



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.

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

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.

COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

(C.C.I.T.T.)

---

# CINQUIÈME ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE

GENÈVE, 4-15 DÉCEMBRE 1972

---

LIVRE VERT

## TOME IX

---

### Protection

1<sup>re</sup> Partie — Avis (Série K) et Questions (Commission V) relatifs à la protection  
contre les perturbations

2<sup>e</sup> Partie — Avis (Série L) et Questions (Commission VI) relatifs à la protection  
des enveloppes de câble et des poteaux

Publié par  
L'UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

1973

COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

(C.C.I.T.T.)

---

# CINQUIÈME ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE

GENÈVE, 4-15 DÉCEMBRE 1972

---

LIVRE VERT

## TOME IX

---

### Protection

1<sup>re</sup> Partie — Avis (Série K) et Questions (Commission V) relatifs à la protection  
contre les perturbations

2<sup>e</sup> Partie — Avis (Série L) et Questions (Commission VI) relatifs à la protection  
des enveloppes de câble et des poteaux



Publié par  
L'UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

1973

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

**CONTENU DES LIVRES DU C.C.I.T.T.  
EN VIGUEUR APRÈS LA CINQUIÈME ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE (1972)**

**LIVRE VERT**

- Tome I** — Procès-verbaux et rapports de la V<sup>e</sup> Assemblée plénière du C.C.I.T.T.  
— Résolutions et vœux émis par le C.C.I.T.T.  
— Tableau général des Commissions et des Groupes de travail pour la période 1973-1976.  
— Tableau récapitulatif des questions à l'étude pendant la période 1973-1976.  
— Texte des avis (série A) relatifs à l'organisation des travaux du C.C.I.T.T.  
— Texte des avis (série B) relatifs aux moyens d'expression.
- Tome II A** — Avis (série D) et questions (Commission III) relatifs à la location des circuits.  
— Avis (série E) et questions (Commission II) relatifs à l'exploitation et à la tarification téléphoniques.
- Tome II B** — Avis (série F) et questions (Commission I) relatifs à l'exploitation et à la tarification télégraphiques.
- Tome III** — Avis (séries G, H, J) et questions (Commissions XV, XVI, Spéciales C et D) relatifs à la transmission sur les lignes.
- Tome IV** — Avis (séries M, N et O) et questions (Commission IV) relatifs à la maintenance des lignes, des circuits et des chaînes de circuits internationaux.
- Tome V** — Avis (série P) et questions (Commission XII) relatifs à la qualité de la transmission téléphonique et aux appareils téléphoniques.
- Tome VI** — Avis (série Q) et questions (Commissions XI et XIII) relatifs à la signalisation et à la commutation téléphoniques.
- Tome VII** — Avis (séries R, S, T, U) et questions (Commissions VIII, IX, X, XIV) relatifs à la technique télégraphique.
- Tome VIII** — Avis (séries V et X) et questions (Commission VII et Spéciale A) relatifs aux transmissions de données.
- Tome IX** — Avis (série K) et questions (Commission V) relatifs à la protection contre les perturbations.  
— Avis (série L) et questions (Commission VI) relatifs à la protection des enveloppes de câble et des poteaux.

Chaque tome contient, pour son domaine et s'il y a lieu :

- des définitions des termes spécifiques utilisés;
- des Suppléments d'information documentaire.

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

TABLE DES MATIÈRES DU TOME IX DU LIVRE VERT

PROTECTION

1<sup>re</sup> partie — Avis (Série K) et Questions relatifs à la protection contre les perturbation

<i>No de l'Avis</i>		<i>Pages</i>
K. 1	Mise à la terre d'un circuit téléphonique à fréquences vocales en câble . . . . .	9
K. 2	Protection des systèmes de téléalimentation des répéteurs contre les perturbations dues aux lignes électriques voisines . . . . .	10
K. 3	Troubles provoqués par des signaux à fréquence vocale injectés dans un réseau de distribution d'énergie . . . . .	10
K. 4	Perturbations causées à la signalisation . . . . .	10
K. 5	Emploi conjoint de poteaux pour les télécommunications et pour la distribution d'électricité	11
K. 6	Précautions à prendre aux croisements . . . . .	11
K. 7	Dispositifs de protection contre les chocs acoustiques . . . . .	13
K. 8	Séparation, dans le sol, des installations de télécommunication et des installations de transport d'énergie . . . . .	14
K. 9	Protection du personnel et des installations de télécommunication contre un gradient de potentiel élevé dans le sol, dû à une ligne de traction électrique voisine . . . . .	16
K.10	Dissymétrie des installations de télécommunication . . . . .	17
K.11	Utilisation de parafoudres à gaz raréfié et de fusibles . . . . .	17
K.12	Spécifications concernant les conditions auxquelles doivent satisfaire les parafoudres comportant des électrodes dans une atmosphère gazeuse et destinés à la protection des installations de télécommunication . . . . .	18
K.13	Tensions induites dans des câbles à conducteurs isolés au moyen de matière plastique . . . . .	32
K.14	Emploi d'un écran métallique sur les câbles à revêtement en matière plastique . . . . .	33
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 . . . . .	34
K.16	Méthode simplifiée de calcul pour évaluer les effets d'induction magnétique des lignes électriques sur les répéteurs téléalimentés des systèmes de télécommunication sur paires coaxiales . . . . .	38
	Questions confiées à la Commission d'études V — Libellés . . . . .	61
	— Tableau récapitulatif . . . . .	76

2<sup>e</sup> partie — Avis (Série L) et Questions relatifs à la protection des enveloppes de câble et des poteaux

L.1	Protection contre la corrosion . . . . .	79
L.2	Imprégnation des poteaux en bois . . . . .	79
L.3	Armure des câbles . . . . .	80
L.4	Enveloppes de câble en aluminium . . . . .	82
L.5	Réalisation d'enveloppes de câble en métaux autres que le plomb ou l'aluminium . . . . .	85
	Questions confiées à la Commission d'études VI — Libellés . . . . .	87
	— Tableau récapitulatif . . . . .	120

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

# **PROTECTION**

## **NOTE LIMINAIRE**

Dans le but d'alléger la rédaction des Avis faisant l'objet du présent tome, l'expression « Administration » est utilisée dans ces Avis pour désigner de façon abrégée aussi bien une Administration de télécommunications qu'une Exploitation privée reconnue de télécommunications.

## PREMIÈRE PARTIE

# AVIS (SÉRIE K) ET QUESTIONS RELATIFS À LA PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS \*

## AVIS DE LA SÉRIE K

Avis K.1 (New Delhi, 1960)

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

#### *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 C.C.I.T.T. émet, à l'unanimité, l'avis suivant :*

Il est recommandable 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 C.C.I.T.T. au sujet des conditions de coexistence de la téléphonie et de la télégraphie (Avis de la série H).

\* Voir également les *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques.*

**Avis K.2** (New Delhi, 1960)

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

Afin d'éviter que le fonctionnement de la téléalimentation des répéteurs 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 C.C.I.T.T. 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.

**Avis K.3** (New Delhi, 1960)

### TROUBLES PROVOQUÉS PAR DES SIGNAUX À FRÉQUENCE VOCALE INJECTÉS DANS UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'ÉNERGIE

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 télécommunication 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.

**Avis K.4** (Genève, 1964)

### PERTURBATIONS CAUSÉES À LA SIGNALISATION

Pour diminuer les perturbations causées à la signalisation à courant continu ou à courant alternatif à fréquence industrielle sur des lignes de télécommunication 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 <sup>1</sup> du circuit de signalisation par rapport à la terre, même pendant les opérations de commutation; 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;

<sup>1</sup> Voir le chapitre XVI des *Directives*, édition 1963.

- emploi de transformateurs-neutralisateurs pour compenser sur les circuits de télécommunication les courants produits par les tensions induites;
- emploi de circuits accordés pour assurer une impédance élevée aux fréquences du courant perturbateur.

*Remarque.* — Les *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques* mentionnent une limite de 60 V pour la tension induite dans les lignes de télécommunication. 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 dans les *Directives* (édition 1963, chapitre V, section 3, n° 45).

**Avis K.5** (Genève, 1964)

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

Les Administrations des télécommunications désirant adopter l'utilisation conjointe des mêmes supports pour les lignes de télécommunication 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 télécommunication que pour les installations de télécommunication. 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 (voir les chapitres IV, V et XX des *Directives*, édition 1963).
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.

**Avis K.6** (Genève, 1964)

### PRÉCAUTIONS À PRENDRE AUX CROISEMENTS

#### *Introduction*

Les croisements entre les lignes de télécommunication 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.

Étant donné l'état actuel de la technique et l'expérience acquise dans les différents pays, il semble maintenant possible au C.C.I.T.T. d'émettre un avis 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 télécommunication doit croiser une ligne électrique, d'employer une des deux méthodes suivantes: soit mettre la ligne de télécommunication 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 est 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 télécommunication 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 télécommunication 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 télécommunication présentent une plus grande résistance au claquage.
- 2.2 *Isolation des conducteurs*, de préférence ceux de télécommunication, 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 (C.E.I.), 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 les *Directives* — édition 1963, chapitre préliminaire, section 3.2.3.)  
Disposition à prendre: 2.3, si c'est nécessaire.
- 3.3 *Réseaux à des tensions intermédiaires*

Étant 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.

Avis K.7 (Genève, 1964)

## DISPOSITIFS DE PROTECTION CONTRE LES CHOCS ACOUSTIQUES

Il peut, dans des circonstances défavorables, se présenter aux bornes du récepteur d'un appareil téléphonique de hautes crêtes de tension de courte durée qui causent, à la capsule réceptrice, des pressions acoustiques si fortes que l'état de fonctionnement de l'oreille humaine et du système nerveux qui lui est relié est exposé à des dangers. De telles crêtes de tension peuvent principalement se produire lorsque les parafoudres, insérés dans 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 C.C.I.T.T. a recommandé 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 chapitre I/6 des *Directives*, page 16).

Le montage du dispositif, comprenant par exemple deux redresseurs connectés en parallèle, dont les sens de passage sont opposés, ou d'autres éléments semi-conducteurs, s'est manifesté comme moyen efficace et économique pour supprimer des chocs de tension de courte durée au récepteur de l'appareil téléphonique et la mise en danger possible de l'oreille humaine en résultant. Les deux redresseurs sont, dans ce cas, connectés directement en parallèle sur le récepteur téléphonique.

Pour répondre aux conditions de construction du reste de l'équipement, permettre un contrôle rapide de la capacité de fonctionnement des dispositifs de protection contre les chocs acoustiques et ne pas porter dans une mesure inadmissible préjudice à la qualité de la transmission téléphonique, il est recommandé que ces dispositifs aient les caractéristiques suivantes:

1. Il y a intérêt que les dimensions du dispositif de protection contre les chocs acoustiques soient telles qu'il n'occupe qu'un volume restreint (et, par exemple, puisse être placé dans le boîtier d'un récepteur téléphonique de poste d'opératrice ou de poste d'abonné).

2. Ce dispositif doit être solidement réalisé. Ses caractéristiques électriques doivent demeurer inaltérées dans les conditions de température et d'humidité qui peuvent se présenter à l'endroit de son utilisation.

3. Le dispositif doit être établi en fonction des caractéristiques des récepteurs téléphoniques auxquels il doit être le plus souvent associé de sorte qu'il ne subisse aucun échauffement excessif par suite de son fonctionnement.

4. Le dispositif doit être établi de façon telle que, pendant le fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions sur les lignes (par exemple l'amorçage et le fonctionnement des parafoudres à gaz raréfié), l'amplitude de pression produite par le diaphragme du récepteur téléphonique ne puisse pas dépasser environ 120 dB au-dessus de  $2 \cdot 10^{-4}$  microbar à 1000 Hz.

*Remarque* — Les essais ont montré que le dispositif de protection du type mentionné ci-dessus possède des propriétés qui permettent de réaliser sans difficulté cette condition, lorsqu'on se trouve en présence d'impulsions de surtension et non d'une surcharge de tension continue.

5. Le tableau ci-après indique, pour certains dispositifs de protection utilisés en liaison avec un poste téléphonique déterminé, les limites d'affaiblissement (mesuré avec un signal sinusoïdal de 800 Hz) qu'il convient de respecter pour un certain nombre de niveaux de la tension appliquée aux bornes de ce poste. On admet que l'impédance de ligne est égale à 600 ohms. Aux fins de ces mesures, le récepteur est remplacé par une résistance pure de valeur correspondante au module de l'impédance du récepteur à 800 Hz et l'affaiblissement est exprimé sous la forme du rapport des tensions (exprimées en unités de transmission) aux bornes de cette résistance en présence et en l'absence du dispositif de protection.

Les mesures doivent être faites au moyen d'un instrument indiquant les valeurs efficaces (ou, éventuellement, des valeurs moyennes rectifiées).

Niveau de tension aux bornes (Niveau de référence 0,775 V)	Affaiblissement
Décibels	Décibels
- 17,4	< 0,43
- 8,7	< 0,43
0	≤ 1,7
+ 8,7	> 5,2
+ 17,4	> 10,4
+ 26,1	> 15,6

Lors de l'examen d'un type nouveau de dispositif, il peut être utile d'effectuer quelques mesures analogues pour s'assurer qu'aux fréquences comprises entre 200 Hz et 4000 Hz les valeurs moyennes des affaiblissements d'insertion sont du même ordre.

6. Les Administrations qui le désireraient peuvent déterminer les limites à spécifier pour les essais de réception d'un dispositif de protection qu'elles estiment approprié à leurs postes téléphoniques et qui répond aux conditions du paragraphe 5 ci-dessus, en mesurant directement l'affaiblissement d'insertion d'un échantillon de ce dispositif entre les résistances représentant le récepteur et le circuit associé de leurs combinés et en donnant les résultats de ces mesures comme valeurs limites de l'affaiblissement d'insertion mesuré entre les valeurs de résistance utilisées.

7. Il convient d'observer que les harmoniques produits pendant le fonctionnement du dispositif, d'après le paragraphe 4 ci-dessus, par la non-linéarité de la caractéristique du dispositif, peuvent contribuer à l'amplitude de pression. Cependant, des effets nuisibles provoqués par les harmoniques ne se manifestent pas lorsque les conditions appliquées du paragraphe 5 sont remplies.

**Avis K.8** (Mar del Plata, 1968)

### SÉPARATION, DANS LE SOL, DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATION ET DES INSTALLATIONS DE TRANSPORT D'ÉNERGIE

La valeur possible des tensions dans le sol au voisinage des câbles de télécommunication dépend d'un certain nombre de facteurs, tels que la tension du réseau électrique, l'intensité du courant de défaut, la résistivité du sol, la disposition du réseau électrique et des installations de télécommunication, enfin diverses autres particularités locales. Il n'est donc pas possible de proposer des règles générales concernant la séparation minimale à recommander. En principe, l'influence du réseau d'énergie électrique sur l'installation de télécommunication devrait être vérifiée par des essais, chaque fois que les conditions laissent supposer la possibilité de tensions excessives. Cependant, de tels essais donneraient bien souvent lieu à des travaux prohibitifs. L'expérience a montré qu'il ne se produit aucune difficulté si l'on admet une distance d'au moins 10 mètres entre l'installation de téléphonie et le socle d'un pylône, à condition que la résistivité du sol ne soit pas exagérée (quelques centaines d'ohm-mètres) et qu'aucune circonstance, connue ou soupçonnée, ne soit de nature à rendre cette séparation insuffisante. Il arrive en effet que certaines circonstances connues ou soupçonnées obligent à accroître la séparation; c'est ainsi qu'en Suède on a dû la porter à 50 mètres dans certains cas où les paramètres du sol avaient des valeurs extrêmes.

Il peut d'un autre côté arriver qu'une séparation de 10 mètres ne soit pas nécessaire, et, dans certains pays, on a constaté que, dans des cas bien déterminés, une séparation de deux mètres ou moins était suffisante (voir l'annexe suivante).

Si des conditions locales interdisent de respecter la séparation requise, on peut munir le câble de télécommunication d'une isolation appropriée pendant son passage dans la zone où la tension dans le sol risque d'être excessive (par exemple en le plaçant dans une conduite ou en le munissant d'un revêtement isolant).

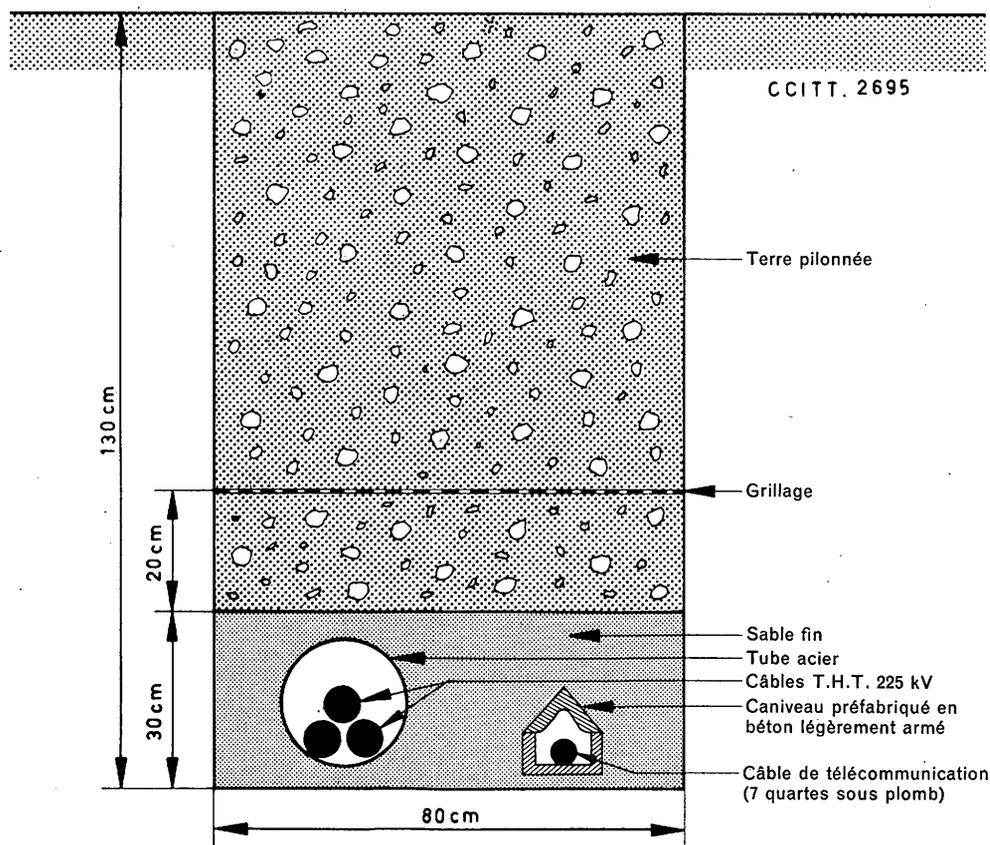
ANNEXE  
(à l'Avis K.8)

Information fournie par la C.I.G.R.E. (1964-1968)

Le croquis ci-après représente un exemple de réalisation dans la Région parisienne où un câble de télécommunication est posé dans la même tranchée qu'un câble haute tension à 225 kV sur une longueur de 4911 m. Les trois câbles d'énergie monophasés sont dans un tube d'acier mis soigneusement à la terre à ses extrémités et le câble de télécommunication (7 quartes sous plomb) est placé dans un caniveau préfabriqué en béton légèrement armé.

Des mesures d'induction effectuées pour plusieurs valeurs du courant de court-circuit ont fait apparaître sur la totalité du circuit de télécommunication (4911 m) les forces électromotrices induites suivantes :

Courant de court-circuit (en ampères) . . . . .	100	200	400
F.é.m. induite (en volts par ampère) . . . . .	0,055	0,046	0,036



Tranchée commune pour un câble d'énergie et un câble de télécommunication

Avis K.9 (Mar del Plata, 1968)

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

*Généralités*

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 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).

*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.

*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.

*Câbles de télécommunication*

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

*Conditions à remplir par les installations de l'Administration des P.T.T. 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.

Avis K.10 (Mar del Plata, 1968)

### DISSYMMÉTRIE DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATION

Pour maintenir une symétrie satisfaisante des installations de télécommunication et des lignes qui leur sont connectées, il est recommandé que les valeurs minimales admissibles concernant la symétrie 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 Avis du C.C.I.T.T.<sup>1</sup>, des valeurs minimales plus élevées appropriées à des besoins particuliers.

Avis K.11 (Genève, 1972)

### UTILISATION DE PARAFODRES À GAZ RARÉFIÉ ET DE FUSIBLES

Pour protéger les équipements contre les surtensions sur les lignes, il est recommandé d'employer des parafoudres à gaz raréfié ayant une faible tension d'amorçage de choc, car cela permet une certaine simplification dans les systèmes de protection décrits ci-dessous.

Pour les lignes de télécommunication, ces parafoudres devraient être conformes aux clauses de l'Avis K.12.

Il y a lieu de prendre les précautions suivantes:

- a) Les parafoudres seront reliés par des conducteurs aussi courts que possible aux points entre lesquels se trouve l'isolation à protéger contre la perforation. (Exemple: au passage d'une ligne aérienne à un câble, les parafoudres doivent être connectés entre les conducteurs et l'enveloppe métallique du câble.)
- b) Pour assurer la protection contre des surtensions atmosphériques dans les régions qui ne sont pas particulièrement exposées aux orages, il convient de monter des parafoudres aux extrémités d'une ligne aérienne ou d'un câble aérien à gaine de faible conductivité, soit au passage de la ligne à un câble souterrain, soit à l'installation dans les bâtiments.

Les fusibles ne contribuent en rien à la protection contre les surtensions atmosphériques et amoindrissent la sécurité de fonctionnement des installations.

- c) Dans les régions très exposées aux orages, il peut aussi être recommandé d'intercaler des parafoudres aux points de raccordement des appareils aux câbles souterrains, s'il existe une différence importante entre la rigidité diélectrique des appareils et celle du câble.

Cela s'applique dans une large mesure aux câbles munis d'une enveloppe de faible conductivité en contact avec le sol.

<sup>1</sup> Voir, en particulier, l'Avis Q.45, et également la suite de l'étude par le C.C.I.T.T. en 1973-1976 de sa Question 13/V.

- d) Lorsqu'il s'agit de lignes pouvant entrer en contact direct avec une ligne à basse tension, il faut employer des parafoudres qui, en cas de surcharge, forment un court-circuit dans une gamme de courant aussi grande que possible.

Dans le cas de lignes aériennes non isolées qui peuvent entrer en contact direct avec une ligne basse tension, il peut arriver que le fonctionnement des parafoudres engendre pendant quelque temps l'écoulement de courants élevés, dépassant peut-être 50 A, qui peuvent provoquer un échauffement excessif des conducteurs. Dans ce cas particulier, il peut être bon d'installer des fusibles sur le côté ligne des parafoudres. Ces fusibles doivent pouvoir supporter des courants élevés (par exemple supérieurs à 20 A).

Cependant, et en particulier dans le cas où la tension de service du réseau à basse tension ne rend pas l'amorçage des parafoudres possible, la meilleure solution consiste à réaliser une isolation des conducteurs au point de croisement (voir aussi l'Avis K.6, Genève, 1964).

- e) Dans le cas des lignes soumises aux effets d'induction magnétique, le courant dans les conducteurs, en cas d'amorçage des parafoudres, peut atteindre des valeurs importantes, surtout sur des lignes aériennes fortement induites et dont les conducteurs ont une résistance assez faible. On doit tenir compte de ce fait en dimensionnant les parafoudres et les prises de terre.
- f) La rigidité diélectrique des appareils et câbles raccordés aux lignes doit être coordonnée avec la tension d'amorçage des parafoudres. Les appareils dont les composants (par exemple des semi-conducteurs) sont particulièrement sensibles doivent avoir une protection intégrée, les éléments de protection étant associés aux composants à protéger des circuits de l'appareil.

Avis K.12 (Genève, 1972)

**SPÉCIFICATIONS CONCERNANT LES  
CONDITIONS AUXQUELLES DOIVENT SATISFAIRE LES PARAFOUDRES  
COMPORTANT DES ÉLECTRODES DANS UNE ATMOSPHÈRE GAZEUSE ET  
DESTINÉS À LA PROTECTION DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATION**

*Préambule*

Il devient de plus en plus important de protéger les lignes de télécommunication contre les perturbations extérieures (décharges atmosphériques, exposition aux effets de lignes et d'installations électriques). En effet, d'une part la sensibilité des installations de télécommunication a augmenté avec l'introduction des semi-conducteurs, d'autre part les risques que présentent les installations à courant fort augmentent avec le développement inévitable de celles-ci.

Il est donc nécessaire que les Administrations téléphoniques et les autres usagers des réseaux de télécommunication puissent disposer de matériels de protection de haute qualité, extrêmement fiables et en lesquels ils peuvent avoir une confiance absolue.

Parmi les dispositifs de protection, les parafoudres sont certainement ceux qui sont les plus utilisés.

Le présent document indique les conditions essentielles auxquelles doivent satisfaire les parafoudres comportant des électrodes dans une atmosphère gazeuse qui sont destinés à protéger les installations de télécommunication.

Il traite aussi bien des performances des parafoudres que de leur fiabilité.

Les performances exigées peuvent varier selon les applications recherchées et les tolérances pourront être plus ou moins larges, mais c'est la fiabilité qui constitue la qualité fondamentale. Quel que soit le type de parafoudre à atmosphère gazeuse utilisé, sa fiabilité doit être extrêmement élevée.

1. *Généralités*

- 1.1 Les parafoudres comportant des électrodes dans une atmosphère gazeuse sont utilisés dans les lignes de télécommunication aériennes et souterraines pour limiter les surtensions qui peuvent

se présenter sous l'action de décharges atmosphériques ou d'installations à courant fort (induction magnétique, contact entre lignes électriques de distribution et lignes de télécommunication) afin d'éviter la mise en danger :

- a) des lignes de télécommunication et des appareils qui leur sont raccordés;
- b) des personnes en contact avec les lignes ou les éléments de l'installation de télécommunication.

Dans ce qui suit, le terme « parafoudres » désigne des parafoudres comportant des électrodes dans une atmosphère gazeuse.

1.2 Ces parafoudres limitent le niveau des surtensions par une décharge dans un milieu gazeux fermé; ils établissent, de ce fait, une liaison conductrice entre les éléments de l'installation entre lesquels la surtension se présente, ou entre l'installation et le système de prise de terre, assurant ainsi une égalisation de potentiel dans les limites de la tension résiduelle du parafoudre.

La limitation est efficace lorsque, la surtension dépassant la tension d'amorçage du parafoudre, le courant de décharge conduit à une décharge en régime d'arc avec une tension résiduelle faible.

1.3 La robustesse des parafoudres est caractérisée par la valeur du courant de décharge et le temps de passage de ce courant. (La valeur de ce courant doit rester au-dessous de la limite qui provoque la destruction du parafoudre.)

1.4 Les caractéristiques électriques du parafoudre doivent rester dans les limites de tolérance spécifiées, lorsqu'il est soumis à des décharges successives correspondant à son courant nominal de décharge.

## 2. *Domaine d'application*

2.1 Les conditions posées s'entendent pour des parafoudres comportant un ensemble d'électrodes situées dans une atmosphère gazeuse fermée, utilisés comme limiteurs de tension dans des installations de télécommunication.

2.2 Ces conditions ne s'appliquent pas aux parafoudres montés en série avec des résistances dont les valeurs dépendent de la tension appliquée et qui limitent les courants de suite dans les réseaux d'énergie électrique.

2.3 Les dispositions générales des présentes spécifications s'appliquent à tous les parafoudres utilisés dans les réseaux de télécommunication, mais il est reconnu que certaines des valeurs indiquées ci-dessous doivent être modifiées lorsqu'il s'agit de parafoudres associés à des impédances destinées à réduire le courant de décharge; les valeurs à appliquer en pareil cas doivent être fixées séparément par l'utilisateur.

## 3. *Définitions*

3.1 L'*amorçage* d'un parafoudre est la disruption (ou le claquage) de l'espace entre électrodes.

3.2 La *tension continue d'amorçage* d'un parafoudre est la valeur de la tension à laquelle le parafoudre fonctionne quand on lui applique une tension continue croissant lentement.

Cette grandeur sert à indiquer que le parafoudre est capable de remplir son office. On l'applique lors des mesures de contrôle périodiques.

3.3 La *tension continue nominale d'amorçage* d'un parafoudre est la valeur 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.

3.4 La *tension alternative d'amorçage* d'un parafoudre est la valeur efficace de la tension à laquelle le parafoudre fonctionne quand on lui applique une tension alternative croissant lentement et ayant une fréquence comprise entre 15 Hz et 62 Hz.

Elle est essentiellement utilisée pour indiquer la gamme d'application lorsque les parafoudres sont prévus comme protecteurs en cas de rapprochements et croisements de lignes de télécommunication avec des lignes électriques.

