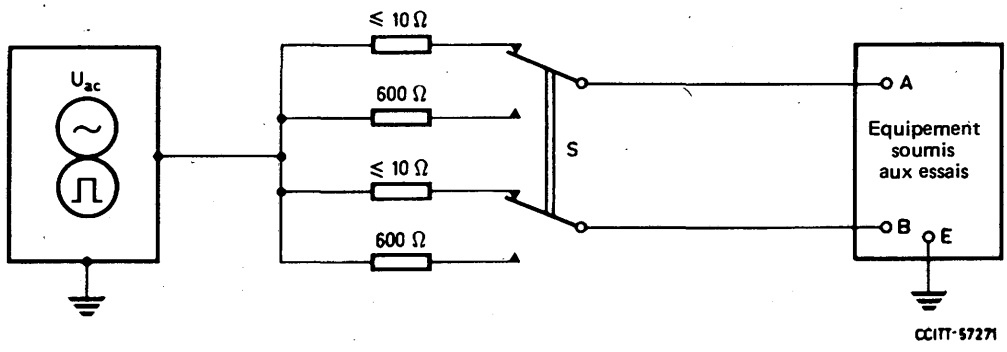


FIGURE 3/K.20

ANNEXE A

(à la Recommandation K.20)

Considérations illustrant les conditions d'essais

A.1 *Surtensions dues à la foudre*

A.1.1 *Fonctionnement d'un circuit de simulation*

La figure A-1/K.20 illustre la connexion entre le générateur d'essai de la figure 1/K.20 et un circuit du central, la protection primaire étant assurée dans le répartiteur principal et la protection secondaire dans l'équipement de central lui-même. A part le générateur d'essai de la figure 1/K.20, le montage du circuit et les valeurs des composants ont été choisis uniquement à titre explicatif; ils ne sont pas recommandés pour utilisation pratique.

Lorsqu'on fait croître progressivement la tension de charge, U_c, les tensions et les courants qui apparaissent en divers points du circuit de la figure A-1/K.20 prennent les valeurs indiquées sur le graphique de la figure A-2/K.20.

Pour U_c de 0 à 300 V, le courant traverse uniquement la résistance de 100 Ω dans l'équipement.

A U_c = 300 V, la protection secondaire agit et le courant I_T croît plus vite.

A U_c = 2385 V, la tension U aux bornes de la protection primaire atteint U_s (700 V dans le cas présenté ici) et I_E atteint sa valeur maximale de 3 A.

La protection primaire agit lorsque U_c = 2385 V et le courant total augmente ensuite encore plus rapidement, atteignant 100 A lorsque U_c = 4 kV. La tension U diminue néanmoins jusqu'à une faible valeur et le courant I_E qui passe dans l'équipement tombe à une valeur très faible et devient pratiquement indépendant de U_c.

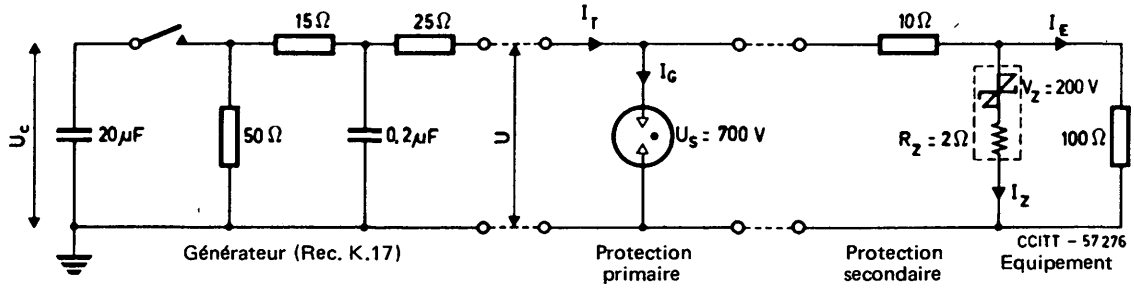
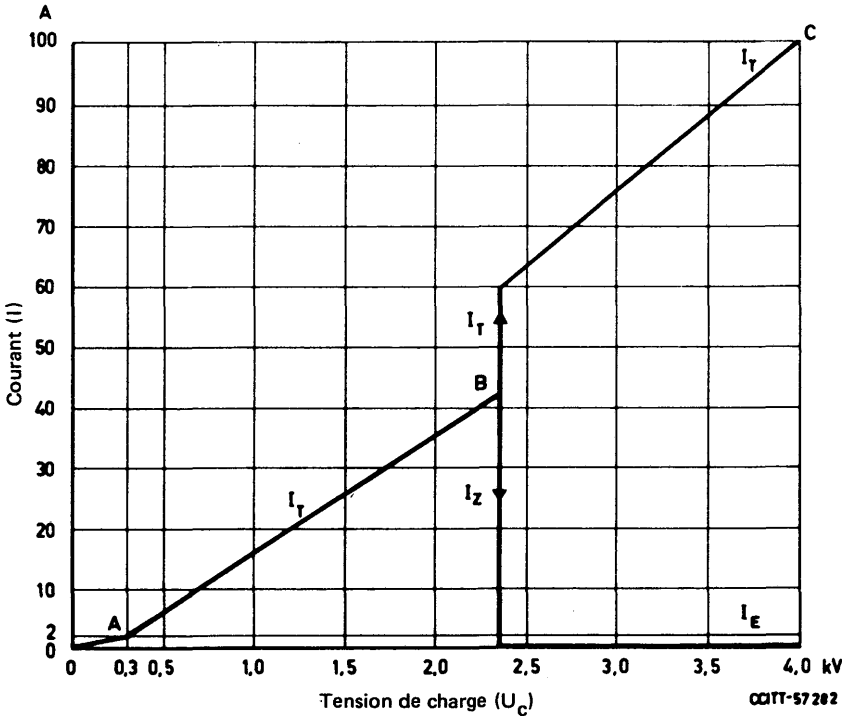


FIGURE A-1/K.20



Les valeurs des tensions et des intensités portées sur le graphique sont les suivantes:

Point du graphique	U_C	U	L_T	L_G	I_Z	I_E
	Volts		Ampères			
A : La protection secondaire fonctionne	300	200	2	0	0	2
B : Avant que le parafoudre à gaz raréfié amorce	2385	700	42	0	39	3
B : Après que le parafoudre à gaz raréfié a amorcé	2385	30	59	59	0	0,3
C : Maximum de U_C	4000	30	100	100	0	0,3

FIGURE A-2/K.20

A.1.2 *Effet des dispositifs de protection*

L'action de la protection primaire lorsque $U = U_s$ a donc deux effets:

- elle limite la tension maximale appliquée à l'équipement et, par conséquent, selon l'impédance interne de celui-ci, le courant maximal qu'il doit supporter;
- elle entraîne une variation très rapide de U et de I qui, en raison d'effets inductifs ou capacitifs, peut atteindre des éléments sensibles de l'équipement de commutation du central qui ne sont apparemment pas exposés aux tensions de ligne.

Pour ces raisons, il importe que l'Administration et le fournisseur de l'équipement s'entendent sur la protection primaire à utiliser et que l'utilisateur de l'équipement assure ou simule cette protection lorsque des essais sont effectués. Lors des essais, il faudra tenir compte des tolérances autorisées pour les dispositifs de protection.

A.2 *Induction par des lignes électriques*

Les risques de tensions induites sont plus grands sur les lignes longues. Dans le cas général où les lignes d'abonné n'offrent pas une faible résistance de mise à la terre, on peut considérer que les tensions induites proviennent d'une source de grande impédance consistant en une ligne de résistance 600 ohms en série avec une capacité entre ligne et terre de 1 µF (voir la figure A-3/K.20). Les essais 3(a) et 3(b) du tableau 2/K.20

représentent respectivement des conditions typiques pour les lignes longues et pour les lignes courtes, mais ils ne fournissent pas forcément des conditions limitatives. Les parafoudres à gaz que l'on voit sur la figure A-3/K.20 n'existent que sur les lignes exposées. Ils sont représentés par S_2 sur la figure 2/K.20 et le téléphone y est représenté par S_1.

Les *Directives* du CCITT admettent des tensions induites pouvant atteindre 430 V pour les lignes électriques normales et 650 V pour les lignes de grande sécurité, mais la plupart des Administrations souhaitent que les tensions soient inférieures à 300 V, sauf sur les lignes qui se trouvent dans les environnements «exposés».

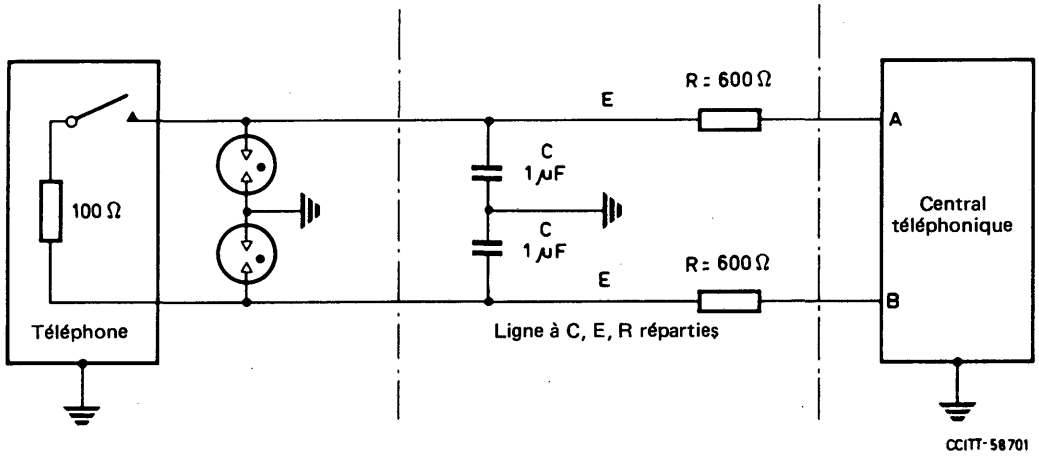


FIGURE A-3/K.20

A.3 *Contacts avec des lignes électriques*

Il peut se produire un contact direct avec des lignes électriques, par exemple, en cas de défaut sur des lignes ou des câbles du réseau, soit lorsque l'équipement de l'abonné est défectueux ou non réglementaire, ou encore pour d'autres raisons. Il peut arriver que le contact ne fasse pas fonctionner le disjoncteur du réseau. Les courants alternatifs dus à un contact direct peuvent avoir pour effet de rendre une protection efficace plus difficile et plus coûteuse. Ces événements étant rares, on n'exige pas que l'équipement résiste à des surtensions ou à des surintensités résultant de contacts directs et l'on admet un taux de défaillance acceptable.

Deux types de dangers particuliers guettent l'équipement:

- un contact à proximité d'un central, où l'impédance combinée du circuit en câble et de la terminaison du central est faible et où l'intensité du courant est élevée. Cette condition est simulée par l'essai de la figure A-4/K.20, en appliquant une tension de 220 V à travers une impédance de 10 Ω;
- un contact à une distance maximale du central, où l'impédance combinée du circuit en câble et de la terminaison du central est élevée et où un courant faible mais préjudiciable circule continuellement. Cette condition est simulée par l'essai de la figure A-4/K.20, en appliquant une tension de 220 V à travers une impédance de 600 Ω.

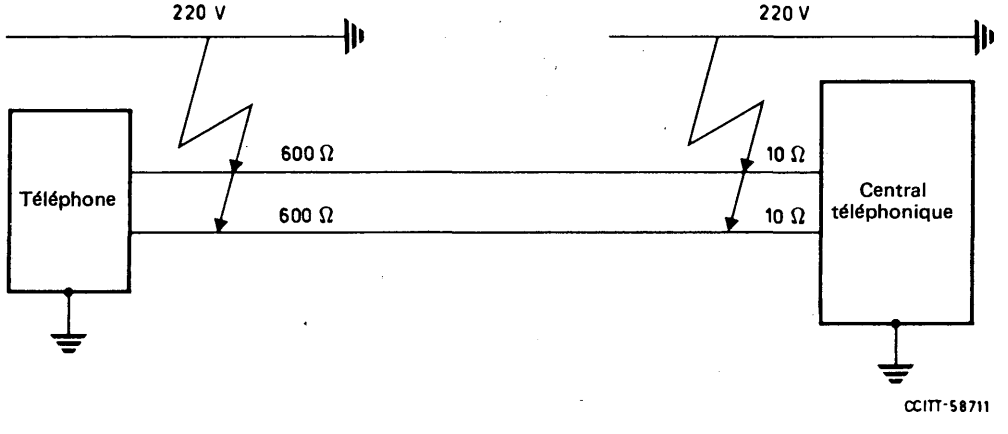


FIGURE A-4/K.20

Recommandation K.21

IMMUNITÉ DES TERMINAUX D'ABONNÉS AUX SURTENSIONS ET AUX SURINTENSITÉS

(Melbourne, 1988)

Introduction

Cette Recommandation a été établie par la Commission d'études V pour répondre aux besoins pressants des Administrations et des constructeurs qui utilisent ou réalisent des installations d'abonné. Il y a lieu d'attirer l'attention du lecteur sur les sujets suivants, que le CCITT étudie plus avant:

- élévation du potentiel de terre;
- transitoires électriques rapides;
- essais en exploitation concernant les barrières entre les accès secteur électrique et les accès télécommunications;
- surtensions à haute fréquence dans le secteur;
- brèves interruptions des tensions secteur.

La Recommandation pourra être développée une fois que ces études auront été menées à bien.

1 Objet de la Recommandation

Une fois connecté aux lignes d'abonné, l'équipement moderne de télécommunications peut être endommagé par des surtensions ou des surintensités provenant de ces lignes, dans certaines circonstances. La probabilité et la sévérité de telles conditions dépendent de plusieurs facteurs: géographie, climat, méthodes de construction, effets d'écran. Les décharges électrostatiques et les transitoires provenant du secteur d'alimentation électrique sont aussi une source de surtensions ou surintensités susceptibles d'endommager les équipements ou d'en perturber le fonctionnement. La présente Recommandation a pour objet de définir les méthodes d'essai fondamentales qui peuvent varier de façon à être adaptées aux circonstances locales particulières et qui permettront de prévoir les probabilités de survie d'un équipement exposé à ces surtensions et surintensités.

Sous sa forme actuelle, la Recommandation décrit les essais auxquels il convient de soumettre les équipements connectés directement à des paires symétriques par des éléments métalliques. Un complément d'étude concernant les équipements connectés à des câbles coaxiaux et à des câbles à fibres optiques est en cours.

Elle suppose que des parafoudres sont installés à l'extérieur des équipements dans les régions exposées aux perturbations. Il incombe à chaque Administration de définir sa politique en matière de protection; elle tiendra compte pour cela des directives de la Recommandation K.11 et de l'itinéraire des lignes reliant l'équipement, en plus de son emplacement.

2 Champ d'application

Cette Recommandation concerne surtout les équipements terminaux les plus simples. La Recommandation K.20 concerne les équipements de commutation alimentés par batterie centrale. Pour les équipements d'abonné plus complexes, les Administrations doivent utiliser la Recommandation K.20, ou K.21 si celle-ci leur paraît mieux appropriée.

La présente Recommandation ne concerne que les essais d'équipements types. Etant donné qu'il est difficile de soumettre à un essai l'ensemble d'une installation d'abonné, lorsqu'elle est complexe, la Recommandation se limite à définir des séries d'essais effectués principalement à partir des accès de la ligne de télécommunications et de l'alimentation électrique par le secteur. Les essais doivent se faire dans n'importe quelle phase choisie pendant l'utilisation normale de l'équipement.

L'équipement pouvant être utilisé dans un environnement exposé ou non aux perturbations, les essais seront faits avec ou sans parafoudres.

Pour les essais de surtensions due aux décharges atmosphériques, on suppose qu'une connexion électrique peut être établie entre la borne de terre du système d'alimentation et la terre de l'équipement de télécommunications. On a entrepris l'étude des conditions spéciales d'essai dans les cas où cette connexion est impossible.

Les essais d'induction par ligne électrique ne s'appliquent qu'aux effets longitudinaux; les conditions d'essai applicables aux surtensions transversales font l'objet d'un complément d'étude.

Certains effets d'élévation du potentiel du sol, par exemple, en cas de défaillance du réseau de lignes électriques, ne sont pas traités ici mais sont étudiés.

Les caractéristiques des transitoires électriques rapides ne sont pas encore incluses et on étudie les conditions d'essai applicables aux lignes de télécommunications et aux lignes électriques.

La présente Recommandation traite surtout de la fiabilité de l'équipement; si elle peut offrir un certain niveau de sécurité, elle ne suffit pas à assurer une protection complète à l'utilisateur. Les normes nationales de sécurité électrique doivent être observées dans chaque pays où l'équipement est utilisé. Par ailleurs, cette Recommandation ne vise pas à déterminer si l'équipement peut avoir des effets préjudiciables sur le réseau une fois qu'il y est connecté. Les perturbations dues aux tensions induites à basse fréquence et les perturbations causées à l'équipement par des fréquences radioélectriques ne sont pas incluses.

3 Surtensions et surintensités

Les types de surtensions ou de surintensités visés par la présente Recommandation sont les suivants:

- surtensions dues à des décharges atmosphériques directes ou indirectes tombant sur les lignes ou à proximité de celles-ci;
- brève induction de tension de 50/60 Hz provenant de lignes électriques ou de réseaux ferroviaires adjacents, se produisant en général à un moment où ces lignes ou ces réseaux ont une défaillance;
- contacts directs entre des lignes de télécommunications et des lignes électriques, généralement à basse tension;
- décharges électrostatiques provoquées par des usagers en touchant l'équipement ou l'installation adjacents;
- surtensions transitoires sur les conducteurs du secteur d'alimentation électrique.

4 Limites de l'équipement

La variété des équipements impose de considérer chacun comme une «boîte noire» ayant au moins trois bornes d'accès: A, B, ..., etc., et la borne de terre: E. L'équipement peut déjà comporter des dispositifs internes de protection, répartis sur les circuits imprimés, ou connectés aux bornes d'accès. Pour les besoins des essais, il est souhaitable que les constructeurs définissent les limites de la «boîte noire», et tout dispositif de protection s'y trouvant inclus est à considérer comme inséparable de l'équipement. Les conducteurs auxiliaires de télécommunications, par exemple, pour raccorder des postes supplémentaires, ou pour être reliés à la terre pour les besoins de la signalisation, doivent être considérés comme autant de bornes d'accès, de type A, B, C, D, etc., et la borne de terre: E, prises en compte pour les essais.

5 Conditions d'essais

Sauf indication contraire, les conditions générales applicables à tous les essais décrits aux § 7, 8, 9 sont les suivantes:

1) Il s'agit d'essais d'équipements types.
2) Les bornes d'accès à utiliser pour les essais de l'équipement sont à définir par le constructeur et désignées A, B, C, D, etc., et terre.
3) Pour les essais spécifiés aux § 7 et 9 uniquement, les parties de l'équipement que l'on peut toucher en cours d'utilisation doivent être recouvertes d'une feuille métallique, à relier à la borne E.
4) L'équipement doit être soumis aux essais dans chaque phase de fonctionnement de durée notable.
5) L'équipement doit pouvoir subir avec succès les essais décrits aux § 7 et 9 dans toute la gamme des températures et des niveaux d'humidité prévus pour son utilisation.
6) Certains essais du tableau 1/K.21 exigent la présence d'une protection primaire convenue. Il est courant de munir les lignes d'abonné exposées de certains dispositifs protecteurs tels que des parafoudres à gaz raréfié. Etant donné que certains dispositifs de ce genre sont vraisemblablement nécessaires dans la plupart des cas pour faire face à de forts courants de surcharge et que l'emploi de ces parafoudres modifie les conditions auxquelles l'équipement d'abonné est exposé, les caractéristiques des parafoudres extérieurs doivent faire l'objet d'un accord entre l'Administration et le fournisseur de l'équipement. Les Administrations qui appliquent la présente Recommandation peuvent choisir librement les modèles de parafoudres dont les caractéristiques font partie de la gamme agréée, pour effectuer les essais où est prévue la protection externe.

   Des dispositifs protecteurs de caractéristiques conformes à cet accord sont à utiliser pour les cas prévus au tableau 1/K.21. Un nouveau jeu de parafoudres peut être utilisé à l'issue de chaque série d'essais. Les Administrations peuvent aussi décider de ne pas installer de protections externes, et d'adopter des conditions d'essais différentes pour les tensions et les durées appliquées à l'équipement, de telle sorte qu'elles représentent celles auxquelles on pourrait raisonnablement s'attendre dans les cas prévus au tableau 1/K.21.

7) Dans tous les cas où une tension maximale est spécifiée, il faut faire aussi des essais à des tensions plus basses, si c'est nécessaire, pour confirmer que les équipements résistent à toute tension jusqu'à la valeur maximale spécifiée.

8) Il convient de répéter chaque essai autant de fois que l'indique le tableau 1/K.21. L'intervalle de temps entre deux applications doit être d'une minute et, dans le cas d'essais par impulsions, la polarité est à inverser entre deux impulsions consécutives.

9) Les essais correspondant à l'induction et aux contacts doivent être effectués à la fréquence d'alimentation par le secteur, ou celle de la traction électrique du pays où l'équipement est utilisé.

6 Troubles et dommages tolérés

Deux niveaux de troubles de fonctionnement ou de dommages sont définis:

- *Critère A* – L'équipement doit pouvoir supporter l'essai sans dommages et sans autre dérangement (tels que l'altération du logiciel ou des défauts de fonctionnement des dispositifs de protection contre les pannes) et fonctionner convenablement dans les limites spécifiées après l'essai. (Il n'est pas nécessaire que l'équipement fonctionne correctement pendant l'application des conditions de l'essai.)

  Si cela est expressément autorisé par l'Administration, l'essai pourra déclencher des fusibles ou d'autres dispositifs devant être remplacés ou réarmés pour la reprise du fonctionnement normal.

- *Critère B* – Les essais ne doivent pas entraîner un risque d'incendie pour l'équipement. Tout dommage ou défaut de fonctionnement permanent doit être limité à un petit nombre de circuits d'interface avec les lignes extérieures.

On considère que les conditions justifiant de faire appel au critère B sont si rares qu'une protection absolue contre ces conditions n'est pas économique.

7 Essais concernant les surtensions dues à la foudre, l'induction et les contacts

Les montages d'essais utilisés pour réaliser les conditions de surtensions et de surintensités sont les suivants:

- figure 1/K.21: surtensions dues à la foudre,
- figure 2/K.21: induction par ligne électrique,
- figure 3/K.21: contacts avec ligne électrique.

Les essais des équipements doivent se faire dans les conditions indiquées au tableau 1/K.21.

8 Essais relatifs aux décharges électrostatiques

Il convient de suivre les prescriptions de la Publication 801-2 de la CEI [1]. Les équipements devront satisfaire au critère A de la présente Recommandation au cours d'essais correspondant aux niveaux de sévérité 2 et 4 de la Publication 801-2 de la CEI. Ces deux niveaux de sévérité ont été choisis car au niveau de sévérité 2, le temps de montée est beaucoup plus rapide qu'au niveau de sévérité 4. Ce temps de montée rapide peut causer un couplage dans les circuits sensibles et obligera à examiner non plus seulement les cas de dissipation d'énergie mais aussi les cas où le mauvais fonctionnement est dû à une altération du logiciel.

Toutefois, si elle le juge nécessaire, une Administration peut utiliser d'autres niveaux de sévérité pour ses essais. Elle est, de plus, libre d'assouplir quelque peu les conditions de critère A.

9 Essais relatifs aux équipements alimentés par le secteur

Les essais ci-après sont effectués sur les équipements alimentés par le secteur en vue de garantir une résistance suffisante de l'équipement aux fortes surtensions pouvant apparaître sur les conducteurs électriques d'alimentation du fait de la foudre ou d'autres raisons, par exemple, la commutation de charges.

Le matériel soumis à l'essai doit être testé à sa tension de fonctionnement normale, les accès de la ligne de télécommunication étant terminés de manière à simuler les caractéristiques de chaque phase de fonctionnement de durée notable.