- 3.5 La *tension d'amorçage au choc* d'un parafoudre est la tension la plus élevée qui apparaît aux bornes du parafoudre, au moment où le courant de décharge apparaît, lorsqu'on lui applique une onde de choc de forme donnée.
- 3.6 La *courbe « tension d'amorçage au choc/temps »* d'un parafoudre est la courbe qui représente la tension d'amorçage au choc en fonction du temps jusqu'à l'amorçage.
- 3.7 Le *courant alternatif de décharge* est la valeur efficace d'un courant alternatif à peu près sinusoïdal passant par le parafoudre.
- 3.8 Le *courant alternatif de décharge nominal* pour une fréquence de 15 à 62 Hz est le courant alternatif de décharge pour lequel le parafoudre est dimensionné, en tenant compte d'un temps de passage bien défini pour ce courant.
- 3.9 Le *courant de choc de décharge* est la valeur de crête du courant de choc qui parcourt le parafoudre après son amorçage.
- 3.10 Le *courant nominal de choc de décharge* est la valeur de crête du courant de choc pour laquelle le parafoudre est dimensionné, le temps de passage étant bien défini par la forme d'onde du courant.
- 3.11 La *caractéristique de destruction* indique 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). On la déduit de la moyenne de mesures exécutées sur plusieurs parafoudres.  
 Pour des durées comprises entre 1  $\mu$ s et quelques ms 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.
- 3.12 La *tension résiduelle* est la valeur instantanée de la tension qui apparaît aux bornes d'un parafoudre pendant le passage d'un courant de décharge.  
 On distingue la tension résiduelle de décharge en régime d'effluve et la tension résiduelle de décharge en régime d'arc, car cette grandeur dépend du type de décharge.
- 3.13 Le *courant d'effluve* est la valeur instantanée du courant de décharge lorsque les électrodes du parafoudre sont enveloppées d'un effluve.
- 3.14 Le *courant d'arc* est la valeur instantanée du courant de décharge lorsqu'un axe se ferme entre les électrodes du parafoudre.
- 3.15 La *courbe « tension/courant de décharge »* pour des courants alternatifs ayant une fréquence de 15 à 62 Hz donne la relation entre la valeur instantanée de la tension et le courant dans le parafoudre pendant le passage du courant de décharge.
- 3.16 La *tension transversale* pour un parafoudre comportant plus de deux électrodes est la différence entre les tensions résiduelles aux électrodes du parafoudre associées aux deux conducteurs d'un circuit de télécommunication pendant le passage du courant de décharge.

#### 4. Conditions générales

- 4.1 Le parafoudre doit être construit et dimensionné de manière à ne présenter aucun danger pour les personnes ou pour son entourage, qu'il fonctionne normalement ou qu'il présente un défaut.  
 Il convient d'attirer l'attention sur les questions d'échauffement inadmissible, de destruction lors de surcharge et d'absence de rayonnement en cas de préionisation par des substances radioactives.

La construction mécanique d'un parafoudre est de la plus haute importance, notamment pour ce qui est de la partie scellée entre métal et enveloppe. En règle générale, cette partie doit

avoir une section transversale suffisamment grande pour qu'une décharge, même intense, ne la brise ni ne la fendille. Cela s'applique particulièrement aux connexions qui la traversent.

Il est également souhaitable que la construction du parafoudre soit telle que les chocs mécaniques n'altèrent pas ses caractéristiques électriques.

- 4.2 Les tensions d'amorçage des parafoudres doivent être choisies de telle façon :
  - 4.2.1 qu'elles soient adaptées à la rigidité diélectrique de l'isolation de l'installation à protéger;
  - 4.2.2 qu'il soit tenu compte des prescriptions de sécurité en vigueur pour la protection des personnes contre des surtensions de courte durée;
  - 4.2.3 qu'elles soient situées suffisamment au-dessus des tensions maximales de service afin de ne pas perturber les circuits en service.
- 4.3 La résistance de l'isolation et la capacité des parafoudres doivent être telles que le fonctionnement des circuits de télécommunication ne soit aucunement perturbé.
- 4.4 Le parafoudre ne doit pas être maintenu en fonctionnement par la tension normale de la ligne après que le surtension a disparu.

## 5. Termes et valeurs types désignant les parafoudres

Les caractéristiques électriques des différents types de parafoudres sont indiquées par les termes et valeurs suivants :

- 5.1 Les tensions d'amorçage en fonction du temps à partir du moment de l'application de la tension jusqu'au début du courant de décharge.

Un exemple de la caractéristique  $U_a = f(t)$  est donné à l'Appendice 1.

Les tensions d'amorçage sont :

- 5.1.1 la tension continue nominale d'amorçage;
- 5.1.2 la tension de choc d'amorçage en présence d'une tension de choc normalisée selon le paragraphe 7.

- 5.2 La capacité de décharge en fonction de la durée de la décharge.

Les valeurs indiquant la capacité de décharge sont :

- 5.2.1 le courant alternatif nominal de décharge, s'écoulant pendant un temps déterminé;
- 5.2.2 le courant nominal de choc de décharge ayant une forme d'onde normalisée selon le paragraphe 7;
- 5.2.3 la caractéristique de destruction (un exemple de la caractéristique  $I_d = f(t)$  est donné à l'Appendice 2).

- 5.3 Les tensions résiduelles des parafoudres en fonction du courant de décharge (un exemple de la caractéristique  $U_r = f(I_d)$  est donné à l'Appendice 3).

Les tensions résiduelles sont :

- 5.3.1 la tension résiduelle maximale en cas de décharge en régime d'effluve;
- 5.3.2 la tension résiduelle en cas de décharge en régime d'arc;
- 5.3.3 le courant de décharge maximal en régime d'effluve pour lequel la tension résiduelle en cas de décharge en régime d'effluve passe à la tension résiduelle en cas de décharge en régime d'arc.

- 5.4 Pour désigner un type de parafoudre, on utilise, selon le genre de surtension à limiter, les caractéristiques suivantes :

- 5.4.1 En cas de surtensions aux fréquences industrielles de 15 à 62 Hz, les valeurs nominales conformes aux paragraphes 5.1.1, 5.2.1 et 5.3.3 ci-dessus.

Le tableau 1 indique les caractéristiques des types de parafoudres normalisés.

TABLEAU 1

Type normalisé n°	Caractéristiques		
	Tension continue nominale d'amorçage (paragraphe 5.1.1)	Courant alternatif nominal de décharge (Valeur efficace) (paragraphe 5.2.1)	Courant de décharge maximal en régime d'effluve (paragraphe 5.3.3)
1	Choix de la valeur nominale en tenant compte du paragraphe 4.2	5 A	De moins de 0,5 A à 1,5 A
2		20 A	
3		50 A	

5.4.2 En cas de surtensions par suite de décharges atmosphériques, les valeurs conformes aux paragraphes 5.1.1 et 5.2.2 ci-dessus.

Le tableau 2 indique les caractéristiques des types de parafoudres normalisés.

TABLEAU 2

Type normalisé n°	Caractéristiques		
	Tension continue nominale d'amorçage (paragraphe 5.1.1)	Courant nominal de choc de décharge (paragraphe 5.2.2)	Tension d'amorçage de choc (paragraphe 5.1.2)
4	Choix de la valeur nominale en tenant compte du paragraphe 4.2	2,5 kA	Pour les limites supérieures, voir les tableaux 3 et 4
5		10 kA	
6		20 kA	

5.4.3 En cas de surtensions produites dans la même installation de télécommunication tant par les influences d'installations à courant fort de fréquence industrielle que par les décharges atmosphériques: une combinaison des valeurs relatives aux types normalisés 1 et 4 (type normalisé 1-4), 2 et 5 (type normalisé 2-5) ou 3 et 6 (type normalisé 3-6).

#### 5.5 Tolérances sur les valeurs nominales

5.5.1 Les valeurs limites supérieures *et* inférieures (tolérance) de la tension continue d'amorçage sont déterminées par la condition posée au paragraphe 4.2. Ces limites doivent être respectées même après plusieurs décharges selon les valeurs des tableaux 1 et 2.

5.5.2 Pour les autres valeurs, il suffit d'indiquer la valeur limite supérieure *ou* inférieure suivant la caractéristique considérée.

5.5.3 Les valeurs limites incluent les influences du milieu ambiant et de l'emplacement (température ambiante, polarité, lumière).

Des indications sur les valeurs limites sont données au paragraphe 8 (Essais de type).

## 6. Généralités sur les essais

### 6.1 Les essais comprennent :

6.1.1 des essais de type selon le paragraphe 8, pour le contrôle des caractéristiques électriques et mécaniques d'un type de parafoudre;

6.1.2 des essais de réception selon le paragraphe 9, pour le contrôle d'échantillons pris au hasard dans une livraison.

6.2 Le contrôle des caractéristiques électriques doit être exécuté d'après des méthodes statistiques, car les phénomènes physiques de la décharge en milieu gazeux subissent des variations statistiques. Chaque essai doit être effectué sur plusieurs échantillons.

6.3 Pour les parafoudres avec plusieurs espaces de décharge dans la même enceinte, le contrôle des caractéristiques électriques s'effectue séparément pour chaque espace de décharge.

6.4 Le contrôle des caractéristiques mécaniques comprend le contrôle des dimensions et la fiabilité des jonctions des capots ou des plaques de contact fixés au parafoudre. Si les parafoudres doivent être utilisés dans un milieu ambiant dont l'humidité est élevée, une épreuve de résistance à la corrosion peut être utile.

6.5 Les parafoudres peuvent être soumis à des essais de choc thermique si les usagers en font la demande.

## 7. Tensions et courants d'essai normalisés

7.1 Pour l'épreuve de tension de choc d'amorçage (paragraphe 5.1.2), on utilise une tension de choc ayant une forme d'onde 5/65 et une valeur de crête de 5 kV (définition de la forme d'onde conforme à la Publication 60/1962 de la C.E.I.).

A la place de cette tension de choc, on peut aussi utiliser une tension qui augmente linéairement jusqu'à 5 kV en 5/μs (raideur conventionnelle du front de l'onde de tension = 1 kV/μs).

La figure 1/K.12 donne à titre d'exemple le montage de mesure pour une raideur conventionnelle du front de l'onde de tension de 1 kV/μs.

Les dispositifs d'essai pour tensions de choc doivent tenir compte des phénomènes transitoires qui se produisent avec les impulsions, comme par exemple de la fréquence limite du dispositif de mesure et de la terminaison sans réflexion de la ligne de mesure.

7.2 Pour l'épreuve de charge avec des courants de choc (par. 5.2.2), on utilise un courant de choc ayant une forme d'onde 8/20 et une valeur de crête selon le tableau 2 ci-dessus (définition de la forme d'onde conforme à la Publication 60/1962 de la C.E.I.).

7.3 La tension utilisée pour l'épreuve de tension continue d'amorçage doit être une tension qui augmente lentement, à une vitesse maximale de 10 kV par seconde.

## 8. Essais de type

### 8.1 Tensions d'amorçage

#### 8.1.1 Tension continue d'amorçage

Avant d'exécuter les essais décrits aux paragraphes 8.2.1 et 8.2.2, on fait quatre mesures (deux pour chaque polarité) sur tous les spécimens qui seront soumis aux essais. L'évaluation des résultats se fait conformément au tableau 3.

#### 8.1.2 Tension de choc d'amorçage

En appliquant le tension de choc spécifiée au paragraphe 7.1, on mesure dix fois (cinq fois dans chaque sens) la tension de choc d'amorçage de 20 parafoudres qui ont satisfait aux essais décrits au paragraphe 8.1.1. L'évaluation des résultats se fait conformément au tableau 4.

8.1.3 Si l'enveloppe du parafoudre est transparente à la lumière, les essais ci-dessus se feront dans l'obscurité après que le parafoudre y aura été stocké pendant une durée suffisante. (A déterminer selon le type du parafoudre en question.) Il convient d'observer un intervalle de quelques secondes entre deux mesures successives.

## 8.2 Courants de décharge

### 8.2.1 Courant alternatif de décharge

L'essai est effectué avec le courant alternatif de décharge nominal (avec une tolérance de  $\pm 10\%$ ) sur 20 parafoudres qui ont satisfait aux essais décrits au paragraphe 8.1.1. L'essai se déroule comme suit: le courant est appliqué à chaque parafoudre dix fois de suite pendant 1 seconde, à intervalles de 3 minutes; après refroidissement, on mesure la tension continue d'amorçage et on évalue les résultats conformément au tableau 3.

Si l'usager estime la chose nécessaire pour la protection contre les décharges atmosphériques, on procède également aux essais décrits au paragraphe 8.1.2 et on évalue les résultats conformément au tableau 4.

### 8.2.2 Courant de choc de décharge

L'essai est effectué avec le courant de choc de décharge (avec les tolérances indiquées dans la Publication 60/1962 de la C.E.I.) sur 20 autres parafoudres qui ont satisfait aux essais

TABLEAU 3

Essai décrit au paragraphe	Tension d'amorçage		Pourcentage (paragraphe 6.2) des valeurs mesurées devant respecter la tolérance
	Valeurs nominales de la tension continue (paragraphe 5.1.1)	Valeurs limites supérieures de la tension de choc à 1 kV/ $\mu$ s (paragraphe 5.5.2)	
8.1.1	Choix de la valeur nominale en tenant compte du paragraphe 4.2	$\pm 20\%^a$	95% <sup>b</sup>
8.2.1			80% <sup>b</sup>
8.2.2			

TABLEAU 4

Essai décrit au paragraphe	Tension continue d'amorçage		Pourcentage (paragraphe 6.2) des valeurs mesurées devant respecter la tolérance
	Valeurs nominales (paragraphe 5.1.1)	Valeurs limites supérieures à 1 kV/ $\mu$ s (paragraphe 5.5.2)	
8.1.2	< 150 V	< 1 kV	80% <sup>b</sup>
	150 à 500 V	Entre 1 et 2 kV	
	500 à 1500 V	Entre 2 et 3 kV	

<sup>a</sup> Cette tolérance peut être modifiée selon les conditions indiquées dans le paragraphe 4.2.

<sup>b</sup> Tout parafoudre d'un lot donné soumis aux essais qui ne satisfait pas aux tolérances doit néanmoins amorcer pendant l'essai.

décrits aux paragraphes 8.1.1 et 8.1.2. L'essai se déroule comme suit: le courant de choc est appliqué à chaque parafoudre dix fois (cinq essais pour chaque polarité) à intervalles de 3 minutes; après refroidissement, on mesure la tension continue d'amorçage et la tension de choc d'amorçage et on évalue les résultats conformément aux tableaux 3 et 4.

### 8.2.3 *Caractéristique de destruction*

Cette caractéristique doit être indiquée par le fabricant pour chaque type de parafoudre, avec une indication sur la dispersion des valeurs mesurées. Si l'utilisateur désire que le fabricant procède à une vérification de cette caractéristique, il suffira de faire un essai en un point de la courbe, et cela sur trois parafoudres. Si un parafoudre est détruit au cours de cet essai en courant alternatif, il faut que sa destruction soit provoquée par un court-circuit.

### 8.3 *Caractéristiques « tension/courant de décharge »*

Les valeurs indiquées aux paragraphes 5.3.1, 5.3.2 et 5.3.3 doivent être mesurées, comme il est indiqué dans le schéma de la figure 2/K.12, sur trois autres parafoudres qui ont satisfait aux essais décrits au paragraphe 8.1.1. A cet effet, on applique un courant alternatif de fréquence industrielle pendant 3 secondes. La valeur efficace de la tension appliquée doit être comprise entre le double et le triple de la tension nominale d'amorçage, et l'intensité doit être limitée à une valeur d'environ deux fois la valeur de l'intensité du courant nominal de décharge en régime d'effluve donné par le tableau 1.

Les résultats seront enregistrés au moyen d'un oscilloscope associé à une caméra dont l'obturateur sera ouvert avant que le courant soit appliqué et restera ouvert pendant toute la durée des 3 secondes.

8.3.1 La tension résiduelle, dans le cas de décharge en régime d'effluve, est en général supérieure à 60 V. Son maximum ne doit pas dépasser 1,3 fois la valeur de la tension continue d'amorçage.

8.3.2 La tension résiduelle, dans le cas de décharge en régime d'arc, doit être inférieure à 25 V.

8.3.3 Le courant de décharge maximal, dans le cas de décharge en régime d'effluve (passage du régime d'effluve au régime d'arc), ne doit pas dépasser la valeur indiquée au tableau 1. Les limites supérieures de ces valeurs doivent être déterminées d'après les oscillogrammes (voir aussi l'Appendice 3).

### 8.4 *Tension transversale des parafoudres comportant trois électrodes ou davantage*

Les mesures suivantes doivent être effectuées entre les couples d'électrodes attribués aux deux conducteurs d'un même circuit et l'électrode de terre commune.

Les mesures doivent être faites sur dix parafoudres qui auront été essayés et approuvés conformément aux dispositions des paragraphes 8.1.1 et 8.1.2.

#### 8.4.1 *Tension transversale en régime alternatif*

La valeur moyenne de la tension transversale doit être mesurée pendant que les deux électrodes de décharge sont parcourues simultanément par un courant de décharge alternatif. Les mesures peuvent être effectuées avec un dispositif comme celui de la figure 3/K.12. La valeur efficace de la tension appliquée doit être le double et le triple de la tension nominale d'amorçage, et la valeur des résistances  $R$  doit être telle que la valeur de crête du courant soit à peu près le double du courant de décharge maximal en régime d'effluve. (Passage du régime d'effluve au régime d'arc — paragraphe 8.3.3.) La durée de la décharge ne doit pas dépasser 3 secondes.

Le maximum de la tension transversale moyenne ne doit pas dépasser 45 V dans neuf des dix parafoudres soumis à la mesure.

#### 8.4.2 *Tension transversale en régime impulsif*

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/ $\mu$ s est appliquée simultanément aux

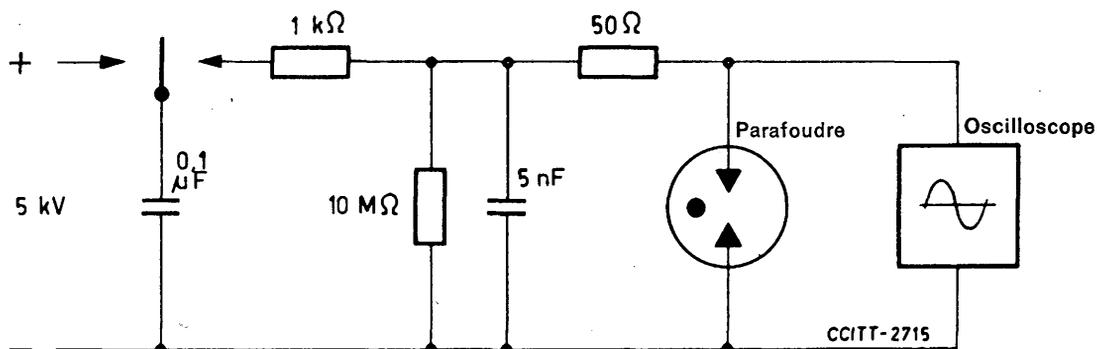


FIGURE 1/K.12. — Montage de mesure produisant une raideur conventionnelle du front de l'onde de tension de  $1 \text{ kV}/\mu\text{s}$ .

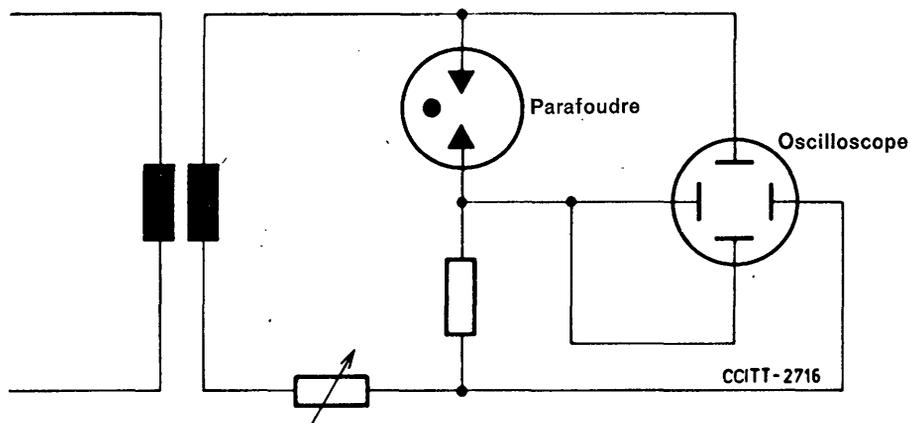


FIGURE 2/K.12. — Montage de mesure, pour les caractéristiques indiquées aux paragraphes 5.3.1., 5.3.2 et 5.3.3.

deux électrodes de décharge. Les mesures peuvent être effectuées avec un dispositif comme celui de la figure 4/K.12.

L'intervalle de temps entre l'amorçage de la première électrode et celui de la seconde ne doit pas dépasser 0,2  $\mu$ s dans neuf des dix parafoudres soumis à la mesure.

#### 8.5 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement doit être mesurée avec un équipement approprié, sous une tension inférieure à la tension continue d'amorçage des parafoudres, après que ceux-ci ont séjourné 24 heures dans une atmosphère humide (à la température ambiante et à une humidité relative de l'ordre de 83 %, par exemple dans une atmosphère saturée au-dessus d'une solution saturée de chlorure de potassium). La résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à  $10^8$  ohms, après l'exécution des essais décrits aux paragraphes 8.2.1 et 8.2.2. Les mesures de résistance d'isolement doivent porter sur les parafoudres qui ont été soumis aux essais.

#### 8.6 Capacité

La capacité propre doit être mesurée sur trois parafoudres. Elle doit être inférieure à 10 pF.

#### 8.7 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'utilisateur. 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'emménagement, etc.).

Un essai de type n'est pas nécessaire si le fabricant a communiqué des données sur la nature et sur la quantité de la substance radioactive, ainsi que sur le rayonnement qui en émane.

#### 8.8 Propriété mécaniques

Il peut être procédé à un essai des propriétés mécaniques conformément aux indications générales exposées aux paragraphes 4.1, 6.4 et 6.5

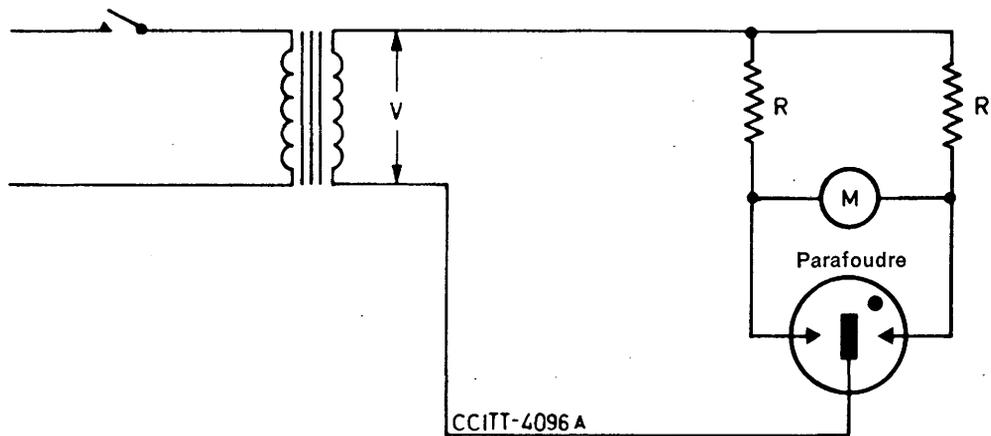
### 9. Essais de réception

On soumet aux essais de réception un nombre de parafoudres qui dépend de l'importance du lot de fabrication considéré.

Les valeurs suivantes sont indiquées à titre de guide seulement:

<i>Lot</i>	<i>Essai de réception</i>
Jusqu'à 1 000 parafoudres	Au moins 20 parafoudres
Jusqu'à 10 000 parafoudres	Au moins 50 parafoudres
Jusqu'à 50 000 parafoudres	Au moins 100 parafoudres

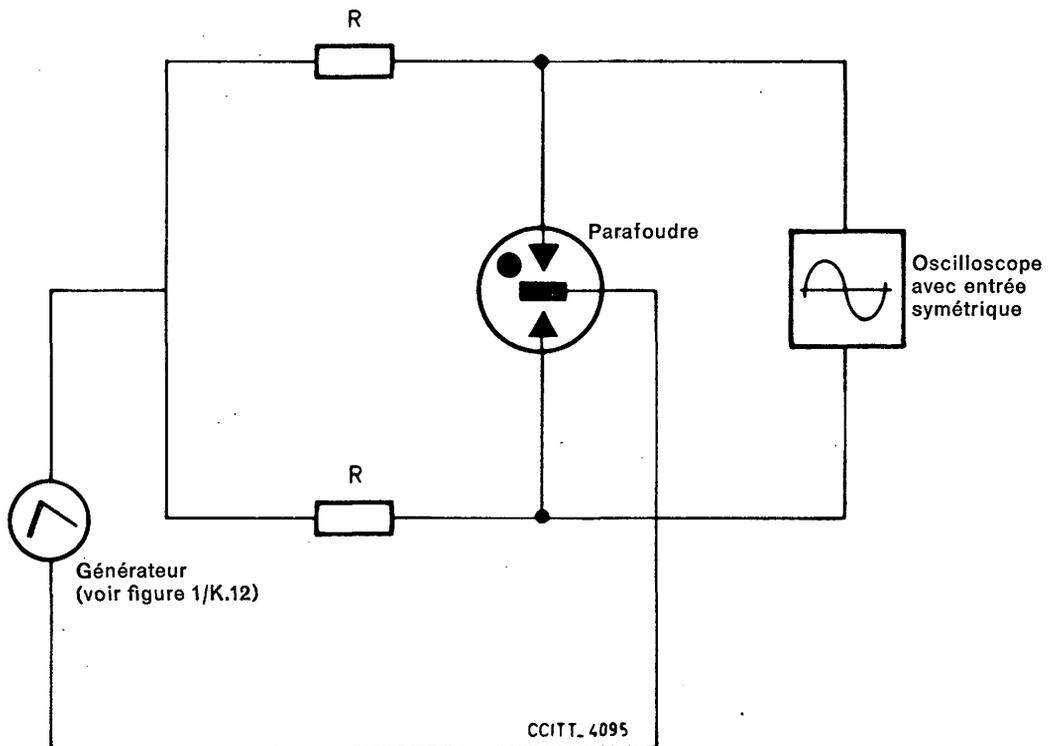
Les essais de réception comportent la mesure de la tension continue d'amorçage, deux fois sur chaque échantillon. L'évaluation des résultats s'effectue conformément aux indications des tableaux 3 et 4.



Le voltmètre  $M$  doit avoir une résistance au moins égale à  $20\text{ k}\Omega$  et une échelle avec déviation complète de  $100\text{ V}$  environ. Ce doit être un appareil à cadre mobile et redresseur, étalonné de manière à permettre la lecture des valeurs moyennes.

*Note.* — Si l'appareil est étalonné en vue de la lecture des valeurs efficaces des tensions sinusoïdales, on multiplie les valeurs lues par  $0,9$  pour obtenir les moyennes.

FIGURE 3/K.12. — Montage de mesure pour les caractéristiques de parafoudres à trois électrodes dont il est question au paragraphe 8.4.1 (tension transversale pendant une décharge par courant alternatif).

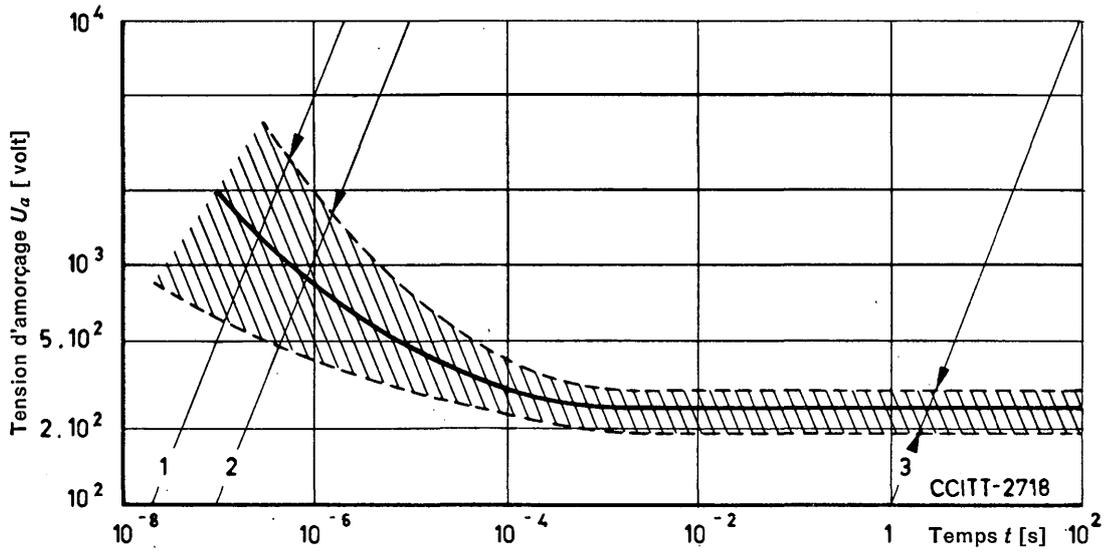


$R$  = Impédance de la ligne

FIGURE 4/K.12. — Montage de mesure pour les caractéristiques de parafoudres à trois électrodes dont il est question au paragraphe 8.4.2. (tension transversale pendant une décharge de choc).

APPENDICE 1

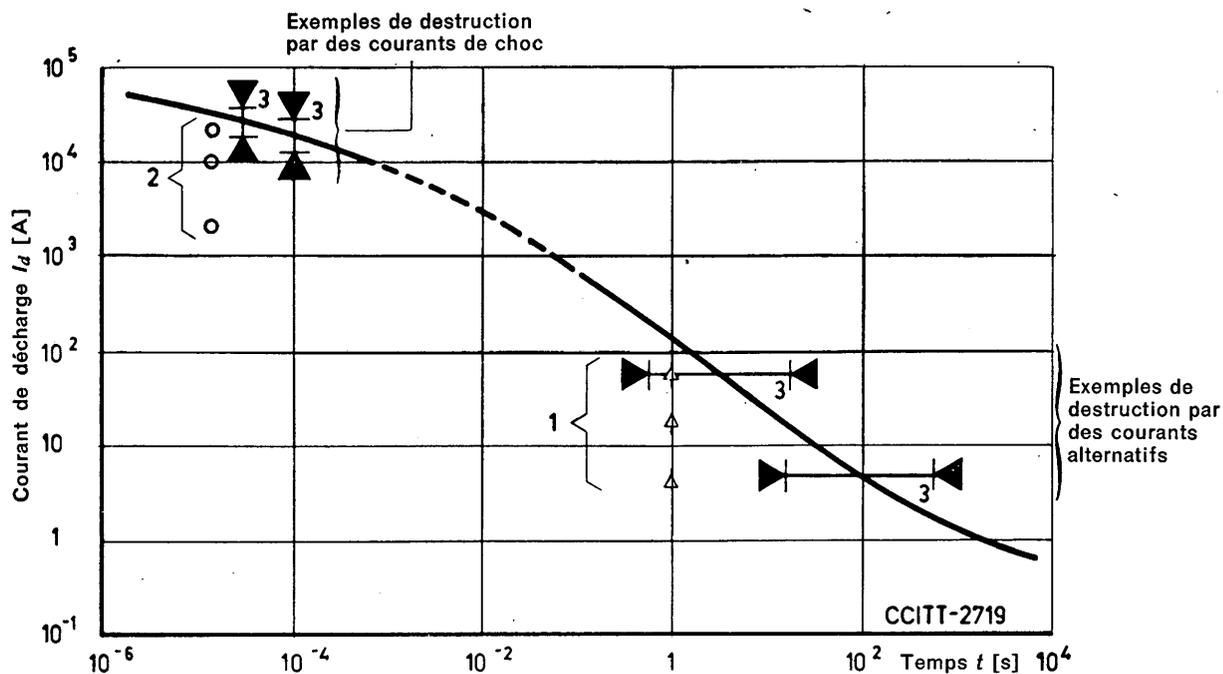
Caractéristique d'amorçage  $U_a = f(t)$ , paragraphe 5.1



- |                                |   |  |   |
|--------------------------------|---|--|---|
| 1. Exemple avec: 5 kV/ $\mu$ s | } | Essai selon le<br>paragraphe 8.1.2,<br>valeur limite<br>supérieure |  |
| 2. Exemple avec: 1 kV/ $\mu$ s |   |  |   |
| 3. Exemple avec: 100 V/s       |   | Essai selon le<br>paragraphe 8.1.1,<br>tolérance                   |  |

APPENDICE 2

Courants de décharge selon les paragraphes 5.2.1, 5.2.2 et caractéristique de destruction  $I_d = f(t)$  selon le paragraphe 5.2.3

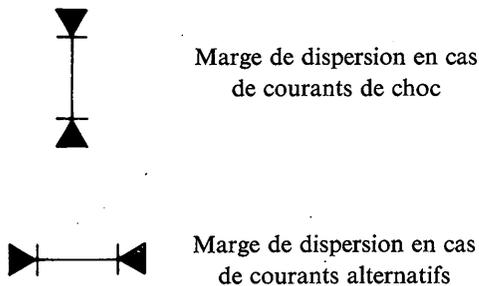


Charge :

- 1. Essai avec courants alternatifs de décharge selon le paragraphe 8.2.1.     $\Delta$
- 2. Essai avec courant de choc de décharge selon le paragraphe 8.2.2.     $\circ$

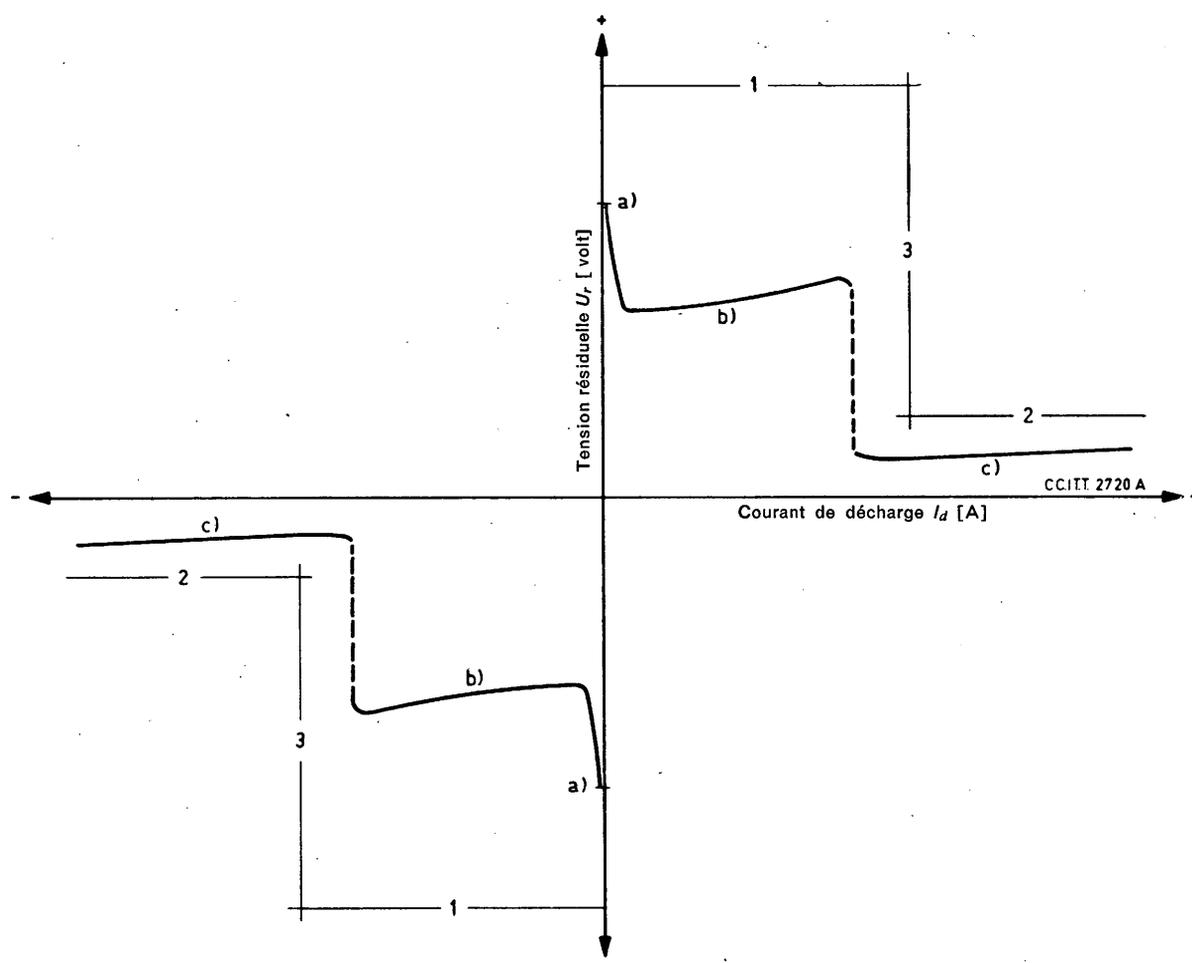
Destruction :

- 3. Essai de destruction mécanique selon le paragraphe 8.2.3



## APPENDICE 3

Courbe tension-courant de décharge  $U_r = f(I_d)$ , paragraphe 5.3



- a) Tension d'amorçage
- b) Tension résiduelle en cas de décharge en régime d'effluve, paragraphe 5.3.1
- c) Tension résiduelle en cas de décharge en régime d'arc, paragraphe 5.3.2

*Valeurs limites supérieures :*

- 1. Essai selon le paragraphe 8.3.1
- 2. Essai selon le paragraphe 8.3.2
- 3. Essai selon le paragraphe 8.3.3

Avis K.13<sup>1</sup> (Genève, 1972)

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

D'après la section 2 du chapitre IV des *Directives* (Edition de 1963), on admet, en cas de défaut sur une ligne électrique voisine d'un câble de télécommunication 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<sub>eff</sub> 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 au chapitre XX des *Directives*.

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 télécommunication au moment où une telle tension de courte durée apparaît dans le câble de télécommunication. 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 télécommunication grâce à l'amorçage de parafoudres protecteurs installés aux extrémités des circuits.

*Pour ces motifs, le C.C.I.T.T. émet à l'unanimité l'avis suivant :*

1. Il est possible de construire des câbles de télécommunication 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 par 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;

<sup>1</sup> Cet Avis pourrait entraîner des modifications ultérieures au texte des *Directives*.

- b) les équipements, les joints et les têtes de câbles reliés aux conducteurs doivent être exécutés 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 au paragraphe 3.2.3 du chapitre préliminaire des *Directives*;
  - d) le personnel qui travaille sur des câbles de télécommunication doit observer les « Dispositions à prendre pour la sécurité du personnel », indiquées au chapitre XX des *Directives*.
2. Si les circuits d'un tel câble sont reliés aux équipements de télécommunication 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 paragraphe 1 ci-dessus est respectée, on admet une f.é.m. longitudinale de 650 V.

Avis K.14 (Genève, 1972)

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

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 télécommunication 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 de matière plastique, le C.C.I.T.T. émet l'Avis suivant:

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 de matière plastique est muni d'un écran de conductance équivalente 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 points 2 et 3 ci-dessus 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 télécommunication. 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. (Voir le *Manuel pour la protection des lignes de télécommunication contre la foudre*, chapitre IV, paragraphe 2.1 <sup>1</sup>.)

**Avis K.15** (Genève, 1972)

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

*Avis préliminaire*

Afin de réduire les effets des perturbations d'origine extérieure sur le fonctionnement de la téléalimentation des répéteurs, le C.C.I.T.T. 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 télécommunication, 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.

<sup>1</sup> En cours de préparation.

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 télécommunication, 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 télécommunication 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 relativement 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 à 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 concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, 3<sup>e</sup> partie, édition 1963, 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 paragraphe 1.1. Pour ce calcul, il est recommandé de se référer à l'Avis K.16. (Voir également la publication mentionnée au point [1] de la bibliographie de l'Avis K.16.)
- 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 sur la protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*<sup>1</sup>. Voir également la publication mentionnée au point [2] de la bibliographie de l'Avis K.16.

<sup>1</sup> En cours de préparation.

## 2. Valeurs limites des surtensions

### 2.1 Tensions longitudinales provoquées par l'induction magnétique

En principe, les valeurs limites des tensions longitudinales induites indiquées dans le chapitre IV des *Directives* 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. (Voir le chapitre IV, alinéa 48, des *Directives*.)

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. (Voir le chapitre IV, alinéa 53, des *Directives*.)

### 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 paragraphes 2.1 et 2.2 ci-dessus 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 transistorisés, 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 paragraphe 1.1 ci-dessus.

## 4. *Essai des répéteurs à transistors téléalimentés*

### 4.1 *Généralités*

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 c'est le cas 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 l'Avis 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 qu'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 l'Avis K.17<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> L'Avis K.17 n'est pas encore achevé. Il sera fondé sur le texte donné en annexe à la Question 21/V.

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,  $16\frac{2}{3}$  Hz), et intensité que celui engendré dans la section d'alimentation, quand la tension induite atteint la valeur indiquée dans le chapitre IV, alinéas 6, 7 et 35 des *Directives*. 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.

Avis K.16 (Genève, 1972)

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

#### 1. *Sommaire*

La publication mentionnée au point [1] de la bibliographie du présent Avis 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. Le présent Avis 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 exposées 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 1.

Pour vérifier l'utilité de ce circuit équivalent d'application générale, on a calculé en Annexe 2 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 2 fournit des résultats assez précis pour une utilisation pratique.

L'Annexe 3 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 télécommunication installés sur des câbles à paires coaxiales dont le conducteur extérieur est isolé, se trouve également dans la publication mentionnée au point [4] de la bibliographie du présent Avis.

#### 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 C.C.I.T.T., 1963).

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.

Étant 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 (puisque l'on a presque toujours, en pratique,  $\Gamma \cdot l \leq 2$  et  $\bar{\Gamma} \cdot l \leq 2$ ); il est alors possible pour chaque cas de trouver des circuits équivalents correspondants ( $\Gamma$  et  $\bar{\Gamma}$  sont respectivement les constantes de propagation des circuits «enveloppe du câble — conducteur extérieur» et «conducteur extérieur — conducteur intérieur»).

### 3. Énoncé 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 5/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 6/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 au point [1] de la bibliographie du présent Avis, 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 1, on peut déterminer un tel circuit équivalent à l'aide des schémas de circuits qui font l'objet des figures 5/K.16 et 6/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  $\bar{E}, \bar{C}, \bar{V}, \bar{I}$ , pour les grandeurs associées au circuit «conducteur extérieur — conducteur intérieur».

### 5. Circuit équivalent d'application générale

Les considérations exposées en Annexe 1 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.

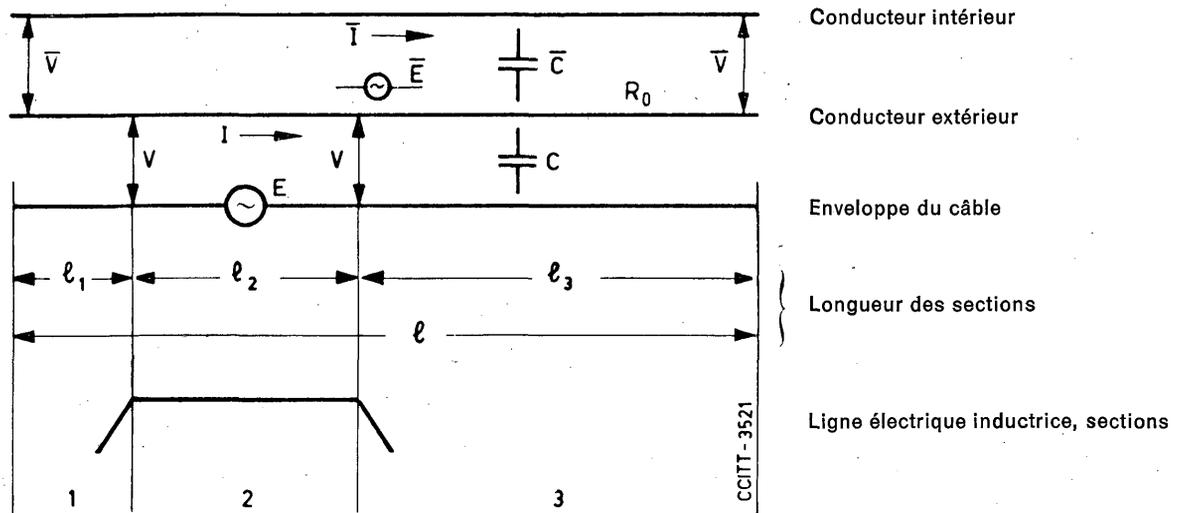


FIGURE 1/K.16. — Représentation schématique des circuits.

- $E$  = tension longitudinale induite dans le câble (volts)  
 $\bar{E}$  = 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) =  $l_1 + l_2 + l_3$   
 $V, \bar{V}, I, \bar{I}$  = valeurs maximales à déterminer pour les tensions et les courants induits  
 $C, \bar{C}$  = capacités effectives par unité de longueur (F/km)  
 où  
 $C = \frac{C_{os} \cdot l_s + C'_{os}}{l_s}$  et  $\bar{C} = \frac{C_{io} \cdot l_s + C_f}{l_s}$   
 $C_{os}$  = capacité par unité de longueur entre le conducteur extérieur et l'enveloppe du câble (F/km)  
 $C'_{os}$  = capacité entre le conducteur extérieur et l'enveloppe du câble à l'endroit où se trouve éventuellement un répéteur (F)  
 $C_{io}$  = 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 ( $\Omega$ /km) entre le circuit « enveloppe-conducteur extérieur » et le circuit « conducteur extérieur-conducteur intérieur »  
 $R_o$  = résistance par unité de longueur ( $\Omega$ /km) du conducteur extérieur seul  
 $R_i$  = résistance par unité de longueur ( $\Omega$ /km) du conducteur intérieur auquel est ajouté un terme correctif correspondant à la valeur, ramenée au km, de la résistance des filtres d'aiguillage.

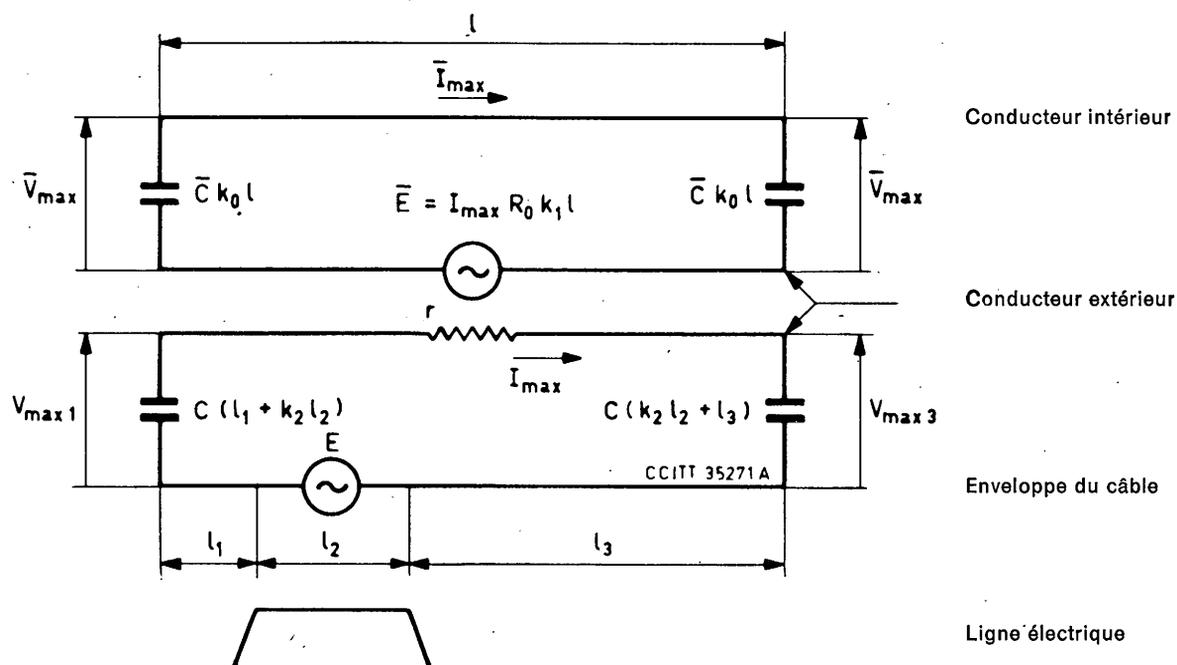


FIGURE 2/K.16. — Circuit équivalent.

		Valeur des paramètres $k$		
		$k_0$	$k_1$	$k_2$
pour	$l_2 \leq \frac{l}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
pour	$l_2 > \frac{l}{2}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$

Note. — La résistance  $r$  de la figure 2/K.16 n'est à considérer que dans le cas des conducteurs extérieurs réunis à la terre (voir Annexe 3).

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  $\bar{C} k_0 l$  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 3.

- 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  $2k_2 < 1$ .
- 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 du conducteur extérieur à un potentiel flottant.

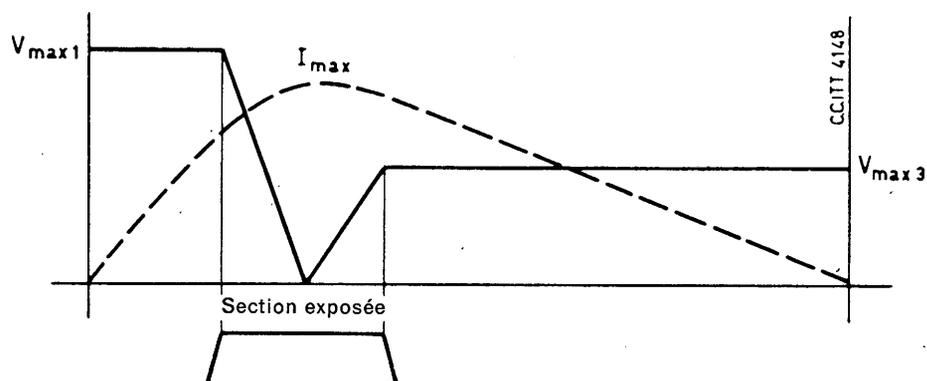


FIGURE 3/K.16. — Tension et intensité le long de la section de téléalimentation dans le circuit « enveloppe-conducteur extérieur ».

- 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  $2k_0 < 1$ .
- 6) Le schéma simplifié permet, comme indiqué dans l'alinéa 4, 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. 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 4/K.16. 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.

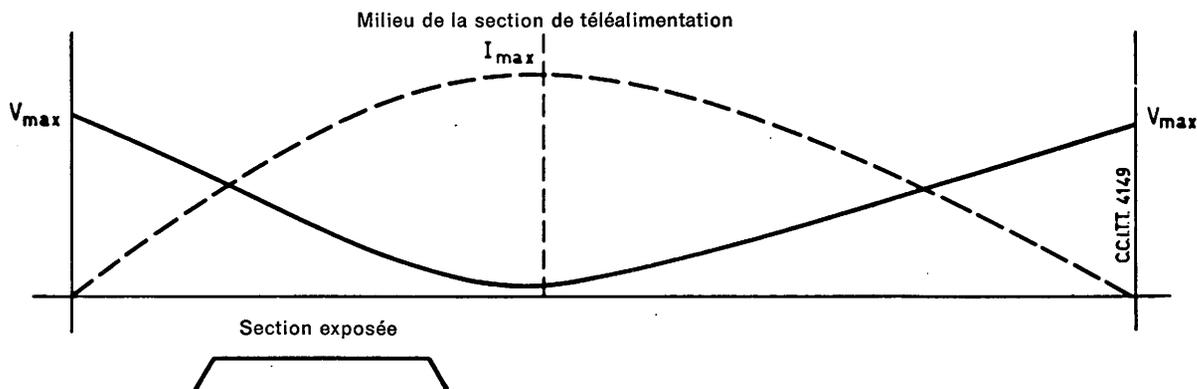


FIGURE 4/K.16. — Tension et intensité le long de la section de téléalimentation dans le circuit « conducteur intérieur-conducteur extérieur ».

## BIBLIOGRAPHIE

1. KEMP, J., SILCOOK, H.W., STEWARD, C.J.: Power frequency induction on coaxial cables with application to transistorized systems. *Electrical Comm.*, Vol. 40 (1965), No. 2, p. 255-266.  
Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40 (1965) n° 2, p. 254-263.
2. KEMP, J.: Estimating voltage surges on buried coaxial cables struck by lightning. *Electrical Comm.*, Vol. 40 (1965), No. 3, p. 381-385.  
Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*; Vol. 40 (1965) n° 3, p. 398-402.
3. POPP, E.: Lightning Protection of line repeaters. Conference Proceedings, ICC 68 of the *I.E.E.E.* p. 169-174.
1. SALZMANN, W., VOGEL, W.: Berechnung der Starkstrombeeinflussung 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* (1965) Nr. 12, p. 205-211.

## ANNEXE 1

(à l'Avis K.16)

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

1. *Cas général*

La publication mentionnée au point [1] de la bibliographie du présent Avis 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.

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

Les formules générales sont appliquées à deux cas d'exposition symétrique représentés sur les figures 5/K.16 et 6/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 11/K.16 de l'Annexe 2.

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  $\pm 45^\circ$  des paramètres secondaires de propagation. Cela permet de remplacer les éléments répartis par des condensateurs et des résistances localisées représentées sur les figures 5/K.16 et 6/K.16. Les coefficients tels que  $\frac{5}{16}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  proviennent du développement en série des termes hyperboliques complexes.

Les circuits équivalents des figures 5/K.16 et 6/K.16 permettent d'effectuer le calcul des tensions et intensités maximales dans deux cas d'exposition symétriques; 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.

4. *Troisième étape — Cas général — Schéma simplifié*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.

CIRCUITS ÉQUIVALENTS POUR LA DÉTERMINATION DES VALEURS MAXIMALES DES TENSIONS INDUITES ET DES COURANTS INDUITS DANS DES SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATION TRANSISTORISÉS SUR PAIRES COAXIALES DONT LE CONDUCTEUR EXTÉRIEUR EST A UN POTENTIEL FLOTTANT.

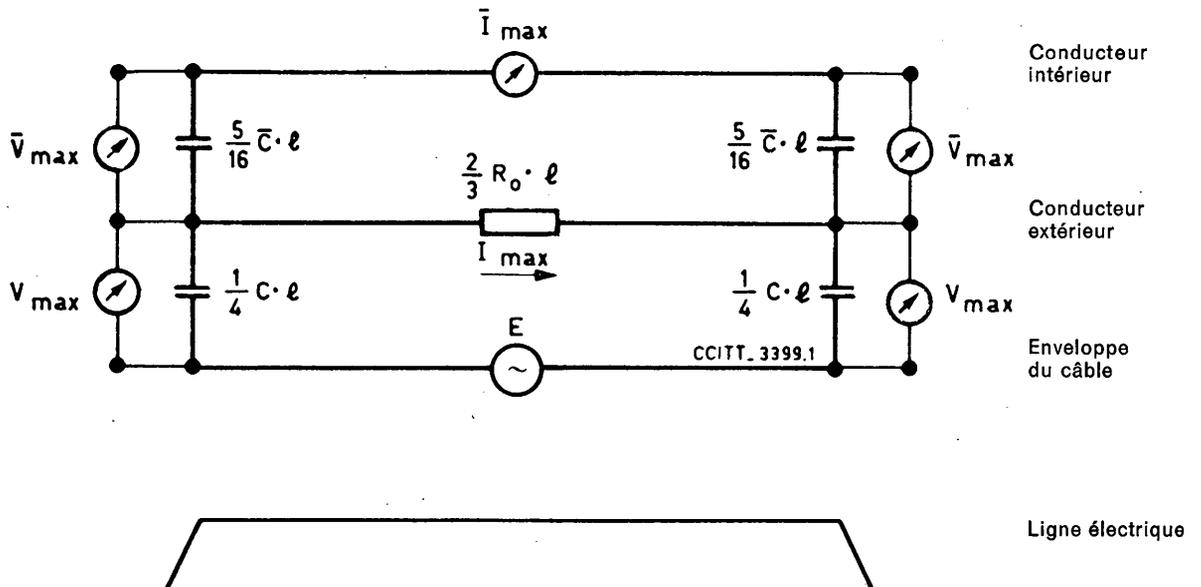


FIGURE 5/K.16. — Section d'alimentation exposée uniformément à l'induction.

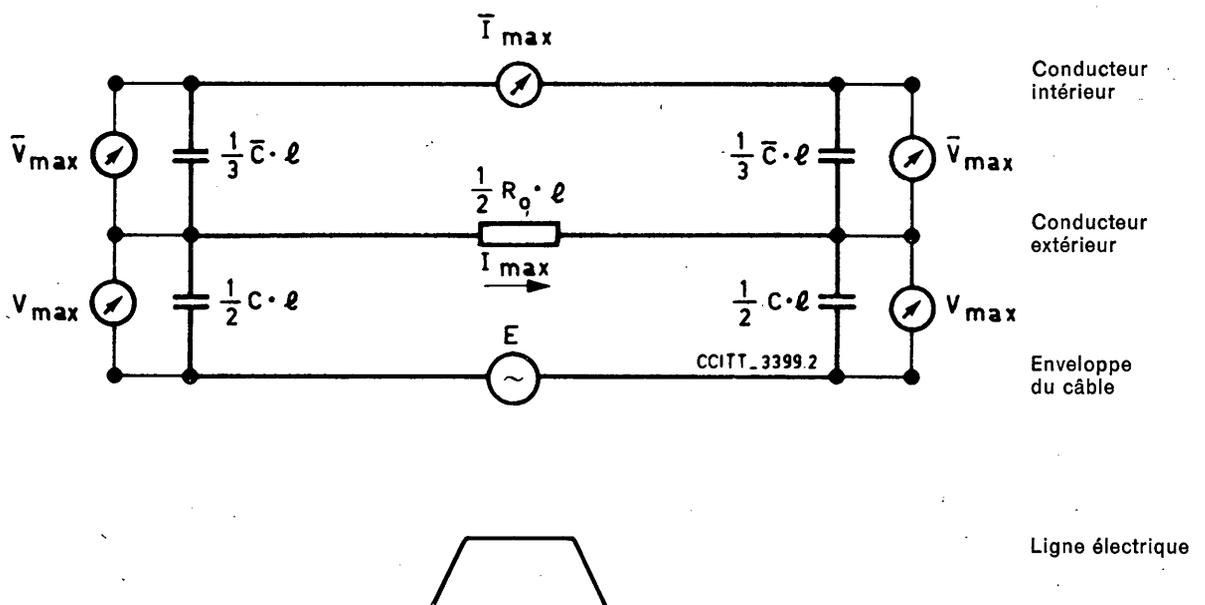


FIGURE 6/K.16. — Exposition partielle sur une faible longueur au milieu de la section.