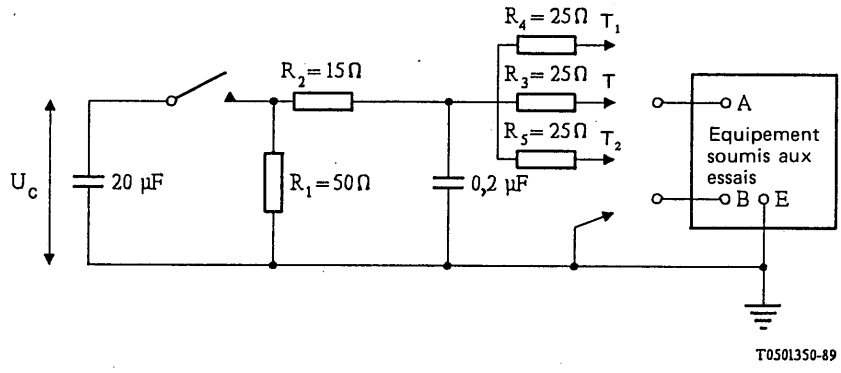


FIGURE 1/K.21

Circuit d'essai pour les surtensions dues à la foudre

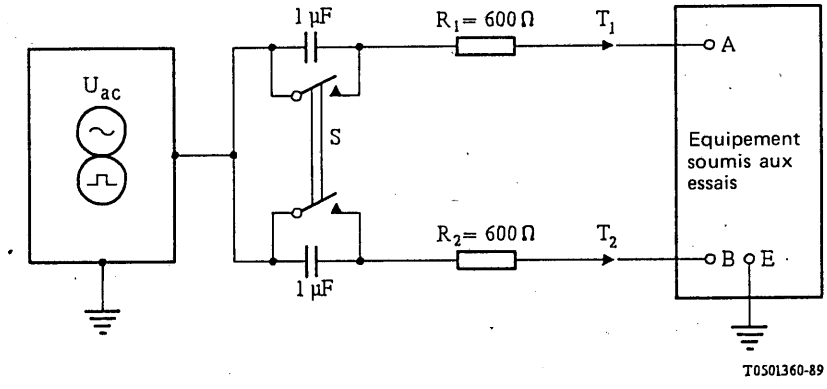


FIGURE 2/K.21

Circuit d'essai pour l'induction

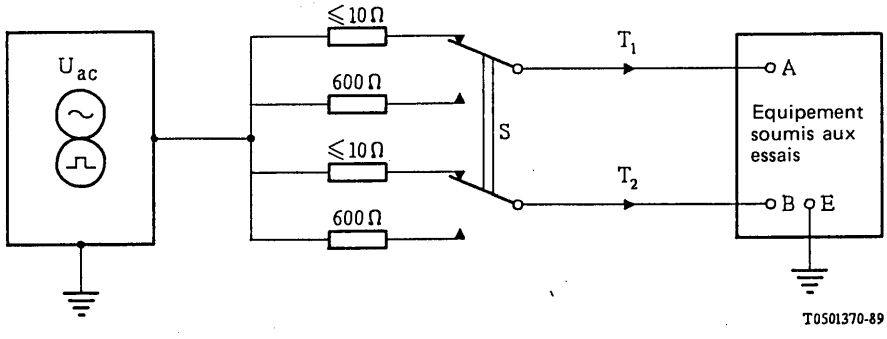


FIGURE 3/K.21

Circuit d'essai pour les contacts

TABLEAU 1/K.21

N°	Essai	Connexions aux bornes d'accès	Circuit d'essai	Tension et durée maximales de l'essai	Nombre d'essais	Protection extérieure (Voir point 6 du § 5)	Critères d'acceptation (Voir § 6)
1	Simulation d'une surtension due à la foudre	T et A, B, etc. respectivement avec toutes les autres bornes d'accès à la terre (Voir la remarque 1)	Figure 1/K.21	U_c = 1,0 kV (Voir la remarque 2)	10	Aucune	critère A
				U_c = 4 kV (Voir la remarque 3)	10	Protection primaire convenue	critère A
		T_1 et A T_2 et B	Figure 1/K.21	U_c = 1,5 kV (Voir la remarque 2)	10	Aucune	critère A
				U_c = 4 kV (Voir la remarque 3)	10	Protection primaire convenue	critère A
2	Induction par une ligne électrique	T_1 et A T_2 et B	Figure 2/K.21 S ouvert	$U_{ac\,(max)}$ = 300 V_{eff} pendant 200 ms (Voir la remarque 4)	5	Aucune	critère A
			Figure 2/K.21 S fermé	(Voir la remarque 5)	1	Protection primaire convenue	critère B
3	Contact avec une ligne électrique	T_1 et A T_2 et B	Figure 3/K.21 Les essais sont faits pour les deux positions de S (Voir la remarque 6)	$U_{ac\,(max)}$ = 230 V_{eff} pendant 15 min. (Voir la remarque 4)	1 Pour chaque position de S	Aucune	critère B

Remarque 1 – Une connexion à la terre peut empêcher l'établissement des conditions de fonctionnement normales au moment de l'essai. En pareil cas, il convient d'appliquer d'autres procédures d'essai pour satisfaire aux caractéristiques de cet essai (recours, par exemple, à un éclateur basse tension ou à une autre variante de connexion de terre).

Remarque 2 – Les Administrations peuvent spécifier une valeur différente pour $U_{c\,(max)}$, pour tenir compte des conditions locales, par exemple pour éviter l'emploi de protections externes ou en fonction de la tension d'amorçage au choc des parafoudres normalement utilisés.

Remarque 3 – Les Administrations peuvent faire varier la valeur de $U_{c\,(max)}$ en fonction des conditions locales.

Remarque 4 – Les Administrations peuvent spécifier une valeur moindre pour $U_{ac\,(max)}$ et faire varier la durée des essais en fonction de leurs propres besoins (par exemple, en fonction de la tension du secteur local).

Remarque 5 – Les tensions et les durées doivent être conformes aux directives du CCITT ou aux autres limites fixées éventuellement par les Administrations.

Remarque 6 – Les fusibles, câbles de fusibles, etc., peuvent rester en circuit pendant ces essais. Le courant conduit par le câble ne doit pas constituer un risque d'incendie à l'intérieur des lieux où sont installés les équipements.

Les équipements non conformes au point a) ci-après doivent répondre au critère A de la présente Recommandation lorsqu'ils sont soumis à des essais de surtension entre les bornes: fils de phase, fil neutre et terre de protection de l'équipement conformément au point b) ci-après.

a) *Coordination de l'isolement*

La Publication 664 de la CEI [2] décrit les catégories de surtensions pour les équipements alimentés par le secteur, y compris les équipements de télécommunications, par rapport aux surtensions qui se produisent dans le réseau d'alimentation. La plupart des équipements d'abonné seront vraisemblablement installés dans la catégorie de surtensions II dans laquelle la pointe de tension maximale arrivant aux bornes du secteur est de 2,5 kV. Compte tenu de cela et de certaines autres hypothèses concernant la pollution atmosphérique (poussière, par exemple) et la qualité de l'isolement, la Publication 664 de la CEI donne aux Comités de la CEI chargés des normes, des avis sur les lignes de fuite et les distances d'isolement dans l'air coordonnées qui peuvent être considérées comme étant propres à assurer une qualité de fonctionnement satisfaisante pendant la durée de vie de l'équipement.

Les directives données dans la Publication 664 de la CEI ont été adoptées dans la Publication 950 de la CEI [3]. Sous réserve des cas mentionnés au point c) ci-après, les équipements de télécommunications qui emploient des espacements d'isolement dimensionnés et testés conformément à la publication 950 de la CEI n'ont pas besoin d'être soumis aux essais supplémentaires prévus dans la présente Recommandation.

b) *Pas de coordination de l'isolement*

Si la coordination de l'isolement n'est pas assurée, l'équipement fera l'objet d'essais en s'inspirant des principes exposés dans les références [3] à [5].

c) *Surtensions exceptionnelles*

Dans les cas où les perturbations électriques peuvent atteindre une amplitude exceptionnelle ou simplement dépasser les valeurs adoptées pour les essais, il est recommandé de prendre des mesures de protection supplémentaires en utilisant, à l'extérieur de l'équipement terminal, des équipements tels que les suivants:

- transformateurs d'isolation ayant une rigidité élevée (de l'ordre de 10 kV) par rapport aux conducteurs du secteur;
- limiteurs de tensions tels que parafoudres, éclateurs, résistances non linéaires, etc.;
- combinaisons de plusieurs de ces équipements.

Remarque 1 – En ce qui concerne le point a), l'expérience d'un pays a montré que le générateur de la Recommandation K.17 peut être remplacé, c'est-à-dire par une onde de forme 10/700 µs et une impédance interne de 40 ohms. Une tension d'essai de $V_{c(max)}$ = 2,5 kV permet d'assurer un fonctionnement satisfaisant de l'équipement fonctionnant à partir de l'interface d'alimentation à basse tension des systèmes de distribution électrique, avec une tension nominale de 230/400 V.

Remarque 2 – Il ne faut pas négliger les questions de sécurité concernant les barrières électriques entre les bornes d'alimentation par le secteur et la ligne de télécommunications. Ces questions font normalement l'objet d'une réglementation nationale qui doit être respectée dans chaque pays.

Références

[1] Publication 801-2 de la CEI *Compatibilité électromagnétique pour les matériels de mesure et de commande dans les processus industriels, Deuxième partie: Prescriptions relatives aux décharges électrostatiques*, Genève, 1984.

[2] Publication 664 de la CEI *Coordination de l'isolement dans les systèmes (réseaux) à basse tension, y compris les distances d'isolement dans l'air et les lignes de fuite des matériels*, Genève, 1980.

[3] Publication 950 de la CEI *Sécurité des matériels de traitement de l'information, y compris les matériels de bureau électriques*, Genève, 1986.

[4] Norme ANSI/IEEE Standard C 62.41 *Guide de l'IEEE pour les surtensions dans les circuits électriques alternatifs basse tension*, New York, 1980.

[5] CENELEC ENV 41003 *Particular requirements for information technology équipment when connected to a telecommunication network*, Bruxelles, 1988.

IMMUNITÉ AUX SURTENSIONS DES ÉQUIPEMENTS CONNECTÉS À UN BUS T/S DE RNIS

(Melbourne, 1988)

1 Considérations générales

La présente Recommandation décrit les méthodes et les critères d'essai fondamentaux pour l'immunité des équipements de télécommunications connectés à un but T/S interne de RNIS.

Il convient d'observer les dispositions de la Recommandation K.21 pour évaluer l'immunité d'un équipement à connecter directement à un réseau de télécommunications.

2 Portée

La présente Recommandation s'applique à un équipement terminal à connecter au bus T/S à quatre fils d'une installation de RNIS, dans l'hypothèse où le réseau de télécommunications est correctement isolé du bus T/S à la terminaison de réseau. On suppose aussi que le bus S n'est pas relié à la terre, par exemple, que des limiteurs de tension de caractéristiques non linéaires mis à la terre ne peuvent pas être utilisés. Dans les cas où ces hypothèses ne se vérifient pas, il convient d'appliquer la Recommandation K.21.

3 Surtensions et surintensités

La présente Recommandation se rapporte aux conditions électriques suivantes:

- ondes de choc dues à des décharges atmosphériques affectant les lignes de télécommunications ou le bâtiment abritant l'équipement;
- décharges électrostatiques provenant des usagers qui touchent l'équipement ou l'installation adjacents;
- surtensions passagères dues à des décharges atmosphériques parvenant dans l'alimentation de l'équipement par le secteur.

4 Limites de l'équipement

La variété des équipements impose de considérer chacun comme une «boîte noire» ayant au moins trois bornes d'accès: A, B, etc., et la borne de terre: E. L'équipement peut déjà comporter des dispositifs internes de protection, répartis sur les circuits imprimés, ou connectés aux bornes d'accès. Pour les besoins des essais, il est souhaitable que les constructeurs définissent les limites de la «boîte noire», et tout dispositif de protection s'y trouvant inclus est à considérer comme inséparable de l'équipement.

5 Conditions d'essai

Les conditions générales suivantes sont applicables:

1) Il s'agit d'essais d'équipements types.
2) Les bornes d'accès à utiliser pour les essais de l'équipement sont à définir par le constructeur et désignées A, B, C, D, etc.
3) Pour les essais spécifiés aux § 7 et 9 uniquement, les parties de l'équipement que l'on peut toucher en cours d'utilisation doivent être recouvertes d'une feuille métallique, à relier à la borne E de terre (si elle existe).
4) L'équipement doit être soumis aux essais dans chaque phase de fonctionnement de durée notable.
5) L'équipement doit pouvoir subir avec succès les essais décrits aux § 7 et 9 dans toute la gamme des températures et des niveaux d'humidité prévus pour son utilisation.
6) Chaque fois que l'on spécifie une tension maximale, des essais doivent être également faits à de plus faibles tensions s'il est nécessaire de s'assurer que l'équipement est protégé contre toute tension de niveau inférieur ou égal au maximum spécifié.

6 Conformité pour les essais

L'équipement doit pouvoir supporter les essais sans dommage et sans autre dérangement, (par exemple, une altération du logiciel ou des défauts de fonctionnement des dispositifs de protection contre les pannes) et doit fonctionner convenablement dans les limites spécifiées après l'essai. Il n'est pas nécessaire qu'il fonctionne correctement pendant l'application des conditions de l'essai. Si l'Administration l'autorise expressément, il peut se faire que l'essai provoque le fonctionnement de fusibles ou d'autres dispositifs devant être remplacés ou réarmés pour la reprise du fonctionnement normal.

7 Essais de surtensions

7.1 *Circuits d'essai*

Trois circuits d'essai peuvent être utilisés:

- un générateur de surtension délivrant une onde de forme 1,2/50 µs pour la tension à circuit ouvert et 8/20 µs pour le courant de court-circuit;
- un générateur de surtension produisant une onde de forme 2/10 µs pour la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit;
- un générateur de surtension produisant une onde de forme 1,2/50 µs pour la tension en circuit ouvert et le courant correspondant de court-circuit. La figure 1/K.22 montre un circuit d'essai type.

Le courant de court-circuit produit par le générateur de surtension sera d'environ 100 A.

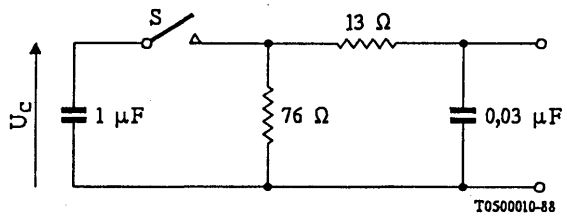


FIGURE 1/K.22

Circuit type de générateur de surtension (voir le § 7.1)

7.2 *Essais*

La tension en circuit ouvert du générateur de surtensions doit être de 1 kV. Le générateur de surtensions doit être connecté à l'équipement soumis à l'essai par le circuit de la figure 2/K.22. Dix essais doivent être faits avec alternance de polarités.

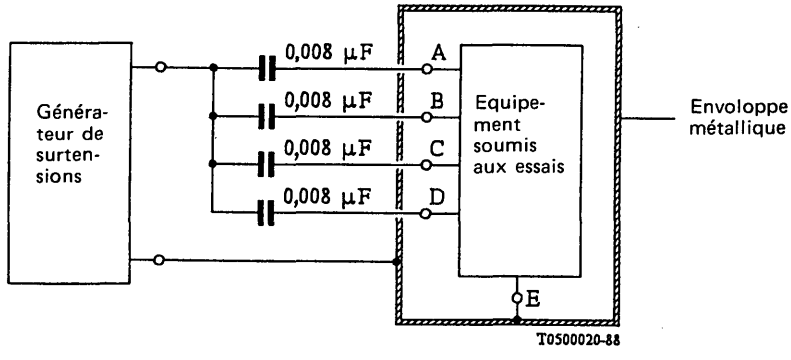


FIGURE 2/K.22

Connexion du générateur de surtensions à l'équipement soumis aux essais (voir le § 7.2)

8 Essais pour les décharges électrostatiques

L'équipement doit respecter les clauses de la Publication 801-2 de la CEI [1] aux niveaux de sévérité 2 et 4. Ces deux niveaux de sévérité ont été choisis de manière que les essais de l'équipement portent à la fois sur des temps de montée rapides et sur de fortes tensions d'essai.

9 Essais concernant des équipements alimentés par le secteur

Les essais ci-après sont effectués sur les équipements alimentés par le secteur en vue de garantir une résistance suffisante de l'équipement aux fortes surtensions pouvant a paraître sur les conducteurs électriques d'alimentation du fait de la foudre ou d'autres raisons par exemple, la commutation de charges.

Le matériel soumis à l'essai doit être testé à sa tension de fonctionnement normale, les accès de la ligne de télécommunication étant terminés de manière à simuler les caractéristiques de chaque phase de fonctionnement de durée notable.

Les équipements non conformes au point a) ci-après doivent répondre aux conditions du § 6 de la présente Recommandation lorsqu'il sont soumis à des essais de surtension entre les bornes: fil de phase, fil neutre et terre de protection de l'équipement conformément au point b) ci-après.

a) *Coordination de l'isolement*

La Publication 664 de la CEI [2] décrit les catégories de surtensions pour les équipements alimentés par le secteur, y compris les équipements de télécommunications, par rapport aux surtensions qui se produisent dans le réseau d'alimentation. La plupart des équipements d'abonné seront vraisemblablement installés dans la catégorie de surtensions II dans laquelle la pointe de tension maximale arrivant aux bornes du secteur est de 2,5 kV. Compte tenu de cela et de certaines autres hypothèses concernant la pollution atmosphérique (poussière par exemple) et la qualité de l'isolement, la Publication 664 de la CEI donne aux Comités de la CEI chargés des normes, des avis sur les lignes de fuite et les distances d'isolement dans l'air coordonnées qui peuvent être considérées comme étant propres à assurer une qualité de fonctionnement satisfaisante pendant la durée de vie de l'équipement.

Les directives données dans la Publication 664 de la CEI ont été adoptées dans la Publication 950 de la CEI [3]. Sous réserve des cas mentionnés au point c) ci-après, les équipements de télécommunications qui emploient des espacements d'isolement dimensionnés et testés conformément à la Publication 950 de la CEI n'ont pas besoin d'être soumis aux essais supplémentaires prévus dans la présente Recommandation.

b) *Pas de coordination de l'isolement*

Si la coordination de l'isolement n'est pas assurée, l'équipement fera l'objet d'essais en s'inspirant des principes exposés dans les références [3] à [5].

c) *Surtensions exceptionnelles*

Dans les cas où les perturbations électriques peuvent atteindre une amplitude exceptionnelle ou simplement dépasser les valeurs adoptées pour les essais, il est recommandé de prendre des mesures de protection supplémentaires en utilisant, à l'extérieur de l'équipement terminal, des équipements tels que les suivants:

- transformateurs d'isolation ayant une rigidité élevée (de l'ordre de 10 kV) par rapport aux conducteurs du secteur;
- limiteurs de tensions tels que parafoudres, éclateurs, résistances non linéaires, etc.;
- combinaisons de plusieurs de ces équipements.

Remarque 1 – En ce qui concerne le point a), l'expérience d'un pays a montré que le générateur de la Recommandation K.17 peut être remplacé, c'est-à-dire par une onde de forme 10/700 µs et une impédance interne de 40 ohms. Une tension d'essai de $V_{c(max)}$ = 2,5 kV permet d'assurer un fonctionnement satisfaisant de l'équipement fonctionnant à partir de l'interface d'alimentation à basse tension des systèmes de distribution électrique, avec une tension nominale de 230/400 V.

Remarque 2 – Il ne faut pas négliger les questions de sécurité concernant les barrières électriques entre les bornes d'alimentation par le secteur et la ligne de télécommunications. Ces questions font normalement l'objet d'une réglementation nationale qui doit être respectée dans chaque pays.

Remarque 3 – Le lecteur notera que le CCITT poursuit l'étude des sujets suivants:

- élévation du potentiel du sol;
- transitoires électriques rapides;
- essais en exploitation pour les barrières entre les bornes du secteur et celles de télécommunication de l'équipement;
- pointes de tension à haute fréquence provenant du secteur;
- interruptions de courte durée des tensions du secteur.

Quand ces études seront achevées, la présente Recommandation pourra être complétée.

Références

[1] Publication 801-2 de la CEI *Compatibilité électromagnétique pour les matériels de mesure et de commande dans les processus industriels, Deuxième partie: Prescriptions relatives aux décharges électrostatiques*, Genève, 1984.

[2] Publication 664 de la CEI *Coordination de l'isolement dans les systèmes (réseaux) à basse tension y compris les distances d'isolement dans l'air et les lignes de fuite des matériels*, Genève, 1980.

[3] Publication 950 de la CEI *Sécurité des matériels de traitement de l'information y compris les matériels de bureau électriques*, Genève, 1986.

[4] Norme ANSI/IEEE Standard C 62.41 *Guide de l'IEEE pour les surtensions dans les circuits électriques alternatifs basse tension*, New York, 1980.

[5] CENELEC ENV 41003 *Particular requirements for information technology equipment when connected to a telecommunications network*, Bruxelles, 1988.

Recommandation K.23

TYPES DE BRUIT INDUIT ET DESCRIPTION DES PARAMÈTRES DE TENSION DE BRUIT POUR LES RÉSEAUX DE LIAISONS D'ABONNÉS DE BASE DU RNIS

(Melbourne, 1988)

1 Objet de la Recommandation

La présente Recommandation, élaborée par la Commission d'études V, vise à satisfaire les besoins urgents des Administrations, des fabricants et des usagers qui doivent évaluer l'immunité des équipements au bruit induit afin de concevoir et d'exploiter le RNIS.

La présente Recommandation définit les types de bruit induit susceptibles de causer une dégradation de la qualité de transmission et un mauvais fonctionnement des équipements, ainsi que les paramètres de tension de bruit qu'il convient d'évaluer.

2 Portée

La présente Recommandation traite de la dégradation des caractéristiques de fonctionnement des équipements due aux tensions induites de bruit, qui sont causées par une source d'induction extérieure au câble ou par un autre système de télécommunications, aux câbles en paires métalliques (y compris dans l'installation interne au domicile de l'abonné), mais elle ne traite pas des perturbations causées par les caractéristiques de transmission des câbles (par exemple, les caractéristiques diaphoniques).

La présente Recommandation examine les caractéristiques des tensions de bruit induit aux interfaces entre paires métalliques du RNIS dans les locaux de l'abonné. Les interfaces visées par la présente Recommandation sont les interfaces S et T (voir la Recommandation I.430) ainsi que l'interface à deux fils de la TR1.

La ligne de communication qui constitue le bus S/T peut être circonscrite à un immeuble ou relier deux immeubles. La ligne de raccordement au réseau de télécommunications peut être aérienne ou enterrée.

3 Types de bruit induit affectant le RNIS

3.1 *Mode de tension*

Deux sortes de tension doivent être envisagées: la tension longitudinale et la tension transversale. La figure 1/K.23 illustre la définition de la tension longitudinale induite dans les lignes de télécommunications et de la tension transversale.

Quand une tension longitudinale est présente aux interfaces de l'équipement, elle peut causer un mauvais fonctionnement de l'équipement. La tension transversale est induite par conversion de tension longitudinale pour cause de dissymétrie de la ligne de transmission et l'impédance d'entrée de l'équipement terminal, et par couplage direct avec la source d'induction. Elle peut causer une dégradation de la qualité de transmission. Par conséquent, il convient de prendre en considération à la fois la tension longitudinale et la tension transversale (voir la figure 2/K.23).

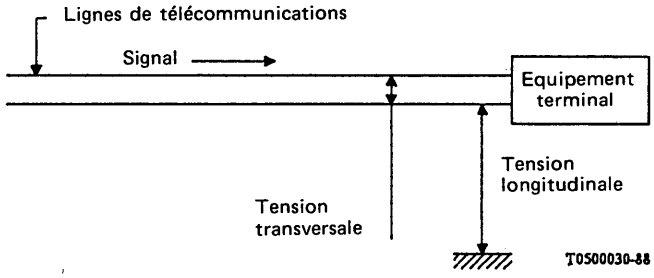


FIGURE 1/K.23

Mode de tension induite

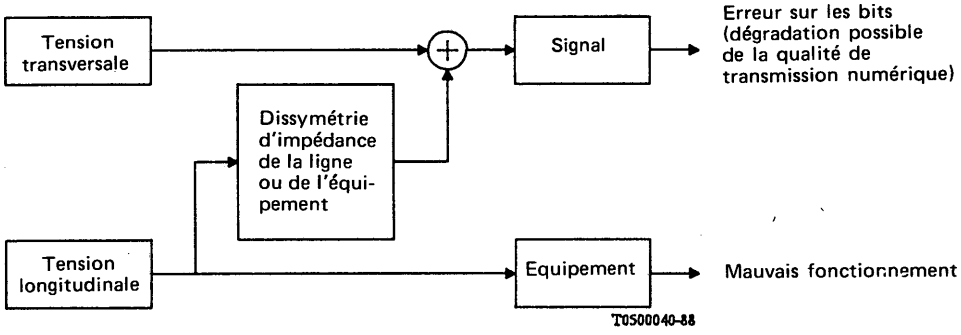


FIGURE 2/K.23

Influence de la tension longitudinale et de la tension transversale sur une ligne de transmission numérique

3.2 *Forme d'onde de la tension de bruit induit*

Du point de vue de la forme d'onde, la tension de bruit induit peut être de deux sortes: la tension de bruit continu (comme un signal radiodiffusé) ou la tension de bruit transitoire (comme la tension de bruit de commutation).

La forme d'onde de bruit continu peut être reproduite à partir des composants du spectre des fréquences. Le bruit continu cause une dégradation du rapport signal/bruit, ce qui peut occasionner une augmentation du taux d'erreur.

En revanche, la forme d'onde de bruit transitoire se compose d'ondes de type étincelle. Comme la largeur d'impulsion d'une onde transitoire est très inférieure à la période entre deux ondes transitoires, chacune de celles-ci peut être traitée comme une onde indépendante. Par conséquent, il importe de connaître le temps total pour que le bruit transitoire dépasse la tension de décision, pour évaluer la qualité de transmission numérique. Pour évaluer un mauvais fonctionnement de l'équipement, les caractéristiques précitées de la forme d'onde de bruit doivent être prises en considération.

3.3 *Catégories de qualité de fonctionnement des équipements*

Le bruit induit décrit ci-dessus peut avoir différents effets sur la qualité de fonctionnement des équipements et sur la qualité de la transmission; ces effets tombent dans les catégories suivantes:

1) pas de diminution de qualité de fonctionnement ni perte de fonction;
2) perte temporaire de fonction ou de qualité de fonctionnement pouvant se rétablir automatiquement;
3) perte temporaire de fonction ou de qualité de fonctionnement exigeant l'intervention d'opérations ou la réinitialisation du système;
4) perte de fonction qui ne peut pas être rétablie en raison du dommage subi par l'équipement (ou ses composants) ou en raison de la nature continue de la perturbation.

Le tableau 1/K.23 présente les sources de bruit qui causent une tension induite dans les lignes de transmission. Il indique aussi les catégories 1) à 4) ci-dessus de dégradation de la qualité de fonctionnement des équipements et de qualité de transmission et les interfaces à considérer pour chaque source de bruit.

TABLEAU 1/K.23

Sources de bruit induit, forme d'onde à évaluer, perturbation à évaluer et interface de ligne

Source de bruit induit (voir la remarque 1)			Forme d'onde à évaluer		Catégorie de qualité de fonctionnement de l'équipement (voir le § 3.3)				Interface à considérer	
			Bruit continu	Bruit transitoire	1	2	3	4	TR à 2 fils	S et T
Source de bruit induit externe	Couplage dans les lignes de télécommunications dû à une source de rayonnement	① radiodiffusion	X		X			X	X	X
		② Emetteur-récepteur mobile	X		X	X	X		X	X
		③ Ligne électrique (extérieure)	X	X	X	X	X	X	X	
		④ Chemin de fer électrifié	X	X	X	X	X	X	X	
		⑤ Foudre		X	X	X	X	X	X	X
		⑥ Allumage de moteur automobile		X	X	X	X		X	X
		⑦ Décharges électrostatiques		X	X	X	X	X	(remarque 2)	(remarque 2)
	Couplage dans les lignes de télécommunications dû au courant alternatif du secteur dans le bâtiment	⑧ Fonctionnement continu d'appareils électriques	X		X			X	X (remarque 3)	X (remarque 3)
		⑨ Fonctionnement d'interrupteurs		X	X	X	X		X (remarque 3)	X (remarque 3)
Source de bruit induit dans le système de télécommunications	⑩ Bruit impulsif provenant d'un circuit de télécommunications analogique			X	X	X	X		X	X
	⑪ Bruit de contact (par exemple aux épissures)			X	X	X	X		X	X

Remarque 1 – Certaines de ces sources de bruit sont étudiées au titre d'autres Questions de la CE V.

Remarque 2 – Essai d'équipement, pas d'interface.

Remarque 3 – Essai par l'accès secteur des terminaisons de réseau (TR) et des équipements terminaux (ET).

4 Paramètres de tension de bruit induit qu'il convient d'évaluer

L'emploi de données brutes provenant de diverses ondes de tension de bruit induit pour évaluer la qualité de transmission et le mauvais fonctionnement des équipements est trop inefficace. Par conséquent, il est utile d'utiliser plusieurs paramètres pour décrire les caractéristiques de la forme d'onde et d'établir une méthode de mesure et une procédure d'essai normalisées. Cela permettra d'évaluer efficacement l'effet de la tension de bruit induit sur la qualité de transmission numérique et sur le mauvais fonctionnement des équipements.

Il faut évaluer la tension de bruit continu au moyen des amplitudes du spectre des fréquences comme paramètre de base, du fait que ces amplitudes permettent de reproduire les formes d'onde. Pour évaluer la tension de bruit transitoire, on utilisera les distributions de probabilité d'amplitude et le spectre des fréquences ainsi que les paramètres de forme d'onde dans le domaine temporel (par exemple, valeur de crête, durée de la période, temps d'extinction, durée de la salve, etc.). Ces paramètres de base peuvent servir à concevoir un simulateur de bruit transitoire.

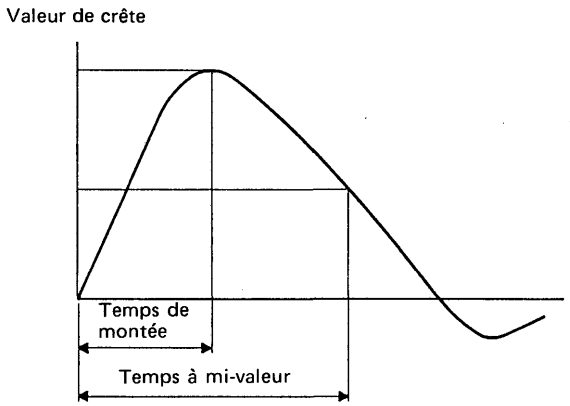
Le tableau 2/K.23 énumère quelques paramètres de tension de bruit induit qu'il convient d'évaluer.

TABLEAU 2/K.23

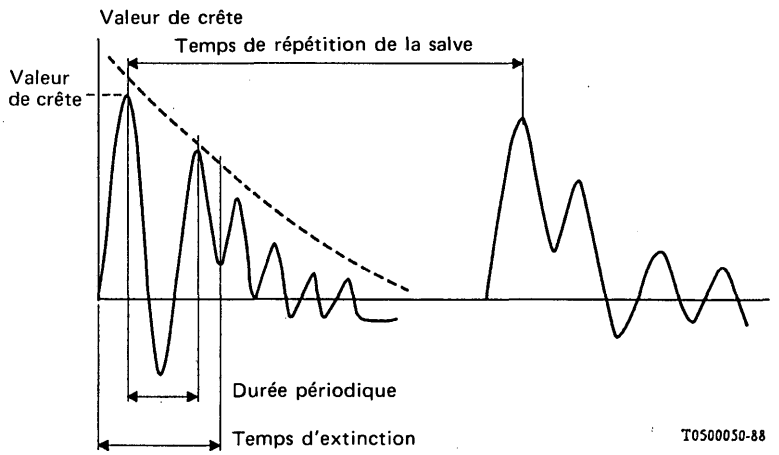
Paramètres de tension de bruit induit qu'il convient d'évaluer

Type de forme d'onde de bruit induit (voir la remarque)		Domaine fréquentiel		Domaine temporel						
		Amplitude	Fréquence	Valeur de crête	Temps de montée	Temps à mi-valeur	Durée de la période	Temps d'extinction	Durée de la salve	Distribution de la probabilité d'amplitude
Tension de bruit continu	Bande étroite ①,②	×	×							
	Large bande ③,④	×	×							
Tension de bruit impulsif	Type I ⑤,⑦	×	×	×	×	×				×
	Type II ⑤,⑥,⑧ ⑨,⑩,⑪	×	×	×	×	×	×	×	×	×

Remarque – Les chiffres encerclés désignent les sources de bruit induit du tableau 1/K.23.



Type I: Bruit transitoire à grande énergie



Type II: Bruit transitoire rapide répétitif

MÉTHODE DE MESURE DU BRUIT RADIOÉLECTRIQUE INDUIT SUR DES PAIRES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

(Melbourne, 1988)

1 Objet de la présente Recommandation

La présente Recommandation a pour but de normaliser la méthode de mesure du bruit radioélectrique induit qui peut causer une dégradation de la qualité de fonctionnement des équipements et de la qualité de transmission. En effet, une normalisation de la méthode de mesure du bruit induit permet une normalisation internationale de la qualité du système de télécommunications.

2 Portée

La présente Recommandation envisage des méthodes de mesure pour le bruit radioélectrique induit à une paire de télécommunications. L'emplacement des mesures est à la fois le point d'entrée du câble dans un bâtiment et le point d'interface d'un équipement terminal.

La gamme de fréquences à prendre en considération va de 10 kHz à 30 MHz.

Remarque – Au-dessus de 30 MHz, les problèmes que posent les mesures n'ont pas été résolus et sont toujours à l'étude.

3 Circuits de mesure de la tension du bruit radioélectrique induit

1) *Mode de mesure de la tension de bruit induit*

Les tensions transversales et longitudinales doivent être mesurées.

2) *Etat de la ligne de télécommunications pour les mesures*

Les mesures doivent être faites avec tous les équipements de télécommunications déconnectés à l'extrémité de mesure et avec un réseau de terminaison de mesure.

i) *Réseau de terminaison pour les mesures*

Les mesures doivent être faites au point d'entrée du câble dans les locaux de l'abonné et au point terminal de l'équipement. Pour les mesures, le réseau en T de la figure 1/K.24 doit être utilisé. L'affaiblissement de conversion longitudinale (ACL) de ce réseau en T doit être supérieur d'au moins 10 dB à la valeur de cet affaiblissement pour le type de câble à mesurer (par exemple, un câble avec un ACL de 60 dB exige un réseau de terminaison de mesure avec un ACL de 70 dB).

Remarque – Les valeurs de R_x et R_y sont à l'étude. Les Administrations et EPR sont priées de faire des mesures pour les deux jeux de valeurs indiquées à la figure 1/K.24.

ii) *Point de mise à la terre de référence*

Un des deux point de mise à la terre suivants peut être utilisé, par ordre de préférence: a) le blindage du câble ou 2) la connexion de terre de la protection primaire, la terre de protection électrique ou une construction métallique voisine mise à la masse. Du fait qu'il influe sur le résultat, le point de mise à la terre de référence servant aux mesures doit être indiqué.

Remarque – Pour les mesures de tensions transversales, une connexion avec un point de référence n'est pas toujours indispensable, mais il faut tenir compte de la capacité de l'équipement de mesure et la terre. Pour cela, on peut utiliser un appareil de mesure alimenté par pile. Il est indispensable d'utiliser un transformateur-séparateur pour les appareils fonctionnant sur secteur, ou un réseau de terminaison symétrique-dissymétrique pour mesurer la tension transversale.

iii) *Réseau de terminaison à utiliser au central*

Dans le câblage à l'intérieur des locaux (comme la ligne d'interface S/T du RNIS) il importe de fermer l'extrémité distante du câble. Néanmoins, en cas de mesure au point d'entrée du réseau local dans les locaux de l'abonné (comme l'interface deux fils à TR1 du RNIS), il n'est pas important d'avoir une terminaison à l'extrémité distante si la longueur du câble dépasse 1 km. Au-dessous de cette longueur, il sera peut-être encore possible de faire des mesures sans terminaison à l'extrémité distante, selon la fréquence du signal perturbateur et la réalisation du réseau local.

3) *Type de détecteur*

Le détecteur aura les caractéristiques fondamentales définies au § 1 de la spécification du CISPR pour les appareils et la méthode de mesure des perturbations radioélectriques (CISPR, publication n° 16, 1987).

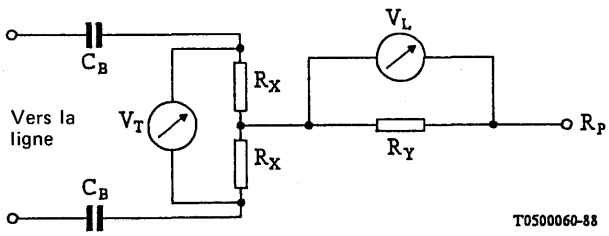
4) *Largeur de bande de mesure*

La largeur de bande de mesure aura les caractéristiques fondamentales définies au § 1 de la spécification du CISPR pour les appareils et la méthode de mesure des perturbations radioélectriques, CISPR, publication n° 16, 1987.

Les améliorations par resserrement de la largeur de bande et la normalisation d'appareils de mesure appropriés exigent un complément d'étude en collaboration avec le CISPR (Comité international spécial des perturbations radioélectriques).

5) *Immunité de l'équipement de mesure au champ électrique*

L'équipement d'essai doit avoir une immunité globale au champ électromagnétique conforme à la publication n° 16 du CISPR. Une précision suffisante doit être assurée pour étendre l'emploi de l'équipement à des emplacements donnant lieu à un champ de 3 V/m à 10 V/m.



$C_B > 5\ \mu F$

R_M ($=2R_X$) (ohm)	R_L ($=[R_X/2] + R_Y$) (ohm)
135	90
400	150

Rp Point de mise à la terre de référence

FIGURE 1/K.24

Réseau de terminaison de mesure pour les tensions de bruit radioélectrique induit

Recommandation K.25

PROTECTION DES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES CONTRE LA FOUDRE

(Melbourne, 1988)

1 Introduction

On considère généralement que les communications fondées sur l'emploi de fibres optiques ne risquent pas de subir de perturbations du fait des courants de surcharge dus, par exemple, à la foudre. Or, certains câbles à fibres optiques contiennent des éléments métalliques, qu'il s'agisse d'assurer une certaine résistance pendant l'installation, une barrière d'étanchéité, une protection contre les rongeurs ou certaines transmissions pendant les réparations. Ces éléments peuvent être atteints par la foudre et le câble peut être ainsi endommagé.

Ces dommages peuvent être réduits si l'on assure un isolement approprié entre les composants métalliques et si l'on utilise un type de câble qui résiste aux effets thermiques et mécaniques à l'endroit où la foudre touche le câble. Une rigidité diélectrique entre les composants métalliques peut empêcher l'apparition répétée d'un arc entre ces composants.

Le manuel du CCITT intitulé *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre* [1], qui fournit des renseignements généraux sur la protection des lignes de télécommunications contre la foudre peut être utilisé pour les installations aériennes et enterrées de câbles à fibres optiques contenant des éléments métalliques.

La présente Recommandation fournit, à titre intérimaire, les indications suivantes:

- elle donne des directives d'utilisation du manuel cité en [1] pour évaluer l'opportunité de protéger les câbles à fibres optiques (voir le § 2) et pour choisir les dispositifs de protection permettant de réduire le plus possible les dommages dus à la foudre (voir le § 3);
- elle décrit des méthodes d'essai permettant d'évaluer l'immunité des câbles à fibres optiques (voir le § 3.4).

Les travaux futurs concernant la présente Recommandation sont décrits au § 5.

2 Opportunité d'une protection

L'opportunité de protéger un câble à fibres optiques contre la foudre dépend de la fréquence annuelle des dommages causés à la fibre N_d et du nombre de dérangements admissible N_t.

Le taux annuel de dommages peut être estimé au moyen du chapitre 7 du manuel cité en [1] *Fréquence des dérangements dus à la foudre dans les réseaux de télécommunications.* Voir aussi le § 5.

Le courant de foudre maximum qui ne cause pas de dérangements au câble est le courant admissible indiqué dans les formules de ce chapitre et qui concerne les dommages secondaires, c'est-à-dire les ruptures diélectriques dans le câble.

Le courant admissible pour les dommages primaires, c'est-à-dire l'interruption de transmission ou une moindre résistance du câble à la pénétration de l'humidité peut être évalué par les méthodes d'essai décrites au § 3.4.

Si le taux annuel de dommages N_d est supérieur au nombre de dérangements admissible N_t, des mesures de protection sont nécessaires pour réduire N_d et pour réduire à un minimum le risque de ces dommages.

Chaque Administration peut fixer le nombre de dérangements qu'elle juge admissibles.

3 Mesures de protection

Les dispositifs et mesures de protection pour les réseaux de télécommunications sont indiqués aux chapitres 5 et 6 du manuel cité en [1].

En ce qui concerne les câbles à fibres optiques, les mesures de protection suivantes sont en général envisagées:

3.1 *Connexion correcte des barrières d'étanchéité métalliques*

La barrière d'étanchéité d'un câble à fibres optiques doit être continue, c'est-à-dire qu'elle doit être connectée à toutes les épissures, les régénérateurs, etc. le long du câble. Cette barrière doit être reliée à la terre, directement ou par l'intermédiaire de parafoudres, à la terminaison de chaque extrémité de la longueur du câble.

3.2 *Utilisation de fils écrans au-dessus du câble*

Il peut être important de protéger l'enveloppe en matière plastique de la barrière d'étanchéité contre les perforations dues aux décharges atmosphériques. Ces perforations peuvent se produire si le potentiel du sol par rapport à la terre distante dépasse, à la suite d'une décharge atmosphérique, la tension de rupture de l'enveloppe de polyéthylène de la barrière d'étanchéité.

L'installation d'un fil écran au-dessus du câble à fibres optiques diminue la probabilité de perforation de l'enveloppe de polyéthylène de la barrière d'étanchéité.

L'efficacité des fils écrans peut être considérable et peut être calculée comme indiqué au chapitre 7 du manuel cité en [1].

3.3 *Utilisation de câbles sans éléments métalliques*

Ce type de câble peut convenir dans les zones exposées à la foudre ou qui subissent une forte induction électrique. Les dommages dus à ces causes peuvent être réduits à un minimum, voire évités mais, s'agissant de câbles enterrés, il faut tenir compte de la moindre résistance des câbles à la pénétration de l'humidité et de la difficulté de les repérer lors d'activités ultérieures de maintenance.

3.4 *Utilisation de câbles comportant des éléments métalliques mais ayant une immunité suffisante aux courants de décharge atmosphérique*

Des courants de foudre peuvent traverser les câbles de ce type pendant les orages mais leur passage ne cause en général ni rupture diélectrique ni dégradation de transmission. Pour ces câbles on a élaboré deux essais, permettant respectivement de s'assurer que la rigidité diélectrique est suffisante et de déterminer les valeurs de seuil de l'immunité aux courants de décharge atmosphérique pour le choix du câble, comme suit:

– *Essais de rigidité diélectrique*

Les éléments métalliques d'un câble qui sont électriquement isolés les uns des autres doivent être considérés par paires. Toute paire dans laquelle une décharge entre les éléments métalliques est susceptible de traverser une fibre optique ou une barrière d'étanchéité non métallique, doit faire l'objet d'essais. Si le câble contient une barrière d'étanchéité métallique, des essais doivent aussi être faits entre cette barrière et chaque élément métallique qui en est isolé. Pour ces essais de rigidité diélectrique, on peut utiliser le courant alternatif ou le courant continu. Dans le premier cas, on appliquera une tension de 10 kV efficace à une fréquence de 50 ou 60 Hz pendant 5 secondes à la paire d'éléments métalliques. Dans le second cas, on appliquera une tension de 20 kV pendant 5 secondes à la paire d'éléments métalliques. A l'issue de ces essais on ne devra constater aucune rupture diélectrique ou dégradation de transmission.

– *Essais d'immunité aux courants de décharge atmosphérique*

Un échantillon de 1 mètre de câble sera enfoui dans du sable humide contenu dans une boîte rigide non conductrice d'une longueur de 75 cm environ. On utilisera du sable de silice saturé et drainé de granulation 20-40. L'échantillon de câble sera placé dans la boîte d'essai et le sable humide tassé autour de lui. Une électrode de décharge sera installée près du centre de la boîte d'essai, à 2,5 cm au minimum et 5 cm au maximum de l'échantillon. Tous les éléments conducteurs du câble seront reliés électriquement de manière à former une seule borne et un courant d'essai s'écoulera entre cette borne et l'électrode de décharge. Il importe que le courant d'essai traverse l'échantillon; cela sera plus facile si l'on pratique dans l'isolant recouvrant, le cas échéant, le blindage métallique ou la barrière d'étanchéité une petite incision ou un petit trou face à l'électrode de décharge. La forme d'onde des courants d'essai peut être unidirectionnelle ou à oscillations amorties. Le temps d'atteinte de la valeur de crête sera de 15 µs. La fréquence de la forme d'onde du courant avec oscillations amorties sera comprise entre 16 et 30 kHz et le temps à mi-hauteur sera compris entre 50 et 80 µs. La forme d'onde en courant unidirectionnel aura un temps à mi-hauteur compris entre 40 et 60 µs. Après application de courants de décharge d'amplitude croissante on vérifiera s'il y a perte de transmission de l'échantillon ou dégradation de son étanchéité. Cet essai fait apparaître la valeur de seuil du courant de décharge à partir de laquelle le câble ou la transmission sont dégradés, et permet aux Administrations de choisir les câbles qui leur paraissent suffisamment fiables d'après leur expérience des dommages dus à la foudre.

4 Protection des circuits de téléalimentation des équipements à fibres optiques

Il y a intérêt à protéger les circuits de téléalimentation, prévus par exemple sur les câbles, contre les surtensions s'il existe un un risque de perturbation par les lignes électriques ou par la foudre. Bien que les circuits de téléalimentation soient en général des paires symétriques, en ce qui concerne les équipements d'alimentation associés, les niveaux d'essai sont à peu près les mêmes que pour les systèmes à paires coaxiales. (Voir la Recommandation K.17.)

5 Travaux futurs

La présente Recommandation décrit les mesures de protection et les méthodes de calcul que l'on peut confirmer à l'heure actuelle.

Des études complémentaires des problèmes que pose la protection des câbles à fibres optiques seront faites, notamment dans les domaines suivants:

– coordination de la protection des câbles et des ouvriers contre les surtensions dues à l'induction provoquée par des dérangements dans les lignes électriques voisines, et de la protection contre la foudre. Les limites et les précautions spécifiées pour la protection du personnel et des câbles dans les *Directives* [2] s'appliquent aussi aux câbles à fibres optiques ayant des éléments métalliques en ce qui concerne l'induction par les lignes électriques. Voir aussi la Question 6 de la Commission d'études V pour la période d'études 1989-1992;

– prévision des taux de défaillance potentiels des câbles à fibres optiques; voir aussi la Question 22 de la Commission d'études V de la période d'études 1989-1992 et la contribution COM V-58 (1987), qui seront étudiées.

Références

[1] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*, UIT, Genève, 1974, 1978.

[2] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunications contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées*, UIT, Genève, 1988.

Recommandation K.26

PROTECTION DES LIGNES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS CONTRE LES EFFETS NUISIBLES DES LIGNES ÉLECTRIQUES ET DES CHEMINS DE FER ÉLECTRIFIÉS

(Melbourne, 1988)

Le CCITT attire l'attention sur le besoin d'une protection adaptée, suffisante et fiable apportée aux lignes de télécommunications pour prévenir des dangers et des perturbations provenant des lignes électriques et des chemins de fer électrifiés situés à proximité. Les dangers et les perturbations peuvent apparaître du fait de couplages conductifs, capacitifs et inductifs entre les systèmes, et la sécurité des personnes qui travaillent ou utilisent les installations de télécommunications doit être assurée.

Pour répondre à ce besoin, le CCITT a publié les *Directives concernant la protection des lignes de télécommunications contre les effets préjudiciables des réseaux électriques et des lignes de chemin de fer électrifiées* Genève, 1988, qui fournissent des indications concernant l'évaluation des surtensions ou des surintensités possibles, et recommandent les valeurs limites dans de telles conditions. Les *Directives* fournissent également des conseils sur les méthodes employées pour mesurer les surtensions, les surintensités et les paramètres pertinents, et sur des dispositifs et des méthodes de protection ainsi que des précautions de sécurité.

Les *Directives* de 1988 se présentent en une série de neuf volumes énumérés ci-après:

Volume I – Principes de conception, de construction et d'exploitation des ouvrages de télécommunication, d'énergie électrique et des chemins de fer électrifiés

Volume II – Calcul des tensions et courants induits dans des cas pratiques

Volume III – Couplages capacitifs, inductifs et conductifs: théorie physique et méthode de calcul

Volume IV – Courants et tensions inducteurs dans les réseaux de chemins de fer électrifiés

Volume V – Courants et tensions inducteurs dans les systèmes de transport et de distribution d'énergie

Volume VI – Dangers et perturbations

Volume VII – Mesures de protection et précautions de sécurité

Volume VIII – Dispositifs de protection

Volume IX – Méthodes et appareils d'essai et de mesure

Les volumes ont été élaborés par le CCITT en étroite coopération avec la Conférence internationale des grands réseaux électriques (CIGRE) et l'Union internationale des chemins de fer (UIC).

Le CCITT recommande que, lorsqu'on s'attend à ce que des installations de télécommunications soient perturbées par des lignes électriques ou des chemins de fer électrifiés situés à proximité, les Administrations envisagent, dans leur propre intérêt, l'application des méthodes décrites dans les *Directives* (édition de 1988).