- $E$  = tension longitudinale induite dans le câble (volts)  
 $R_o$  = résistance du conducteur extérieur ( $\Omega/\text{km}$ )  
 $l$  = longueur de la section d'alimentation

Si la section 2 est beaucoup plus longue que les sections 1 et 3 ( $l_2 \gg l_1, l_3$ ), 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 5/K.16 pour une ligne bifilaire exposée à une induction uniforme peuvent alors s'appliquer à la section 2. On obtient ainsi pour  $l_2 \gg \frac{l_1}{2}$  le schéma représenté sur la figure 7/K.16.

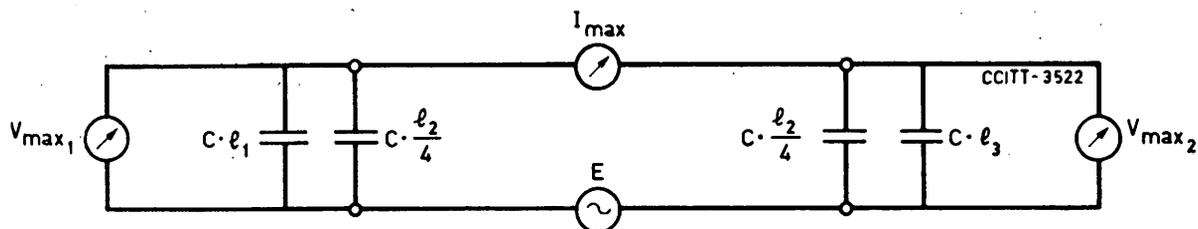


FIGURE 7/K.16. — Circuit « enveloppe du câble-conducteur extérieur » : cas d'une section exposée longue.

Si au contraire la section exposée est beaucoup plus courte que les sections non exposées ( $l_2 \leq \frac{l_1}{2}$ ), 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 8/K.16 pour déterminer la valeur maximale du courant induit.

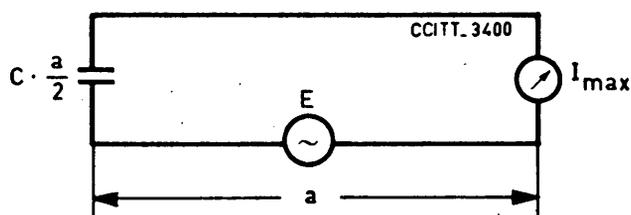


FIGURE 8/K.16. — Ligne terminée par un court-circuit à une extrémité.

$a$  = longueur de ligne.

Ce schéma correspond à la moitié de la figure 5/K.16 relative à une ligne de longueur  $l = 2a$ , 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  $C \cdot \frac{l_2}{x}$  associée à la section 2 dans le circuit équivalent partiel doit être comprise entre:

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

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

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 9/K.16 suivante pour  $l_2 \ll \frac{l}{2}$ .

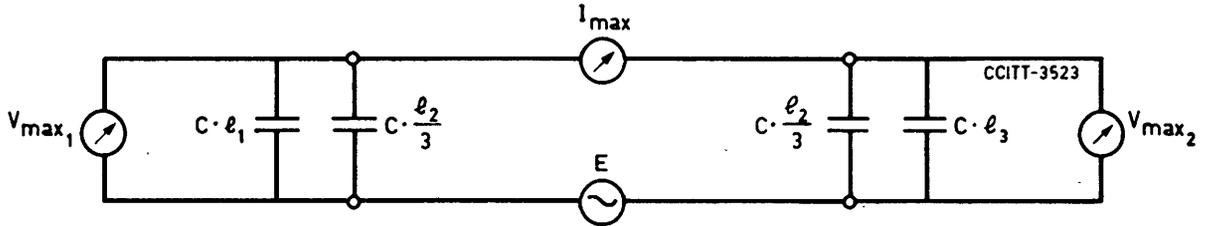


FIGURE 9/K.16. — Circuit « enveloppe du câble-conducteur extérieur »; cas d'une section exposée courte.

#### 4.2 Impédance effective de transfert <sup>1</sup>

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 5/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 ( $l_2 \gg \frac{l}{2}$ ).

Dans le cas d'une exposition partielle de faible longueur au milieu de la section d'alimentation comme dans le cas de la figure 6/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  $2 \cdot l$ ).

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:

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

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

<sup>1</sup> L'impédance de transfert est souvent aussi appelée impédance de couplage de l'enveloppe métallique du câble.

## 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 2, 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 (mêmes 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.

FIGURES 10/K.16. — Circuit « conducteur extérieur-conducteur intérieur » :

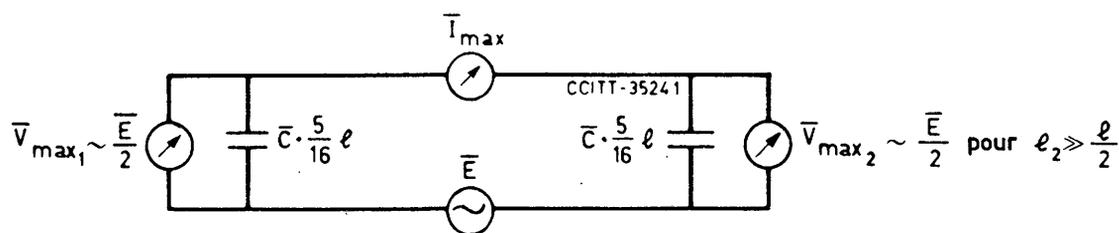


FIGURE 10 a/K.16. — Section exposée longue;

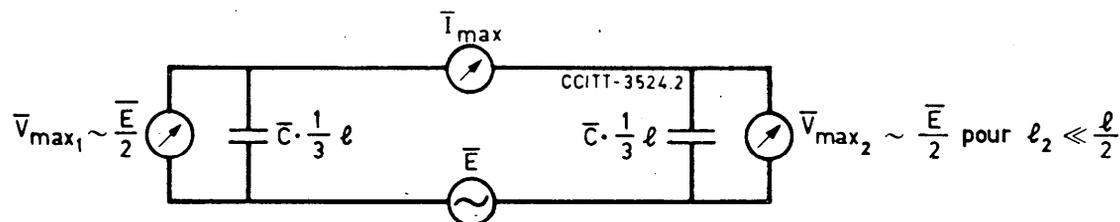


FIGURE 10 b/K.16. — Section exposée courte.

Dans cette hypothèse, les schémas de circuits de la figure 10/K.16, inspirés des figures 5/K.16 et 6/K.16 pour le cas d'une exposition symétrique, peuvent aussi en règle générale s'employer pour une configuration quelconque.

## 5. Conclusion de l'Annexe 1

En assemblant les schémas élémentaires des figures 7/K.16 à 10/K.16 du paragraphe 4 de la présente annexe, 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  $l_2 \ll \frac{l}{2}$  même lorsque  $l_2 = \frac{l}{2}$ . Si donc nous remplaçons :

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

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

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 du présent Avis.

## ANNEXE 2

(à l'Avis 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:

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

Aux figures 11/K.16 et 15/K.16 sont tracées des courbes qui, établies avec précision, donnent les tensions et courants induits dans un système de télécommunication à 300 voies. Ces figures correspondent aux figures 4/K.16 à 7/K.16 de la publication mentionnée au point [1] de la bibliographie de l'Avis K.16 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 14/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 12<sup>e</sup> et le 28<sup>e</sup> 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:  $l_1 = 12 \text{ km}$ ,  $l_2 = 16 \text{ km}$  et  $l_3 = 36 \text{ km}$ ,  $\frac{l}{2} = 32 \text{ km}$ . Comme  $l_2$  est plus petit que  $\frac{l}{2}$  on utilisera les paramètres suivants pour la détermination du circuit équivalent (voir la figure 2/K.16):

$k_0 = \frac{1}{3}$	et $\bar{C} = 0,2 \mu\text{F}/\text{km}$
$k_1 = \frac{1}{2}$	$R_0 = 6,2 \Omega/\text{km}$
$k_2 = \frac{1}{3}$	$C = 0,12 \mu\text{F}/\text{km}$

Schéma de calcul:

$C l_1 = 0,12 \times 12$	$C k_2 l_2 = 0,12 \times \frac{1}{3} \times 16$	$C l_3 \frac{l}{2} = 0,12 \times 36$
$= 1,44 \mu\text{F}$	$= 0,64 \mu\text{F}$	$= 4,32 \mu\text{F}$

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

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

}

x
 $1530 \Omega = V_{\max_1} = 705 \text{ volts}$

x
 $640 \Omega = V_{\max_2} = 295 \text{ volts}$

x
 $198,5 \Omega = \bar{E} = 91,6 \text{ volts}$

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

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

$$\frac{1}{3} \omega \bar{CI} = \frac{1}{3} \times 314 \times 0,2 \times 10^{-6} \times 64 = 1,34 \times 10^{-3} \text{ mhos}$$

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

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

(Valeurs tirées de la figure 14/K.16)

Valeurs maximales	Valeurs résultant du calcul exact	Valeurs résultant de l'application du circuit équivalent	Ecart par rapport au calcul exact
$V_{\max_1}$	685 V	705 V	+ 2,9%
$V_{\max_2}$	315 V	295 V	- 6,3%
$I_{\max}$	0,455 A	0,461 A	+ 1,3%
$\bar{V}_{\max_1}$	48 V	45,8 V	- 4,6%
$\bar{V}_{\max_2}$	37,5 V	45,8 V	+ 22%
$\bar{I}_{\max}$	55 mA	61,5 mA	+ 11,8%

Cette comparaison montre qu'à l'exception de la valeur  $\bar{V}_{\max_2}$  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  $\bar{V}_{\max_2}$  n'a pas d'importance pratique puisqu'il concerne le plus petit des deux maximums de  $\bar{V}$ .

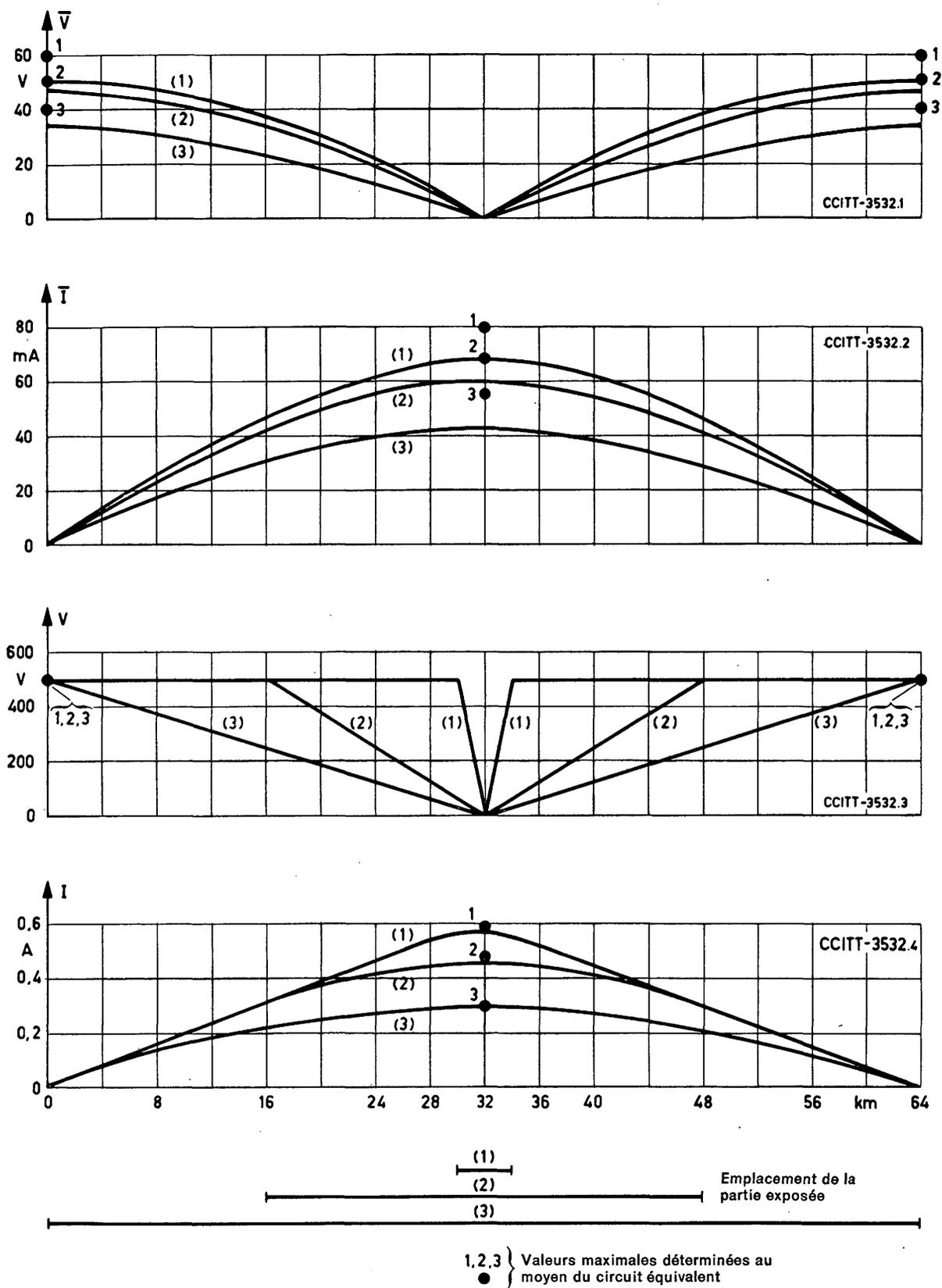


FIGURE 11/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements symétriques avec une ligne inductrice. Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant).

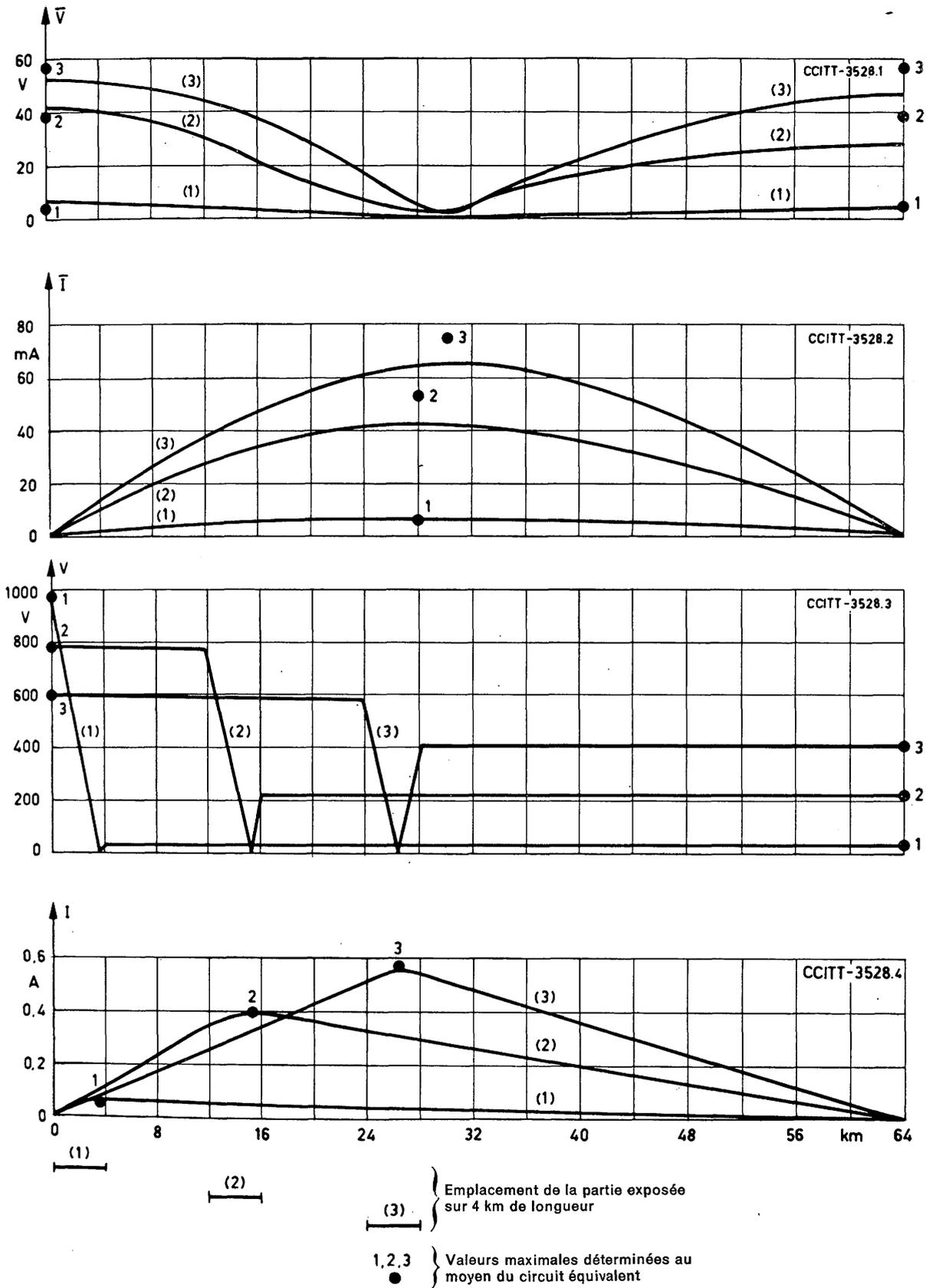


FIGURE 12/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 4 km). Tension induite le long de la partie exposée : 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant).

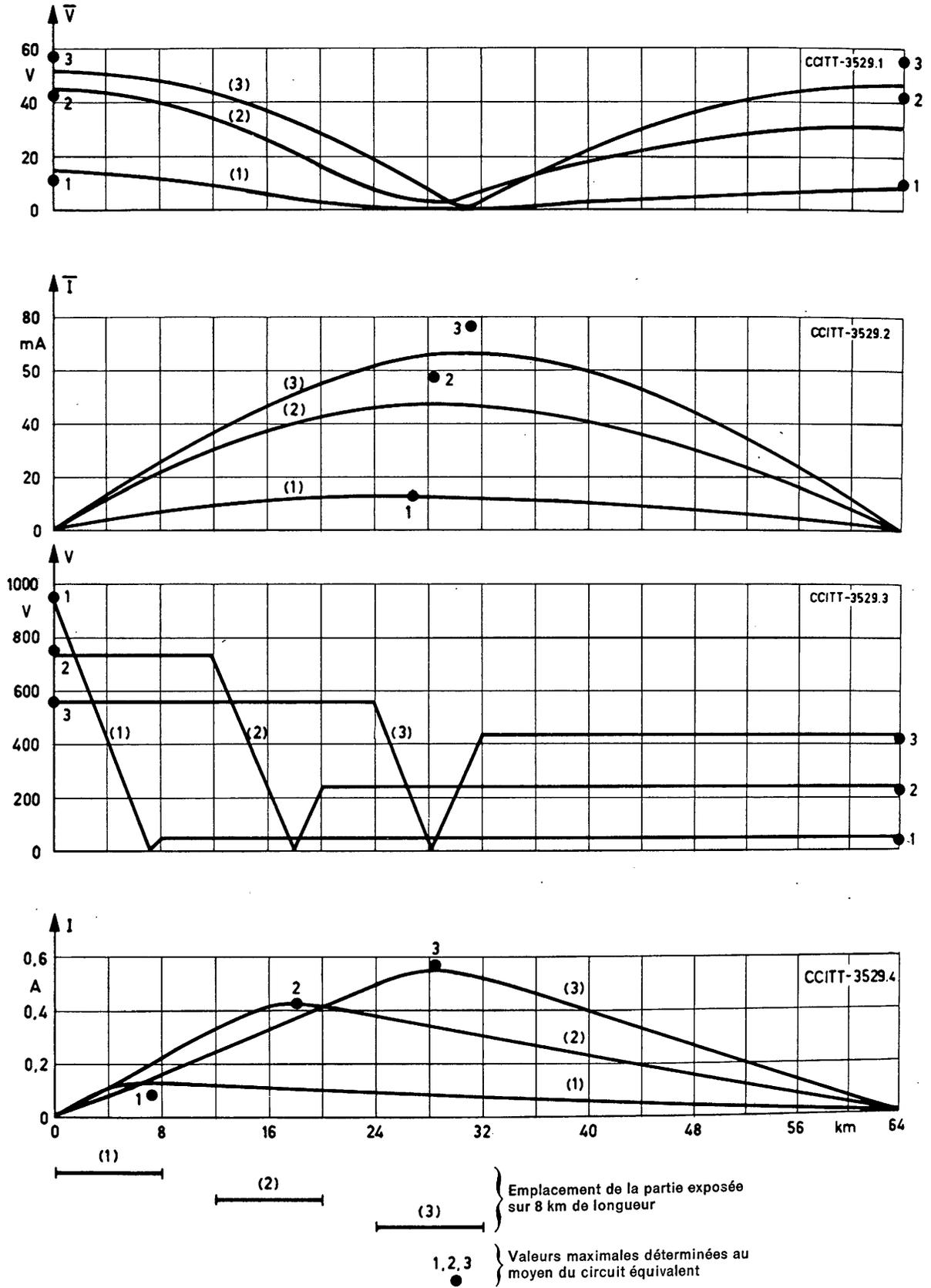


FIGURE 13/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 8 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant).

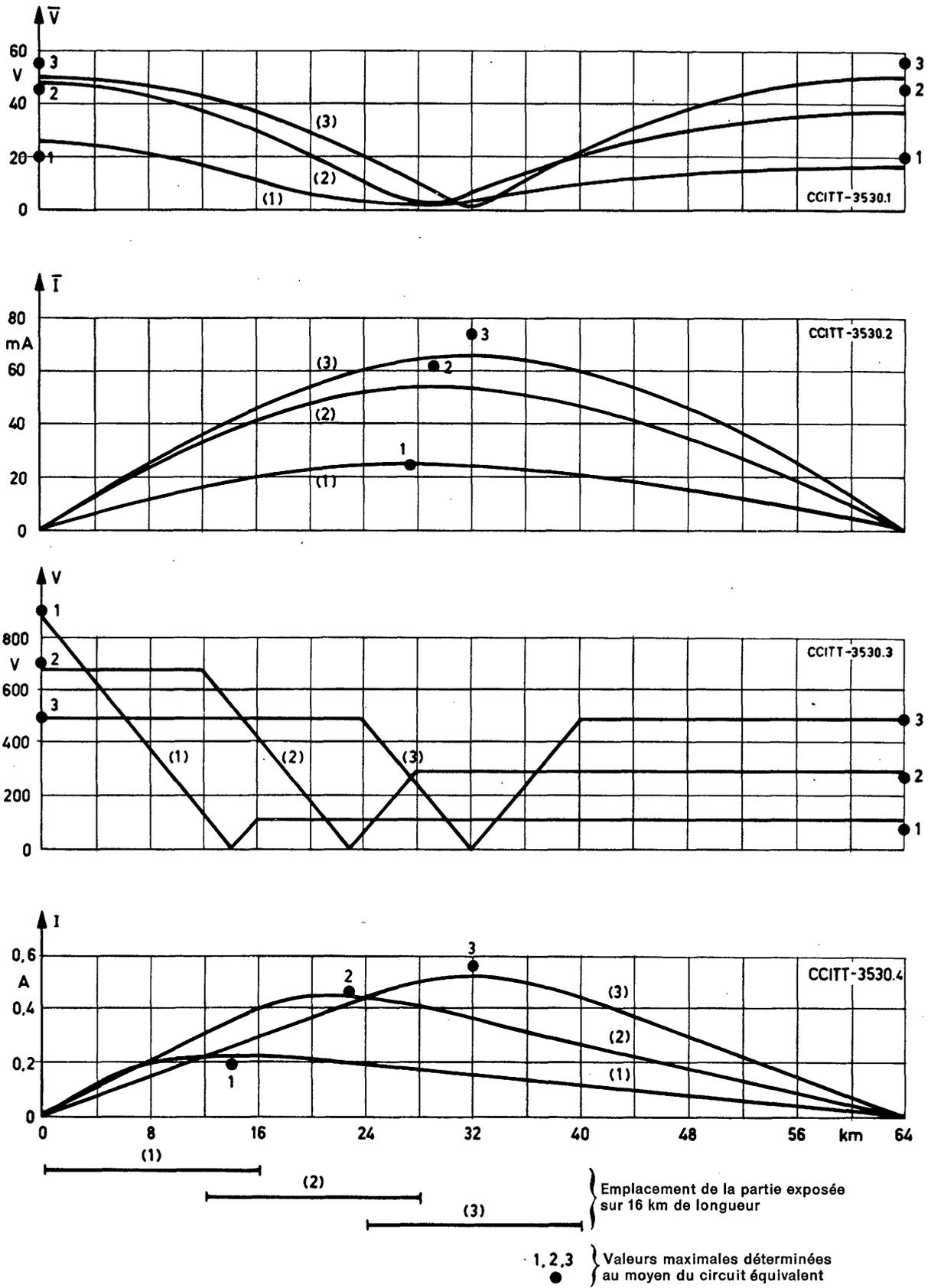


FIGURE 14/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 16 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant).

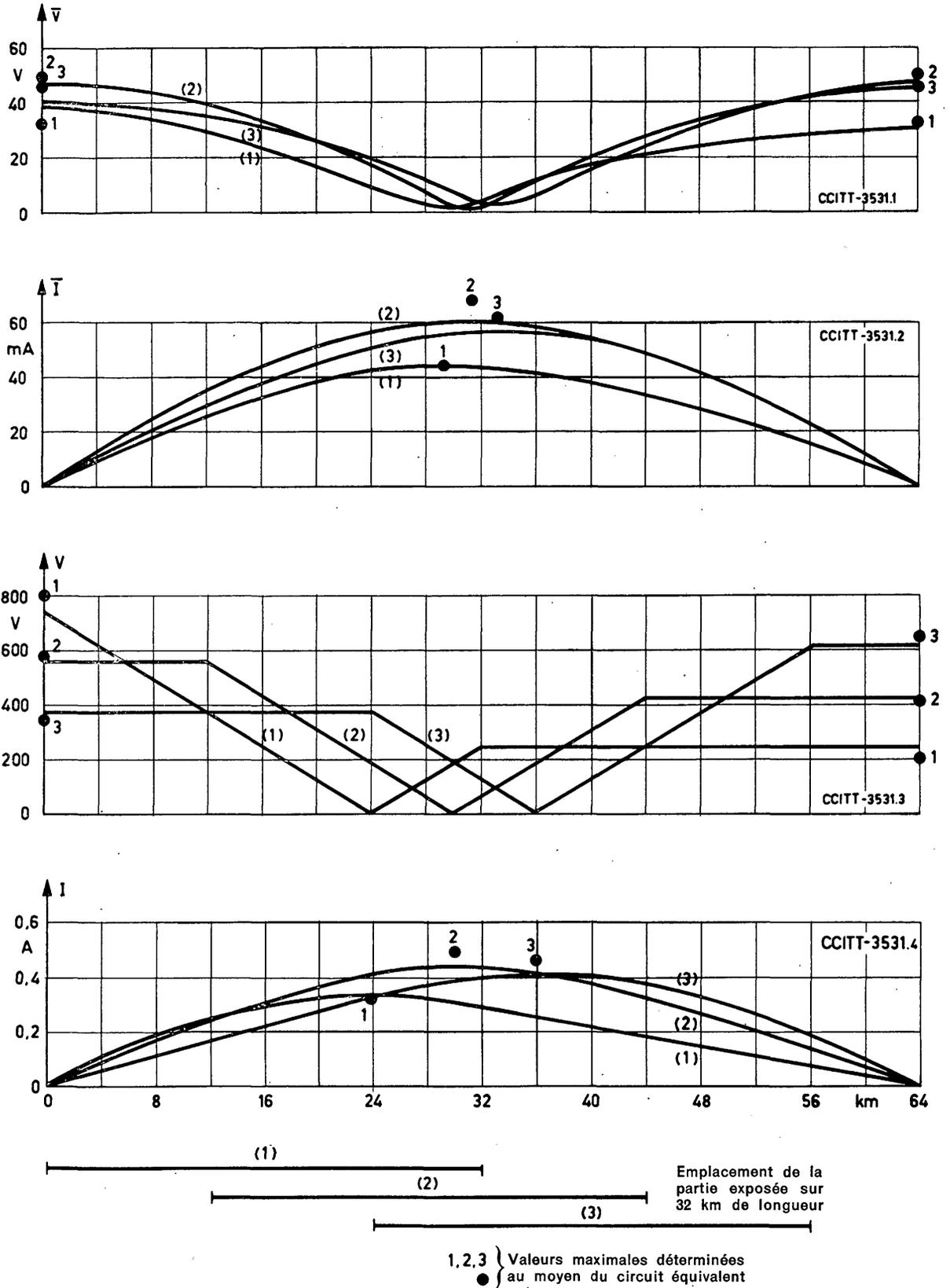


FIGURE 15/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec la ligne inductrice (longueur de rapprochement 32 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant).

ANNEXE 3  
(à l'Avis K.16)

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

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  $\bar{C}$  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 16/K.16 ci-dessous.

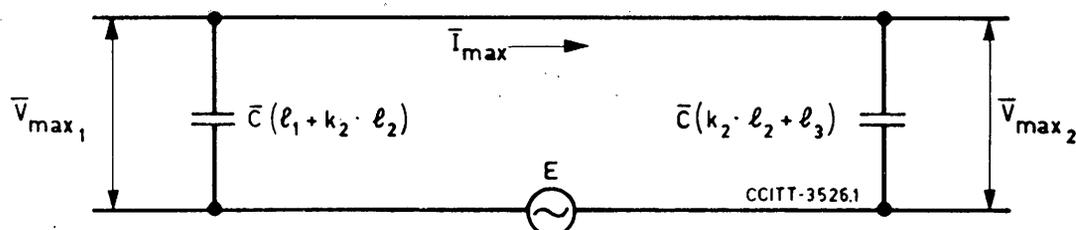


FIGURE 16/K.16. — Circuit « enveloppe du câble-conducteur extérieur » (section longue).

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 17/K.16 ci-dessous.

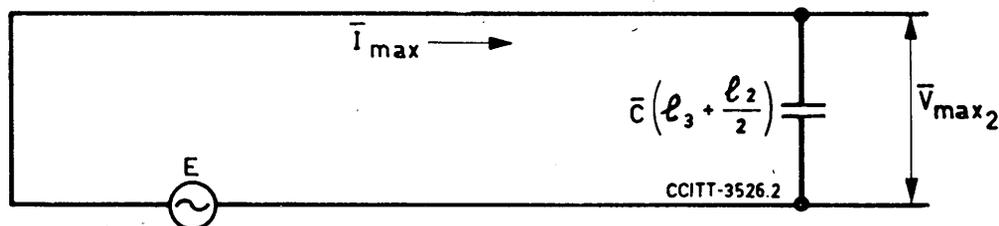
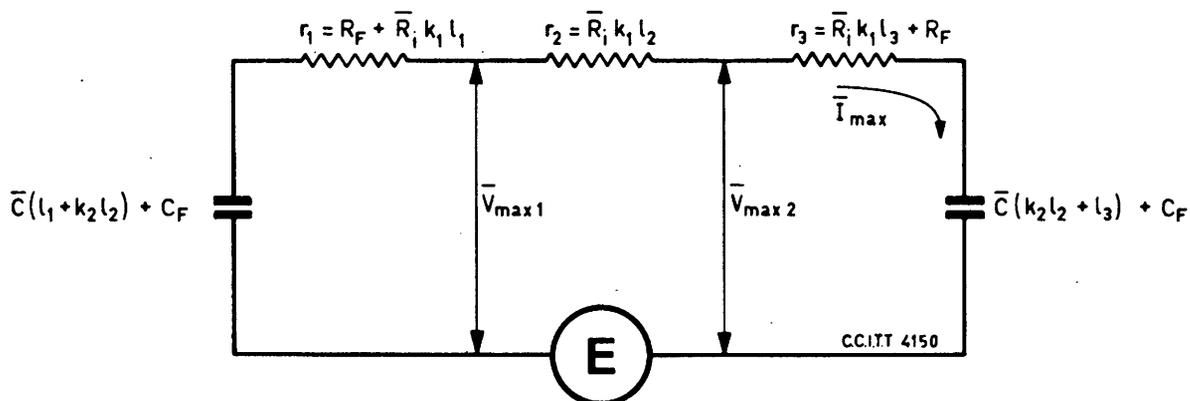


FIGURE 17/K.16. — Ligne en court-circuit à une extrémité.

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  $\mu\text{F}$ ), le schéma simplifié de la figure 16/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  $\bar{C} = 0,11 \mu\text{F}/\text{km}$ ,  $\bar{R}_i = 17 \Omega/\text{km}$ , 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  $\mu\text{F}$ . Le schéma correspondant est représenté sur la figure 18/K.16.



Note. —  $\bar{R}_i$  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 18/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 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 19/K.16 à 22/K.16 ci-après indiquent les valeurs des tensions et courant obtenus sur le circuit complet; on a reporté sur les mêmes figures les points correspondant à l'utilisation du circuit équivalent de la figure 18/K.16. Le détail des calculs et des mesures faits est donné par la publication [5] d'où sont extraites les courbes ci-après. La concordance entre les deux séries de résultats est tout à fait satisfaisante.

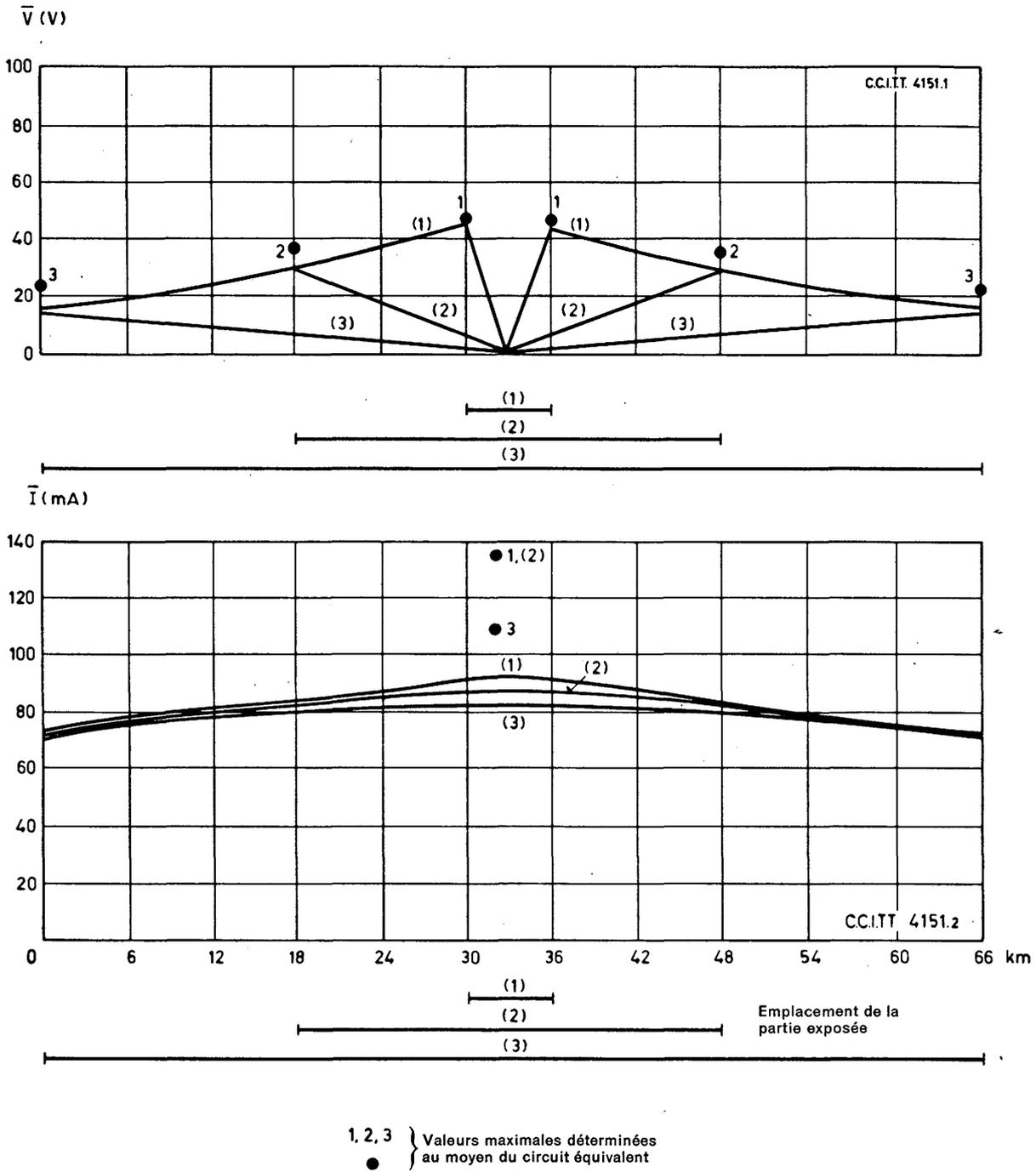


FIGURE 19/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements symétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre).

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

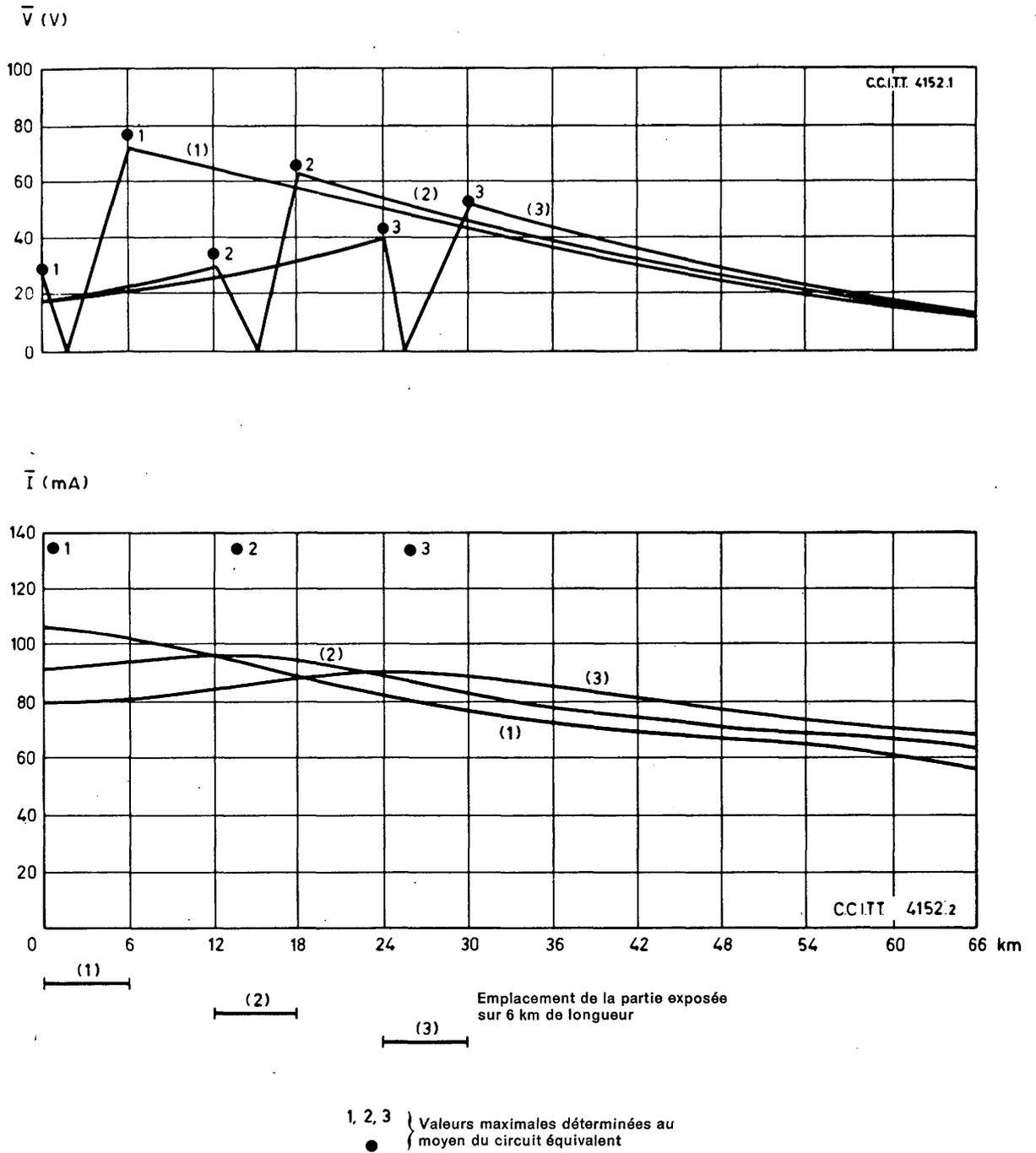


FIGURE 20/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre).

Longueur du rapprochement : 6 km.  
Tension inductrice : 100 volts.

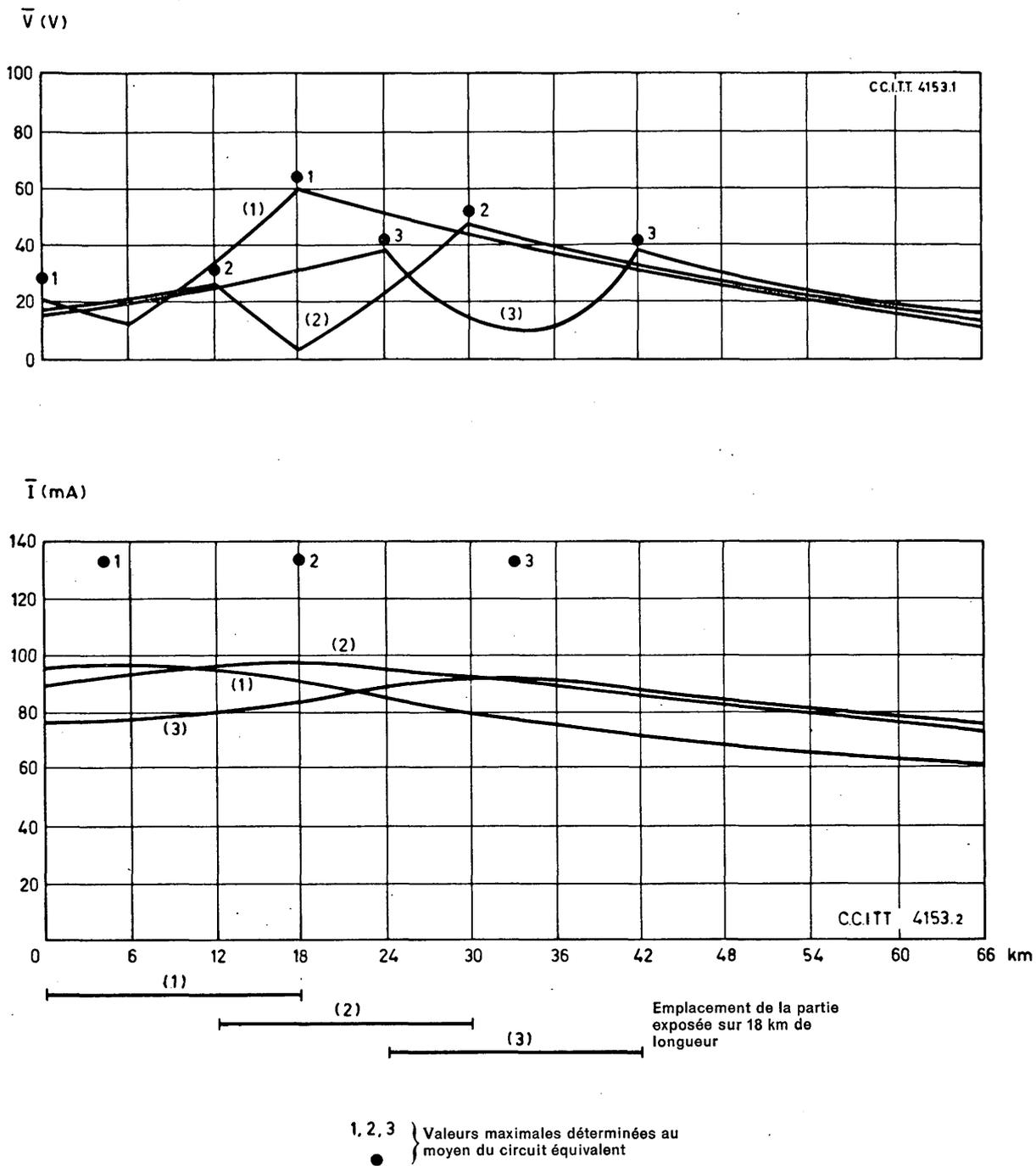


FIGURE 21/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre).

Longueur du rapprochement : 18 km.  
Tension inductrice : 100 volts.

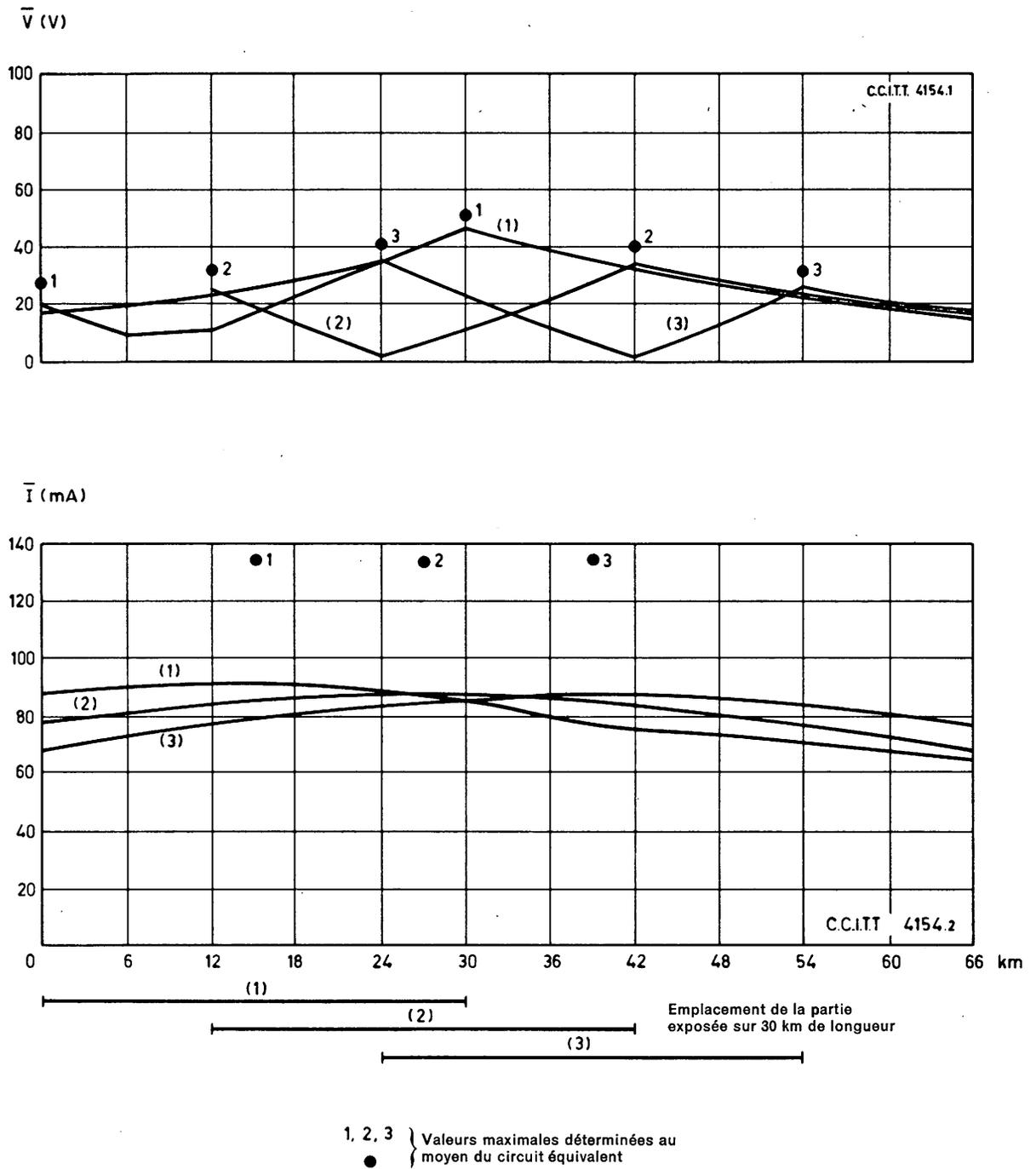


FIGURE 22/K.16. — Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre).

Longueur du rapprochement: 30 km.  
 Tension inductrice : 100 volts.

## **Questions relatives à la protection contre les perturbations confiées à la Commission d'études V en 1973-1976**

### **Question 1/V — Organes de protection**

*(suite de la Question 1/V, étudiée au cours de la période 1968-1972 par le Groupe mixte PAR des Commissions d'études V, VI et de la C.I.G.R.E.)*

*(nouveau libellé)*

L'utilisation d'organes comportant des semi-conducteurs dans l'équipement d'un centre de télécommunication expose cet équipement aux détériorations que peuvent occasionner les surtensions. La miniaturisation de tous les organes, y compris de ceux qui servent à la protection, pose des problèmes de protection particulière qu'il faut étudier plus à fond. Quels Avis peut-on émettre à ce sujet ?

*Remarque.* — En dimensionnant le circuit, on doit tenir compte de l'amplitude et de la durée de tensions induites possibles, des tensions transversales provoquées par des parafoudres ayant une tension d'amorçage inégale et de la durée relativement grande (quelques centaines de  $\mu$ s) de surtensions d'origine atmosphérique.

### **Question 2/V — Dispositifs réduisant la tension des fils par rapport au sol**

*(suite de la Question 2/V, 1968-1972)*

*(question documentaire)*

Etude des dispositifs, autres que les parafoudres et les tubes à décharge, que l'on peut insérer dans les lignes téléphoniques exposées à une forte induction afin de réduire les tensions des fils par rapport au sol.

*Remarque.* — Dans le cas de l'emploi de transformateurs-neutralisateurs ou de transformateurs-réducteurs, il convient d'étudier les deux points ci-après :

- a) comment déterminer l'emplacement optimal d'un tel dispositif lorsqu'il s'agit de compenser des tensions induites sur une ligne de télécommunication en cas de court-circuit sur une ligne d'énergie ?
- b) dans quelles limites ce dispositif peut-il être utilisé en pareil cas ?

### **Question 3/V — Problèmes posés par la répartition des dispositifs de protection sur des circuits de télécommunication soumis à des tensions induites élevées**

*(nouveau libellé)*

Compte tenu de la méthode proposée dans l'Avis K.11 pour l'insertion de parafoudres, à intervalles convenablement choisis, le long d'une ligne aérienne, comment doit-on procéder pour faire en sorte que la dégradation de la qualité de transmission qui résulte de cette insertion soit aussi faible que possible ?

*Remarque 1.* — La dégradation de la qualité de transmission sur la ligne peut être due à l'amorçage des parafoudres.

*Remarque 2.* — A cet égard, la responsabilité de la Commission d'études V est limitée à des considérations concernant la ligne. Pour certaines conditions générales des caractéristiques des lignes aériennes, voir l'Avis G.521 du Tome III du *Livre Vert* ainsi que le chapitre XIX des *Directives*.

*Remarque 3.* — Toute information qui pourrait être fournie au sujet de la fréquence et de la durée des interruptions causées par l'amorçage des parafoudres peut intéresser la Commission d'études IV dans son étude de la Question 2/IV.

*Remarque 4.* — Pour l'étude de cette Question on prendra en considération les documents:

- C.C.I.T.T. — 1961-1964 — Contribution COM V — n° 13 (Administration de l'U.R.S.S.);
- C.C.I.T.T. — 1964-1968 — Contribution COM V — n° 30 (France);
- C.C.I.T.T. — 1969-1972 — Contribution COM V — n° 68 (Administration de l'U.R.S.S.).

**Question 4/V — Effet réducteur des câbles ayant une enveloppe métallique protégée par un revêtement en matière plastique.**

*(nouvelle question)*

*(suite des anciennes Questions 5/V et 7/V, 1968-1972)*

Quels sont les problèmes qui se posent pour la mise à la terre, en ligne, de l'enveloppe métallique des câbles, lorsque celle-ci est protégée par un revêtement en matière plastique, et quelles recommandations convient-il de faire à ce sujet, afin de rétablir l'effet réducteur de cette enveloppe métallique ?

*Remarque 1.* — On examinera notamment le cas où l'enveloppe métallique du câble est isolée, mais comporte des connexions de mise à la terre échelonnées le long du câble.

*Remarque 2.* — Le problème de la prise de terre des centres de télécommunication pour laquelle on avait l'habitude d'utiliser l'enveloppe métallique des câbles est du domaine de la Question 24/V.

*Remarque 3.* — Dans l'étude de cette Question il convient de tenir compte de l'information contenue dans le document suivant: — C.C.I.T.T. — 1969-1972 — Contribution COM V — n° 69 (Administration de l'U.R.S.S.).

ANNEXE

(à la Question 4/V)

**Information fournie par l'Administration française en 1971**

Pour assurer la protection des câbles à enveloppe métallique sous gaine de matière plastique, l'Administration française, se basant sur des résultats de calculs et d'expérience, estime nécessaire de réunir à la terre l'enveloppe de tels câbles aussi souvent qu'il est possible de le faire sans dépense supplémentaire même si la résistance de chacune des terres est relativement élevée. Pour cela:

- la continuité métallique des enveloppes est réalisée à chaque joint;
- l'enveloppe est reliée, au moyen d'un conducteur en cuivre étamé d'au moins 8 mm<sup>2</sup> de section, aux manchons de fonte protégeant les joints ou les bobines de charge, lesquels sont en contact avec le sol;
- toutes les terres des centraux traversés, celles des centraux d'extrémité, les enveloppes des câbles de dérivation, etc., sont reliées à l'enveloppe du câble principal.

Cette méthode convient pour assurer la protection contre l'induction et contre la foudre dans les régions moyennement exposées. Dans les zones très exposées, on est conduit à enterrer des fils écrans au-dessus du câble.

Il a été décidé de ne pas relier ces fils aux points de mise à la terre de l'enveloppe pour éviter des entrées trop directes du courant de foudre dans l'enveloppe.

La mise à la terre des enveloppes ainsi réalisée empêche de vérifier en service l'étanchéité de la gaine en matière plastique par des mesures électriques, mais ce léger inconvénient est très largement compensé par l'amélioration du facteur réducteur et par l'atténuation rapide sur une courte distance des effets de la foudre.

(Pour la période 1973-1976, il n'y a pas de Questions portant les numéros 5/V, 6/V, 7/V.)

### Question 8/V — Statistiques des défauts sur les lignes à grande sécurité de service

(suite de la Question 8/V, 1968-1972)

Etude statistique des défauts affectant les lignes à grande sécurité de service et étude des répercussions sur les lignes ou installations de télécommunication.

Nature et gravité de ces répercussions.

*Remarque 1.* — L'établissement de ces statistiques nécessitera une collaboration étroite entre les Administrations téléphoniques et les sociétés de transport d'énergie, particulièrement en ce qui concerne l'enregistrement simultané des défauts apparaissant sur les installations respectives.

*Remarque 2.* — Il sera intéressant de comparer les statistiques relatives aux lignes à grande sécurité de service à celles relatives aux lignes ordinaires.

*Remarque 3.* — Cette étude permettra de savoir s'il est opportun de modifier ou de compléter la définition actuelle des lignes à grande sécurité de service.

*Remarque 4.* — Pour l'étude de cette Question, on prendra en considération les documents suivants:

- C.C.I.T.T. — 1969-1972 — Contribution COM V — n° 48 (C.I.G.R.E.);
- C.C.I.T.T. — 1969-1972 — Contribution COM V — n° 55 (C.I.G.R.E. — Comité d'études 36);
- C.C.I.T.T. — 1969-1972 — Contribution COM V — n° 56 (C.I.G.R.E. — Comité d'études 36).

### Question 9/V — Utilisation des conduites et des appuis communs pour des lignes de télécommunication et des lignes électriques

(suite de la Question 9/V, 1968-1972)

- a) Coexistence de lignes de télécommunication en fils aériens ou en câble sur les mêmes supports que les lignes d'énergie électrique;
- b) 1. — Coexistence des lignes de télécommunication et d'énergie électrique dans la même tranchée, la même conduite ou le même câble. Est-il économique et prudent d'utiliser en même temps ces conduites pour les services des eaux ou du gaz ?
2. — Coexistence des mises à la terre de différents systèmes sur la même électrode de prise de terre.