L'édition de 1988 des *Directives* remplace l'édition de 1963 (Genève, avec amendements et suppléments de 1965, 1974, 1978 et 1982) intitulée *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets nuisibles des lignes électriques.*

PARTIE II

Recommandations de la série L

STRUCTURE, INSTALLATION ET PROTECTION DES CÂBLES ET DES ÉQUIPEMENTS D'INSTALLATIONS EXTÉRIEURES

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

STRUCTURE, INSTALLATION ET PROTECTION DES CÂBLES ET DES ÉQUIPEMENTS D'INSTALLATIONS EXTÉRIEURES

Recommandation L.1

CONSTRUCTION, INSTALLATION ET PROTECTION DES CÂBLES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS DANS LES RÉSEAUX PUBLICS

(Melbourne, 1988)

Le CCITT,

considérant

(a) que la recherche des défauts sur les câbles souterrains et la réparation de ces défauts peuvent entraîner des frais importants;

(b) que les interruptions de service susceptibles d'être provoquées par la présence de ces défauts doivent être évitées avec le plus grand soin;

(c) que la présence de ces défauts, lorsqu'elle n'est pas due à des facteurs extérieurs, est principalement déterminée par la construction, l'installation et les mesures de protection appliquées,

recommande à l'unanimité

aux Administrations à se conformer, dans leur intérêt, lors du choix et de l'installation des câbles, aux prescriptions du manuel du CCITT *Technologies des installations extérieures pour les réseaux publics.*

Ce manuel remplace les *Recommandations du CCITT concernant la construction, l'installation et la protection des câbles de télécommunications dans les réseaux publics*, UIT, Genève, révision, 1974, modifications et adjonctions, 1977 et 1986. Ce manuel se compose des cinq parties suivantes:

Partie I: Renseignements de base sur la conception des câbles de télécommunications.

Partie II: Installation et montage des câbles de télécommunications et de leur structure de support.

Partie III: Mise sous pression gazeuse des câbles de télécommunications.

Partie IV-A: Protection des câbles de télécommunications et du matériel associé contre la corrosion.

Partie IV-B: Protection des câbles, supports et structures souterraines des télécommunications contre les autres risques.

Partie V: Localisation des dérangements et réparation de câbles de télécommunications.

Recommandation L.2

IMPRÉGNATION DES POTEAUX EN BOIS

Le CCITT attire l'attention sur l'intérêt économique que présente l'imprégnation des poteaux en bois, supports de lignes aériennes de télécommunications.

Afin de fournir aux Administrations des télécommunications, et spécialement à celles dont les réseaux sont les moins développés, quelques indications sur les procédés d'imprégnation de ces poteaux, un manuel intitulé *Protection des poteaux en bois des lignes aériennes de télécommunications*, UIT, Genève, 1974, a été établi par le CCITT.

Ce manuel est fondé sur un avant-projet rédigé au cours de la période 1968-1972 par l'Administration argentine, puis amendé et complété d'après des informations fournies par les Administrations de la R.F. d'Allemagne, de l'Australie, du Chili, de la France, de l'Italie, du Royaume-Uni et de la Suisse.

ARMURE DES CÂBLES

(Mar del Plata, 1968; modifiée à Melbourne, 1988)

1 Type de l'armure

1.1 Les types d'armure les plus courants sont les suivants:

a) *armure formée de ruban.* – Cette armure consiste en un ou plusieurs rubans d'acier enroulés en hélice autour de l'enveloppe du câble, les spires du ruban se recouvrant partiellement l'une l'autre.

b) *armure formée de fils.* – Cette armure se compose de fils d'acier à section circulaire aplatie ou trapézoïdale, enroulés en hélice autour de l'enveloppe du câble. La longueur du fil nécessaire est relativement importante.

1.2 Ces deux types d'armure sont utilisés conjointement avec d'autres moyens de protection extérieure (couche de jute, de matière plastique) soit pour des raisons de construction, soit pour des raisons mécaniques, soit pour assurer une protection contre la corrosion.

2 Choix de l'armure

En décidant d'utiliser ou non une armure et en choisissant parmi les différentes possibilités de construction, on tiendra le plus grand compte des conditions locales de pose, telles que:

a) la pose des câbles dans des conduites ou directement dans le sol;

b) l'emplacement de la tranchée le long des routes ou en terrain privé;

c) les matériaux utilisés pour réaliser l'enveloppe du câble;

d) la présence d'autres câbles sur le même parcours, existants ou envisagés dans l'avenir;

e) la nature du sol: rocheux, sablonneux, corrosif ou non, et la présence de micro-organismes;

f) la profondeur de la tranchée, qui en tout cas doit être d'au moins 50 cm et, pour les câbles importants, d'au moins 80 cm;

g) le danger d'induction;

h) le risque d'attaque par les rongeurs ou les insectes;

i) l'exposition à la foudre;

j) l'importance de la liaison, qui peut justifier des précautions spéciales. L'armure de fils d'acier apporte alors une protection supplémentaire, notamment dans les chambres de tirage;

k) la longueur de tirage, si elle est importante (traversées sous-fluviales, par exemple) (ces cas étant peu fréquents, il ne paraît pas utile d'envisager la construction d'un nouveau type de câble terrestre avec élément de tirage central).

3 Protection fournie

Pour les câbles en pleine terre, l'armure contribue à la sécurité de l'installation et du fonctionnement. Elle assure en effet la protection des câbles contre:

a) les accidents mécaniques pouvant être causés par les pierres, les engins de terrassement ou les outils à main;

b) les rongeurs et les insectes;

c) la corrosion chimique ou électrolytique;

d) les effets des décharges atmosphériques;

e) les phénomènes d'induction dus au voisinage de lignes d'énergie.

4 Armure en feuillards de fer

L'armure en feuillards de fer est préférable lorsque les dommages envisagés sont dus aux pointes des outils de terrassement, aux pierres à angles vifs, etc. Elle constitue de plus un blindage magnétique protégeant les circuits, ce qui est loin d'être le cas de l'armure en fils de fer enroulés autour du câble en raison des entrefers, ce qui réduit notablement le couplage magnétique entre l'enveloppe armée et les conducteurs du câble.

5 Armure en fils de fer

L'armure en fils de fer permet au câble de résister à des tractions beaucoup plus importantes. Elle est en conséquence particulièrement utile lorsque la longueur de tirage du câble est très grande ou lorsque les conditions d'utilisation (affaissement du sol dans les régions minières, câbles traversant des étendues d'eau ou des marécages, câbles posés dans des puits aboutissant à un emplacement situé à une altitude très inférieure à celle du terrain environnant) exercent sur le câble une traction considérable.

6 Type général d'armure

Pour les câbles ayant une enveloppe métallique de plomb ou d'aluminium, le type d'armure le plus couramment employé comporte deux feuillards d'acier enroulés en hélice entre des couches de papier et de jute imprégnés, avec protection extérieure de fils de jute ou produits similaires. Ce type d'armure assure une bonne protection dans les cinq cas énumérés au § 3.

Pour les câbles à enveloppe de matière plastique, on peut utiliser une armure légère formée de rubans métalliques (acier, aluminium ou cuivre) placés entre deux gaines de matière plastique (polyéthylène ou polychlorure de vinyle). Les câbles ainsi construits sont protégés dans une certaine mesure contre les accidents mentionnés aux alinéas a) et d) du § 3 et surtout contre les risques mentionnés aux alinéas b) et c) du même paragraphe.

7 Armure pour les câbles importants

Les câbles les plus importants d'un réseau à grande distance sont certainement le mieux protégés par une enveloppe métallique étanche et par l'armure classique décrite ci-dessus, mais le prix de cette protection est relativement élevé.

On peut diminuer le prix de revient des câbles en employant une enveloppe d'acier mince soudée, protégée de la corrosion par des produits bitumineux et par une gaine de matière plastique. Les câbles sont ainsi protégés, bien qu'à un degré moindre, contre les risques mentionnés aux alinéas a), b), c), d) du § 3; une certaine protection contre l'induction peut être obtenue en interposant des éléments conducteurs de cuivre ou d'aluminium sous l'enveloppe d'acier.

8 Continuité électrique de l'armure

Si les câbles à grande distance, ou des câbles similaires, sont dotés d'une armure métallique, celle-ci doit faire l'objet d'une continuité électrique aux points de raccordement. Cette connexion est nécessaire si l'on veut obtenir la protection maximale contre les effets des décharges atmosphériques et contre l'induction.

Dans les câbles faisant partie du réseau de distribution, la continuité électrique de l'armure métallique doit aussi être assurée si cette protection est nécessaire.

Si les câbles à armure métallique possèdent également une enveloppe métallique, il est souhaitable d'effectuer un raccordement électrique de l'enveloppe et de l'armure aux points de raccordement et/ou aux emplacements des répéteurs. Le but de cette opération est de neutraliser les différences de potentiel éventuelles entre l'armure et l'enveloppe métallique, et d'obtenir une protection maximale contre les perturbations magnétiques. La connexion directe peut donner naissance à des problèmes de corrosion, qui ont généralement pour effet de réduire la durée de vie des armures métalliques.

9 Câbles sans armure métallique

Avec les câbles directement enterrés, on peut renoncer à l'armure métallique si le câble est pourvu d'une enveloppe en matière plastique résistante, par exemple du polyéthylène. Une autre condition nécessaire est que l'état du sol et les conditions de pose soient favorables.

On peut obtenir une protection supplémentaire, par exemple pour les câbles à fibres optiques, en revêtant l'enveloppe d'une couche extérieure de polyamide (épaisseur comprise entre 0,4 et 0,5 mm). Cette couche donne de bons résultats comme surface d'usure quand on doit tirer le câble sur de grandes distances. De plus, le polyamide assure une certaine protection contre les faibles attaques mécaniques.

10 Considérations relatives à la corrosion – câbles à enveloppe métallique

L'armure, formée de ruban ou de fils, joue un rôle important dans la protection contre la corrosion, surtout parce qu'elle permet de maintenir en bon état les gaines de matières imprégnées auxquelles elle est superposée et d'éviter ainsi à l'enveloppe métallique les effets d'une aération différentielle, par exemple.

11 Rongeurs et insectes

Les dégâts causés par les rongeurs et les insectes aux câbles posés en pleine terre peuvent être importants dans certaines parties du monde. Dans ces cas-là, il peut y avoir intérêt à envisager l'application d'un certain type d'armure. Pour plus de détails sur la protection contre les rongeurs et/ou les insectes au moyen d'une armure, on se reportera à la partie IV-B, chapitre II, du manuel du CCITT *Technologies d'installations extérieures pour les réseaux publics*, mentionné dans la Recommandation L.1.

12 Régions tropicales

Dans les régions tropicales, on prêtera une attention particulière aux § 6 et 7 et au danger présenté par les micro-organismes.

D'une manière générale, il n'est judicieux de se dispenser d'une armure que:

- lorsque le câble est posé en conduite;
- lorsque aucun blindage magnétique n'est nécessaire, ou lorsque ce blindage est assuré à l'aide d'une couche de métal quelconque incluse à cette fin dans le revêtement du câble;
- lorsqu'il n'existe pas de risque de corrosion ou lorsque la protection contre la corrosion est assurée au moyen d'une couche protectrice quelconque incluse à cette fin dans le revêtement du câble;
- dans le cas de câbles posés en pleine terre, lorsque le sol est homogène et ne contient ni silex ni roches susceptibles d'endommager le câble et lorsqu'on ne craint aucune attaque des rongeurs ou des insectes.

Même dans les cas énumérés ci-dessus, il peut cependant se faire que les conditions locales spéciales justifient l'armure des câbles.

Recommandation L.4

ENVELOPPES DE CÂBLE EN ALUMINIUM

(Genève, 1972; modifiée à Genève, 1976, à Malaga-Torremolinos, 1984 et à Melbourne, 1988)

1 Considérations générales

A la suite des progrès réalisés dans la technologie de l'aluminium, on utilise de plus en plus des enveloppes de câble en aluminium, dont les caractéristiques intéressantes peuvent aujourd'hui être mises entièrement à profit.

Ces caractéristiques sont notamment:

- faible densité (presque le quart de celle du plomb);
- résistance mécanique bien supérieure à celle du plomb, ce qui permet d'alléger l'enveloppe, non seulement parce que l'aluminium est moins dense que le plomb, mais encore parce que l'enveloppe d'aluminium est plus mince que celle de plomb;
- très grande insensibilité aux vibrations;
- forte conductivité, ce qui permet d'améliorer le facteur réducteur et la protection contre les surtensions d'origine atmosphérique.

L'expérience a montré que, bien que l'aluminium soit un métal plus rigide que le plomb, la pose d'un câble à enveloppe d'aluminium n'est pas sensiblement plus difficile.

Toutefois, l'aluminium étant plus sensible que le plomb à la corrosion électrochimique et électrolytique, les enveloppes en aluminium et les sections de raccordement des longueurs de fabrication en usine (manchons et sections de câble adjacentes) doivent être protégées extérieurement par un revêtement en matière plastique de la deuxième catégorie [1].

Il découle de ce qui précède qu'une enveloppe en aluminium offre de nombreux avantages sur une enveloppe en plomb. Il est donc souhaitable de généraliser l'emploi de l'aluminium pour les enveloppes des câbles, pour autant que ces câbles ne soient pas plus chers que ceux à enveloppe en plomb et que les enveloppes en aluminium satisfassent mieux aux conditions techniques. L'utilisation de câbles à enveloppe en aluminium présente un intérêt particulier dans le cas des réseaux interurbains.

2 Types d'enveloppe en aluminium

2.1 *Enveloppes obtenues par extrusion*

Pour fabriquer une enveloppe de ce type, on réalise l'extrusion de l'aluminium directement sur l'âme du câble. La boudineuse utilisée peut être à marche *continue* ou non. Dans la négative, il faut s'assurer que les zones affectées par les reprises d'extrudage ne causent pas de difficultés.

2.2 *Enveloppes soudées*

Pour fabriquer une enveloppe de ce type, on enroule autour de l'âme du câble un feuillard en aluminium que l'on referme sur lui-même par un joint longitudinal soudé.

2.3 *Qualité des matériaux de l'enveloppe*

Afin que les moyens de protection contre la corrosion soient efficaces, la qualité de l'enveloppe doit être choisie avec soin. Au cas où l'on utilise de l'aluminium pur, la pureté de l'aluminium employé pour l'enveloppe ne doit pas être inférieure à 99,5 %, tant pour les enveloppes extrudées que pour les enveloppes soudées.

2.4 *Choix de la forme et de l'épaisseur des enveloppes*

Après extrusion ou soudage de l'enveloppe, cette dernière peut être ou bien rétreinte sur l'âme du câble (enveloppe lisse) ou bien ondulée par divers procédés (enveloppe ondulée).

Les critères à appliquer pour savoir s'il faut onduler l'enveloppe sont: le diamètre de l'âme, le rayon de courbure minimal imposé au câble pendant la pose et les caractéristiques mécaniques de l'aluminium utilisé [2]. Un critère approximatif est qu'un câble doit être mis sous enveloppe ondulée si le diamètre de son âme dépasse 40 mm.

Comme il a été dit au § 1, l'épaisseur de métal utilisée pour une enveloppe en aluminium est généralement moindre que pour les enveloppes en plomb.

Le tableau 1/L.4 indique les épaisseurs recommandées, bien que sept des valeurs données dans le tableau soient valables aussi bien pour les enveloppes obtenues par extrusion que pour les enveloppes soudées; toutefois, les enveloppes obtenues par extrusion ne peuvent pas être inférieures à 0,9 mm et les enveloppes soudées ne peuvent pas être supérieures à 1,4 mm, épaisseur maximale se prêtant au soudage par les procédés connus.

L'utilisation d'épaisseurs inférieures à celles qui sont indiquées dans le tableau 1/L.4 n'est pas exclue. Inversement, dans le cas de câbles à paires coaxiales non armés, on peut être amené à utiliser une enveloppe systématiquement plus épaisse pour améliorer la protection mécanique. Cette augmentation d'épaisseur peut atteindre jusqu'à 0,3 mm environ.

Naturellement, dans des cas particuliers (par exemple, si le facteur réducteur doit être très élevé), on peut prendre des épaisseurs de métal différentes de celles indiquées dans le tableau 1/L.4.

3 Revêtements protecteurs

Comme il a été signalé plus haut, l'aluminium en milieu souterrain est plus sensible que le plomb à la corrosion électrochimique et électrolytique, aussi convient-il de protéger en usine les enveloppes de câble en aluminium et les sections de raccordement (manchons et sections de câble adjacentes) des longueurs de fabrication par un revêtement imperméable de la deuxième catégorie, conformément à [1].

Les matières plastiques qu'on peut utiliser actuellement comme matériau pour le revêtement protecteur sont de deux sortes:

a) le polychlorure de vinyle (PCV);

b) le polyéthylène.

Les caractéristiques générales du polyéthylène et sa faible perméabilité à la vapeur d'eau assurent une meilleure protection à l'aluminium, et l'on doit lui donner la préférence.

Pour que l'humidité qui pourrait avoir pénétré à travers le revêtement protecteur (par exemple, si celui-ci présente un défaut) ne se répande pas à la surface de l'enveloppe, étendant de ce fait la zone de corrosion, il importe d'y appliquer une couche d'étanchéité, constituée par un ruban adhésif ou un mélange approprié.

Cette couche d'étanchéité doit bien adhérer à l'aluminium, surtout si le revêtement est en PCV puisque ce matériau, contrairement au polyéthylène, n'épouse pas intimement l'enveloppe après extrusion.

Le revêtement protecteur de l'enveloppe en aluminium doit être solide. L'une des manières de contrôler le câble sur le touret est de mesurer la résistance d'isolement du revêtement.

TABLEAU 1/L.4

Epaisseurs recommandées

Diamètre de l'âme (mm)		Epaisseur de métal (mm)	
Minimum	Maximum	Enveloppe lisse	Enveloppe ondulée [a]
–	10	0,7 à 1,0	0,5 à 0,9
10	15	0,7 à 1,0	0,6 à 0,9
15	20	0,9 à 1,0	0,7 à 0,9
20	25	1,1	0,8 à 0,9
25	30	1,1 à 1,2	0,9
30	35	1,1 à 1,3	0,9 à 1,0
35	40	1,1 à 1,4	1,1
40	45	1,5	1,1 à 1,2
45	50	1,6	1,1 à 1,2
50	60		1,1 à 1,3
60	70		1,1 à 1,4
70	80		1,3 à 1,5

[a] Si l'on désire obtenir, avec une enveloppe ondulée, approximativement le même facteur réducteur qu'avec une enveloppe lisse, il faut utiliser la même épaisseur que si l'enveloppe était lisse.

Si l'enveloppe est ondulée, ses creux doivent être remplis suffisamment par le mélange bitumineux pour que celui-ci soit en contact continu avec le revêtement externe.

Il convient de contrôler l'efficacité de la couche d'étanchéité par des essais spéciaux. Un essai courant consiste à enlever une partie du revêtement protecteur d'un échantillon de l'enveloppe en aluminium et à soumettre ce dernier à une attaque électrolytique utilisant une force électromotrice extérieure. Au bout d'un certain temps, on vérifiera si les effets de corrosion sont bien limités à la zone qui a été dépouillée du revêtement protecteur. Pour voir si le revêtement protège efficacement l'enveloppe, on peut contrôler par un essai l'adhérence du mélange bitumineux à l'enveloppe en aluminium et au revêtement en matière plastique.

Pour assurer l'efficacité permanente du revêtement protecteur lorsque les câbles sont posés dans des régions exposées à la foudre (notamment pour éviter les perforations causées par cette dernière), il convient de tenir compte des indications données dans le manuel cité en [3].

Lorsque le procédé de fabrication doit comporter un essai du revêtement protecteur, on peut recourir efficacement à une méthode de détection d'étincelles électriques ou à une méthode d'essai de résistance aux tensions, le câble étant immergé. Si les facteurs susceptibles de causer des dommages au revêtement protecteur ou de diminuer sa résistance d'isolement se manifestent en cours d'installation ou de fonctionnement, de tels essais devraient être effectués afin de remédier aux défauts constatés.

4 Raccordement des enveloppes en aluminium

Il s'agit là d'une opération plus difficile que dans le cas des enveloppes de plomb, encore que les difficultés aient été considérablement amoindries par le perfectionnement de la technique.

Il existe plusieurs méthodes pour le raccordement des enveloppes en aluminium:

- utilisation de manchons en plomb;
- utilisation d'anneaux ou de cônes en plomb, qui sont soudés par une méthode normale ou fixés à l'enveloppe d'aluminium au moyen d'une colle spéciale, ce qui permet de les souder ensuite aux manchons en plomb;
- utilisation de manchons en aluminium raccordés à l'enveloppe d'aluminium par soudage à pression (explosion, pression ou soudure à froid);
- autres méthodes, y compris l'emploi de rubans adhésifs et de pâtes époxydes.

La méthode appliquée pour le raccordement des enveloppes en aluminium doit satisfaire aux conditions recommandées dans le manuel cité en [4].

Si un câble à enveloppe en aluminium est soumis à de fortes variations de température, les contraintes qui y prennent naissance quand il se contracte ne doivent pas être supportées par ses joints, car ceux-ci risqueraient de lâcher, en particulier si l'enveloppe du câble n'est pas ondulée.

5 Protection cathodique

La protection contre la corrosion de l'enveloppe en aluminium doit dépendre essentiellement de la qualité du revêtement protecteur anticorrosif. Toutefois, s'il existe des risques suffisamment graves d'endommagement du revêtement protecteur, et en particulier s'il se révèle impossible de rétablir complètement après réparation les spécifications d'origine d'un revêtement protecteur qui aurait été endommagé, ce revêtement doit être protégé au moyen de mesures spéciales, par exemple en recourant à une protection électrochimique par anode perdue. La protection par anode perdue en alliage d'aluminium, qui offre les avantages d'une capacité de courant plus élevée par unité de poids, d'un potentiel de protection approprié, d'une abondance de matière brute et d'une grande facilité de fabrication, constitue une mesure efficace pour la protection des câbles à enveloppe en aluminium. Les essais ont montré que de bons résultats peuvent être obtenus si la tension de protection de l'enveloppe en aluminium par rapport à la terre est maintenue dans une fourchette de $-0{,}85$ à $-1{,}20$ V (par rapport à l'électrode $Cu/CuSO_4$).

6 A défaut de prescription spéciale en la matière, on pourra utiliser pour les enveloppes en aluminium des câbles à fibres optiques, les mêmes techniques et un matériau de même type que pour les câbles habituels.

Références

[1] Manuel du CCITT *Techniques des installations extérieures pour les réseaux publics*, partie IV-A, chapitre III, § 1.2.2, UIT, Genève, 1988.

[2] *Ibid.*, partie I, chapitre III, § 6.2.2.

[3] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunications contre la foudre*, UIT, Genève, 1974, 1978.

[4] Manuel du CCITT *Raccordement des câbles sous enveloppe en matière plastique*, UIT, Genève, 1978.

Recommandation L.5

RÉALISATION D'ENVELOPPES DE CÂBLE EN MÉTAUX AUTRES QUE LE PLOMB OU L'ALUMINIUM

(Genève, 1972)

1 Types de câbles à enveloppe métallique

1.1 La solution de rechange la plus courante à l'enveloppe en plomb ou en aluminium, s'agissant d'enveloppes métalliques, est celle en tôle d'acier ondulée. Pour constituer une enveloppe en acier ondulé, on forme un long feuillard en acier autour de l'âme du câble, on en soude les bords pour constituer un tube à joint longitudinal, par un procédé approprié (soudage électrique à l'arc en atmosphère inerte, soudage électrique par résistance ou par induction), puis on imprime des ondulations à ce tube. Pour protéger l'enveloppe ainsi constituée, on y applique, de façon à remplir complètement les creux des ondulations, un produit anticorrosion spécial visqueux, dans lequel sont noyés un ou plusieurs rubans en matière plastique. Pour obtenir un câble lisse, on procède à l'extrusion d'un revêtement externe en matière plastique sur l'enveloppe en acier enduite du produit protecteur.

1.2 Pour protéger le câble décrit au § 1.1 contre les courants induits, on peut appliquer à son âme, c'est-à-dire sous l'enveloppe en acier ondulé, longitudinalement ou hélicoïdalement, des rubans en aluminium ou en cuivre. Une autre solution consiste à remplacer l'enveloppe en acier ondulé par une enveloppe en cuivre ondulé.

2 Fabrication

2.1 On forme le feuillard métallique autour de l'âme du câble, on en soude les bords pour constituer un tube de grande longueur à joint longitudinal et, enfin, on imprime des ondulations à ce tube.

2.2 L'acier nu étant particulièrement sensible à la corrosion, on le protège généralement par une couche d'un produit dans lequel peuvent être noyés des rubans en matière plastique, de façon telle que les ondulations soient entièrement remplies. On procède ensuite à l'extrusion, sur cette couche protectrice, d'une gaine externe en polyéthylène ou en un matériau analogue de classe II [1].

2.3 Il est normalement inutile d'armer le câble, mais cela peut être nécessaire dans des cas particuliers.

3 Domaines d'utilisation

Les enveloppes en acier ou en cuivre ondulé sont applicables à n'importe quel type de câble de télécommunications, eu égard aux considérations suivantes:

a) compte tenu de tous les facteurs (par exemple, frais de pose, encombrement dans les conduites, coût de revient du câble) et bien que leur diamètre total soit supérieur à celui des câbles à enveloppe en matière plastique, plomb ou aluminium non ondulé, les câbles de télécommunications à enveloppe en acier sont plus économiques que ceux à enveloppe en plomb;

b) l'enveloppe en acier n'est pas sensible aux vibrations dues à la circulation routière ou ferroviaire;

c) une enveloppe métallique ondulée a une souplesse satisfaisante;

d) munie d'une gaine externe lisse, une enveloppe métallique ondulée est facile à manipuler lors des opérations de pose;

e) un même type de câble peut être enterré directement dans le sol ou tiré en conduite;

f) une enveloppe métallique ondulée résiste à des efforts d'écrasement modérés et protège l'âme du câble contre la plupart des dégradations mécaniques dues à des pierres ou à des outils d'excavation;

g) si le revêtement protecteur en matière plastique des câbles à enveloppe en acier est endommagé, on peut s'attendre à une corrosion rapide.

Référence

[1] Manuel du CCITT *Techniques des installations extérieures pour les réseaux publics*, partie IV-A, chapitre III, § 1.2.2, UIT, Genève, 1988.

Recommandation L.6

MÉTHODES DE MAINTIEN DES CÂBLES SOUS PRESSION GAZEUSE

(Genève, 1972)

Le CCITT attire l'attention sur les améliorations en service qu'il est possible de réaliser en protégeant les câbles de télécommunications contre la pénétration de l'humidité lorsque l'enveloppe est perforée ou endommagée. Afin d'assurer la protection des circuits contre les interruptions jusqu'au moment où les réparations sont effectuées, le CCITT recommande que les Administrations admettent qu'il serait avantageux de suivre les directives contenues dans le manuel *Protection des câbles de télécommunications par maintien sous pression gazeuse*, UIT, Genève, 1970.

APPLICATION DE LA PROTECTION CATHODIQUE COMMUNE

(Genève, 1976)

1 Considérations générales

Par «protection cathodique commune de diverses structures métalliques souterraines», on entend une protection que l'on réalise contre la corrosion en utilisant des dispositifs protecteurs communs à ces structures.

Un système de protection commun pour plusieurs structures métalliques souterraines comprend des liaisons électriques entre ces structures ainsi que des dispositifs protecteurs communs satisfaisant aux conditions de la protection et du drainage électrique cathodiques.

Les méthodes de protection commune augmentent la fiabilité des structures enterrées, améliorent l'efficacité des dispositifs de protection cathodique et réduisent aussi le coût total ainsi que les frais d'entretien du système de protection.

2 Conditions d'application de la protection cathodique commune

Il est commode d'appliquer une protection cathodique commune des installations métalliques souterraines quand des structures différentes s'approchent les unes des autres ou s'entrecroisent et qu'il faut éviter les effets nuisibles d'une structure protégée sur les structures voisines non protégées, pourvu que cela soit économique et qu'il n'y ait pas de meilleur moyen d'éviter cette influence. L'influence nocive que la polarisation cathodique d'une installation protégée exerce sur les structures métalliques voisines se manifeste quand:

a) les potentiels mesurés sont inférieurs ou supérieurs aux valeurs recommandées,

b) le risque de corrosion des structures métalliques souterraines voisines est accru.

Une protection commune de câbles de télécommunications et d'autres structures peut raisonnablement s'appliquer si:

a) la distance entre structures souterraines voisines ne dépasse pas une cinquantaine de mètres,

b) les installations enterrées se croisent,

c) la couche du sol ou les anodes réactives d'un système de protection cathodique ont une influence nocive sur des installations voisines non protégées.

Conformément au manuel cité en [1], une protection commune de câbles de télécommunications et de câbles d'énergie peut être envisagée quand le potentiel du câble de télécommunications, par rapport à la terre, ne dépasse pas la tension de sécurité imposée par les règles, locales ou nationales, de sécurité dans le cas où le réseau de distribution d'énergie est affecté d'un défaut provoquant une mise à la terre ou un court-circuit.

La protection cathodique commune doit produire, sur les installations protégées, des potentiels qui restent dans les limites indiquées en [1].

Dans le cas de protection commune, on peut avoir la faculté d'utiliser des dispositifs qui limitent automatiquement l'intensité du courant qui émane de l'équipement de protection cathodique.

3 Conditions concernant les liaisons de connexion

On utilise des liaisons spéciales pour établir un contact électrique entre installations pourvues d'une protection commune. Les liaisons peuvent être directes ou établies au moyen d'une résistance (afin de limiter l'intensité) ou bien polarisées.

On peut utiliser les liaisons directes dans les cas suivants:

a) quand des structures métalliques souterraines du même type se croisent ou s'approchent les unes des autres,

b) quand l'établissement de liaisons entre structures de types différents ne réduit pas l'efficacité du système de protection cathodique primaire.

Les liaisons à résistance, qui limitent l'intensité appliquée à divers types d'installation, sont à utiliser quand il convient d'agir sur les potentiels qui apparaissent sur ces structures.

Les liaisons polarisées sont à utiliser:

a) dans des systèmes communs de drainage et de protection cathodique,

b) pour empêcher un courant de circuler d'une canalisation vers une installation de télécommunications,

c) pour pallier une défaillance de l'équipement de protection cathodique.

Les liaisons ne doivent pas être établies entre structures enterrées et câbles ou équipements de distribution d'énergie enterrés, à moins qu'il ne soit prudent d'agir ainsi en cas de défaillance sur le système de distribution d'énergie et que cette disposition ne soit conforme aux règles de sécurité locales et nationales.

4 Surveillance de fonctionnement des dispositifs de protection cathodique commune

Le fonctionnement des dispositifs de protection cathodique commune doit faire l'objet d'une surveillance, qui s'exerce par les moyens suivants:

a) inspection périodique des dispositifs et équipements de protection;

b) mesures périodiques des différences de potentiel d'interaction, l'équipement de protection étant successivement mis en circuit et hors circuit sur toutes les installations faisant partie du système de protection commune, conformément aux procédures locales admises.

Lorsqu'on effectue des essais ou des modifications sur le système de protection cathodique commune, il est bon que ces opérations s'effectuent en présence ou avec l'accord des représentants des organismes d'exploitation dont les structures souterraines sont incorporées dans le système de protection commune.

Référence

[1] Manuel du CCITT *Techniques des installations extérieures pour les réseaux publics*, UIT, Genève, 1988.

Recommandation L.8

CORROSION PROVOQUÉE PAR DES COURANTS ALTERNATIFS

(Genève, 1976)

Des expériences entreprises en laboratoire et des observations recueillies au cours de contrôles de réalisations industrielles ont montré que des courants alternatifs risquent de provoquer des corrosions.

Toutefois, d'autres expériences sur le plomb exprimant les effets comparatifs des courants continu et alternatif par perte de poids laissent apparaître que le courant alternatif n'exerce qu'une action corrodante très faible par rapport au courant continu. L'effet de corrosion se présente sous forme de piqûre.

Deux remarques sont cependant à faire:

- tout en ne se produisant que rarement, la corrosion par courant alternatif est plus facilement provoquée lorsque la fréquence du courant diminue et devient inférieure à la fréquence de distribution habituelle (50 ou 60 Hz);
- des effets de redressement du courant peuvent se produire, ils sont dus à la nature des sols ou à la présence d'oxydes ou de polluants divers à la surface des métaux.

Il n'est pas possible de connaître pratiquement les densités de courant ni les tensions pour lesquelles la corrosion se produit. Le caractère le plus souvent très ponctuel des défauts, les réactions anodiques et cathodiques sur une même surface des métaux, enfin les variations des caractéristiques chimiques du milieu font que la notion ou la définition d'une densité de courant critique ne peut pas pour l'instant être précisée.

On peut avancer qu'une faible tension alternative n'est généralement pas un danger pour l'acier ni pour le plomb, mais peut dans certains cas provoquer une corrosion sur l'aluminium.

TECHNIQUES EMPLOYÉES POUR LES TERMINAISONS DES CONDUCTEURS DE CÂBLES

(Melbourne, 1988)

1 Considérations générales

Des terminaisons de conducteurs de câbles sont installées en divers endroits du réseau de câbles. Le type de borne et de dispositif d'extrémité utilisé à ces endroits dépend de divers facteurs liés aux différentes installations:

- type de câble et de conducteur dont il faut réaliser la terminaison;
- emplacement et objet de la terminaison;
- nombre ou quantité de terminaisons nécessaires;
- type de service ou de liaison de transmission;
- flexibilité et prescriptions en matière de protection.

En principe, toutes les terminaisons de commutateur, de répéteur (amplificateur ou régénérateur), ainsi que les terminaisons des points de sous-répartition principaux sont de type «fixe» et font appel à différentes techniques: connexion enroulée, soudure ou connexion par déplacement de l'isolant.

Pour la distribution locale et les terminaisons d'abonné, on utilise une combinaison de terminaisons de type «fixe» et de type «temporaire» (bornes à vis), selon les conditions. Là où c'est nécessaire, un limiteur de tension pourra être installé comme élément faisant partie intégrante du dispositif de terminaison ou comme élément «rapporté» distinct.

A l'intérieur d'un réseau de câbles, deux techniques de terminaison sont envisageables. On peut les désigner de manière générale comme la technique directe et la technique indirecte.

Une terminaison directe suppose que les conducteurs associés à un câble déterminé sont connectés directement à la borne qui constitue l'extrémité du circuit de câble, autrement dit, le conducteur de câble et la borne sont directement couplés.

Une terminaison indirecte suppose que le conducteur de câble est relié à la borne de terminaison au moyen d'un dispositif comprenant une terminaison préformée ou manufacturée.

Les terminaisons directes sont habituellement utilisées sur les bornes de terminaison des répartiteurs principaux et dans les locaux des usagers, mais elles sont aussi parfois utilisées dans le réseau de distribution par câbles. Dans la plupart des autres terminaisons intermédiaires (armoires et colonnes de distribution, coffrets de répéteur et points de terminaison de câbles interurbains et coaxiaux), on utilise des terminaisons indirectes dans lesquelles des câbles pré-terminés sont raccordés au câble principal.

Les parties électriques conductrices des dispositifs de terminaison doivent être en métal (cuivre, laiton ou autre alliage similaire), avec un revêtement métallique approprié pour résister à la corrosion et autres effets dus au milieu ambiant et pour assurer une bonne connexion électrique, par contact, pression, soudure ou enroulement.

Divers matériaux d'isolation (des extrusions en matière plastique ou des moulages en résine) assurent la résistance mécanique et l'isolation électrique des éléments métalliques.

2 Types de terminaison

2.1 *Types de terminaison pour les conducteurs à paires symétriques*

2.1.1 *Par enroulement*

L'extrémité du conducteur est d'abord dénudée puis introduite dans un outil enrouleur et enroulée sur la borne.

2.1.2 *Par soudure*

Après avoir été dénudé, le conducteur est soudé à la borne.

2.1.3 *Par enroulement et soudage*

Après enroulement, le conducteur est soudé sur la partie adéquate de la borne.

2.1.4 *Par serre-fils*

Les terminaisons de ce type peuvent présenter différentes formes:

a) terminaison à l'aide de vis. Après avoir été dénudé, le conducteur est sectionné puis fixé au moyen de vis;

b) terminaison à l'aide d'écrous. Ce type de terminaison nécessite une borne filetée fixe en laiton comprenant une rondelle et un écrou hexagonal fileté. La terminaison s'effectue entre les rondelles.

2.1.5 *Contact par déplacement de l'isolant*

Dans ce type de terminaison, le conducteur est habituellement inséré par pression dans un contact en U à l'aide d'un outil spécial.

Ce contact en U peut revêtir différentes formes, et c'est le type de terminaison le plus courant dans les dispositifs terminaux.

2.1.6 *Terminaisons pour conducteurs non utilisés*

Cette terminaison est réalisée à l'aide de connecteurs en matière plastique, dépourvus de contacts en U. Elle sert à la protection des conducteurs non utilisés sur les supports ou dans les boîtes de raccordement.

2.2 *Types de terminaison pour conducteurs coaxiaux*

2.2.1 *Types de connecteurs*

Les paires coaxiales sont terminées par des connecteurs fixés sur une plaque métallique permettant d'accéder au coffret du répéteur ou à l'équipement terminal.

Le connecteur, qui comporte un dispositif d'isolation pneumatique, relie le tube coaxial rigide au câble coaxial flexible menant à l'intérieur du bâti ou du central.

2.2.2 *Raccordement direct*

Un raccordement direct est parfois pratiqué entre un câble à tube coaxial rigide et un câble à paires coaxiales flexibles.

3 Utilisation des terminaisons

Tous les types de terminaison susmentionnés sont utilisés dans différents dispositifs pour la terminaison de câbles dans toutes leurs applications: répartiteur principal, équipements de régénération, armoires, coffrets à bornes et locaux des abonnés.

Ces dispositifs présentent des caractéristiques physiques qui varient beaucoup d'un pays à l'autre, même si leurs caractéristiques techniques (prescriptions d'ordre électrique ou liées à l'environnement) sont très semblables.

4 Prescriptions relatives aux dispositifs de terminaison du répartiteur principal

Parmi les prescriptions de base applicables aux dispositifs de ce type de terminaison, il faut citer:

- des terminaisons fixes de conducteurs de câbles externes, par unités multipaires (habituellement 100), et les jarretières associées;
- la commodité des terminaisons (ou reterminaisons si nécessaire) des câbles et des jarretières;
- un dispositif de protection contre la surtension, composé de protecteurs à gaz enfichables ou additionnels;
- l'isolation des circuits par l'insertion ou la suppression d'un dispositif donné;
- l'accès séparé aux circuits, du côté équipement et du côté ligne, aux fins d'essais;
- les circuits parallèles;
- les points de mise à la terre ou les barres omnibus;
- une valeur du rapport de terminaison des circuits entrée/sortie égale au moins à deux;
- une connexion d'accès aux paires multipoint (prises et conducteurs);

- un code de couleurs pour circuits spéciaux;
- des réglettes de distribution et des guides de jarretières;
- une numérotation d'identification des circuits permanents;
- une bonne visibilité.

4.1 *Prescriptions techniques*

La conception, la construction et les matériaux utilisés dans le dispositif de terminaison doivent assurer une durée de vie allant jusqu'à quarante ans. Ces types de dispositif doivent être compatibles avec les pratiques actuelles de construction et d'utilisation des répartiteurs; ils doivent être interchangeables avec les dispositifs de terminaison existants et pouvoir maintenir ou accroître la densité normale des circuits par unité de secteur.

Les bornes du côté ligne doivent assurer la terminaison de toute la gamme des conducteurs de câbles pour installation extérieure en fil de cuivre de diamètre allant de 0,32 mm à 0,90 mm, pourvus d'une isolation en matière plastique (pleine ou cellulaire). Quant aux bornes du côté équipement, elles doivent assurer la terminaison de toute la gamme des conducteurs de câbles pour installation intérieure en cuivre.

Il doit être possible de réaliser entre environ 100 et 200 remises en place fiables de conducteurs pendant la durée de vie du système. La terminaison des conducteurs de gros calibre ne doit pas affecter la remise en place ultérieure des conducteurs de calibre moindre.

Le dispositif auquel aboutissent les câbles du côté ligne doit permettre d'effectuer des essais d'installation et de réception de câbles pour installation extérieure (accès automatique simultané par l'intermédiaire du répartiteur à toutes les paires d'une unité de terminaison par groupes de 100 ou autres).

Les terminaisons des équipements doivent pouvoir résister aux effets de concentrations normales d'humidité, de chlorure de sodium, d'acide sulfhydrique, de dioxyde de soufre, de chlorure d'ammonium et d'acide formique pouvant s'infiltrer dans les bâtiments ou prendre naissance à l'intérieur de ceux-ci.

Les terminaisons doivent pouvoir fonctionner de manière satisfaisante dans des températures allant de $-10\,^{\circ}C$ à $+50\,^{\circ}C$, avec des fluctuations ambiantes journalières pouvant aller jusqu'à $15\,^{\circ}C$. On supposera que les limites supérieures de température pourront être atteintes pendant 25% du temps. La valeur moyenne annuelle de l'humidité relative sera prise égale à 75%, avec des crêtes ne dépassant pas 95%.

En plus de ce qui précède, les systèmes de terminaison devront satisfaire aux conditions d'essai suivantes:
- le froid;
- la chaleur sèche;
- la chaleur humide;
- une chaleur humide accélérée;
- les vibrations;
- le stockage;
- la moisissure;
- le test anticorrosion;
- la robustesse des bornes.

4.2 *Prescriptions en matière de sécurité*

Les systèmes de terminaison doivent être conçus en tenant compte des facteurs de sûreté et de sécurité. Pour ce faire, il faut:
- réduire au minimum le risque de contacts électriques involontaires et/ou la dislocation accidentelle des fils;
- utiliser des matières plastiques présentant un indice en oxygène d'au moins 28, cette valeur étant déterminée conformément aux normes internationales;
- utiliser des matières plastiques qui, lorsqu'elles chauffent, n'occasionnent pas d'émanations ni de fumées nocives;
- éviter les pointes et arêtes vives.

4.3 *Prescriptions de caractéristiques électriques*

Tous les blocs de terminaison présenteront de bonnes caractéristiques électriques afin de réduire au minimum le risque d'accidents pour le personnel, les usagers et le public en général, dus à des effets électriques durant l'installation, le fonctionnement ou l'entretien des dispositifs.

Une attention particulière sera éventuellement accordée aux aspects suivants:
- la résistance de l'isolant;
- le contrôle de la tension;
- la capacité entre les paires de bornes.

5 Prescriptions concernant les dispositifs de terminaison de câbles

5.1 *Caractéristiques électriques des terminaisons*

Les principales caractéristiques électriques spécifiées dans la plupart des Administrations en ce qui concerne les dispositifs de terminaison sont les suivantes:

- la rigidité diélectrique;
- la résistance de l'isolant;
- le coefficient de réflexion (câbles coaxiaux seulement);
- la résistance de contact.

Toutes ces caractéristiques diffèrent pour les terminaisons de paires coaxiales, les câbles à paires symétriques à grande distance et les câbles à paires symétriques locaux.

5.2 *Prescriptions en matière d'environnement*

Les prescriptions relatives aux terminaisons doivent être spécifiées pour une durée d'au moins 20 ans de fonctionnement sur le terrain, en utilisation fixe, sur un emplacement partiellement protégé contre les intempéries. Les normes de la CEI doivent être respectées:

- cycles de température, limites inférieures et supérieures;
- changements de température;
- chaleur humide, sans variation;
- séquence de normes climatiques:
  1) chaleur sèche,
  2) chaleur humide, cyclique,
  3) froid,
  4) chaleur humide, cyclique;
- étanchéité aux gaz;
- chocs et vibrations.

Recommandation L.10

FIBRES OPTIQUES POUR L'UTILISATION DES CÂBLES SOUS CONDUITE, EN GALERIE, AÉRIENS ET ENTERRÉS

(Melbourne, 1988)

Introduction

Du fait des progrès accomplis récemment dans la technique des fibres optiques, ces fibres sont utilisées, dans les télécommunications, pour les réseaux de jonction et les réseaux d'abonnés, le câblage intérieur et les sections en câble sous-marin. Il existe plusieurs modes d'installation: câbles aériens, sous conduite, en galerie, enterrés, dans les locaux et immergés. Les câbles à fibres optiques sont donc exposés à des influences externes, naturelles et artificielles.

Il est nécessaire de spécifier les caractéristiques mécaniques des fibres optiques et leurs réactions aux effets des agents du milieu ambiant, de manière à satisfaire aux exigences de l'exploitation. Il est nécessaire également de spécifier des méthodes d'essai.

La présente Recommandation donne des avis sur les câbles à fibres optiques qui doivent être utilisés dans certaines conditions d'installation. Les câbles immergés et dans les bâtiments doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

1 Champ d'application

La présente Recommandation:

- concerne les câbles à fibres optiques multimode à gradient d'indice et les câbles à fibres monomode utilisés dans les réseaux de télécommunications, placés dans des conduits, des galeries, enterrés ou aériens;
- traite des caractéristiques mécaniques des câbles à fibres optiques concernés et de leurs réactions au milieu ambiant. Les caractéristiques dimensionnelles et de transmission des fibres optiques, de même que leurs méthodes d'essai, doivent être conformes aux Recommandations G.651 et G.652, qui traitent respectivement des fibres optiques multimode à gradient d'indice et des fibres optiques monomode;
- traite des considérations fondamentales relatives aux câbles à fibres optiques du point de vue mécanique et au point de vue du milieu ambiant;
- tient compte du fait que certains câbles à fibres optiques peuvent contenir des éléments métalliques, pour lesquels il y a lieu de se reporter au manuel *Technologies d'installations extérieures pour les réseaux publics* (voir la Recommandation L.1) et aux autres Recommandations de la série L;
- préconise de doter les câbles à fibres optiques d'une protection d'étanchéité aux extrémités du câble pendant la livraison et le stockage, comme cela se fait pour les câbles à conducteurs métalliques. Si les éléments d'épissure ont été installés en cours de fabrication, ils doivent être protégés de façon appropriée;
- préconise d'adapter les caractéristiques des appareils de tirage qui soient adaptées à celles de l'extrémité du câble si nécessaire.

2 Caractéristiques des fibres optiques et des câbles

2.1 *Caractéristiques mécaniques*

2.1.1 *Microcourbure des fibres*

La courbure importante d'une fibre optique faisant intervenir un déplacement axial local de quelques micromètres sur de courtes distances causé par des forces latérales localisées, qui agissent sur la longueur est dénommée microcourbure. Ces forces peuvent être dues à des déformations mécaniques introduites aux stades de la fabrication et de l'installation, et aussi à des variations de dimensions des matériaux du câble provoquées par des changements de température en fonctionnement.

Les microcourbures peuvent causer une augmentation des pertes optiques. Pour diminuer les pertes dues aux microcourbures, il convient d'éliminer les contraintes imposées de façon aléatoire à une fibre pendant son introduction dans le câble, et aussi pendant et après l'installation du câble.

2.1.2 *Macrocourbure des fibres*

La macrocourbure est la courbure d'une fibre optique qui se produit après la fabrication et l'installation du câble.

La macrocourbure peut causer une augmentation des pertes optiques. Les pertes optiques sont d'autant plus fortes que le rayon de courbure est petit.

2.1.3 *Courbure des câbles*

Dans les conditions dynamiques rencontrées pendant l'installation, la fibre est soumise à des déformations mécaniques causées par la tension et la courbure des câbles. Il faut choisir les éléments de renfort des câbles et le rayon de courbure à l'installation de manière à limiter ces contraintes dynamiques combinées. Si les fibres conservent un rayon de courbure après l'installation du câble, ce rayon doit être assez grand pour limiter les pertes dues aux macrocourbures, ou aux contraintes à long terme qui réduisent la durée de vie de la fibre.

2.1.4 *Résistance à la traction*

Les câbles à fibres optiques supportent des charges de courte durée pendant la fabrication et l'installation; elles peuvent également être soumises à des charges statiques permanentes et à des charges cycliques en exploitation (par exemple, variations de température). Notamment dans le cas d'utilisation de câbles aériens, le câble peut être soumis au cours de sa durée de vie complète à une charge continue. Des contraintes peuvent s'exercer sur les fibres sous l'effet de tensions, de torsions et de pliages qui surviennent lors de l'installation du câble et/ou du type d'installation (par exemple, câbles aériens), et/ou des réactions aux agents du milieu ambiant (par exemple, vent, glace).

Des tractions excessives sur le câble accroissent les pertes optiques et peuvent imposer à la fibre des déformations résiduelles si le câble n'a pas la possibilité de se détendre. Pour parer à ce phénomène, il ne faut pas dépasser la traction maximale déterminée au stade de la construction du câble, notamment pour la conception du porteur.

Remarque 1 – Lorsque les câbles supportent une charge permanente pendant la durée de leur exploitation, il est préférable que la fibre ne subisse pas de contrainte supplémentaire.

Remarque 2 – Le câble aérien peut être attaché à un fil de suspension. Dans ce cas, le porteur du câble doit être uniquement conçu pour supporter la charge pendant la fabrication et l'installation.

2.1.5 *Ecrasement et chocs*

Les câbles peuvent subir des écrasements et des chocs pendant l'installation et la durée d'exploitation.