*Remarque.* — Les études faites au titre de cette partie b) devront avoir pour objet:

- de déterminer les cas dans lesquels la coexistence est inadmissible;
  - d'établir des recommandations pour les cas où la coexistence est admissible.
- c) Base des calculs nécessaires pour tenir compte des effets nuisibles d'induction électromagnétique et d'influence électrique dans les deux cas énoncés ci-dessus.

*Remarque.* — Voir l'Avis K.5.

- d) Risques pour un câble, dus à un gradient de potentiel élevé dans les cas suivants :
- cas de lignes voisines, soit de prises de terre de pylônes d'une ligne électrique appartenant à un réseau dont le neutre est mis directement à la terre, soit de conducteurs enterrés reliant entre eux tous les pylônes d'une telle ligne;
  - cas où, par suite d'un accident affectant un câble électrique, un câble téléphonique voisin entre en contact avec lui, ou bien un arc électrique s'établit entre les deux câbles.

#### Question 10/V — Transformateurs-suceurs

(suite de la Question 10/V, 1968-1972)

Perturbations occasionnées aux lignes de télécommunication par les chemins de fer équipés de transformateurs-suceurs. Les principes fondamentaux sont exposés au chapitre XVIII des *Directives*, mais les questions suivantes, qui présentent un intérêt particulier, méritent encore d'être étudiées :

- a) quels sont les ordres de grandeur et les formes d'onde des courants rencontrés dans les différentes parties d'un système de traction, dans des conditions de surcharge et de court-circuit ?
- b) quels sont les effets d'une distribution non uniforme du courant dans les fils de contact ?

*Remarque.* — La distribution non uniforme du courant peut être due :

- 1) à la présence de plus d'un train dans une même section d'alimentation ;
  - 2) à l'utilisation de transformateurs-suceurs de différentes dimensions ou séparés par des intervalles inégaux.
- c) quelles conventions pourrait-on recommander pour le calcul des tensions dangereuses ou perturbatrices occasionnées par la présence de plusieurs trains dans une même section d'alimentation ?

(Pour la période 1973-1976, il n'y a pas de Questions portant les numéros 11/V, 12/V.)

#### Question 13/V — Dissymétrie des installations téléphoniques

(nouveau libellé)

Du point de vue du bruit causé aux systèmes de télécommunication par des installations de distribution d'énergie électrique, est-il nécessaire de spécifier des valeurs et des méthodes de mesure de la dissymétrie par rapport à la terre :

- a) pour les équipements terminaux et intermédiaires;
- b) pour les lignes de télécommunication;
- c) pour la ligne connectant un abonné avec un autre abonné dans un réseau local, y compris le central ?

Dans l'affirmative,

- La méthode pour mesurer la dissymétrie de l'équipement, telle que décrite dans l'Avis Q.45 (point 6.4.1), est-elle conforme avec les dispositions de l'Avis K.10 et les indications figurant dans les Directives au Chapitre XVI, section 1 ?
- Quelle méthode est adéquate et suffisante pour obtenir les caractéristiques nécessaires ?

- Quelles méthodes est-il recommandé de suivre pour mesurer la dissymétrie dans les cas b) et c) ?
- Est-il nécessaire de tenir compte de changements que le degré de dissymétrie subirait éventuellement pendant l'établissement d'une communication ?

*Remarque 1.* — La Commission d'études V estime qu'il suffit, pour évaluer le bruit dû aux perturbations considérées, de spécifier les valeurs utilisables dans le calcul du bruit sur la chaîne de circuits empruntée par une communication.

*Remarque 2.* — Les Commissions d'études qui s'occupent de la conception des équipements et des lignes sont invitées à spécifier des méthodes qui permettent de respecter dans la pratique les valeurs elles-mêmes spécifiées.

*(Pour la période 1973-1976, il n'y a pas de Question portant le numéro 14/V.)*

### Question 15/V — Réduction des harmoniques dans des cas spéciaux

*(nouveau libellé)*

Etude des caractéristiques des courants harmoniques circulant soit dans les lignes électriques, soit dans les lignes de traction et des répercussions de ces courants sur les lignes de télécommunication.

*Remarque 1.* — Il convient d'inclure dans cette étude:

- les dispositions propres à réduire l'importance des courants harmoniques circulant dans les lignes électriques et de traction;
- les dispositifs permettant de réduire l'importance des bruits perçus aux extrémités d'une ligne téléphonique;
- les méthodes de calcul des courants harmoniques circulant dans les lignes électriques et des tensions psophométriques apparaissant aux extrémités d'une ligne téléphonique exposée à l'induction des lignes précitées.

*Remarque 2.* — Les résultats de l'étude de la Question 13/V pourraient contribuer à une réponse relative à la réduction des bruits apparaissant dans les installations téléphoniques.

*Remarque 3.* — Il convient de prendre en considération les indications relatives à la Question qui sont données dans le document suivant: — C.C.I.T.T. — 1969-1972 — Contribution COM V — n° 39, pages 34 à 36.

*(Pour la période 1973-1976, il n'y a pas de Question portant le numéro 16/V.)*

### Question 17/V — Lignes de transport d'énergie à très haute tension par courant continu

*(suite de la Question 17/V, 1968-1972)*

Conditions de coexistence des lignes de transport d'énergie à très haute tension par courant continu et des lignes téléphoniques voisines.

*Remarque 1.* — Il y aurait lieu d'étudier:

1. La nature des ondes transitoires qui se produiraient sur la ligne à haute tension dans les conditions normales d'exploitation au moment de la mise de cette ligne sous tension, et dans les conditions anormales: rupture de fil, mise à la terre accidentelle, etc.
2. L'effet de ces ondes transitoires sur les lignes voisines de télécommunication.

3. L'opportunité de fixer une limite à la valeur de crête de la force électromotrice longitudinale développée en cas de variation brusque de la tension, dans les conditions anormales. Dans l'affirmative, on pourrait examiner si la limite de 1000 volts, adoptée pour cette valeur dans le cas des lignes de traction à courant continu, peut encore s'appliquer au cas présentement considéré.

4. Le bruit qui peut être causé sur les lignes de télécommunication par les ondulations du courant.

5. L'accroissement des harmoniques dans les lignes alimentant la sous-station de conversion du courant continu en courant alternatif ou dans les lignes alimentées par cette sous-station.

Dans le cas de lignes de transport d'énergie à courant continu par câble sous-marin, l'attention est attirée sur le fait que l'effet principal à redouter paraît être celui provenant des lignes aériennes prolongeant le câble sous-marin jusqu'aux sous-stations de connexion du courant.

Il serait utile de déterminer quelle méthode peut être recommandée pour le calcul du trouble et du danger auxquels peuvent être soumis les circuits de télécommunication par l'effet des lignes industrielles à courant continu en haute tension.

En outre, il conviendrait d'étudier les méthodes les meilleures pour réduire les ondulations du courant continu, applicables au cas de ces lignes industrielles.

6. Il peut être intéressant de connaître la gamme des harmoniques transmises sur les lignes d'énergie à courant continu ou à courant alternatif, ainsi que leurs amplitudes.

*Remarque 2.* — Pour l'étude de cette question, on prendra notamment en considération les documents suivants:

— C.C.I.T.T. — 1964-1968 — Contribution COM V — n° 34  
(intéresse le Groupe de rédaction des *Directives*).

— I.E.E.E. — International Convention Record, 1965, 9<sup>e</sup> partie — Power.  
— Corrosion (L.E. Fiorretto).  
— Induction (F.M. Stumpf).

(Pour la période 1973-1976, il n'y a pas de Question portant le numéro 18/V.)

### Question 19/V — Influence des émissions radioélectriques sur les circuits de télécommunication

(suite des Questions 19/V et 20/V, 1968-1972)

Etude de l'influence des émissions des stations radioélectriques sur les circuits de télécommunication en fils aériens ou en câbles aériens ou souterrains.

On examinera en particulier les points suivants:

- a) Dans quelles conditions (écartement entre la station radioélectrique et la ligne de télécommunication, schéma de transpositions, coefficient de sensibilité du circuit, etc.) les bruits peuvent-ils se produire dans les voies à courants porteurs?
- b) De quelle manière peut-on calculer la valeur des bruits causés par une station radioélectrique dans un circuit de télécommunication?
- c) Quelles méthodes peut-on recommander pour réduire ces bruits:
  1. Sur les lignes existantes?
  2. Sur les nouvelles lignes prévues?

(L'attention est attirée sur les prescriptions formulées dans les *Directives* pour la construction de lignes nouvelles. Des adjonctions à ces prescriptions peuvent être proposées.)

- d) Précautions à prendre pour éviter d'autres troubles, tels que ceux provenant par exemple des caractéristiques d'éléments non linéaires.

- e) Précautions à prendre pour éviter les dangers dus à des forces électromotrices induites élevées (notamment dans le cas des lignes passant à proximité ou desservant les stations radioélectriques puissantes).

*Remarque.* — A l'issue de la période 1964-1968, la conclusion de la Commission d'études V a été que les perturbations d'origine radioélectrique ne sont pas très gênantes pour les télécommunications par câble. Elles sont, pour un grand nombre d'Administrations, soit inexistantes, soit facilement surmontées. Avant que l'on puisse émettre un avis, il est de nouveau demandé aux Administrations participantes d'informer la Commission de leurs difficultés et des moyens mis en œuvre pour les éliminer.

(Pour la période 1973-1976, il n'y a pas de Question portant le numéro 20/V.)

**Question 21/V — Essais à effectuer sur des répéteurs à transistors téléalimentés pour vérifier l'efficacité des mesures de protection contre les perturbations extérieures**

(nouveau libellé)

Pour l'étude de cette Question, il faudra se référer aux renseignements de base donnés dans l'Annexe ci-après.

ANNEXE

(à la Question 21/V)

Texte non approuvé, devant servir de base pour l'étude du projet d'un Avis K.17

**Essais à exécuter sur des répéteurs à transistors téléalimentés pour vérifier l'efficacité des mesures de protection contre les perturbations extérieures**

A. Introduction

Aucun des essais indiqués dans ce projet d'Avis K.17 ne doit provoquer de modifications sensibles aux caractéristiques des répéteurs essayés.

Les essais comprennent :

- des essais de type;
- des essais de réception.

*Essais de type*

Les essais de type ont pour but de vérifier l'efficacité de l'ensemble des mesures prises pour protéger les répéteurs transistorisés.

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 transistorisés, même si elles ne se manifestent que très rarement.

Quand un répéteur transistorisé comportant des parafoudres à ses bornes d'entrée (ou de sortie) est soumis à une tension de choc, l'énergie résiduelle qui peut parvenir aux éléments semi-conducteurs 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 type, cette énergie résiduelle devra être aussi grande que possible; 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 de parafoudres, afin de déterminer comment le répéteur se comporte sous l'influence de la totalité de l'onde de choc.

*Essais de réception*

Ces essais sont destinés à montrer que, une fois la construction de l'équipement terminée, la protection fonctionne convenablement. En général, on se contentera d'une épreuve moins sévère que celle à laquelle est soumis le répéteur lors de l'essai de type, 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 sévères (par exemple, essais de type).

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.

**B. Méthodes de mesure**

1. *Méthodes de mesure concernant la protection des répéteurs contre les surtensions dues à des coups de foudre (essais en onde de choc)*

On utilisera pour ces mesures un dispositif constitué selon la figure 1/K.17. Les éléments du montage ont les valeurs suivantes:

$C_1 = 20 \mu\text{F}$  (ce condensateur devra supporter une tension de charge égale à la valeur de tension de crête donnée dans le tableau 1 ci-après).

$C_2 =$  Valeur donnée dans le tableau

$R_1 = 50 \Omega$

$R_2 = 15 \Omega$

Les formes d'ondes données par le tableau sont en accord avec les définitions de la publication n° 60/1962 de la C.E.I. (Les tensions et formes d'ondes du tableau 1 se réfèrent à un générateur non chargé.)

Les impulsions sont appliquées avec polarité inversée d'une impulsion à l'autre, avec un intervalle de 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.

Les ondes de choc doivent être appliquées aux points suivants:

— essai 1: à l'entrée du répéteur, la sortie étant formée sur son impédance caractéristique;

— essai 2: à la sortie du répéteur, l'entrée étant fermée sur son impédance caractéristique;

— essai 3: (dans le sens longitudinal) entre le conducteur central côté entrée et le conducteur central côté sortie du répéteur (aux bornes du circuit de téléalimentation dans le cas des répéteurs pour paires symétriques).

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

2. *Méthodes de mesure 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 paragraphe 3.2 de l'Avis K.15), sa caractéristique de bruit de modulation doit tenir les recommandations pour les sections principales prévues par la COM XV au titre de la Question 11, comme cela est signalé dans le paragraphe 4.3 de l'Avis K.15, quand, étant connecté avec une ligne ordinaire d'alimentation en énergie électrique, il est soumis:

a) à une tension alternative de fréquence correspondante (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 correspondante, superposé au courant d'alimentation du répéteur.

Le maximum admissible de la tension alternative mentionnée sous a) est celui admis dans le chapitre IV des *Directives*, paragraphes 6, 7 et 35, pour la tension induite dans la section d'alimentation en énergie électrique, soit 60 V ou 150 V en valeur efficace. Le courant alternatif superposé, mentionné sous b), est le maximum de l'intensité produite dans la ligne d'alimentation en énergie électrique par la tension induite, dans les conditions les plus défavorables (voir l'Avis K.16).

### C. Essais à effectuer dans les différents cas

#### 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. De cette façon, on couvre le cas où le conducteur extérieur, ayant normalement un potentiel flottant, entrerait accidentellement en contact avec l'enveloppe métallique.

##### 1.1 Essais de type

###### 1.1.1 Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur

###### a) Essais en onde de choc

On utilisera pour ces essais une forme d'onde ayant les caractéristiques de la 1<sup>re</sup> colonne du tableau 1.

Au cas où 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 C1 jusqu'à ce qu'ils amorcent (sans dépasser 7 kV).

Si les protections n'amorcent pas à 7 kV ou si les répéteurs soumis aux essais de réception 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 appropriée, est connecté en parallèle sur le circuit. Au cas où les parafoudres existants amorcent lors des essais mentionnés ci-dessus, la tension de charge du condensateur C1 doit être réduite progressivement jusqu'à ce qu'ils n'amorcent plus.

###### b) Essais en courant alternatif

Une tension comparable à celle que l'on est susceptible de rencontrer en pratique mais qui ne soit pas inférieure à 1200 V en valeur efficace sera appliquée pendant 0,5 seconde :

- à l'entrée du répéteur, la sortie étant terminée sur l'impédance caractéristique;
- à la sortie du répéteur, l'entrée étant terminée sur l'impédance caractéristique.

L'impédance de la source devra être telle que les courants qui circulent soient limités à 10 A.

###### c) Essais avec une tension alternative induite en permanence

Ces essais doivent être exécutés selon le point 2 de la partie B.

###### 1.1.2 Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur

###### a) Essais par onde de choc

On utilisera pour ces essais une forme d'onde ayant les caractéristiques de la 2<sup>e</sup> colonne du tableau 1.

Pour ces essais, on pourra s'inspirer des indications données dans l'exemple de montage de la figure 2/K.17. Pour coupler le générateur d'ondes de choc au répéteur, on peut utiliser, comme indiqué dans la figure 3/K.17, des parafoudres avec une tension d'amorçage voisine de 90 V.

###### b) Essais en courant alternatif

Si les répéteurs soumis aux essais ont des parafoudres et s'ils risquent d'amorcer, sous l'action des tensions longitudinales induites par les lignes électriques, un essai supplémentaire peut être effectué. Cet essai consiste 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 10 A.

###### c) Essais avec une tension alternative induite en permanence

Ces essais doivent être exécutés selon le point 2 de la partie B.

## 1.2 Essais de réception

### 1.2.1 Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur

On utilisera pour ces essais une forme d'onde ayant les caractéristiques de la 3<sup>e</sup> colonne du tableau 1. Pour ces essais, on pourra s'inspirer des indications données dans l'exemple de montage de la figure 2/K.17. Pour coupler le générateur d'ondes de choc au répéteur, on peut utiliser, comme indiqué à la figure 3/K.17, des parafoudres avec une tension d'amorçage voisine de 90 V.

### 1.2.2 Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur

Pour ces essais, on utilisera une forme d'onde ayant les caractéristiques de la 4<sup>e</sup> colonne du tableau 1. Pour ces essais, on peut soit charger le condensateur C1 sous 3 kV, soit le charger sous une tension plus faible, à condition que le courant de crête dans le circuit de téléalimentation atteigne alors 50 A.

## 2. Cas des répéteurs pour paires symétriques

### 2.1 Essais de type

#### 2.1.1 Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur

On utilisera pour ces essais une forme d'onde ayant les caractéristiques de la 5<sup>e</sup> colonne du tableau 1. Au cas où la rigidité diélectrique des paires symétriques serait plus grande que celle des paires isolées au papier, il serait opportun d'utiliser une tension de crête plus élevée que celle indiquée sur le tableau.

Au cas où les parafoudres existants amorcent lors des essais mentionnés ci-dessus, la tension de charge du condensateur C1 doit être réduite progressivement 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.

#### 2.1.2 Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur

##### a) Essais par ondes de choc

Pour ces essais, on utilisera une forme d'onde ayant les caractéristiques de la 6<sup>e</sup> colonne du tableau 1.

On pourra s'inspirer des indications données dans l'exemple de montage de la figure 2/K.17. Pour coupler le générateur d'ondes de choc au répéteur, on peut utiliser, comme indiqué dans la figure 3/K.17, des parafoudres avec une tension d'amorçage voisine de 90 V.

Pour ces essais, on peut soit charger le condensateur C1 sous 5 kV, soit le charger sous une tension plus faible à condition que le courant de crête dans le circuit de téléalimentation atteigne alors 50 A.

##### b) Essais en courant alternatif

Si les répéteurs soumis aux essais ont des parafoudres et s'ils risquent d'amorcer sous l'action des tensions longitudinales induites par les lignes électriques, un essai supplémentaire peut être effectué. Cet essai consiste 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.

##### c) Essais avec une tension alternative induite en permanence

Ces essais doivent être exécutés selon le point 2 de la partie B.

### 2.2 Essais de réception

#### 2.2.1 Essais aux bornes d'entrée et de sortie des répéteurs

On utilisera pour ces essais une forme d'onde ayant les caractéristiques de la 7<sup>e</sup> colonne du tableau 1.

Pour ces essais, on pourra s'inspirer des indications données dans l'exemple de montage de la figure 2/K.17. Pour coupler le générateur d'ondes de choc au répéteur, on peut utiliser, comme indiqué dans la figure 3/K.17, des parafoudres avec une tension d'amorçage voisine de 90 V.

#### 2.2.2 Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur

Pour ces essais, on utilisera une forme d'onde ayant les caractéristiques de la 8<sup>e</sup> colonne du tableau 1.

Pour ces essais, on peut soit charger le condensateur C1 sous 3 kV, soit le charger sous une tension plus faible, à condition que le courant de crête dans le circuit de téléalimentation atteigne alors 30 A.

TABEAU 1

CARACTÉRISTIQUES DES FORMES D'ONDES À UTILISER POUR LES ESSAIS

	Répéteurs pour paires coaxiales				Répéteurs pour paires symétriques			
	Essais de type		Essais de réception		Essais de type		Essais de réception	
	Essai 1 Essai 2	Essai 3	Essai 1 Essai 2	Essai 3	Essai 1 Essai 2	Essai 3	Essai 1 Essai 2	Essai 3
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Forme d'onde	10/800	100/800	100/800	100/800	10/800	100/800	100/800	100/800
Charge	0,1 Coulomb	0,1 Coulomb	0,06 Coulomb	0,1 Coulomb	0,03 Coulomb	0,1 Coulomb	0,03 Coulomb	0,1 Coulomb
Tensions de crête $\approx$	5 kV	5 kV	3 kV	3 kV	1,5 kV	5 kV	1,5 kV	3 kV
Courant de court-circuit	300 A		200 A		100 A		100 A	
Courant de crête dans le circuit de téléalimentation		50 A		50 A		30 A		30 A
Charge de court-circuit			0,046 Coulomb		0,023 Coulomb		0,023 Coulomb	0,077 Coulomb
$C_2$	0,2 $\mu$ F	2 $\mu$ F	2 $\mu$ F	2 $\mu$ F	0,2 $\mu$ F	2 $\mu$ F	2 $\mu$ F	2 $\mu$ F
Nombre d'impulsions	10	2	2	2	10	10	2	2

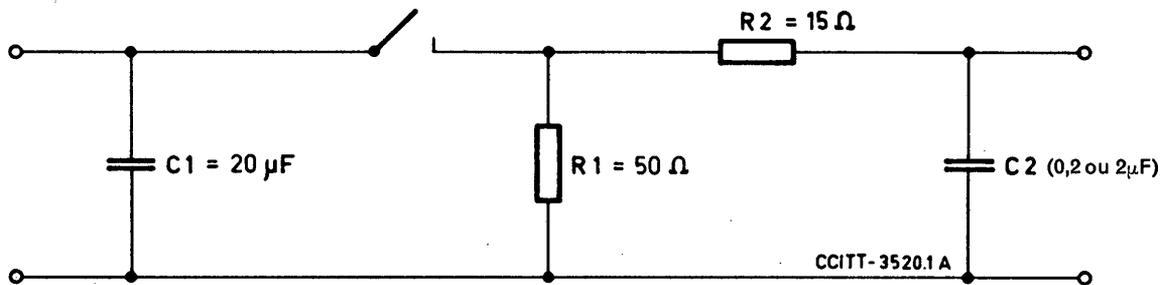


FIGURE 1/K.17. — Schéma du générateur d'ondes de choc.

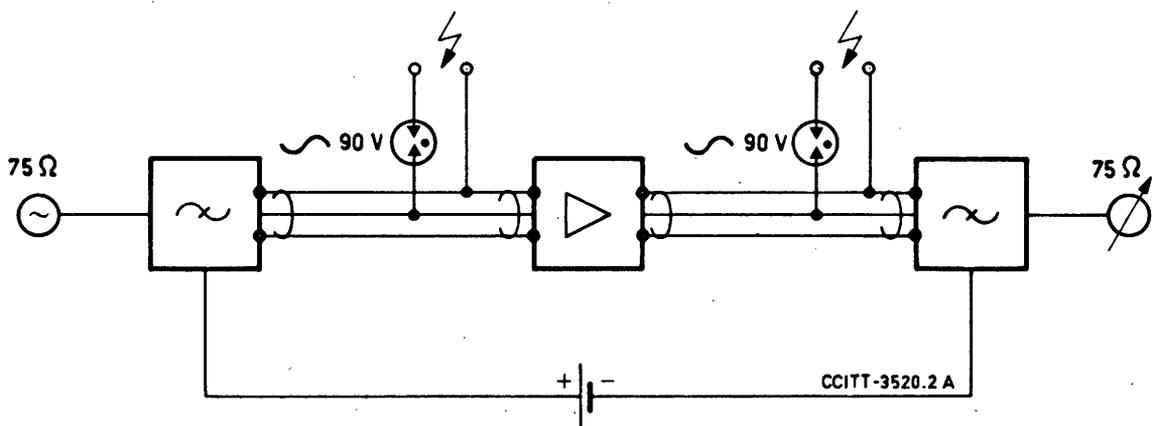


FIGURE 2/K.17. — Exemple de montage pour l'essai de tension de choc sur des répéteurs téléalimentés pour câbles à paires coaxiales.

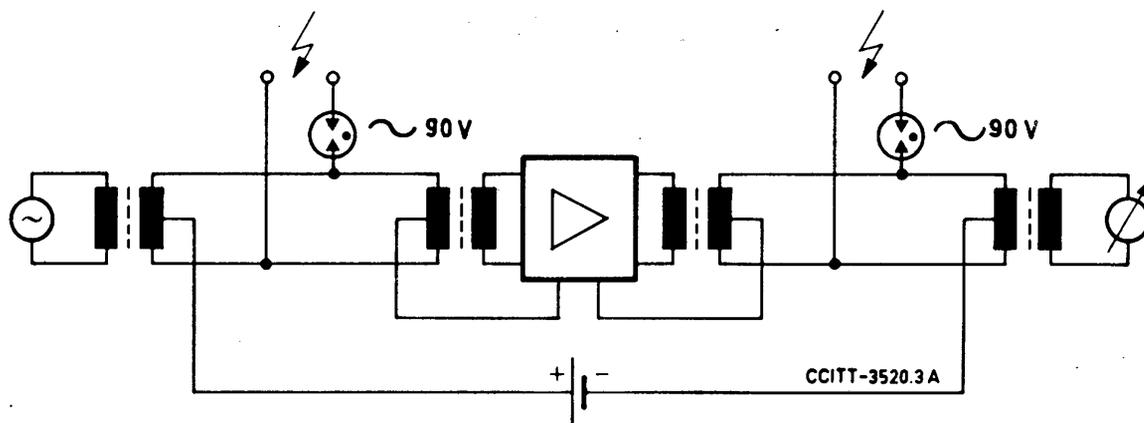


FIGURE 3/K.17. — Exemple de montage pour l'essai de tension de choc sur les répéteurs téléalimentés utilisés pour les câbles à paires symétriques.

**Question 22/V (voir aussi Question 14/VI) — Protection contre la foudre**

(suite de la Question 22/V, 1968-1972, devant être étudiée en 1973-1976 par le Groupe mixte CDF des Commissions d'études V et VI. Les études seront coordonnées par la Commission d'études V)

- A. a) Etude des phénomènes électromagnétiques susceptibles de se manifester à l'extérieur ou à l'intérieur d'un câble, enterré ou aérien, quand un coup de foudre se produit au voisinage de ce câble.
- b) Possibilité de déterminer par le calcul les effets de protection exercés par la proximité de conducteurs enterrés ou de conducteurs aériens reliés à la terre, d'arbres isolés ou groupés, de bâtiments pourvus d'un paratonnerre, etc.
- c) Il existe des émetteurs de radiodiffusion, ou de télévision, situés sur des sommets montagneux exposés à de fréquents orages, desservis au moyen de câbles souterrains de télécommunication, contenant des circuits à fréquences vocales, mis à la terre à leurs extrémités, et/ou de câbles à paires coaxiales. Dans de telles situations, les câbles, leurs conducteurs et les équipements reliés à ces derniers peuvent subir des dégâts dus à la foudre qui frappe l'antenne ou le sol au sommet de la montagne. Quelles mesures peut-on prendre pour mettre à l'abri des dégâts dus à la foudre les câbles, leurs conducteurs et les équipements associés à ces conducteurs, situés au sommet de la montagne ?
- B. a) Sensibilité aux dégradations affectant l'enveloppe ou l'âme d'un câble (aérien ou souterrain) en cas de coup de foudre se produisant à proximité.
- b) Influence, sur cette sensibilité, des données diverses de construction et de pose du câble (âme du câble, enveloppe, recouvrements divers, armures, etc).

*Remarque 1.* — Cette question (analogue à la Question 14/VI) est à l'étude par un Groupe de travail mixte CDF des Commissions d'études V et VI; sa partie A a été proposée à l'Assemblée plénière de 1960 par la Commission d'études V et sa partie B par la Commission d'études VI.

*Remarque 2.* — Au début de l'année 1973, la situation des chapitres du manuel intitulé *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre* est la suivante:

- Le texte définitif des chapitres I à IV sera publié par le Secrétariat du C.C.I.T.T., conformément à l'autorisation donnée par la IV<sup>e</sup> Assemblée plénière de Mar del Plata à la Commission d'études V.
- Pour le chapitre V, le quatrième projet de texte a été approuvé par la V<sup>e</sup> Assemblée plénière; il sera également publié.

- Le chapitre VI, sous sa forme précédente, a été supprimé; le sujet dont il devait traiter se trouvera en effet dans le « Manuel sur les questions de mise à la terre ».
- Le chapitre VII (qui devient le chapitre VI) traitera des méthodes de protection telles que l'établissement de plans pour le trajet de la ligne, compte tenu de tous les effets de protection dus à l'existence d'autres structures, de la nature du terrain, etc. Le texte du deuxième projet de ce chapitre sera publié de nouveau en tant que document en 1973, en même temps que d'autres documentations, de manière qu'on puisse l'étudier en vue de la publication d'un troisième projet.
- Le chapitre VIII (qui devient le chapitre VII) a été publié sous forme de premier projet dans la contribution COM V — n° 75 (1968-1972); il sera publié de nouveau en 1973.
- Le chapitre IX (qui devient le chapitre VIII) contiendra une bibliographie. Certaines références figurent déjà dans une contribution de la période 1961/1964. Cette bibliographie sera également publiée de nouveau en 1973.

Le Groupe mixte C.D.F. a été reconduit pour la période en cours afin de mener à bien les projets des chapitres du manuel encore en suspens.

### Question 23/V — Problèmes d'interconnexion en cas de systèmes à courants porteurs sur les lignes électriques

(suite de la Question 23/V, 1968-1972)

(ancienne Question Asie n° 12, 1964, posée par la Commission du Plan pour l'Asie)

Quels problèmes se posent et quelles normes et spécifications faut-il appliquer lorsque des voies de télécommunication par courants porteurs sur lignes d'énergie sont interconnectées avec d'autres voies de télécommunication appartenant à des réseaux publics ou privés ?