L'écrasement et les chocs peuvent accroître les pertes optiques (de manière définitive ou pendant la durée d'application de la contrainte) et une contrainte excessive peut conduire à la fracture de la fibre.

Dans le cas de câbles aériens cylindriques autoporteurs, la structure du câble doit pouvoir résister aux effets de compression pour prévenir des pertes optiques supplémentaires.

2.1.6 *Torsion des câbles*

Dans les conditions dynamiques rencontrées pendant l'installation et l'exploitation, les câbles peuvent être soumis à des torsions à la suite de tension résiduelle des fibres et/ou de dommages causés à l'enveloppe. Si tel est le cas, la conception des câbles doit être conçue de manière à pouvoir supporter un nombre spécifié de torsions de câble par longueur d'unité sans accroissement de l'affaiblissement de la fibre ou des dommages causés à l'enveloppe.

2.2 *Réactions aux agents du milieu ambiant*

2.2.1 *Gaz hydrogène*

De l'hydrogène gazeux peut se dégager en présence d'humidité et de pièces métalliques. Cet hydrogène peut diffuser dans le verre à la silice et augmenter les pertes optiques. Il est recommandé de faire en sorte que la concentration de l'hydrogène dans le câble, du fait des constituants de celui-ci, soit suffisamment faible pour que les effets à long terme sur l'augmentation des pertes optiques soient acceptables.

En ayant recours à un maintien sous pression gazeuse dynamique, en utilisant des matériaux qui absorbent l'hydrogène, en sélectionnant et en construisant avec soin (enveloppe d'étanchéité) ou en éliminant les constituants métalliques, il est possible de maintenir des pertes optiques dans des limites acceptables.

2.2.2 *Pénétration de l'humidité*

Si l'humidité traverse l'enveloppe du câble et pénètre dans le cœur, une détérioration de la résistance à la traction de la fibre se produit, et la durée de résistance avant rupture statique sera réduite. Pour assurer une durée de vie satisfaisante du câble, il faut limiter le niveau de détérioration de la fibre à long terme.

On peut utiliser divers matériaux comme barrières pour réduire la vitesse de pénétration de l'humidité. On peut aussi utiliser des constructions de câbles non métalliques avec un matériau de remplissage.

Remarque – Si nécessaire, on obtient une pénétration minimale en utilisant une feuille métallique longitudinale en recouvrement. Une barrière métallique continue permet d'empêcher la pénétration de l'humidité.

2.2.3 *Pénétration de l'eau*

Si l'enveloppe du câble ou si une enveloppe d'épissure est endommagée, il peut se produire une pénétration longitudinale d'eau dans le cœur du câble ou entre les enveloppes. La pénétration d'eau a un effet similaire à celle de l'humidité. Il convient de réduire cette pénétration longitudinale à un minimum ou, si possible, de l'empêcher. Pour empêcher la pénétration de l'eau, on peut mettre en œuvre des techniques telles que le remplissage du cœur du câble par un matériau approprié, la mise en place de barrières d'étanchéité ou de rubans dilatables par l'eau, ou l'application d'une pressurisation par air sec dans les câbles non remplis.

L'eau présente dans le câble peut geler et, dans certaines circonstances, peut causer l'écrasement des fibres, ce qui entraîne une augmentation des pertes optiques et éventuellement la rupture des fibres.

2.2.4 *Décharges atmosphériques*

Les câbles à fibres optiques qui contiennent des éléments métalliques comme des paires en cuivre classiques ou une enveloppe métallique sont sensibles aux effets des décharges atmosphériques.

Pour empêcher les dommages dus à ces décharges ou les réduire à un minimum, il y a lieu de se reporter à la Recommandation K.21.

En cas d'utilisation d'un câble non métallique, celui-ci doit être rempli et protégé contre les dommages mécaniques et thermiques.

2.2.5 *Dommages biotiques*

La petite taille d'un câble à fibres optiques le rend encore plus vulnérable à l'attaque des rongeurs. Lorsque l'on ne peut pas les supprimer, il faut équiper le câble d'une protection métallique. Pour d'autres informations, il y a lieu de se référer à la partie IV-B, chapitre II du manuel intitulé *Technologies des installations extérieures pour les réseaux publics.*

2.2.6 *Trépidations*

Lorsque des câbles à fibres optiques sont installés sur des ponts, ils seront soumis à des trépidations d'une amplitude relativement élevée, à basse fréquence, qui dépendent du type de pont et du type de la densité du trafic. Les câbles doivent résister à ces trépidations sans défaillance ou dégradation du signal. Il faut cependant veiller avec soin au choix de la technique d'installation.

Les câbles à fibres optiques souterrains peuvent être soumis aux trépidations dues au trafic, aux chemins de fer, aux opérations de fonçage et à l'utilisation d'explosifs. Là encore, les câbles doivent pouvoir résister aux trépidations produites par ces activités, sans dégradation.

Une étude préalable soigneuse permettra d'identifier l'activité et de choisir en conséquence un trajet minimisant ce type de problème.

2.2.7 *Variations de température*

Au cours de leur durée de vie d'exploitation, les câbles peuvent être soumis à de grandes variations de température; l'augmentation de l'affaiblissement des fibres qui en résulte, ne doit pas dépasser les limites spécifiées.

2.2.8 *Vent*

Le vent peut imposer des contraintes mécaniques aux câbles aériens à fibres optiques, telles des tensions, des torsions et des vibrations. Les contraintes dynamiques et résiduelles dans la fibre peuvent causer sa rupture si la limite de déformation à long terme de la fibre spécifiée est dépassée.

Pour éviter toute contrainte imposée à la fibre par le vent, le porteur doit être choisi de manière que la contrainte ne dépasse pas les niveaux de sécurité, et la structure du câble peut permettre de découpler mécaniquement la fibre de l'enveloppe pour minimiser la déformation. On peut encore éviter la contrainte exercée en amarrant le câble à un toron de soutien très résistant.

Dans les installations aériennes, les vents causeront des vibrations et, dans les installations avec fils de suspension et en huit, d'importantes oscillations pourront se produire sur toute la portée du câble. Les câbles doivent être conçus et/ou installés pour offrir une stabilité des caractéristiques de transmission dans ces circonstances.

2.2.9 *Neige et glace*

Pour les câbles aériens à fibres optiques, la déformation de la fibre peut être causée par la tension due à une charge de neige ou à la formation de glace autour du câble. La déformation de la fibre peut entraîner des pertes optiques excessives et la rupture de la fibre lorsque la limite de déformation nominale à long terme de la fibre est dépassée.

La déformation dymanique de la fibre peut être provoquée par des vibrations dues à la neige et/ou à la glace qui tombe du câble. Il peut alors y avoir rupture de la fibre.

Sous l'effet conjugué d'une part du vent et d'autre part de la neige ou de la glace, la fibre peut facilement présenter une déformation excessive.

Aussi, le porteur du câble doit-il être choisi pour que cette déformation ne dépasse pas les niveaux de sécurité, et le profil du câble doit-il être choisi pour minimiser la charge de la neige. Là encore, on peut éviter la contrainte exercée en amarrant le câble à un toron très résistant.

2.2.10 *Champs électriques élevés*

Les câbles aériens non métalliques installés sur des lignes à haute tension, subissent l'influence du champ électrique de ces lignes qui peut provoquer des phénomènes tels que le corona, amorçage et propagation de l'arc dans l'enveloppe du câble.

Pour éviter que les câbles soient ainsi endommagés, on peut être amené à utiliser des matériaux d'enveloppe adaptés au niveau du champ électrique.

3 Construction des câbles

3.1 *Revêtements des fibres*

3.1.1 *Revêtement primaire*

La fibre en silice possède une résistance mécanique intrinsèque élevée, mais cette résistance se trouve réduite par les défauts de surface. Il faut par conséquent déposer un revêtement primaire immédiatement après que la fibre a été étirée pour l'amener à sa dimension.

La fibre optique doit faire l'objet d'un essai de résistance. Pour garantir la fiabilité à long terme dans les conditions de service, on peut spécifier l'essai de résistance à la tension de la fibre en tenant compte de la déformation admissible et de la durée de vie requise.

Pour préparer les épissures, il doit être possible d'enlever le revêtement primaire sans endommager la fibre et sans utiliser des matériaux ou des méthodes considérés comme dangereux.

Pour déterminer la composition du revêtement primaire, qui sera coloré si nécessaire, on tiendra compte des caractéristiques des équipements locaux d'injection et de détection de la lumière utilisée, le cas échéant, en rapport avec les méthodes de raccordement des fibres.

Remarque 1 – Le revêtement doit avoir un diamètre nominal de 250 µm.

Remarque 2 – Les fibres portant un revêtement primaire doivent être mises à l'essai avec une déformation équivalant à 0,5% au moins, pendant une durée d'une seconde. La méthode d'essai doit être conforme aux prescriptions de la publication 793-1 de la CEI [1]. Pour les câbles aériens, compte tenu des importantes variations de température et des vents forts, il peut être nécessaire de spécifier une contrainte pour l'essai de résistance plus importante.

Remarque 3 – Un complément d'étude est nécessaire en vue de spécifier les méthodes d'essai appropriées pour l'injection et la détection de la lumière locale.

3.1.2 *Protection secondaire*

Il y a lieu de prévoir une protection secondaire de la fibre dans le câble.

Remarque 1 – Les méthodes de protection secondaire sont décrites dans le manuel *Construction, installation, raccordement et protection des câbles à fibres optiques* [2].

Remarque 2 – Lorsqu'on applique un revêtement secondaire serré, il peut être difficile d'utiliser un équipement local d'injection et de détection de la lumière en association avec des méthodes de raccordement des fibres.

Remarque 3 – Pour limiter les contraintes axiales, il convient de réduire au minimum le couple mécanique entre les fibres et le câble.

3.1.3 *Identification des fibres*

Les fibres doivent pouvoir être identifiées aisément dans le cœur du câble, par leur couleur ou leur position. Si on utilise une méthode de coloration, les couleurs doivent être faciles à distinguer et résistantes, de même que la présence d'autres matériaux, pendant la durée de vie du câble.

3.1.4 *Propriétés des épissures*

Un complément d'étude est nécessaire en vue de spécifier les méthodes d'essai appropriées pour l'injection et la détection de la lumière locale.

3.2 *Cœur des câbles*

La composition du cœur du câble doit être définie clairement, notamment en ce qui concerne le nombre de fibres, les moyens de les protéger et de les identifier, l'emplacement des porteurs et des fils ou paires métalliques, s'il y a lieu.

3.3 *Porteurs*

Le câble doit être équipé de porteurs suffisants pour satisfaire aux conditions d'installation et de service, de sorte que les fibres ne soient pas soumises à des contraintes excessives.

Le porteur peut être métallique ou non, et être situé dans le cœur ou dans l'enveloppe du câble.

Par exemple, dans le câble aérien autoporteur non métallique, le porteur peut être composé d'une couche de fils aramides située entre l'enveloppe intérieure et l'enveloppe extérieure, ou d'un simple toron renforcé de fibres de verre dans une structure en huit. Il est nécessaire de connaître la portée, la flèche, le vent et la charge de glace pour concevoir un tel câble.

3.4 *Matériaux d'étanchéité*

Un des moyens de protéger les fibres contre les entrées d'eau, consiste à remplir le câble d'un matériau d'étanchéité. Les matériaux utilisés à cet effet ne doivent pas présenter de danger pour le personnel. Les matériaux placés dans le câble doivent être compatibles les uns avec les autres; en particulier, ils ne doivent pas avoir d'effet préjudiciable sur la qualité de fonctionnement des fibres ni sur leurs couleurs d'identification.

Par ailleurs, le matériau ne doit pas favoriser la formation de moisissures. Il doit s'agir d'un matériau non conducteur de l'électricité homogène et à l'épreuve de la contamination.

3.5 *Résistance pneumatique*

Si le câble a besoin de fonctionner sous pression d'air sec, il convient de spécifier sa résistance pneumatique.

Remarque – Il est prévu qu'un câble ne peut être mis sous pression que s'il permet une circulation d'air conforme aux critères définis dans la partie III du manuel intitulé *Technologies des installations extérieures pour les réseaux publics* (voir la Recommandation L.1).

3.6 *Enveloppe*

Le cœur du câble doit être recouvert d'une enveloppe appropriée résistant à toutes les conditions climatiques et mécaniques rencontrées au cours du stockage, de l'installation et de l'utilisation. L'enveloppe peut être de construction composite et comporter des porteurs.

Dans l'ensemble, les considérations relatives aux enveloppes des câbles à fibres optiques sont les mêmes que pour les câbles à conducteurs métalliques. Il faut aussi tenir compte de la quantité d'hydrogène dégagée par une barrière d'étanchéité métallique. On indiquera l'épaisseur minimale admissible de l'enveloppe, ainsi que le maximum et le minimum admissibles pour le diamètre hors tout du câble.

Remarque 1 – Un des matériaux les plus courants constituant l'enveloppe est le polyéthylène. Il peut y avoir cependant certaines réactions aux agents du milieu ambiant où il est nécessaire de minimiser l'inflammabilité d'un câble et de limiter l'émission de gaz, de fumées et de produits corrosifs. Dans ces cas, il faut utiliser des matériaux spéciaux pour l'enveloppe du câble.

Remarque 2 – Pour les câbles directement enterrés installés dans des régions où les sols sont chimiquement contaminés (acides, hydrocarbures, etc.), des combinaisons spéciales d'enveloppe peuvent être utilisées.

Remarque 3 – Dans le cas de câbles aériens, l'enveloppe extérieure doit être résistante à la dégradation due aux rayons ultra-violets.

3.7 *Armure*

Lorsqu'il est nécessaire d'avoir une résistance à la traction ou une protection contre les dommages externes supplémentaires, il faut prévoir une armure sur l'enveloppe du câble.

Dans l'ensemble, les considérations relatives à l'armure des câbles à fibres optiques sont les mêmes que pour les câbles à conducteurs métalliques. Toutefois, la production d'hydrogène due à la corrosion doit être prise en considération. Il ne faut pas perdre de vue que l'utilisation d'une armure risque de réduire les avantages offerts par les câbles à fibres optiques, par exemple: faible poids et souplesse.

Pour des câbles non métalliques, l'armure peut se composer de fils aramides, de torons renforcés de fibres de verre ou de garnissage de ruban, etc.

3.8 *Identification du câble*

Si une identification visuelle est nécessaire pour distinguer un câble à fibres optiques d'un câble métallique, cela peut se faire en marquant de manière visible l'enveloppe du câble à fibres optiques.

4 Méthodes d'essai

4.1 *Méthodes d'essai des caractéristiques mécaniques*

Le présent § 4.1 spécifie les essais et méthodes d'essai appropriés pour vérifier les caractéristiques mécaniques des câbles à fibres optiques.

4.1.1 *Résistance à la traction*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

Les mesures ont pour objet d'analyser le comportement de l'affaiblissement dans la fibre, en fonction de la charge appliquée au câble pendant l'installation.

L'essai doit être effectué conformément à la méthode 794-1-E1 de la CEI [3].

La valeur du découplage mécanique de la fibre et du câble peut être déterminée en mesurant l'élongation de la fibre, avec l'équipement d'essai de décalage de phase optique, en même temps que l'élongation du câble.

La présente méthode peut être non destructive si la tension appliquée se situe dans la limite des valeurs rencontrées en exploitation.

4.1.2 *Pliage*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

Le but de cet essai est de déterminer l'aptitude d'un câble à fibres optiques à résister à des pliages autour d'une poulie, simulée par un mandrin d'essai.

L'essai doit être effectué conformément aux prescriptions de la méthode 794-1-E11 de la CEI [3].

4.1.3 *Pliage sous tension (flexage)*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

Ce sujet nécessite un complément d'étude.

4.1.4 *Ecrasement*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

L'essai doit être effectué conformément aux prescriptions de la méthode 794-1-E3 de la CEI [3].

4.1.5 *Compression (abrasion)*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

Ce sujet nécessite un complément d'étude. Il est actuellement à l'étude dans le cadre de la méthode 794-1-E2 de la CEI [3].

4.1.6 *Torsion*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

L'essai doit être effectué conformément aux prescriptions de la méthode 794-1-E7 de la CEI [3].

4.1.7 *Chocs*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

L'essai doit être effectué conformément aux prescriptions de la méthode 794-1-E4 de la CEI [3].

4.2 *Méthodes d'essai concernant les propriétés du milieu ambiant*

Cette section spécifie les essais appropriés et les méthodes d'essai servant à vérifier les réactions des câbles à fibres optiques aux effets des agents du milieu ambiant.

4.2.1 *Cycle de température*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

L'essai de cycle de température a pour but de déterminer la stabilité de l'affaiblissement d'un câble en présence de variations de la température ambiante qui peuvent se produire pendant le stockage, le transport et l'exploitation.

Cet essai doit être effectué conformément à la méthode 794-1-F1 de la CEI [3].

Remarque – Pour les câbles aériens autoporteurs, la stabilité de l'affaiblissement peut être mesurée avec une tension spécifiée appliquée à l'échantillon du câble.

4.2.2 *Pénétration longitudinale de l'eau*

Cet essai s'applique aux câbles extérieurs complètement remplis, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés. Le but est de contrôler que tous les interstices d'un câble sont obturés en permanence par le matériau de remplissage, afin d'empêcher l'eau de pénétrer dans le câble.

Cet essai doit être effectué conformément à la méthode 794-1-F5 de la CEI [3].

4.2.3 *Barrière d'étanchéité*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

Cet essai s'applique aux câbles fournis avec des feuilles métalliques longitudinales en recouvrement. La pénétration de l'humidité peut être testée conformément à la méthode d'essai décrite dans la partie I du chapitre III du manuel intitulé *Technologies des installations extérieures pour les réseaux publics* (voir la Recommandation L.1).

4.2.4 *Gel*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

Ce sujet nécessite un complément d'étude et fait l'objet d'un examen dans la méthode 794-1-F6 de la CEI [3].

4.2.5 *Hydrogène*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques, quelles que soient les conditions de milieu ambiant dans lesquelles ils sont installés.

Il est nécessaire de spécifier une procédure d'essai appropriée de courte durée pour les câbles complètement construits. De cette façon, les résultats des essais en usine permettront de prévoir l'augmentation à long terme des pertes dans les fibres.

4.2.6 *Radiations nucléaires*

Cette méthode d'essai permet d'évaluer la résistance des câbles à fibres optiques aux effets des radiations nucléaires.

Ce sujet nécessite un complément d'étude et fait l'objet d'un examen dans la méthode 794-1-F7 de la CEI [3].

4.2.7 *Trépidations (câbles utilisés sur les ponts et câbles souterrains)*

Cette méthode d'essai permet d'évaluer l'aptitude des câbles à fibres optiques à pouvoir être placés dans des souterrains et sur des ponts.

Cette question doit faire l'objet d'un complément d'étude.

4.2.8 *Vibrations (câbles aériens)*

Cette méthode d'essai permet de voir si les câbles à fibres optiques conviennent à l'utilisation en câbles aériens.

Ce sujet appelle un complément d'étude.

4.2.9 *Résistance aux rayons ultra-violets*

Cette méthode d'essai s'applique aux câbles à fibres optiques aériens, et permet d'évaluer la résistance de l'enveloppe du câble aux rayons ultra-violets.

Ce sujet nécessite un complément d'étude.

4.2.10 *Repérage de l'enveloppe*

Cet essai s'applique aux câbles à fibres optiques aériens utilisés à proximité de lignes à haute tension.

Ce sujet nécessite un complément d'étude.

Références

[1] Publication 793-1 de la CEI *Fibres optiques, première partie: spécification générique*, Genève, 1987.

[2] Manuel du CCITT *Construction, installation, raccordement et protection des câbles à fibres optiques*, UIT, Genève, 1985.

[3] Publication 794-1 de la CEI *Câbles à fibres optiques, première partie: spécification générique*, Genève, 1987.

Recommandation L.11

UTILISATION DE TUNNELS COMMUNS POUR LES CANALISATIONS ET LES CÂBLES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ET NORMALISATION DES PLANS POUR CONDUITES SOUTERRAINES

(Melbourne, 1988)

Le CCITT,

considérant

(a) que de nombreux pays s'intéressent à l'utilisation commune de tunnels, tenant bien compte des avantages, désavantages et dangers spécifiques à envisager;

(b) que les prescriptions d'application pour ce genre de canalisation varient beaucoup dans les différents pays;

(c) que l'importance de l'utilisation commune des tunnels augmente avec la densité de la population et la diminution des espaces libres, c'est-à-dire dans les grandes villes,

recommande

aux Administrations qui s'intéresseront ultérieurement à ce type d'installation de suivre les règles décrites dans la présente Recommandation.

1 Considérations générales

Les galeries techniques et caniveaux pour conduites sont des constructions abritant une ou le plus souvent plusieurs conduites de divers réseaux. Les galeries visitables comportent un ou plusieurs couloirs, permettant les travaux de montage, ainsi que les opérations ultérieures de contrôle, d'entretien et de réparation. Une galerie que l'on ne peut pas parcourir debout, mais en rampant, doit présenter une hauteur libre intérieure d'au moins 0,8 m. Les caniveaux pour conduites sont des gaines dans lesquelles on ne pénètre pas.

Les principes énoncés ci-après sont valables pour les galeries techniques visitables. Ils s'appliquent par analogie aux galeries que l'on ne peut parcourir qu'en rampant.

Les galeries techniques peuvent contenir les conduites appartenant aux réseaux suivants:

- antennes collectives;
- télécommunications;
- électricité;
- gaz;
- eau;
- chauffage urbain;
- transports sous conduites (par exemple, poste pneumatique);
- système d'égouts.

2 Etablissement d'un projet de tracé

2.1 *Structure*

Pour analyser les tracés possibles de galeries techniques, il est indispensable de considérer la structure des différents réseaux et leurs niveaux de priorité.

Les conduites de transport appartenant aux différents réseaux ne suivent généralement pas le même itinéraire, les lieux de production n'étant pas les mêmes (par exemple, centrale de force motrice, station de pompage ou central téléphonique, etc.), et les points de passage du niveau transport à celui de la desserte primaire étant différents. Par contre, dans les zones à forte population, les conduites de desserte primaire et secondaire empruntent fréquemment le même parcours. En conséquence, l'implantation d'une galerie technique est particulièrement indiquée sous les artères recouvrant à la fois des conduites de desserte primaire et secondaire.

2.2 *Bases de décision*

En décidant du mode de pose des conduites – en tranchée ou en galerie technique – on tiendra compte des critères exposés ci-après:

2.2.1 *Sécurité de la distribution*

Une grande sécurité de distribution est tributaire des éléments suivants:

- durabilité du matériel et des raccords;
- localisation rapide en cas de dégât, accès aisé et remise en état dans les délais les plus courts;
- faible vulnérabilité sous l'effet des actions extérieures (par exemple, dégâts causés par des tiers ou par des tremblements de terre).

Les conduites posées en galeries techniques présentent en général une durabilité élevée et un risque de détérioration réduit. Elles peuvent y être réparées rapidement.

2.2.2 *Mise en danger par des tiers, perturbations dues aux travaux de pose et aux réparations*

On envisagera les perturbations apportées par les travaux de pose et par les réparations (détournement du trafic, bruit), ainsi que les conséquences des dommages subis par les conduites (dégâts dus à l'eau et au feu).

2.2.3 *Considérations économiques*

En étudiant l'aspect financier des projets de galeries techniques, on envisagera non seulement le coût de leur réalisation et de leur entretien, mais aussi l'économie que représenterait dans l'avenir l'élimination des effets secondaires produits par la présence des conduites enterrées. On entend par effets secondaires les incidences que la pose de ces conduites, leur défectuosité, leur réparation, leur entretien, peuvent avoir sur les riverains, sur les activités diverses, sur la circulation des véhicules, sur l'environnement en général.

2.2.4 *Considérations techniques*

Avant de se décider pour un mode de pose, il convient d'examiner les différents éléments suivants:

- conduites, réseau, dimension (section), puissance (capacité), matériau, protection contre la corrosion, nombre, niveau hiérarchique de distribution, tracé des conduites, compatibilité avec d'autres conduites, état des conduites, réparations, remises en état, remplacement, réserves, extensions, conduites de secours, installations provisoires, raccordements d'immeubles;
- route, largeur de la chaussée, largeur des trottoirs, bande de verdure, densité du trafic, évacuation des eaux de surface, superstructure;
- sous-sol, genre de terrain, niveau de la nappe phréatique, conduites existantes, ouvrages souterrains existants;
- délais, début des travaux, durée des travaux (étapes), mise en service.

Lors de l'examen d'un projet de galerie technique, on prêtera une attention spéciale aux branchements d'immeubles. Ceux-ci peuvent s'effectuer directement à partir de la galerie, pour autant que les orifices nécessaires aient été prévus. Une autre solution consiste à poser des conduites de desserte secondaire en terre, le long de la galerie.

3 Recommandations applicables aux galeries techniques

3.1 *Phases à envisager*

On envisagera les phases successives suivantes:

- phase de construction;
- phase d'exploitation.

3.2 *Recommandations générales*

En phase de construction comme en phase d'exploitation, l'ouvrage devra pouvoir répondre aux exigences suivantes:

- *Introduction des éléments de conduite dans la galerie*

  Tous les éléments doivent pouvoir être acheminés par les accès normaux ou par des orifices spéciaux.

- *Tirages de câbles*

  Des dispositifs techniques appropriés seront prévus dans les galeries devant contenir des câbles, de manière à en permettre la mise en place, le déplacement ou l'enlèvement.

- *Accessoires de montage*

  Pour le montage, en particulier lorsqu'il s'agit de tuyaux lourds, il y a lieu de mettre à des emplacements appropriés des dispositifs de fixation.

- *Déplacement d'éléments de conduites dans la galerie*

  Toutes dispositions doivent être prises pour permettre le transport d'éléments de conduites à l'intérieur de la galerie.

- *Emplacement de réserve pour l'extension des réseaux*

  Compte tenu de la probabilité d'extension de divers réseaux, des espaces de réserve seront définis dans le profil de la galerie.

- *Espace libre autour des conduites*

  L'espace libre entre paroi de la galerie et conduite, de même qu'entre conduites, doit être suffisamment grand, compte tenu de leur diamètre (pour permettre l'entretien, les réparations, les branchements).

- *Température ambiante*

  Des températures élevées peuvent se produire dans les galeries équipées de conduites à fort dégagement de chaleur. Des conditions ambiantes physiologiquement acceptables doivent pouvoir y être maintenues, afin d'éviter toute atteinte à la santé lors des travaux et des contrôles. Pour les câbles de télécommunications, voir le § 3.3.2.

- *Corrosion des conduites, des pièces de fixation et des accessoires d'équipement*

  Les pièces de fixation et les accessoires d'équipement doivent avoir une durée d'existence correspondant à celle des conduites. Une forte humidité de l'air peut engendrer la formation d'eau de condensation et provoquer la corrosion de métaux autres qu'inoxydables. On examinera les manifestations de la corrosion en observant la Recommandation L.1. Les installations métalliques (colonnes, consoles, supports) sont de préférence en acier galvanisé à chaud. Dans certains cas, la protection cathodique est appliquée.

- *Trépidations*

  Certaines conduites peuvent être sensibles aux trépidations. Dans certains cas, la circulation des véhicules peut produire des trépidations se propageant jusqu'à l'intérieur des galeries techniques.

3.3 *Remarques relatives aux divers réseaux de distribution*

3.3.1 *Antennes collectives*

Les installations d'amplification nécessitent localement l'aménagement d'espaces complémentaires. A part cela, les câbles d'antennes collectives ne posent pas d'exigences particulières.

3.3.2 *Câbles de télécommunications*

Les caractéristiques suivantes doivent être prises en considération:

– *Distance par rapport aux conduites de distribution d'électricité*

Les espacements minimaux par rapport aux conduites de distribution d'électricité sont à respecter (voir le § 5).

– *Protection contre la charge thermique*

Etant donné que les câbles de télécommunications sont sensibles à la charge thermique, les conditions thermiques régnant dans les galeries techniques doivent être prises en considération. Cela vaut notamment pour les câbles à fibres optiques.

– *Protection contre la corrosion et la foudre*

En général, il est à recommander de protéger les câbles de télécommunications par des gaines et des armures métalliques. Cette protection peut être appliquée, mais l'utilisation d'électrodes de terre communes n'est pas prévue, ou même défendue.

– *Protection contre les perturbations électriques*

En cas normal, il n'y a pas de dispositions particulières à prendre mais dans certains cas, des constructions de câbles avec facteur de réduction élevé dû à l'écran ou des dérivateurs de surtension sont employés.

– *Protection contre les sollicitations mécaniques*

Les armures métalliques peuvent servir à protéger les câbles contre des effets mécaniques tels que les vibrations ou les chocs. Pour les gaines en plomb, il est recommandé d'employer des alliages résistant aux vibrations.

– *Protection contre les influences extérieures*

Les câbles avec gaine en plastique sont bien protégés contre les rongeurs par des armures en fibres de verre ou en fibres aramides.

Comme protection contre les tremblements de terre, on peut appliquer des joints de câbles rétractables.

– *Changements de direction*

Dus à la limitation de la courbure des câbles, lors de l'étude de l'ouvrage il faut tenir compte des rayons de courbure admissibles.

– *Travaux sur certaines parties*

Du fait des travaux relativement fréquents à entreprendre sur les installations de télécommunications – en particulier sur les manchons – il y a lieu de prévoir des dégagements nécessaires (par exemple, niches, chambres).

3.3.3 *Câbles d'électricité*

Les caractéristiques suivantes doivent être prises en considération:

– *Changements de direction*

Concernant les changements de direction, les prescriptions relatives aux câbles de télécommunications sont applicables par analogie.

– *Température ambiante*

La capacité de charge des câbles électriques dépend, entre autres paramètres, de la température ambiante, que l'on déterminera donc dans chaque cas, de manière à réaliser le meilleur équilibre entre les mesures prises pour refroidir la galerie et la capacité de charge des câbles.

3.3.4 *Gaz*

Les galeries techniques équipées de conduites de gaz doivent être ventilées (naturellement ou artificiellement). Les manchons de dilatation seront étanches; ils seront disposés dans des chambres séparées.

3.3.5 *Eau*

Dans le choix de l'agencement ou de la section d'une galerie technique, on tiendra compte des dimensions des éléments spéciaux de conduites d'eau. Ces conduites peuvent nécessiter des précautions particulières d'ordre climatique pour éviter l'élévation de température et le gel. Des problèmes particuliers peuvent se poser avec les conduites d'un diamètre nominal de 150 mm. Pour celles-ci, il y aura lieu de tenir compte des réalités suivantes:

– *Elévation de température*

L'élévation de température qui peut se produire dans une galerie n'a qu'un effet négligeable sur la qualité de l'eau potable.

– *Gel dans les conduites*

La température dans les galeries visitables ne descend guère au-dessous du point de congélation. S'il existe cependant un danger de gel, on prendra des mesures appropriées pour protéger la conduite.

– *Purge et vidange*

En règle générale, les installations de purge et de vidange seront placées en dehors de la galerie technique.

3.3.6 *Chauffage urbain*

Les caractéristiques suivantes doivent être prises en considération:

– *Dispositions des conduites*

Pour des raisons de montage, l'espace entre les conduites de chauffage urbain (isolation non comprise) et la paroi de la galerie doit être au minimum de 0,3 m.

– *Calorifugeage*

La continuité de l'isolation thermique diminue les déperditions de chaleur et contribue à empêcher un choc thermique en cas de rupture d'une conduite d'eau.

– *Embranchements et croisements*

Au droit des embranchements et des croisements, on observera les rayons de courbure admissibles des conduites.

– *Dispositifs de dilatation*

Dans le projet, on tiendra compte de la place nécessaire pour les dispositifs de dilatation.

3.3.7 *Système d'égouts*

Les aspects suivants doivent être considérés:

– *Considérations générales*

Dans la plupart des cas, les canalisations sont à écoulement libre. Leur niveau et leur déclivité ne peuvent de ce fait s'adapter à un tracé de galerie qu'à l'intérieur de certaines limites.

– *Liaison entre égouts et galerie technique*

Vu le risque de refoulement, il ne doit exister aucune liaison ouverte entre l'égout et la galerie technique.

4 Plan de sécurité

4.1 *Objectif de la sécurité*

La sécurité doit être envisagée sous divers aspects:

– sécurité des personnes occupées dans la galerie;
– sécurité des personnes et des choses à l'extérieur de la galerie;
– sécurité de la distribution.

Sous leurs deux premiers aspects, les objectifs de sécurité portent sur les risques de lésions corporelles.

La garantie de sécurité de la distribution est indépendante de celle des personnes. Il convient cependant d'accorder une importance primordiale aux conduites de distribution, non seulement en tant qu'équipement permettant d'assurer un certain confort à la population, mais également, selon les circonstances, comme élément essentiel de survie.

4.2 *Plan de sécurité*

4.2.1 *Sécurité en phase de construction et d'équipement*

Le plan de sécurité est défini par les prescriptions sur la sécurité du travail. On prêtera une attention spéciale aux prescriptions relatives aux travaux de construction en milieu fermé. On respectera dans tous les cas les valeurs maximales admissibles, sur le lieu de travail, de matières ou émanations nuisibles à la santé, telles qu'elles ont été définies par les compagnies d'assurance.

4.2.2 *Sécurité en phase d'exploitation*

Il appartient à l'entreprise propriétaire d'une installation d'édicter des instructions à observer dès l'entrée en exploitation.

Lors de travaux de maintenance ou d'extension, il conviendra d'observer les mesures de sécurité prescrites pour la phase de construction.

Le risque d'incendie et les possibilités de lutte contre le feu seront définis en collaborant avec le service du feu.

Les tableaux A-1/L.11 et A-2/L.11 reproduisent un exemple de plan de sécurité en phase d'exploitation, avec indication de mesures préventives possibles.

Du plan de sécurité découlent les dispositions applicables à la construction d'une galerie technique, décrite au § 5.

4.3 *Problèmes particuliers à étudier*

L'étude du plan de sécurité est à étendre selon les besoins sur les points suivants:

- l'interférence des lignes de télécommunications avec les lignes de haute tension ou de chemins de fer à courant continu;
- la conception des galeries techniques;
- la ventilation;
- la protection thermique;
- l'évacuation des eaux;
- les installations électriques;
- les systèmes de détection de gaz ou d'incendie.

5 Construction

5.1 *Section transversale*

5.1.1 *Considérations générales*

La section transversale d'une galerie comporte les éléments suivants:

- les conduites et leurs accessoires, y compris les espaces libres pour les réparations et l'entretien;
- les espaces de réserve;
- les croisements de conduites et les branchements;
- le couloir de service.

5.1.2 *Dispositions de conduites*

En plus des prescriptions de montage, on appliquera les règles suivantes:

- *Câbles de télécommunications et d'antennes*

  On observera les distances suivantes par rapport aux conduites de distribution d'électricité:

– basse tension, jusqu'à 1000 V	0,3 m
– haute tension à faible influence inductive	0,3 m
– haute tension à forte influence inductive (systèmes avec mise à terre rigide)	selon examen particulier

- *Conduites de distribution d'électricité*

  Lorsque les câbles sont disposés sur des consoles ou des échelles à câbles, on tiendra compte des influences thermiques et électromagnétiques réciproques.

- *Conduites du gaz naturel*

  Elles seront placées le plus haut possible dans la section de la galerie. Cette disposition les protège des dommages mécaniques; en cas de fuite, ce gaz s'accumule au plafond.

- *Conduites d'eau*

  Elles seront placées le plus bas possible dans la section de la galerie, de manière à en faciliter la mise en place et la fixation. De plus, la température ambiante est plus basse au niveau du sol de la galerie.

5.1.3 *Couloir de service*

Pour que l'on puisse parcourir la galerie sans danger, on évitera autant que possible de disposer des seuils en travers du couloir de service.

Le gabarit du couloir doit satisfaire aux exigences suivantes:

- largeur minimale 0,7 m
- hauteur minimale 1,9 m
- dimension déterminante du plus gros élément à introduire dans le couloir de service, augmentée d'au moins 0,2 m
- augmentation des dimensions selon les circonstances, en particulier aux points de changement de direction, aux croisements, ou aux emplacements des niches de travail.

5.1.4 *Pente transversale*

Une pente transversale sera aménagée pour assurer l'écoulement de l'eau.

5.1.5 *Exemples de profils de galeries*

Les figures B-1/L.11 et B-2/L.11 représentent respectivement des galeries de section circulaire et de section rectangulaire. Elles montrent la manière de répartir l'espace disponible entre les différents réseaux.

5.2 *Ouvertures, accès et cloisonnements*

5.2.1 *Ouvertures pour le matériel*

Les ouvertures pour le matériel doivent permettre l'introduction des plus grosses pièces, lors du montage et des travaux de maintenance dans la galerie. Elles seront disposées directement au-dessus du couloir de service. Des ouvertures supplémentaires peuvent être prévues pendant la construction; elles seront obturées avant la mise en service des installations. L'accès des véhicules de livraison doit être assuré.

5.2.2 *Portes d'accès pour le personnel*

La disposition pour les accès de personnel sera définie en fonction des voies de fuite et du système d'alarme. En règle générale, il ne doit pas y avoir une distance supérieure à 500 m entre deux accès. On examinera l'opportunité de placer des sorties de secours entre les portes d'accès.

Les portes d'accès doivent être aménagées de telle sorte qu'elles ne puissent pas être obstruées, ni permettre la pénétration de l'eau ou des fumées.

Les ouvertures pour le matériel et les portes d'accès pour le personnel doivent pouvoir être verrouillées et être aussi étanches que possible.

5.2.3 *Cloisonnements*

La disposition de cloisons transversales fera l'objet d'un examen attentif. Tous ces cloisonnements doivent être compatibles avec les voies de fuite et les issues.

5.2.4 *Aménagements pour le transport des pièces, et accessoires de montage*

Le plan d'utilisation prévoira le long du couloir de service les aménagements nécessaires au transport (par exemple des rails au plafond), ainsi que des accessoires de montage (par exemple des crochets pour palans et appareils de tirage, des profilés d'ancrage pour fixations).

5.3 *Supports et fixations*

5.3.1 *Charges à considérer*

Les caractéristiques suivantes doivent être prises en considération:

- *Charges permanentes*

  Les charges permanentes ressortent du plan d'utilisation.
- *Suspension*

  En règle générale, toutes les conduites sont à amarrer contre les supports.
- *Action des séismes*

  Toutes les fixations de conduites, les supports et les échelles à câbles doivent résister aux sollicitations engendrées par des tremblements de terre, conformément aux normes nationales.

– *Déflagrations*

Les conduites et tous les éléments d'une galerie technique sont fortement ébranlés par les explosions. Si l'examen du plan de sécurité fait apparaître que des conduites d'importance vitale subissent de telles surcharges, il faut:

– que ces conduites ne subissent aucune rupture ou déformation pouvant altérer leur fonctionnement;
– qu'il ne se produise aucun mouvement qui pourrait arracher des conduites d'alimentation essentielles, ou occasionner des chocs contre les parois ou d'autres éléments de construction.

Ces risques peuvent être écartés grâce à des fixations à l'épreuve des chocs et à une disposition correcte de toutes les conduites. Pour ces questions, il est recommandé de s'entourer des conseils de spécialistes.

5.3.2 *Protection contre la corrosion*

La protection des supports et fixations contre la corrosion est importante, vu la longue durée de vie des installations (voir le § 3.2).

5.4 *Passages de conduites de la galerie au terrain*

Aux points où les conduites passent d'une galerie au terrain, il faut tenir compte des mouvements relatifs pouvant se produire entre ces deux milieux.

Les endroits de sortie de galerie doivent être aussi étanches que possible, de manière à éviter une pénétration de gaz et d'eau dans la galerie.

5.5 *Organes d'arrêt*

On examinera avec soin la disposition des organes de coupure placés sur les conduites de gaz, d'eau, de chauffage urbain et d'eau usée, situés avant ou après la traversée de la paroi de la galerie. Ces dispositifs d'arrêt doivent pouvoir être manœuvrés depuis l'extérieur.

5.6 *Ventilation*

5.6.1 *But et règles à observer*

La ventilation doit répondre aux objectifs suivants:

– *Ambiance*

Les conduites d'électricité et de chauffage urbain dégagent de la chaleur. Pour autant que celle-ci ne passe pas dans le terrain à travers les parois de la galerie, le refroidissement s'opère par ventilation.

L'aération contrôlée permet en outre d'abaisser le taux d'humidité de l'air et contribue à la protection active contre la corrosion.

– *Sécurité*

Dans le cadre du plan de sécurité, la ventilation a pour but de réduire le danger d'explosion, d'empêcher la pénétration des gaz d'échappement des véhicules et de maintenir à des valeurs admissibles aux emplacements de travail, les dégagements insalubres provenant des travaux de soudure et de brasage.

5.6.2 *Systèmes de ventilation*

Les systèmes de ventilation sont:

– *Ventilation naturelle*

La ventilation naturelle assure un échange d'air sous l'effet du courant qui s'établit par suite de différences de température et de pression. Ce système permet dans de nombreux cas un renouvellement d'air satisfaisant.

– *Ventilation mécanique*

Dans la ventilation mécanique en surpression, l'air pris à l'extérieur est pulsé dans la galerie au moyen d'un ventilateur. De cette manière, il s'ajoute au mouvement d'air une augmentation de pression, qui empêche les gaz dangereux de pénétrer dans la galerie.

5.6.3 *Choix entre ventilation naturelle et ventilation mécanique*

Les critères de choix entre les systèmes de ventilation sont:

– *Critères techniques de sécurité*

En règle générale, il est nécessaire d'aménager une installation de ventilation mécanique dans les cas suivants:

- lorsque d'anciennes conduites de gaz, dont l'étanchéité n'est pas garantie, ont un parcours parallèle à la galerie;
- s'il y a risque de pénétration de matières toxiques ou inflammables.

En ce qui concerne la sécurité du fonctionnement, la ventilation naturelle présente l'avantage de ne comporter aucun élément mécanique ou électrique, ce qui élimine tout risque d'interruption de la circulation d'air par suite de panne.

– *Critères techniques d'ambiance*

Dans les constructions souterraines de faible profondeur, dont les parois sont en contact avec le terrain environnant, les variations de température intérieure dans la galerie se trouvent sensiblement réduites du fait de l'inertie thermique de son enveloppe. C'est pourquoi la ventilation naturelle suffit en général à assurer les conditions climatiques voulues.

– *Protection contre la corrosion*

Une forte humidité de l'air et surtout la formation d'eau de condensation accélèrent la corrosion des conduites et des pièces de fixation. Les causes d'une humidité relative élevée dans une galerie technique peuvent être les suivantes:

- eau s'infiltrant par les parois;
- eau de purge ou de nettoyage;
- refroidissement de l'air extérieur chaud, à haute teneur en vapeur d'eau, introduit par la ventilation.

Pour éviter une forte humidité relative de l'air, il est nécessaire d'évacuer par le plus court chemin toute eau de pénétration. En outre, la ventilation mécanique doit être interrompue lorsqu'elle vient à pulser de l'air extérieur chaud chargé d'humidité dans une galerie à basse température, pour autant qu'il n'y ait pas d'accroissement d'autres risques.

5.6.4 *Dimensionnement de la ventilation mécanique*

On tiendra compte des secteurs de ventilation lors de la répartition des cloisons intérieures.

– *Dimensionnement d'après les valeurs limites de la température*

Les valeurs limites de la température sont en général déterminées d'après les conditions de travail physiologiquement acceptables, ou d'après la capacité des conduites d'électricité. Du fait de la grande influence exercée par le terrain environnant sur l'évacuation de chaleur, ainsi que par la compensation thermique qui s'établit avec la construction, l'effet de refroidissement dû à la ventilation est relativement faible. Il en va de même pour l'influence de la température extérieure.

– *Dimensionnement tenant compte des fuites de gaz*

La ventilation mécanique doit être dimensionnée de telle sorte qu'en période de service normal, où l'on peut concéder de légers défauts d'étanchéité à la conduite de gaz, la concentration de gaz demeure au-dessous de la limite explosive inférieure, avec un coefficient de sécurité suffisant.

5.6.5 *Indications relatives à la réalisation d'une ventilation*

C'est la quantité d'air nécessaire qui détermine principalement la section des prises d'air, dans le cas d'une ventilation naturelle.

L'aménagement de prises pour raccorder un dispositif mobile d'extraction d'air (employé par le service du feu), utilisable en cas d'avarie ou de travaux particuliers, est à examiner.

5.7 *Evacuation de l'eau dans la galerie technique*

5.7.1 *But et règles à observer*

Le but à atteindre est l'évacuation des eaux suivantes:

- eau de nappe phréatique et eau de ruissellement, pénétrant dans la galerie à cause de la perméabilité de ses parois;
- eau de nettoyage de la galerie;
- eau provenant éventuellement de la purge des conduites d'eau;

- eau pouvant provenir des conduites à chauffage urbain;
- eau suintant des conduites d'eau, par défaut d'étanchéité;
- eau de condensation.

La nécessité d'évacuer l'eau provenant d'une rupture de conduite relève du plan de sécurité.

Le système d'évacuation de l'eau doit répondre aux exigences suivantes:
- aucun gaz ne doit pouvoir passer de la galerie à la canalisation;
- aucune odeur ne doit se transmettre de la canalisation à la galerie (prévoir des siphons).

5.7.2 *Réseau interne, pour une quantité d'eau à évacuer peu importante*

Le système d'évacuation des eaux est semblable à celui d'un immeuble. Lorsque les apports d'eau sont peu importants, leur écoulement peut se faire dans une rigole longitudinale, si la galerie dispose d'une pente longitudinale.

5.7.3 *Evacuation de l'eau en cas de rupture de conduite*

On ne peut en général pas assurer par l'écoulement habituel l'évacuation de l'eau en cas de rupture de conduite, ne serait-ce que du fait de la capacité insuffisante de la canalisation à laquelle la galerie est raccordée. Dans le plan de sécurité, il faut fixer la quantité d'eau de fuite à prendre en considération pour l'évacuation par écoulement de galerie, en relation avec les dispositifs d'arrêt et de dérivation.

5.7.4 *Evacuation de l'eau dans une canalisation située plus bas que la galerie*

Cette disposition permet l'évacuation de l'eau par gravité. On prêtera une attention particulière au problème du refoulement.

5.7.5 *Evacuation de l'eau dans une canalisation placée au-dessus du niveau du radier*

Il est nécessaire dans ce cas de procéder par pompage dans un puisard. Le plan de sécurité indique s'il faut installer plusieurs pompes au lieu d'une seule. Il en va de même en ce qui concerne la mise en place d'une évacuation de secours séparée. Il faut alors poser, en plus de la pompe électrique, une seconde pompe, actionnée différemment. Il y a lieu en général de prévoir une installation de signalisation.

5.8 *Installations de signalisation*

5.8.1 *Considérations générales*

Ce n'est que lorsque toutes les mesures de sécurité active ont été examinées et s'avèrent insuffisantes qu'il y a lieu d'envisager la mise en place d'installations de signalisation et d'alarme. Celles-ci sont à définir dans le cadre du plan spécial de sécurité. Il faut cependant savoir que ces équipements n'ont qu'une efficacité limitée et nécessitent de gros frais d'entretien.

5.8.2 *Installations d'alarme-gaz*

Ces installations déclenchent une alarme (répercutée aux accès) dès qu'elles décèlent un mélange dangereux gaz-air. Dans les galeries techniques équipées d'une installation de ventilation, cette dernière peut être enclenchée pour diluer le mélange. Les installations de signalisation doivent être réglées de façon que l'alarme soit donnée au plus tard lorsque la concentration de gaz atteint le 50% du seuil inférieur d'explosion. On examinera la nécessité de dispositifs garantissant en cas de panne d'électricité la continuité du fonctionnement. Le système doit permettre de localiser une fuite. Les détecteurs seront placés à intervalles réguliers, ainsi qu'éventuellement au-dessus des raccords, vannes, etc.

Dans le cas où une galerie accède directement à un bâtiment, l'installation de détecteurs de gaz est indispensable. En plus, les entrées de service dans les bâtiments sont à rendre étanches. En cas de manque ou de non-fonctionnement d'installations de détection de gaz fixes, avant d'entrer dans une galerie, l'absence de gaz explosifs ou toxiques est vérifiée à l'aide d'instruments portables.

5.8.3 *Installations d'alarme-inondation*

Les installations d'alarme-inondation comportent des interrupteurs à flotteurs basculants, placés aux points bas et dans les puisards, disposés sur plusieurs niveaux, enclenchant ainsi des alarmes par paliers successifs.

5.8.4 *Installations d'alarme-incendie*

La nécessité d'une installation d'alarme-incendie sera examinée de cas en cas.

5.9 *Autres installations de service*

5.9.1 *Installations de télécommunications*

On examinera de quelle manière assurer les communications internes de service lors de visites de contrôle ou de réparations. Le choix dépendra de la longueur de la galerie, de la fréquence des contrôles et de la conception de l'entretien des installations des divers utilisateurs.

5.9.2 *Alimentation en énergie électrique*

On examinera la nécessité d'utiliser du matériel antidéflagrant pour l'équipement de service de la galerie.

5.9.3 *Eclairage*

Les galeries techniques seront en général équipées d'un éclairage électrique installé à demeure. On prévoira en outre l'installation d'un éclairage de secours indépendant du réseau.

5.9.4 *Nettoyage de la galerie*

L'éventualité d'utiliser des machines de nettoyage doit être examinée dès l'élaboration du projet (gabarit de passage, prise d'eau).