*Remarque.* — A la suite de son étude de la Question 18/V pendant la période 1964-1968, la Commission d'études V a conclu que le spectre des fréquences de ces brouillages est désormais bien connu et que, si les fréquences utilisées dans les circuits de télécommunication ne dépassent pas 100 kHz, il n'y a pas de grave danger de brouillage car, à ces fréquences, les valeurs de l'intensité de champ sont très faibles.

### Question 24/V — Etablissement du texte d'un manuel sur les questions de mise à la terre

(suite de la Question 24/V, 1968-1972)

(nouveau libellé)

*Remarque.* — La V<sup>e</sup> Assemblée plénière a approuvé le principe de la publication d'un manuel sur les questions de mise à la terre fondé sur le deuxième projet de texte reproduit dans le document AP V — n° 25. Le texte final sera élaboré durant la période d'études 1973-1976 selon une méthode analogue à celle du Rapporteur spécial, avec cette différence que le Secrétariat centralisera la documentation. (Cela tient au fait que tous les amendements apportés au projet de texte devront paraître en français, en anglais et en espagnol, et que le Secrétariat devra les faire traduire.) Les experts qui collaboreront au travail de mise au point définitive du projet de texte seront des membres des Administrations de la Finlande, de la France, de l'Italie, de la République Fédérale d'Allemagne, de la N.T.T. et du Post Office du Royaume-Uni. Pour commencer, ils travailleront par correspondance, soit directement entre eux, soit par l'intermédiaire du Secrétariat. De son côté, le Secrétariat distribuera la documentation seulement aux membres relevant des Administrations susmentionnées, en français ou en anglais selon le cas. Toute autre Administration pourra présenter des observations.

Si, à un certain moment, le Groupe d'experts s'aperçoit que les problèmes posés ne peuvent pas être résolus par correspondance, il prendra lui-même des dispositions pour se réunir (sans le Secrétariat du C.C.I.T.T.), sur invitation de l'Administration de l'un des membres du Groupe en mesure d'obtenir l'autorisation de convoquer une telle réunion.

Les membres de la Commission d'études V désirant collaborer à cette tâche ont remis au Secrétariat les adresses des Administrations et des rapporteurs auxquels la documentation devra être envoyée.

Le Secrétariat estime que, de cette manière, le manuel pourra être publié en 1975 ou 1976.

**Question 25/V — Examen des limites de tension induite admissible, actuellement fixées, et modifications éventuelles aux Directives**

(suite de l'ancienne Question 6/V, 1968-1972)

Les limites de tension induite pour des défauts à la terre de courte durée sur les lignes électriques à haute tension sont appliquées, depuis quelques années, sans risque apparent pour le personnel ni pour le matériel. Diverses considérations pratiques et théoriques semblent indiquer que les limites actuelles sont trop prudentes et que la protection est, par conséquent, assurée sur des bases qui pourraient être modifiées compte tenu du risque.

Une nouvelle évaluation de ces limites, concernant la valeur et la durée des tensions, est souhaitable eu égard aux changements dans les conditions technologiques. Quelles valeurs devraient avoir ces limites ?

Quelle valeur peut-on tolérer pour la tension induite apparaissant pendant un intervalle de temps donné sur les lignes électriques à grande sécurité de service (définies au chapitre préliminaire des *Directives*, paragraphe 3.2.3) et sur les lignes électriques normales ?

*Remarque 1.* — L'étude devrait porter sur :

- les effets physiologiques des tensions induites et des courants qui en résultent (grandeur et durée);
- la probabilité pour que le personnel soit en contact avec des conducteurs de télécommunication pendant l'apparition de la tension induite de courte durée;
- les effets exercés par les tensions induites sur le matériel.

*Remarque 2.* — Le résultat de l'étude de cette question pourrait entraîner un remaniement du chapitre IV des *Directives*, de manière que la tension et le courant admissibles pendant un intervalle de temps donné soient considérés séparément pour :

- a) le personnel des télécommunications et les usagers du téléphone;
- b) les appareils connectés aux extrémités de la ligne (ainsi que pour les amplificateurs en ligne);
- c) les types particuliers d'isolants des conducteurs du câble.

*Remarque 3.* — Dans l'étude de cette question, il convient de tenir compte des informations contenues dans les documents suivants :

- Contribution COM V — n° 20 (1969-1972);
- Contribution COM V — n° 35 (1969-1972);
- Contribution COM V — n° 38 (1969-1972);
- Rapport n° 36-02 de la C.I.G.R.E. (1970);
- Journal des télécommunications, 1971, n° 3: H. Riedel — « La protection des installations de télécommunication dans le cadre de l'U.I.T. ».

**Question 26/V — Révision des Directives**

(suite de la Question 26/V, 1968-1972)

Mise à jour des *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques.*

*Remarque 1.* — La IV<sup>e</sup> Assemblée plénière du C.C.I.T.T. (Mar del Plata, 1968) a donné son accord à la reconstitution, dans le cadre de la Commission d'études V, du Groupe de rédaction des *Directives*, qui sera chargé d'étudier les amendements au texte actuel de ces *Directives*.

*Remarque 2.* — Il y aurait intérêt, en particulier, à procéder aux études suivantes :

- a) Recueillir les renseignements nécessaires pour juger si les valeurs indiquées dans les *Directives* pour permettre le calcul des tensions perturbatrices équivalentes et des courants perturbateurs équivalents, à défaut de résultats de mesures, sont satisfaisantes, compte tenu de l'évolution de la technique.

- b) Examiner s'il ne convient pas, dans le calcul des courants de court-circuit, de tenir compte du fait que les lignes sont de longueur finie et que certains effets, dont il n'a pas été tenu compte, se manifestent aux extrémités (voir la contribution COM V — n° 80, 1961-1964 de l'Administration de l'U.R.S.S.).
- c) Déterminer la formule qui devrait s'appliquer dans le cas d'une ligne comportant des conducteurs reliés en permanence à la terre (voir les *Directives*, édition 1963, pages 54, 61, 64 et 81).
- d) Emettre une série de « prescriptions » destinées à faciliter l'application des *Directives* à des cas pratiques. Ces « prescriptions » pourraient être de simples formules, des graphiques, des nomogrammes ou des règles à calcul. Les Administrations et organisations disposant déjà de telles « prescriptions » pour leur propre usage sont priées d'envoyer les résultats au C.C.I.T.T.

*Remarque 3.* — Dans son travail, le Groupe de rédaction des *Directives* tiendra compte de toutes les contributions concernant ce sujet (voir les rapports des diverses réunions de la Commission d'études V).

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES QUESTIONS CONFIEES À LA COMMISSION D'ÉTUDES V  
PENDANT LA PÉRIODE 1973-1976

N°	Titre abrégé	Observations
1/V	Organes de protection	
2/V	Dispositifs réduisant la tension des fils par rapport au sol	
3/V	Problèmes posés par la répartition des dispositifs de protection sur des circuits de télécommunication soumis à des tensions induites élevées	
4/V	Effet réducteur des câbles ayant une enveloppe métallique protégée par un revêtement en matière plastique	
8/V	Statistiques des défauts sur les lignes à grande sécurité de service	
9/V	Utilisation des conduites et des appuis communs pour des lignes de télécommunication et des lignes électriques	
10/V	Transformateurs-suceurs	
13/V	Dissymétrie des installations téléphoniques	
15/V	Réduction des harmoniques dans des cas spéciaux	
17/V	Lignes de transport d'énergie à très haute tension par courant continu	
19/V	Influence des émissions radioélectriques sur les circuits de télécommunication	
21/V	Essais à effectuer sur des répéteurs à transistors téléalimentés pour vérifier l'efficacité des mesures de protection contre les perturbations extérieures	Intéresse la CE XV
22/V	Protection contre la foudre	A étudier par le GM/CDF (voir Q.14/VI)
23/V	Problèmes d'interconnexion en cas de systèmes à courants porteurs sur les lignes électriques	
24/V	Etablissement du texte d'un manuel sur les questions de mise à la terre	
25/V	Examen des limites de tension induite admissible actuellement fixées, et modifications éventuelles aux <i>Directives</i>	
26/V	Révision des <i>Directives</i>	

DEUXIÈME PARTIE

**AVIS (SÉRIE L) ET QUESTIONS RELATIFS  
À LA PROTECTION DES ENVELOPPES DE CÂBLE ET DES POTEAUX**

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

## AVIS DE LA SÉRIE L

### Avis L.1

#### PROTECTION CONTRE LA CORROSION

Le C.C.I.T.T.,

*considérant*

que la recherche des défauts sur les câbles souterrains et la réparation de ces défauts peuvent entraîner des frais importants;

que les interruptions de service susceptibles d'être provoquées par la présence de ces défauts doivent être évitées avec le plus grand soin;

que, même après une réparation faite aussi bien que possible, la qualité du câble peut être diminuée et sa durée de vie normale peut être réduite,

*émet, à l'unanimité, l'avis*

que, lors de l'établissement de leurs lignes en câble, les Administrations et exploitations privées ont intérêt à s'inspirer du texte des *Recommandations pour la protection des câbles souterrains contre la corrosion* (New Delhi, 1960), modifiées et complétées à Genève, 1964, à Mar del Plata, 1968, et à Genève, 1972, où il a été décidé de remplacer leur titre par: *Recommandations concernant la construction, l'installation et la protection des câbles de télécommunication des réseaux publics*<sup>1</sup>.

### Avis L.2

#### IMPRÉGNATION DES POTEAUX EN BOIS

Le C.C.I.T.T. attire l'attention sur l'intérêt économique que présente l'imprégnation des poteaux en bois, supports de lignes aériennes de télécommunication.

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, une brochure<sup>2</sup> a été établie par le C.C.I.T.T. Cette brochure est fondée sur un avant-projet rédigé en 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, de l'Autriche, du Chili, de la France, de l'Italie, du Royaume-Uni et de la Suisse.

<sup>1</sup> Titre abrégé: *Recommandations*, dans ces Avis de la série «L».

<sup>2</sup> Cette brochure a fait l'objet d'une révision complète, datée de Genève, 1973.

## Avis L.3

## ARMURE DES CÂBLES

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 paragraphe 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 paragraphe 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 paragraphe 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. *Câbles tirés en conduites*

L'expérience a montré que les câbles dépourvus de toute armure, à paires symétriques, à paires coaxiales ou mixtes, peuvent être tirés en conduites jusqu'à des longueurs de 300 mètres, à condition de répartir l'effort de traction entre les conducteurs et les éléments de l'enveloppe. L'armure de fils d'acier utilisée autrefois peut ainsi être supprimée, sauf dans certains cas particuliers (liaisons importantes, grandes longueurs de tirage: traversées sous-fluviales, par exemple).

#### 9. *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.

10. *Rongeurs et insectes*

Les dégâts causés par les rongeurs sont assez importants dans certaines parties du monde. Recourir aux armures de ruban ou de fils constitue une protection efficace, mais onéreuse. Le C.C.I.T.T. étudie l'emploi éventuel d'un câble moins coûteux avec couches protectrices superposées (par exemple: polyéthylène aluminium mince, acier revêtu, polyéthylène). Les insectes peuvent pénétrer dans la couche extérieure de polyéthylène, mais se heurtent à la couche de métal. A supposer qu'ils ne puissent la percer, le métal risque alors d'être corrodé, ce qui n'est toutefois pas grave si la couche métallique est enrobée sur ses deux faces par le polyéthylène. En plus de la protection obtenue contre les rongeurs et les insectes, ce type de construction peut apporter une résistance supplémentaire à la traction pour un prix relativement modique.

11. *Régions tropicales*

Dans les régions tropicales, on prêtera une attention particulière aux paragraphes 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;
- lorsqu'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 ci-dessus énumérés, il peut cependant se faire que les conditions locales spéciales justifient l'armure des câbles

**Avis L.4** (Genève, 1972)

### ENVELOPPES DE CÂBLE EN ALUMINIUM

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. Cependant, avec les câbles locaux, on rencontre certaines difficultés qui n'ont pas encore été complètement supprimées.

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 (voir le point 6.3 des *Recommandations*).

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 filées

Pour fabriquer une enveloppe de ce type, on extrude de l'aluminium directement sur l'âme du câble<sup>1</sup>; 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 (voir le point 5.4.4 des *Recommandations*).

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 paragraphe 1, l'épaisseur de métal utilisée pour une enveloppe en aluminium est généralement moindre que pour une enveloppe en plomb.

Le tableau ci-dessous indique les épaisseurs recommandées :

Diamètre de l'âme (mm)		Epaisseur de métal		
		Enveloppe lisse (mm)	Enveloppe ondulée (mm)	
Minimum	Maximum		a	b
—	20	1,0		
20	25	1,1		
25	30	1,2		
30	35	1,3		
35	40	1,4	1,4	1,1
40	45	1,5	1,5	1,2
45	50	1,6	1,5	1,2
50	60		1,6	1,3
60	70		1,7	1,4
70	80		1,8	1,5

<sup>a</sup> Epaisseur donnant approximativement le même facteur réducteur que si l'enveloppe était lisse.

<sup>b</sup> Epaisseur qu'on peut adopter quand le facteur réducteur ne revêt pas une importance particulière.

<sup>1</sup> La boudineuse utilisée peut être à marche « continue » ou non. Dans la négative, il faut s'assurer que les zones affectées par les reprises de filage ne causent pas de difficultés.

Il n'est pas exclu qu'on utilise des épaisseurs inférieures à celles qui sont indiquées dans le tableau.

Dans le cas de câbles à paires coaxiales non armés, on peut être amené à adopter une enveloppe systématiquement plus épaisse pour améliorer la protection mécanique. S'il s'agit d'une enveloppe en aluminium, cette augmentation d'épaisseur est généralement de 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.

## 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.

Les considérations exposées au point 2.1 ci-dessus au sujet du choix entre enveloppe lisse ou ondulée et de l'épaisseur de métal à adopter en fonction du diamètre de l'âme peuvent être considérées comme valables, sous réserve que l'on tienne compte de l'épaisseur maximale se prêtant au soudage.

## 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 les enveloppes de câble en aluminium et les sections de raccordement des longueurs de fabrication en usine (manchons et sections de câble adjacentes) par un revêtement imperméable de la deuxième catégorie, conformément au point 6.3 des *Recommandations*.

Les matières plastiques qu'on peut utiliser actuellement comme matériau pour le revêtement protecteur sont de deux sortes:

- a) le polychlorure de vinyle (p.c.v.);
- 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 convient d'y appliquer une couche d'étanchéité, essentiellement constituée par un mélange bitumineux.

Cette couche d'étanchéité doit bien adhérer à l'aluminium, surtout si le revêtement est en p.c.v., puisque ce matériau, contrairement au polyéthylène, n'épouse pas intimement l'enveloppe après extrudage. Pour améliorer l'adhérence, on peut, après l'application de la couche d'étanchéité à l'enveloppe, guiper celle-ci avec un ruban en matière plastique.

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 <sup>1</sup> consiste à enlever une partie du revêtement protecteur d'un échantillon de l'enveloppe en aluminium et à soumettre ce dernier à l'action de corrosion électrolytique d'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. On procède normalement pour cela à un essai type.

<sup>1</sup> Voir, par exemple, la publication n° 229 de la C.E.I. (édition 1966, ainsi que l'amendement n° 1 de 1970).

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 sur la protection contre la foudre ».

#### 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 coniques en plomb fixés à l'enveloppe d'aluminium au moyen d'une colle spéciale, puis soudage de manchons en plomb (cylindriques) à ces anneaux;
- autres méthodes, notamment l'utilisation de manchons en aluminium raccordés à l'enveloppe d'aluminium par soudage à pression (méthode appelée « par explosion » en U.R.S.S.).

La méthode appliquée pour le raccordement des enveloppes en aluminium doit satisfaire aux normes à observer pour la commodité de la pose des câbles et de leur exploitation.

Pour assembler deux enveloppes en aluminium, on utilise des manchons en plomb, dont on soude les extrémités aux enveloppes par apport de métal.

Les principales opérations à effectuer sont les suivantes :

- décapage soigné des surfaces d'aluminium;
- application immédiate (pour éviter toute oxydation des surfaces d'aluminium) d'un alliage spécial permettant le soudage par le procédé habituel;
- soudage du manchon en plomb sur les enveloppes.

Certains entrepreneurs montent des bagues en plomb sur les extrémités des enveloppes en aluminium à assembler et, pour exécuter le raccordement, se contentent de souder le manchon en plomb sur ces bagues. Ce procédé évite que l'âme du câble soit échauffée plusieurs fois (ce qui risque d'endommager l'isolement des paires coaxiales) lors des interventions ultérieures sur les raccords.

Si un câble 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 à nœud en plomb, car ceux-ci risqueraient de lâcher, en particulier si l'enveloppe du câble n'est pas ondulée.

#### 5. *Protection cathodique*

On ne dispose que d'un petit nombre de résultats expérimentaux isolés permettant de connaître l'efficacité de la protection cathodique pour les enveloppes en aluminium. L'étude de cet aspect de la question sera poursuivie par le C.C.I.T.T.

Avis L.5 (Genève, 1972)

### RÉALISATION D'ENVELOPPES DE CÂBLE EN MÉTAUX AUTRES QUE LE PLOMB OU L'ALUMINIUM

#### 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 extrude un revêtement externe en matière plastique sur l'enveloppe en acier enduite du produit protecteur.

- 1.2 Pour protéger le câble décrit au point 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 feillard 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 extrude ensuite sur cette couche protectrice une gaine externe en polyéthylène ou en un matériau analogue de classe II (voir le point 6.3 des *Recommandations*).
- 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 télécommunication, 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 télécommunication 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.

## Questions concernant la protection des enveloppes de câble confiées à la Commission d'études VI en 1973-1976

### Question 1/VI

(suite de la Question 1/VI, 1968-1972)

- Réalisation d'enveloppes de câble en aluminium.
- Revêtements protecteurs pour ces enveloppes.

*Remarque.* — Il convient d'envisager l'étude des points suivants concernant la protection contre la corrosion des enveloppes d'aluminium:

1. Quels types de revêtements sont de nature à protéger de manière appropriée les enveloppes d'aluminium contre la corrosion ?

*Remarque.* — L'étude de cette partie de la question appelle l'examen des facteurs suivants:

- effets de la pureté du métal et de la méthode de fabrication des enveloppes;
- utilisation des revêtements pour préserver également l'armure lorsque celle-ci sert comme écran électromagnétique;
- effet des courants induits lorsque les câbles sont installés le long des voies ferrées électrifiées à courant alternatif;
- précautions spéciales à prendre aux joints et aux points de mise à la terre (pour maintenir l'effet d'écran électromagnétique).

2. A quel type d'essais soumet-on les câbles fabriqués pour vérifier l'effet de protection des revêtements ?
3. De quelle manière peut-on établir une corrélation entre le choix d'un type de revêtement et les résultats des essais des sols ?
4. Peut-on employer la protection cathodique comme moyen de protection supplémentaire lorsque, par exemple, on considère que la perfection du revêtement protecteur ne peut pas être maintenue ? Lorsqu'on applique la protection cathodique à l'aluminium, on doit maintenir entre certaines limites, qui restent à définir, la différence de potentiel entre le métal et le sol. La corrosion cathodique ne se manifeste qu'aux points où le potentiel est fortement négatif. Pour des raisons analogues, on peut être amené à veiller tout spécialement au cas où des enveloppes d'aluminium font partie d'un système d'enveloppes de câble que l'on relie à une structure à protection cathodique en vue d'éviter les interactions nuisibles.

### ANNEXE 1

(à la Question 1/VI)

#### Conclusions dégagées par la 6<sup>e</sup> C.E. en 1957-1960

1. En 1957-1960, la C.E. s'est particulièrement intéressée:
  - à la réalisation des joints des câbles sous aluminium;

- à l'emploi de revêtements d'aluminium pour des câbles à grande distance quand le câble doit être placé à côté d'une ligne d'énergie et quand on a besoin d'un facteur réducteur plus favorable;
  - à la protection contre la corrosion des enveloppes d'aluminium.
2. La 6<sup>e</sup> C.E. souhaite être mise au courant de l'expérience acquise au sujet de la protection cathodique des câbles à enveloppe d'aluminium. La 6<sup>e</sup> C.E. a eu un premier échange de vues au cours de sa réunion de juin 1960 au sujet de cette protection cathodique. Il est encore trop tôt pour définir les valeurs précises de potentiel négatif à appliquer. Des potentiels trop négatifs peuvent donner une très forte corrosion. Le domaine de potentiel dans lequel la protection cathodique semble pouvoir être réalisée serait compris entre 0,8 et 1,2 ou 1,4 V. Si une protection cathodique pour l'aluminium doit être réalisée, on doit le faire avec la plus grande prudence.
  3. Les discussions ont fait ressortir l'influence qu'exerce sur la corrosion de l'aluminium sa pureté et les traitements mécaniques qu'il a subis. Plus l'aluminium est pur, moins on a de risques de corrosion; plus l'aluminium a été étiré et laminé, plus il est sujet à corrosion.
  4. L'infiltration de l'humidité et de l'air entre le revêtement en matière plastique et le câble joue un très grand rôle pour la corrosion. Ceci fait ressortir l'importance de l'adhérence de ce revêtement sur l'enveloppe du câble. L'efficacité d'un revêtement en matière plastique n'est pas la même sur une enveloppe de plomb ou sur une enveloppe d'aluminium. Avec un revêtement plastique sur le plomb, on peut considérer qu'une protection cathodique n'est pas nécessaire, alors qu'avec le même revêtement plastique, les câbles sous enveloppe d'aluminium peuvent nécessiter l'emploi d'une protection cathodique.

## ANNEXE 2

(à la Question 1/VI)

### Renseignements fournis par la République fédérale d'Allemagne en 1968

#### 1. *Enveloppes en aluminium*

Pour autant que des câbles avec enveloppe en aluminium soient employés dans le réseau de l'Administration fédérale allemande des postes et télécommunications, on doit, pour les câbles d'un diamètre sous l'enveloppe en aluminium inférieur à 50 mm, emmancher par pression sans soudure des enveloppes en aluminium lisse et, pour les câbles d'un diamètre sous l'enveloppe supérieur à 50 mm, des enveloppes en aluminium ondulées. L'aluminium utilisé doit avoir un degré de pureté d'au moins 99,5%.

#### 2. *Protection contre la corrosion*

2.1 La protection contre la corrosion prescrite pour les enveloppes en aluminium lisse se compose:

- d'une couche de matière molle et, sur celle-ci, d'un ruban de polyisobutylène ou butyle de 0,6 mm d'épaisseur, à recouvrement;
- sur celui-ci, d'un ruban de matière textile préimprégné;
- et sur celui-ci, d'une gaine protectrice en polyéthylène, emmanchée par pression sans soudure.

2.2 Pour des enveloppes en aluminium ondulé, la protection contre la corrosion doit se composer:

- d'une couche de matière molle remplissant les ondulations;
- sur celle-ci, d'une feuille plastique, à recouvrement;
- sur celle-ci, de nouveau d'une couche de matière plastique (si nécessaire encore d'une feuille plastique à recouvrement);
- sur celle-ci, d'une gaine protectrice en polyéthylène emmanchée par pression sans soudure.

Les remarques suivantes s'imposent pour les deux modes de construction:

- Le ruban en polyisobutylène ou butyle doit être soudé aux points de recouvrement;
- La résistance spécifique du ruban doit avoir une valeur d'au moins  $10^{10}$   $\Omega$ cm.

#### 3. *Manchons de raccordement*

Pour le raccordement des enveloppes en aluminium, on utilise des manchons en plomb qui sont soudés à celles-ci. Par emploi d'un nouveau fondant liquide, l'étamage des enveloppes en aluminium avec une soudure

spéciale, composée de 90 % de zinc et de 10 % d'étain, est très simplifiée et beaucoup plus sûre. On applique le fluant liquide sur l'enveloppe en aluminium rendue blanche au moyen d'une brosse en acier, et on étame ensuite au moyen d'une lampe à souder avec soudure spéciale (90 % de zinc et 10 % d'étain). Le soudage du manchon en plomb s'effectue à l'aide d'étain à souder.

#### 4. *Essais*

Sur l'enveloppe en aluminium, la matière de protection contre la corrosion et la gaine en polyéthylène.

Les essais prescrits, tels que l'essai de pliage, l'essai d'étanchéité pour l'enveloppe en métal et les essais thermiques de la matière de protection contre la corrosion et de la gaine en polyéthylène ainsi que la détermination du point de goutte et du point de ramollissement, sont exécutés d'après des procédés connus.

### ANNEXE 3

(à la Question I/VI)

#### Câbles à enveloppe d'aluminium essayés au Royaume-Uni

(Renseignements mis à jour en 1968)

1. Le câble Inverness-Nairn (16 miles) a été installé en mai 1957 pour fournir des données expérimentales sur les câbles à enveloppe d'aluminium; c'est un câble isolé au papier, à enveloppe non ondulée, à 96 paires/20 livres (0,9 mm), dont l'enveloppe est constituée d'un ruban d'aluminium soudé à l'arc en atmosphère d'argon, avec revêtement en polyéthylène extrudé. Il n'y a pas d'adhérence entre l'enveloppe d'aluminium et le polyéthylène; les manchons d'épissure en plomb soudés à l'enveloppe d'aluminium sont protégés par une feuille de polyéthylène enveloppée par plusieurs couches de ruban imprégné. Comme de l'eau risque de pénétrer jusqu'à l'enveloppe d'aluminium, deux anodes de magnésium sont reliées à celle-ci pour assurer une protection cathodique. Des espacements d'isolation sont prévus aux stations terminales pour isoler le câble du réseau de câbles sous plomb, afin d'éviter la formation d'un couple galvanique entre le plomb et l'aluminium. Des défaillances se sont produites en plusieurs points d'épissure, par suite de la dégradation de l'adhérence entre la soudure douce et l'enveloppe d'aluminium, et il en est résulté un mauvais isolement électrique des paires du câble. On se propose de mettre le câble sous pression gazeuse pour le préserver de ces défaillances aux points d'épissure. Le recouvrement des manchons de plomb n'a pas empêché l'eau de pénétrer jusqu'aux manchons, et c'est ainsi que l'on a constaté en avril 1967 que la résistance globale enveloppe/terre était tombée à 280 ohms. Pour améliorer cette résistance d'isolement, on envisage de fermer les joints avec des manchons fendus, en polyéthylène, à souder à chaud avec des cordons de résine époxyde. En avril 1967, le potentiel de l'enveloppe était compris entre  $-1,30$  et  $-1,37$  volt par rapport à une électrode saturée cuivre/sulfate de cuivre. Il n'a pas été signalé de défauts dus à la corrosion.

Dimensions (approximatives): diamètre hors tout, 34 mm; épaisseur du polyéthylène, 1,7 mm; épaisseur de l'aluminium, 1,4 mm.

2. Le câble Droitwich-Worcester (7 miles) a été installé en novembre 1959; c'est un câble isolé au papier, à enveloppe d'aluminium ondulé, à 216 paires/20 livres (0,9 mm) fabriqué par soudage à l'arc en atmosphère d'argon. Il comporte du bitume entre l'enveloppe d'aluminium et le revêtement en polychlorure de vinyle. La profondeur de l'ondulation est de 2,4 mm. Les longueurs de câble sont raccordées par des manchons en plomb soudés, avec revêtements protecteurs. La résistance d'isolement globale enveloppe/terre est actuellement de l'ordre de 10 000 ohms. Il n'est pas prévu de protection cathodique. On n'a pas constaté jusqu'ici de défauts dus à la corrosion.

Dimensions (approximatives): diamètre hors tout, 54 mm; épaisseur du polychlorure de vinyle, 2,2 mm; épaisseur de l'aluminium, 2,2 mm.

3. Le câble Beeston-Nottingham (4,2 miles), à 300 paires/10 livres (0,6 mm), a été installé en juin 1960. C'est un câble isolé au papier, à enveloppe d'aluminium extra-pur, 99,99 %, extrudée directement sur l'âme (non ondulée) isolée au papier, et cette enveloppe est protégée par une gaine en polyéthylène extrudée. Il n'y a pas d'adhérence entre l'enveloppe d'aluminium et la gaine en polyéthylène. Des espaces d'air sont prévus aux stations terminales pour empêcher le contact avec les enveloppes de câbles sous plomb. Vers la fin de 1962, on a réalisé une protection cathodique au moyen d'une seule anode de magnésium. En mars 1967, le potentiel de

l'enveloppe était de  $-1,36$  volt par rapport à une électrode saturée cuivre/sulfate de cuivre. La résistance d'isolement enveloppe /terre était de 150 000 ohms. Il n'a pas été signalé jusqu'ici de défauts dus à la corrosion. Dimensions (approximatives): diamètre hors tout, 42 mm; épaisseur du polyéthylène, 1,5 mm; épaisseur de l'aluminium, 1,5 mm.