5.9.5 *Marquage et signalisation*

Les obstacles et les dispositifs en relation avec la sécurité doivent être clairement indiqués (seuils, sorties de secours, direction à suivre en cas d'évacuation). Il est recommandé de signaler les conduites par un marquage spécifique, bien visible et durable. Dans les systèmes de galeries techniques complexes, un balisage permet aux personnes non habituées de se situer et de retrouver leur chemin.

5.9.6 *Prescriptions d'utilisation*

On établira des règles de sécurité à observer lors des visites de la galerie, attirant l'attention sur les moyens de communication, de sécurité et d'évacuation.

6 Normalisation des plans pour conduites souterraines dans les tunnels communs pour les canalisations et les câbles de télécommunications

6.1 *Introduction*

Le présent § 6 décrit la représentation graphique des conduites souterraines dans les tranchées ou dans les tunnels communs.

La représentation graphique des conduites souterraines dans des tunnels communs est normalisée dans plusieurs pays. Nous nous limitons donc dans ce paragraphe à une présentation généralisée. Le gestionnaire du réseau concerné est responsable de l'actualisation des plans et documents.

Les plans contiendront toutes les indications nécessaires à l'exploitation, à l'entretien et à l'extension des conduites souterraines, ainsi qu'à leur protection et à leur maintien en bon état lors de travaux.

6.2 *Terminologie*

Le terme de **conduites souterraines** est défini dans cette Recommandation comme vecteur de distribution d'un fluide, reliant le lieu de production au lieu de consommation ou d'évacuation. Il s'agit aussi bien de canalisations de câbles de télécommunications que d'électricité.

6.3 *Champ d'application*

Les plans de conduites souterraines font partie d'un système global d'information. Situées sur le domaine public ou privé, ces conduites constituent les réseaux publics de distribution et d'évacuation, ainsi que de la protection de l'environnement.

6.4 *Règles applicables aux plans des conduites souterraines*

6.4.1 *Etendue des informations*

Les plans de conduites souterraines contiendront, à l'intention de leurs utilisateurs, des informations complètes et tenues à jour portant sur les points suivants:

- les caractéristiques des diverses conduites;
- leur emplacement et leur niveau;
- leurs corrélations.

6.4.2 *Caractéristiques*

Les plans contiendront toutes les indications nécessaires à l'exploitation, à l'entretien et à l'extension des conduites souterraines, ainsi qu'à leur protection et à leur maintien en bon état lors de travaux; ils répondront aux particularités de chacun des réseaux.

6.4.3 *Emplacement et niveau*

La position des conduites et éléments de conduite doit pouvoir être repérée sur place avec précision à partir des plans, reportée sur d'autres documents, et rattachée sans équivoque aux points de la mensuration officielle. Les levés se feront de manière conforme aux règles en usage dans le domaine de la mensuration.

6.4.4 *Corrélations*

On doit pouvoir repérer sur les plans la manière dont les conduites représentées se relient au réseau dont elles font partie. Des plans d'ensemble ou des diagrammes sont souvent nécessaires.

6.5 *Plan de base*

6.5.1 *Règles particulières*

Le plan de base est le référentiel des plans des conduites souterraines. Il a pour objet de définir la configuration des lieux où se situent les conduites.

6.5.2 *Contenu*

Le plan de base contient essentiellement des informations sur les points suivants:

- points fixes (points de triangulation, points de base et points de nivellement);
- limites des biens-fonds, frontières;
- bâtiments;
- nature et délimitation des cultures.

6.6 *Plan des conduites ou de réseau*

6.6.1 *Types de plans*

Le plan de réseau mentionne tous les équipements et dispositifs de commande à distance appartenant à un réseau de distribution ou d'évacuation. On distingue les plans de réseau suivants:

- eaux à évacuer;
- électricité;
- installations de télécommunications;
- chauffage urbain;
- gaz;
- installation d'antennes collectives;
- eaux.

6.6.2 *Règles particulières*

Tout plan de conduites ou de réseaux doit répondre aux besoins de l'exploitant dudit réseau. Les règles suivantes lui sont applicables:

- il contiendra les informations requises par les dispositions légales;
- il donnera au sujet des conduites des renseignements concernant leur développement, leur construction, leur exploitation et leur entretien;
- il contiendra les indications utiles en cas de panne ou de dérangement;
- il fournira aux exploitants et aux tiers des renseignements sur la position et le niveau des conduites.

6.6.3 *Contenu*

Le contenu d'un plan de conduites englobe en règle générale les données suivantes:

Données géométriques:

- emplacements des conduites;
- niveau des conduites.

Données sur les conduites:

- fluide transporté;
- entreprise gestionnaire;
- fonction;
- genre et contenu;
- profil;
- dimensions;
- matériau;
- état d'exploitation;
- éléments d'ouvrage ou de conduite;
- identification.

Données sur les installations auxiliaires:

- dispositifs de protection.

6.6.4 *Echelles des plans*

Le choix de l'échelle dépend de la densité des conduites posées. L'échelle du plan des conduites doit correspondre si possible à celle du plan de base établi à partir de la mensuration.

Les échelles suivantes sont conseillées: 1:100, 1:200, 1:250 ou 1:500 selon la densité de construction.

6.7 *Etablissement des plans*

6.7.1 *Définition*

Par **établissement des plans et gestion de l'information**, on entend la saisie, la tenue à jour, le traitement et la représentation de toutes les données qui concernent les conduites souterraines. Cela permet de traiter manuellement ou par l'informatique tout système d'information sur les conduites souterraines.

6.7.2 *Levés de plan*

Les principes de levés sont les suivants:

Lors de leur pose ou de leurs modifications, les conduites sont relevées quant à leur emplacement et au besoin à leur niveau.

Si des fouilles mettent au jour des conduites jusqu'alors inconnues ou dont l'emplacement était incertain, celles-ci doivent être relevées. Cette règle s'applique également aux conduites repérées par détection.

6.7.3 *Précision de l'emplacement*

La précision des points utilisés pour repérer les conduites doit correspondre aux prescriptions de la mensuration cadastrale.

6.7.4 *Méthodes de levé*

On recourra à l'une des méthodes de levé suivantes:

- coordonnées polaires;
- coordonnées orthogonales;
- recoupement de distances;
- prolongements.

6.7.5 *Procédé de réalisation des plans*

- Système du plan unique. Le plan de base et les informations relatives aux conduites figurent sur le même support. Les conduites sont reportées sur le plan de base.
- Système des plans distincts superposables. Dans ce système, chaque niveau de données se trouve sur une feuille distincte. Le plan de base, les données des conduites ainsi que les données relatives à un réseau peuvent représenter différents niveaux de données.

6.7.6 *Représentation*

Les conduites sont définies graphiquement au moyen des signes conventionnels décrits dans les normes spéciales.

6.7.7 *Ecriture*

L'écriture doit être bien lisible, homogène et supporter la réduction et la reproduction.

6.8 *Recours à l'informatique – Analyse générale*

Un très grand nombre de données relatives aux conduites souterraines doivent être saisies, mises en mémoire, tenues à jour, traitées et représentées. De plus, il faut pouvoir obtenir ces données dans des combinaisons différentes. C'est pourquoi il y a intérêt à recourir à l'informatique. L'édification d'un système intégré d'information sur les conduites souterraines n'est possible que par ce moyen. Un tel système permet de prendre en considération diverses exigences, par exemple de combiner divers niveaux de données en utilisant le procédé automatique des plans distincts superposables; il permet aussi d'obtenir des extraits (plan, listes, etc.) à contenu différencié.

Un système d'information sur les conduites souterraines doit être conçu comme une suite d'opérations ininterrompues, à partir de la saisie des données sur le terrain ou au bureau, jusqu'à l'édition de plans et de listes, en passant par la mise en mémoire et le traitement.

6.9 *Tenue à jour des plans*

6.9.1 *Tenue à jour*

Les plans des conduites ne peuvent remplir leur rôle que s'ils sont constamment mis à jour. Il faut donc observer les principes suivants:

- les données relatives aux conduites nouvelles ou modifiées seront relevées et traitées dès l'exécution des travaux;
- la tenue à jour du plan de base doit être assurée.

6.9.2 *Accès aux données de localisation*

Entre l'instant où la pose d'une conduite est terminée et celui de son report sur le plan, on doit pouvoir consulter en tout temps les documents de localisation.

6.10 *Plan-modèle*

6.10.1 *Contenu*

Le plan-modèle repris en annexe C représente en plus des tunnels avec les conduites de transport, les canalisations de conduites de distribution.

6.10.2 *Représentation graphique*

Les tunnels et canalisations sont dessinés à l'échelle, dont la largeur correspond au diamètre intérieur des tubes.

6.10.3 *Représentation des conduites*

Une multitude de conduites ou de câbles sont généralement logés, posés ou fixés à l'intérieur des tunnels; une représentation de chaque conduite n'est plus possible. Nous avons donc recours à une représentation par coupes. Ces coupes qui donnent la section du tunnel, sont placées à côté de la canalisation ou sur des feuilles séparées avec une indication de leur localisation.

Les embranchements, les épissures, les dérivations, etc., ainsi que d'autres informations de détail seront reportés sur des plans ou fichiers spéciaux. Les conduites de distribution des différents fluides seront désignées par des signes conventionnels.

ANNEXE A

(à la Recommandation L.11)

TABLEAU A-1/L.11

Plan de sécurité à l'égard des dangers extérieurs

Danger	Conséquences	Niveau de risque	Sécurité recherchée	Mesures de prévention possibles [a]		
				A la source du danger	Lors de la construction	En service
Pénétration de gaz en provenance de conduites parallèles ou aux croisements	Explosion Incendie Asphyxie ou empoisonnement de personnes	Evénement rare, ce danger ne se présentant que lors d'une rupture de conduite. Les dégâts sont alors importants (aux personnes, aux conduites, à la galerie)	Même sécurité que pour la structure porteuse des constructions	Etancher ou remplacer la conduite de gaz	Etancher les traversées de conduites entre galerie et terrain Ventilation naturelle Ventilation forcée (galerie en surpression) Diviser la galerie en tronçons, avec cloisons ignifuges	Mesurer la concentration de gaz avant de pénétrer dans la galerie Contrôler périodiquement la concentration de gaz
Irruption d'eau provenant de l'extérieur	Occupants pouvant être noyés Dégâts aux conduites	Evénement rare	Sécurité de la distribution	Protection contre les hautes eaux	Ouvertures judicieusement placées Portes, portillons et couvercles étanches à l'eau Amarrage de tous les tuyaux contre une poussée ascensionnelle éventuelle Système efficace d'évacuation de l'eau	Installation de surveillance
Instabilité du sol de fondation	Rupture de conduites, en particulier aux points de passage entre la galerie et le terrain	Effets prévisibles	Même sécurité que pour la structure porteuse des constructions	Consolidation du sol de fondation	Fixations souples Exécution appropriée des traversées de conduites	Surveillance par mensurations

[a] L'énumération faite dans ce tableau des mesures de prévention possibles n'est pas exhaustive.

TABLEAU A-1/L.11 *(suite)*

Danger	Conséquences	Niveau de risque	Sécurité recherchée	Mesures de prévention possibles [a]		
				A la source du danger	Lors de la construction	En service
Secousses telluriques	Rupture de conduites, en particulier aux points de passage entre la galerie et le terrain	Evénement d'un degré de probabilité variable; selon les régions: effets importants	Garantie de fonctionnement de toutes les conduites		Fixations résistant aux secousses telluriques Exécution spéciale des traversées de conduites	
Action des armes, explosion, impact	Rupture de conduites	En temps de guerre, effets incluant vraisemblablement de graves dommages	Garantie de fonctionnement de toutes les conduites		Fixations résistant aux chocs Exécution appropriée des traversées de conduites	
Sabotage	Rupture de conduites Explosion Incendie	Evénement rare	Garantie de fonctionnement de toutes les conduites		Accès pouvant être verrouillés	Contrôle des entrées

[a] L'énumération faite dans ce tableau des mesures de prévention possibles n'est pas exhaustive.

TABLEAU A-2/L.11

Plan de sécurité à l'égard des risques inhérents aux conduites posées en galerie

Description des risques		Conséquence	Niveau de risque	Sécurité recherchée	Mesures de prévention possibles [a]		
Réseau	Danger				A la source du danger	Dans la galerie	En service
Electricité	Feu, fumée	Lésions corporelles Ruptures de conduites Câbles en feu Destruction des enduits de protection contre la corrosion et des isolations	Evénement rare, avec mise en danger de personnes et dégats matériels importants	A l'égard des personnes, même sécurité que celle apportée à la structure porteuse des constructions	Pose soignée des conduites	Etablir des tronçons séparés par des cloisons résistant au feu	Installation d'alarme-incendie
	Vapeurs toxiques et agressives	Intoxication de personnes Dommages aux conduites et aux éléments métalliques			Diminution du nombre de conduites avec gaine PVC Suppression de pièces de fixation de câbles en PVC		
	Fuites d'huile, en provenance de câbles à huile	Pollution de la nappe phréatique et de l'eau de source	Evénement rare, avec mise en danger indirecte de personnes	A l'égard des personnes, même sécurite que celle apportée à la structure porteuse des constructions	Disposer les câbles à huile le plus haut possible dans la galerie	Dispositif pour la captage de l'huile	Surveillance de la pression d'huile
Gaz	Explosion et incendie par suite de fuite	Dommages aux personnes Ruptures de conduites Dégâts à la galerie	Evénement rare, mise en danger de personnes et dégâts matériels importants	A l'égard des personnes, même sécurité que celle apportée à la structure porteuse des constructions	Exécution des conduites en tuyaux acier, et contrôle des raccords soudés	Ventilation naturelle Ventilation mécanique Cloisonnements étanches au gaz et résistant au feu	Contrôle périodique de l'étanchéité des conduites Contrôle des conduites à l'égard de la corrosion Mesure périodique de la concentration de gaz Mesure de la concentration de gaz lors de chaque visite
	Présence de gaz sans explosion	Asphyxie et intoxication de personnes	Evénement rare, lésions corporelles				

[a] L'énumération faite dans ce tableau des mesures de prévention possibles n'est pas exhaustive.

TABLEAU A-2/L.11 *(suite)*

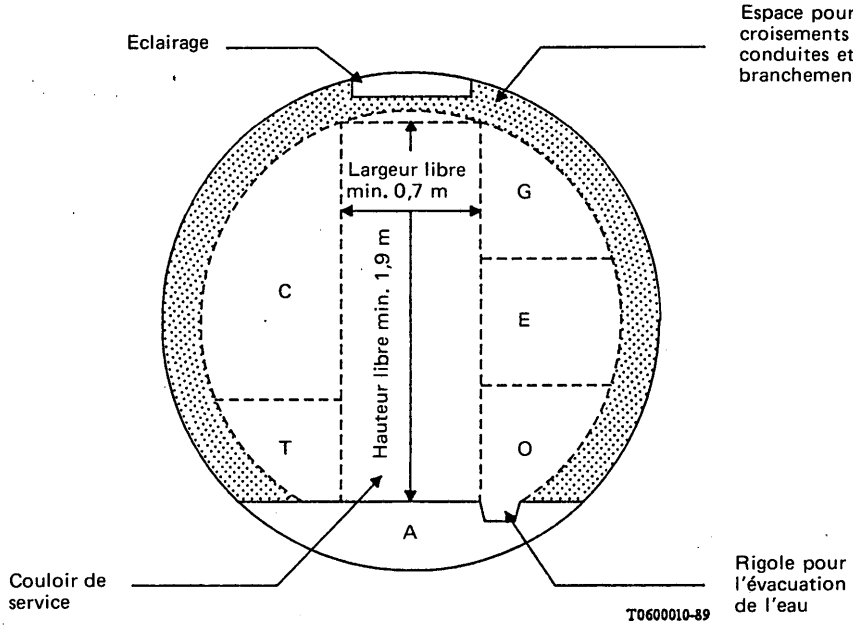
Description des risques		Conséquence	Niveau de risque	Sécurite recherchée	Mesures de prévention possibles [a]		
Réseau	Danger				A la source du danger	Dans la galerie	En service
Eau	Inondation de la galerie par suite de rupture de conduite	Occupants pouvant être noyés Dégâts aux conduites	Evénement rare, avec mise en danger de personnes et dégâts matériels peu importants	A l'égard des personnes, même sécurité que celle apportée à la structure porteuse des constructions	Installation soigneusement étudiée exécutée	Fixations solides Vannes automatiques Système efficace d'évacuation d'eau Amarrage de tous les tuyaux contre une poussée ascensionnelle	Contrôle périodique de l'étanchéité des conduites Contrôle de la corrosion Installation d'alarme (interrupteur avec flotteur)
Chauffage urbain	Echappement de vapeur ou d'eau chaude par suite de rupture de conduite ou de fuite	Dommages aux personnes Ruptures de conduites et autres dégâts aux conduites, dus à une élévation rapide de la température	Evénements rare, avec dégâts importants	A l'égard des personnes, même sécurité que celle apportée à la structure porteuse des constructions	Mise en place soignée des conduites	Vannes d'arrêt aux extrémités de la galerie, commandées de l'extérieur Vannes d'arrêt télécommandées Cloisonnement	Installation d'alarme
Eaux à évacuer	Submersion partielle	Dégâts aux conduites	Evénements rare, avec dégâts matériels peu importants	Limitation des dégâts matériels	Mise en place des conduites au-dessus du niveau d'eau le plus haut		
	Inondation de toute la galerie	Dommages aux personnes et dégâts matériels	Evénement rare	A l'égard des personnes, même sécurité que celle apportée à la structure porteuse des constructions	Accés et regards de visite étanches et verrouillables	Amarrage des conduites contre une poussée ascensionnelle	

[a] L'énumération faite dans ce tableau des mesures de prévention possibles n'est pas exhaustive.

ANNEXE B

(à la Recommandation L.11)

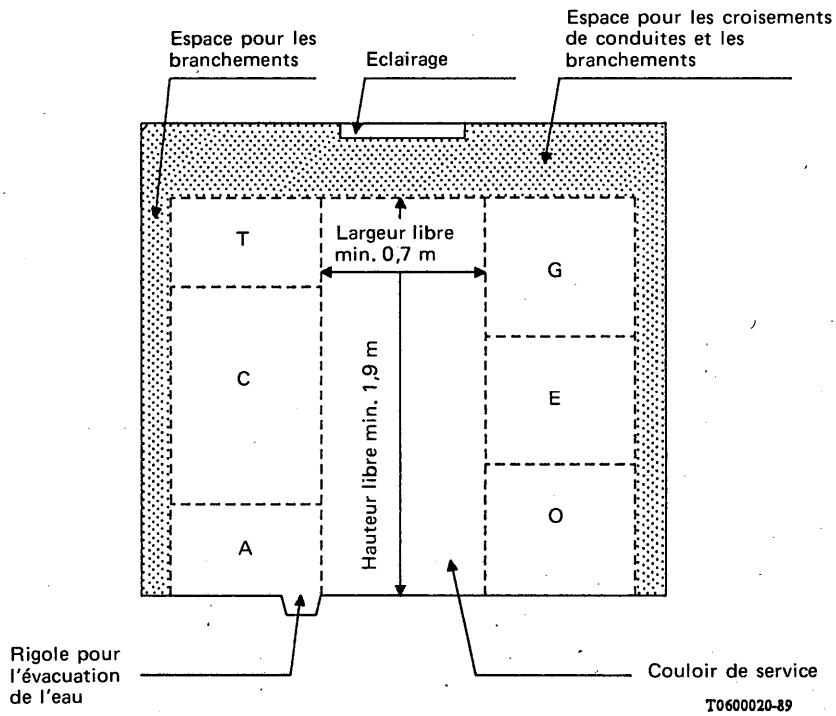
Exemples de profils de galeries



T Zone des conduites de télécommunications (batterie de tubes)
E Zone des conduites d'électricité
G Zone des conduites de gaz
O Zone des conduites d'eau
C Zone des conduites de chauffage urbain
A Zone des canalisations pour les eaux usées

FIGURE B-1/L.11

Exemple de section circulaire



T Zone des conduites de télécommunications (câbles apparents)
E Zone des conduites d'électricité
G Zone des conduites de gaz
O Zone des conduites d'eau
C Zone des conduites de chauffage urbain
A Zone des canalisations pour les eaux usées

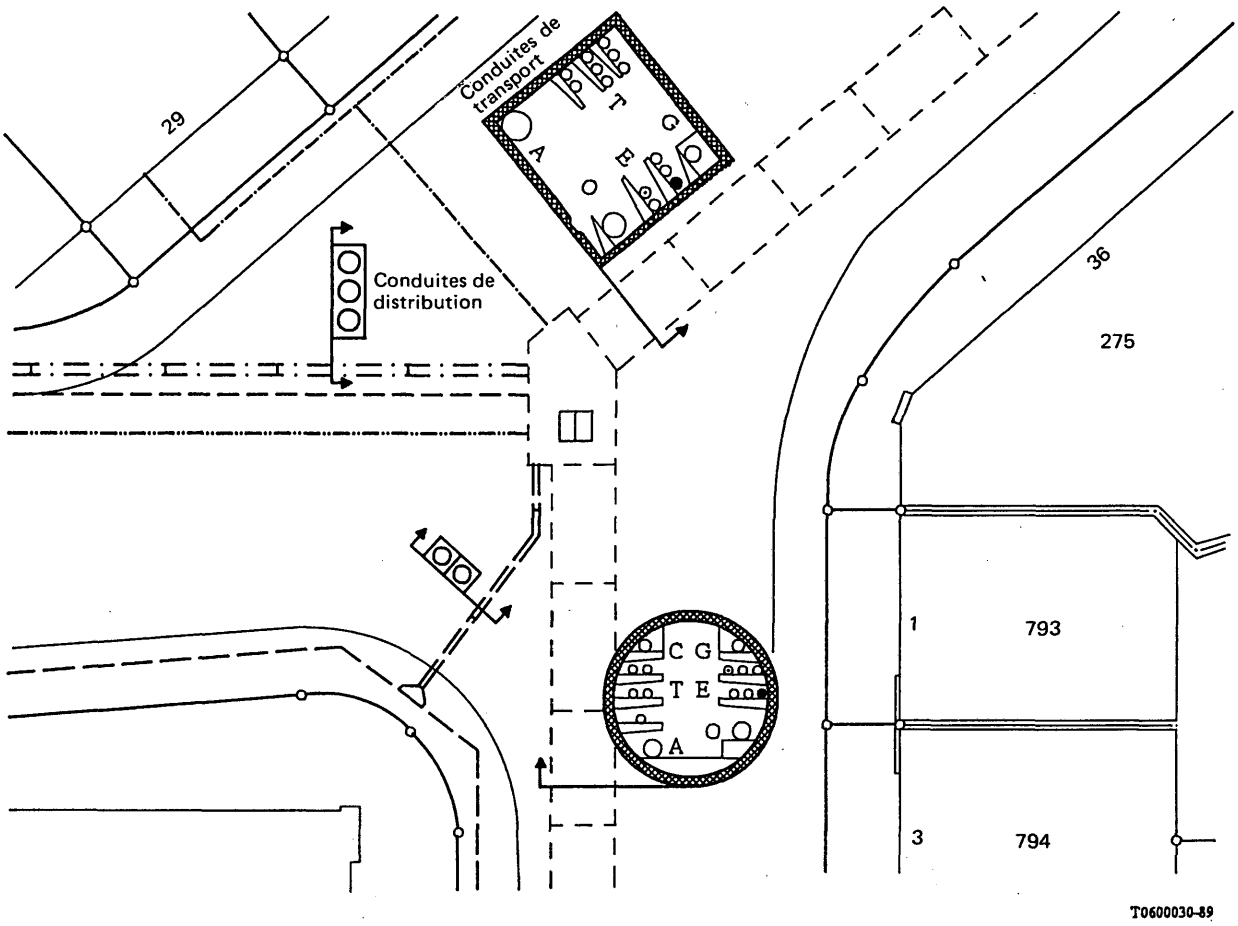
FIGURE B-2/L.11

Exemple de section rectangulaire

ANNEXE C

(à la Recommandation L.11)

Plan-modèle



Signes conventionnels

– – – – – – – –	Eléments de construction ou installations invisibles
————————	Eléments de conduites visibles
————————	Informations provenant du plan cadastral (rues, parcelles, bâtiments, etc.)
– – – – – – – –	Eaux à évacuer, A
– — – — – — – —	Electricité, E
– · – · – · – · –	Installations de télécommunications, T
–··–··–··–··–··	Gaz, G
— — · — — · — — ·	Chauffage urbain, C
— · · · — · · · — · · · —	Installations d'antennes collectives, V
—·—·—·—·—·—·—	Eau, O

FIGURE C-1/L.11

Plan-modèle

ISBN 92-61-03742-9