Ces câbles expérimentaux sont destinés à rester en service, et l'Administration du Royaume-Uni continuera de fournir des renseignements au fur et à mesure qu'elle aura fait des constatations.

#### ANNEXE 4

(à la Question 1/VI)

##### Renseignements fournis par l'Administration italienne en 1968

On est en train de commencer la pose du premier câble sous enveloppe en aluminium de l'Administration italienne, pour la réalisation d'une importante liaison de 200 km.

Le câble, déjà entièrement fabriqué, est constitué par quatre paires coaxiales 2,6/9,5 mm sous enveloppe en aluminium lisse (titre 99,8 %, épaisseur 2 mm, facteur réducteur nominal 0,23) couche protectrice anhygroscopique (mélange de bitume et caoutchouc), revêtement en polyéthylène à faible densité et haut poids moléculaire (épaisseur 3 mm, charge de rupture 10 N/mm<sup>2</sup>) allongement 350 %, densité 0,920 + 0,935 g/cm<sup>3</sup>, « melt flow index » 0,2 + 0,3, contenu en noir de carbone 1,5 + 2,5 %).

L'enveloppe en aluminium a été appliquée par extrusion à 400 °C. Le choix du titre et du taux d'impuretés (Fe 0,15 %, Cu 0,01 %, Si 0,15 %, Zn 0,06 %, autres 0,02 %) a été effectué sur la base des éléments suivants: résistance à la corrosion, résistance mécanique, facilité d'extrusion et prix de revient.

On a préféré le revêtement en polyéthylène à celui en polychlorure de vinyle car le premier présente des caractéristiques, notamment une faible perméabilité à la vapeur d'eau, qui donnent lieu à une meilleure protection de l'aluminium contre la corrosion.

Le câble n'est pas armé, et on n'a pas prévu de protection cathodique pour l'aluminium.

Les joints seront effectués à l'aide de manchons en plomb, soudés sur l'aluminium, ce dernier ayant été soumis à une soigneuse désoxydation préalable.

A cause de la haute température atteinte à l'intérieur des paires coaxiales pendant l'opération de soudure (105 °C environ), on a prévu le remplacement des disques en polyéthylène (14 pour chaque paire coaxiale) par des disques en polytétrafluoroéthylène.

#### ANNEXE 5

(à la Question 1/VI)

##### Renseignements fournis par l'Administration française en 1972

L'Administration française utilise depuis 1961 dans une large proportion des câbles de télécommunications à grande distance sous enveloppe d'aluminium lisse ou ondulée.

A la fin de l'année 1971, 6 455 km de câble à enveloppe d'aluminium étaient en exploitation. Pendant les deux seules années 1970 et 1971, sur 2 970 km de nouveaux câbles à grande distance mis en service, 2 355 km étaient sous enveloppe d'aluminium, soit une proportion d'environ 80 %; pour le reste, 4 % étaient sous enveloppe d'acier et 16 % sous plomb.

La *Société nationale des chemins de fer français* (S.N.C.F.) a pour son compte 1 600 km de câbles souterrains à enveloppe d'aluminium en exploitation ainsi que 510 km de câble coaxial aérien autoporté à conducteur extérieur en aluminium.

##### *Revêtement de l'âme des câbles*

Lorsque les câbles comportent des éléments de câblage sensibles à la température, par exemple des paires, des quartes ou des paires coaxiales isolées par du polyéthylène, la ceinture située sous l'enveloppe doit présenter une résistance thermique suffisante pour éviter que le polyéthylène se détériore lorsque l'on chauffe l'enveloppe pour réaliser une jonction par soudure.

Ce résultat est généralement obtenu soit par un rubanage suffisant de papier lisse ou crêpé ou de toile, soit par un rubanage de papier métallisé ou graphité ou par une combinaison de ces deux procédés.

*Constitution des enveloppes*

L'enveloppe d'aluminium est constituée par un tube obtenu soit par filage à la presse, soit à partir d'une bande d'aluminium soudée longitudinalement.

La paroi cylindrique du tube ainsi réalisée peut être lisse ou ondulée. Le choix en est généralement laissé au constructeur; certains d'entre eux utilisent des enveloppes ondulées pour tous les diamètres de câbles; d'autres exécutent des enveloppes lisses pour les petits câbles et ondulées pour les gros; la limite de passage entre lisse et ondulé variant alors entre 20 et 35 mm.

Le métal utilisé est de l'aluminium de première fusion titrant au minimum 99,5% d'aluminium pur. Les teneurs en divers éléments d'impuretés sont conformes aux conditions de la norme française NF-A-57-101 de mai 1961.

La contrainte de rupture du métal doit être supérieure ou égale à 65 N/mm<sup>2</sup> (environ 6,5 kgf/mm<sup>2</sup>) et l'allongement à la rupture supérieur ou égal à 5%.

*Épaisseur des enveloppes*

Trois épaisseurs ont été normalisées par l'Administration française:

- 0,7 mm pour les enveloppes lisses dont le diamètre est inférieur à 10 mm et pour les enveloppes ondulées dont le diamètre est inférieur ou égal à 20 mm;
- 0,9 mm pour les enveloppes lisses d'un diamètre compris entre 10 et 20 mm et pour les enveloppes ondulées dont le diamètre est compris entre 20 et 35 mm;
- 1,1 mm pour les enveloppes lisses supérieures à 20 mm et les enveloppes ondulées supérieures à 35 mm de diamètre.

Toutefois, les enveloppes lisses filées à la presse ne sont jamais inférieures à 0,9 mm d'épaisseur.

Les câbles à enveloppe d'aluminium commandées par la S.N.C.F. comportent des épaisseurs d'aluminium renforcées afin d'améliorer le facteur réducteur d'enveloppe rendu nécessaire par le fait qu'il existe un parallélisme important avec les caténares alimentées en courant alternatif.

Ces épaisseurs varient entre 0,9 et 1,4 mm selon le diamètre des câbles et s'appliquent aussi bien aux enveloppes lisses qu'aux enveloppes ondulées. Le facteur réducteur est de plus amélioré par la présence d'une armure constituée de deux feuillards d'acier.

*Protection des enveloppes d'aluminium*

Les enveloppes à paroi lisse reçoivent une protection de surface contre la corrosion et une gaine de polyéthylène.

L'intérieur des gorges des ondulations des enveloppes ondulées est rempli par une composition qui recouvre légèrement leurs sommets, puis on applique sur cet ensemble:

- soit directement une gaine de polyéthylène;
- soit un ou deux rubans de matière plastique hydrofuge éventuellement enduits, puis la gaine de polyéthylène;
- soit un ou deux rubans comme ci-dessus, puis une deuxième couche de composition spéciale de remplissage, et enfin la gaine de polyéthylène.

D'autres procédés sont également admis. On peut ainsi noyer dans la masse de remplissage des cordelettes de polypropylène appliquées en hélice sur le sommet des ondulations et uniformiser ainsi l'épaisseur de la couche d'enduit de protection. On peut également obtenir le même résultat en munissant l'intérieur de la gaine de polyéthylène de canelures longitudinales venant reposer sur le sommet des ondulations.

La composition de remplissage, qui est généralement à base de bitume, est étudiée pour adhérer de façon efficace à l'aluminium de l'enveloppe et être suffisamment souple et susceptible de fluer lorsque la gaine plastique se trouve fortuitement endommagée. Lorsqu'elle remplit cette dernière condition, elle vient naturellement recouvrir la partie métallique mise à nu et continue ainsi d'assurer la protection contre la corrosion.

Les gaines de protection proprement dites sont en polyéthylène chargé à 2% de noir de carbone. Il est d'usage de les réaliser en polyéthylène de basse densité lorsqu'elles sont protégées par une armure et en polyéthylène de haute densité lorsque aucune autre protection n'est prévue, ce qui présente l'avantage d'offrir de meilleures garanties de résistance au percement et à l'abrasion.

L'épaisseur moyenne des gaines de polyéthylène est uniforme pour tous les diamètres et ne doit pas être inférieure à 2 mm. L'épaisseur minimale en un point ne doit pas être inférieure à 1,7 mm.

*Essais d'étanchéité*

L'étanchéité des enveloppes est contrôlée par des épreuves de pression ou d'immersion sous pression. Pour ces essais, de l'air sec est introduit à l'intérieur de l'enveloppe sous une pression comprise entre 20 et 30 N/cm<sup>2</sup> (2 et 3 kgf/cm<sup>2</sup>).

Dans l'essai de pression, lorsque l'équilibre est atteint, on maintient les extrémités de l'enveloppe obturées pendant au moins 4 heures; au bout de ce délai, la pression ne doit pas avoir diminué de plus de 2 N/cm<sup>2</sup> (0,2 kgf/cm<sup>2</sup>).

Dans l'essai d'immersion sous pression, on vérifie l'absence de fuites sur le câble immergé.

*Manchons de raccordement*

Le raccordement des câbles à enveloppe d'aluminium s'effectue à l'aide de manchons de plomb soudés sur les fourreaux également en plomb mis en place et soudés à demeure sur l'enveloppe d'aluminium aux extrémités des câbles à raccorder. (Voir figure 1/Q.1/VI.)

Pour éviter que l'humidité n'atteigne l'enveloppe en pénétrant entre le fourreau et l'extrémité de la gaine du câble, on recouvre cet intervalle par un manchon thermorétractable.

Les fourreaux sont soudés sur l'enveloppe d'aluminium préalablement découpée et recouverte d'une soudure d'accrochage comportant du zinc. La soudure elle-même est exécutée avec une soudure à 33% d'étain.

Les fourreaux permettent d'ouvrir facilement les épissures sans intervenir sur les soudures fourreaux-enveloppe aluminium. Les manchons rétractables utilisés comportent un revêtement intérieur adhérent parfaitement à la gaine polyéthylène du câble et aux fourreaux de plomb, assurant ainsi l'étanchéité de l'intervalle fourreau-gaine.

En pleine terre, les épissures sont en plus protégées par une boîte de fonte remplie d'une composition bitumineuse.

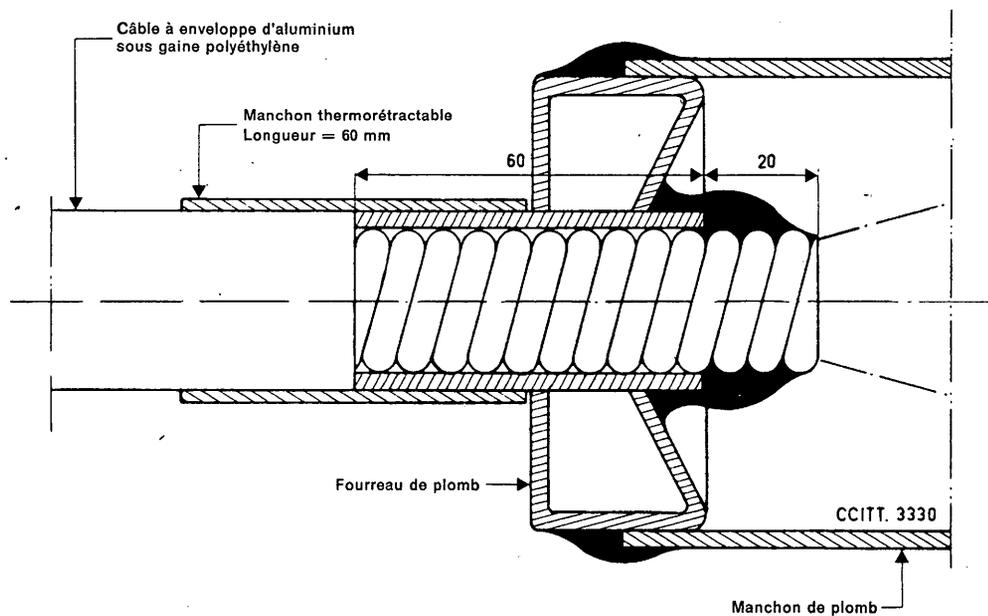


FIGURE 1/Q1/VI

## ANNEXE 6

(à la Question 1/VI)

**Renseignements fournis par l'I.T.T. en 1972**

Si un câble est sujet à de fortes variations de température, les contraintes qui y prennent naissance quand il se contracte ne doivent pas être supportées par ses joints à nœud en plomb, car ceux-ci risqueraient de lâcher, en particulier dans le cas d'un câble à enveloppe non ondulée.

Des dispositifs de bridage des enveloppes sont souvent prévus dans le boîtier des joints, qui contiennent d'ailleurs un produit approprié assurant une protection contre l'humidité.

Selon une méthode plus récente pour étanchéfier les enveloppes en aluminium, on dispose entre les extrémités de celles-ci et un manchon en aluminium un joint à nœud en mastic de résine époxyde. Des gorges de « grippage » sont taillées dans les extrémités du manchon. Dans le cas d'un câble à enveloppe ondulée, aucune autre disposition n'est à prendre pour qu'il résiste aux contraintes dues à des fortes variations de température; s'il s'agit d'un câble à enveloppe unie, on peut, au besoin, prévoir un dispositif de bridage intérieur complémentaire.

Un avantage de l'étanchéification au mastic de résine époxyde est qu'elle ne comporte pas le risque d'une dégradation par la chaleur, comme c'est le cas pour les âmes des câbles à paires coaxiales à manchons en plomb soudés avec ce même matériau. De plus, cette méthode permet de se dispenser des boîtiers de protection: pour protéger le joint contre la corrosion, on rétreint à chaud, sur le manchon, un tube en polyéthylène à garniture intérieure adhésive.

### Question 2/VI

*(nouvelle question)*

Protection des conducteurs et des raccordements en aluminium.

Quels sont les moyens utilisés pour protéger contre la corrosion les conducteurs en aluminium ou alliage d'aluminium des câbles de télécommunication:

1. lors de la fabrication du câble (isolant, produits de remplissage, etc.);
2. aux points de raccordement (raccordement des conducteurs, protection des épissures, etc.)?

*Remarque.* — Dans plusieurs pays, on met actuellement au point des câbles à conducteurs en aluminium ou alliage d'aluminium. Il serait utile que le C.C.I.T.T. étudie les questions concernant la fabrication, le raccordement et la terminaison de ces câbles.

### Question 3/VI

*(suite de la Question 3/VI, 1968-1972)*

Emploi de matières plastiques comme revêtement protecteur pour une enveloppe métallique de câble:

1. pour la protéger contre la corrosion;
2. pour la protéger contre les potentiels élevés quelle qu'en soit la cause.

*Remarque 1.* — L'étude de cette question devrait avoir pour but de déterminer:

- a) si la protection mécanique d'une gaine en matière plastique par une armure est essentielle quand le câble ainsi revêtu est enterré directement dans le sol;
- b) dans le cas contraire, si l'on doit recommander que des mesures d'isolement entre l'enveloppe et le sol soient faites périodiquement afin de s'assurer que le revêtement protecteur reste en bon état. Cette procédure impliquerait que soit assurée l'isolation par rapport au sol des manchons d'épissure, boîtes de charge et de dérivation, etc., qui se trouvent normalement reliés électriquement à l'enveloppe.

*Remarque 2.* — L'étude de cette question devrait avoir lieu en tenant compte des travaux de la Commission d'études V concernant les revêtements qui, tout en assurant une protection contre la corrosion, présentent une faible résistivité afin de permettre le maintien d'un couplage résistif approprié entre l'enveloppe métallique et la terre.

ANNEXE 1  
(à la Question 3/VI)

**Résumé des informations communiquées en 1957-1960 à la 6<sup>e</sup> Commission d'études et mises à jour  
en 1968 au sujet de revêtements protecteurs en matière plastique**

L'Administration fédérale allemande rappelle l'usage de matières plastiques comme revêtement protecteur pour les câbles à enveloppe en acier ou en aluminium. Elle mentionne aussi l'utilisation d'un revêtement en mélange de polychlorure de vinyle, placé sur une couche plastique de matière spéciale à base de goudron, dans le cas de câbles à enveloppe de plomb armés, lorsque l'enveloppe en plomb et/ou l'armure en acier doivent être protégées contre les composants agressifs du sol (par exemple de sols marécageux).

L'Administration du Royaume-Uni indique que les revêtements protecteurs pour les câbles à enveloppe métallique sont utilisés moins fréquemment que par le passé, du fait que la plupart des revêtements de câbles sont maintenant faits en matière plastique. Pour le moment, toutefois, on utilise encore des enveloppes de plomb pour les câbles contenant des paires coaxiales, mais ces enveloppes sont alors sous revêtement de polyéthylène.

A la périphérie de réseaux locaux, on utilise couramment des câbles de petit diamètre isolés au polyéthylène sous enveloppe de polyéthylène. Environ la moitié d'entre eux sont placés en conduites de poterie et le reste est enterré directement. Une petite partie des câbles ainsi enterrés sont revêtus d'une armure de fils afin d'éviter au maximum qu'ils ne soient endommagés lors de travaux de terrassement ou autres. Cette armure de fils est placée sous un revêtement de plastique destiné à la préserver de la corrosion. Dans ce cas, l'on utilise du polychlorure de vinyle, qui offre une plus grande résistance à l'usure.

Au Royaume-Uni, on a toujours préféré utiliser le polyéthylène, plutôt que le polychlorure de vinyle, tant pour les enveloppes que pour les revêtements des câbles extérieurs, sauf dans les cas analogues à ceux mentionnés au paragraphe précédent, où il y a lieu de se préoccuper particulièrement de la résistance à l'usure. Les raisons de cette préférence sont essentiellement historiques et sont décrites ci-après.

Le plomb était rare au cours de la guerre et pendant les quelques années qui suivirent, en sorte que l'épaisseur normale de l'enveloppe en plomb des câbles classiques papier-plomb a été réduite en 1942, puis à nouveau en 1946. Un peu plus tard, des rapports apparemment autorisés ont suggéré que les ressources mondiales en plomb diminuaient et pourraient devenir insuffisantes à relativement brève échéance. En conséquence, l'épaisseur du plomb a encore été réduite et, en 1947, on a mis en service des câbles sous revêtement de plomb mince recouverts d'une protection par rubans hessiens. De plus, on a jugé commode d'étudier la possibilité d'utiliser des revêtements entièrement en matière plastique pour remplacer le plomb sur les câbles à âme entourée de papier. Le choix s'est alors naturellement porté sur le polyéthylène, qui avait été mis au point au Royaume-Uni et qui présentait une constante de perméabilité à l'humidité très supérieure à celle du polychlorure de vinyle.

On n'avait que peu de connaissances sur le comportement du polyéthylène refoulé, de sorte qu'il a été décidé d'avancer avec précaution et de ne fabriquer que 10% des câbles à enveloppe mince en plomb sous revêtement de ruban hessien sous forme de câbles sous enveloppe mince en plomb sous revêtement de polyéthylène. Des recherches sur le comportement du polyéthylène sur enveloppe mince en plomb ont donné d'excellents résultats. La confiance que l'on a ainsi accordée au polyéthylène a été telle qu'on a estimé possible de réaliser des enveloppes entièrement en polyéthylène. Entre-temps, la pénurie de plomb avait cessé, mais l'emploi de câbles sous gaine entièrement en matière plastique — avec ou sans barrière d'eau constituée par un ruban d'aluminium de 0,15 mm — est maintenant pratique courante lorsqu'il s'agit de câbles à paires multiples à fréquences vocales.

Compte tenu du faible coefficient de frottement du polyéthylène, un câble sous enveloppe de plomb et revêtement de polyéthylène est très facile à tirer. A cet égard, il se comporte mieux qu'un câble sous revêtement en polychlorure de vinyle. Il est vrai que le polyéthylène est plus inflammable, mais on n'a encore enregistré aucun dégât de ce fait. Les mêmes remarques s'appliquent, naturellement, aux câbles sous enveloppes entièrement en matière plastique.

Il y a un léger avantage économique et plus de commodité à utiliser un même élément comme revêtement protecteur et pour la fabrication d'enveloppes et, dans l'ensemble, on estime qu'il est avantageux d'utiliser le polyéthylène à ces deux fins.

On trouvera dans la contribution COM 6 — n° 12 de la série 1957-1960, le texte du cahier des charges imposé par l'Administration italienne pour les revêtements thermoplastiques placés sur le plomb des câbles téléphoniques.

Ce cahier des charges est valable jusqu'à aujourd'hui (1963). En Italie, pendant la période 1958-1963, environ 1100 km de câble à paires coaxiales avec revêtement thermoplastique ont été posés et ont donné satisfaction. En outre, des câbles à paires symétriques de longueur considérable munis de telle protection ont été posés, aucun dérangement n'a été signalé.

Tout récemment (1964), l'Administration italienne vient d'introduire dans le cahier des charges une réduction de l'épaisseur du revêtement thermoplastique, qui maintenant doit correspondre à la formule:

$$S = 1,0 + 0,032 D_p \text{ (S épaisseur en mm, } D_p \text{ diamètre sur le plomb, en mm).}$$

A titre d'information on ajoute qu'actuellement on pose, selon le même cahier des charges, un câble à paires coaxiales avec un revêtement thermoplastique sur le plomb d'une longueur de 1000 km environ. Il est intéressant de mentionner qu'en Italie, depuis 1956, les chemins de fer de l'Etat ont utilisé, avec des résultats satisfaisants, des longueurs considérables de câbles à paires symétriques sous plomb, munis d'une protection thermoplastique.

Les câbles armés à poser en tranchée sont munis, sous l'armure, d'un revêtement isolant en polyéthylène.

On utilise le polychlorure de vinyle comme matériau pour les revêtements extérieurs parce que la flamme s'y propage plus difficilement que dans le polyéthylène.

On prévoit une couche d'étanchéité entre le polychlorure de vinyle et le plomb.

En règle générale, l'Administration autrichienne des P.T.T. ne prévoit un revêtement de protection en matière plastique pour les câbles à enveloppe de plomb que dans le cas où les câbles seraient exposés aux effets nuisibles suivants:

1. potentiels très élevés de la terre dus à la mise à la terre des installations électriques par un court-circuit;
2. liquides ou composants agressifs du sol;
3. corrosion électrolytique.

Pour le revêtement de protection on utilise généralement le polychlorure de vinyle, parce qu'il possède des caractéristiques mécaniques favorables (particulièrement en ce qui concerne l'abrasion) et il peut être appliqué en entourant étroitement l'enveloppe de plomb. Il est prescrit une couche intermédiaire de bitume avec un recouvrement en rubans de polychlorure de vinyle ou de coton bitumé.

Dans le cas où le câble est muni d'un revêtement en matière plastique, on se contente d'une épaisseur réduite de l'enveloppe de plomb.

L'épaisseur de revêtement en polychlorure de vinyle doit être suffisante pour assurer une résistance diélectrique de 20 kV pour un courant alternatif de 50 Hz, et dans aucun cas elle ne doit être inférieure à 3 mm.

ANNEXE 2

(à la Question 3/VI)

**Mesures adoptées par l'Administration française pour la protection des enveloppes métalliques contre les corrosions électrochimiques ou électrolytiques**

(Renseignements fournis par l'Administration française en 1964-1968)

Nature des enveloppes	Risque de corrosion	Pose en conduite ou galeries	Pose en pleine terre
Plomb	Normal (cas général)	Rien	Armure de feuillards et jute imprégné
	Risque particulièrement élevé	Gaine en polyéthylène de 2 mm extrudée	dito + gaine en polyéthylène de 2 mm sur longueur strictement nécessaire
Aluminium	Normal (cas général)	Produit d'étanchéité et gaine en polyéthylène de 2 mm extrudée	Produit d'étanchéité + gaine en polyéthylène de 2 mm + feuillards + jute imprégné
	Risque particulièrement élevé	dito	dito + gaine en polyéthylène de 2 mm sur longueur strictement nécessaire
Acier	Dans tous les cas	Produit d'étanchéité + gaine en polyéthylène de 2 mm extrudée	

## ANNEXE 3

(à la Question 3/VI)

**Résumé des renseignements fournis par l'Administration de l'U.R.S.S. en 1964-1968**

Pour assurer la protection des enveloppes métalliques de ses câbles souterrains de télécommunication contre la corrosion, l'Administration de l'U.R.S.S. utilise différents types de revêtement isolant dont les spécifications dépendent de la nature du métal, des conditions d'exploitation du câble et de l'agressivité du milieu ambiant.

Pour les câbles à enveloppe de plomb, on dispose, sur l'enveloppe :

- soit une protection normale constituée par des couches successives de papier, de bitume et de jute;
- soit une protection renforcée qui comporte en outre, au-dessus d'une première couche de bitume, deux rubans de polychlorure de vinyle posés avec un recouvrement d'au moins 20%.

Les enveloppes d'aluminium sont toujours protégées par une couche de produit bitumineux, puis par une gaine de polyéthylène.

Lorsque le câble ne risque pas d'être soumis à des inductions alternatives importantes, on se limite à cette gaine, dont l'épaisseur est alors comprise entre 2 et 2,5 mm.

Dans le cas contraire, ou dans les régions dont le niveau kéraunique est élevé, la gaine de polyéthylène, dont l'épaisseur est alors ramenée à environ 1 mm, est recouverte par des couches alternées de bitume et de papier crêpé — éventuellement par un rubannage de polychlorure de vinyle puis par une armure en feuillards d'acier et par du jute.

Si l'agressivité des sols est telle qu'une corrosion rapide des feuillards est à craindre, l'armure est à son tour protégée par une gaine plastique de 1,5 à 2 mm d'épaisseur.

## ANNEXE 4

(à la Question 3/VI)

**Revêtements de protection des enveloppes métalliques  
des câbles de télécommunication utilisés en Tchécoslovaquie**

(Renseignements fournis par l'Administration tchécoslovaque en 1964-1968)

En Tchécoslovaquie, la protection contre la corrosion des enveloppes métalliques des câbles de télécommunication s'effectue conformément aux recommandations du C.C.I.T.T. et celles qui sont élaborées par l'Administration, en fonction des conditions locales spécifiques.

La protection contre la corrosion de ces câbles ne se fait qu'aux endroits du trajet où un examen général a distinctement montré un risque de corrosion. L'examen des câbles anciens et nouveaux a démontré que les câbles munis d'une armure en acier ne se corrodent que dans certains secteurs de faible longueur (ceci pour les câbles n'étant pas posés le long des voies de chemin de fer électrifiées en courant continu). La majorité des câbles ne sont pas attaqués par une corrosion intense; dans ces secteurs la longévité des câbles est généralement supérieure à 30 ans.

Sur la base de cet examen il a été convenu de réaliser la protection contre la corrosion des câbles de télécommunication seulement dans les secteurs présentant un risque, et d'utiliser des moyens de protection passifs et actifs.

Les moyens de protection passifs comprennent divers types de revêtements isolants pour les enveloppes métalliques des câbles et de manchons isolants pour l'épissure. Les moyens actifs de protection comprennent des stations cathodiques, des installations de drainage, des anodes galvaniques et la mise à la terre des enveloppes métalliques des câbles.

La norme tchécoslovaque des protections passives ne distingue en ce moment que trois types principaux de protection :

- 1) simple,
- 2) renforcée,
- 3) spéciale.

1. La protection passive simple comprend une couche de bitume sur l'enveloppe de plomb qui est entourée de papier imprégné. Si le câble n'est pas muni d'une armure, une couche de jute imprégnée est placée sur la couche de papier.

2. La protection passive renforcée comprend une couche de bitume, appliquée sur l'enveloppe de plomb, et une autre couche protectrice formée de trois bandes de polychlorure de vinyle plastifié enroulées avec recouvrement de 35%. Sur ces deux couches on place une troisième formée de deux rubans de papier imprégné enroulés. Si le câble n'est pas muni d'une armure, une couche de jute imprégné est mise sur la couche de papier. Si les câbles sont armés, l'armure est protégée de la même façon.
3. La protection passive spéciale peut se présenter de trois manières:
  - 3.1 Le type C, comprenant un revêtement en bitume sur l'enveloppe de plomb qui est entourée de cinq rubans en caoutchouc avec recouvrement de 20%. Entre le deuxième et le troisième ruban et également entre le troisième et le quatrième ruban on utilise un liant. Sur ces couches isolantes, on enroule un autre ruban en polychlorure de vinyle plastifié avec recouvrement de 15% ou deux rubans de toile caoutchoutée pour câbles. Si le câble n'est pas muni d'une armure, une autre couche de papier imprégné est enroulée sur ces couches (deux rubans avec recouvrement de 35%) et, sur la surface, on applique une enveloppe en jute imprégné. Si le câble est armé, l'armure est enroulée sur la dernière couche de papier et protégée par une couche de bitume et un revêtement en jute imprégné.
  - 3.2 Le type Y se compose d'un revêtement continu en polychlorure de vinyle plastifié d'une épaisseur de 2,5 mm appliqué sous pression sur l'enveloppe de plomb. Sur ce revêtement continu on enroule deux rubans en papier imprégné. Si le câble n'est pas muni d'une armure, une couche de jute imprégné est enroulée sur la dernière couche de papier. Sur le câble armé, l'armure est placée sur la dernière couche de papier et protégée par trois couches protectrices. La première est un revêtement en bitume, sur laquelle on enroule trois rubans en papier imprégné avec recouvrement de 25%, le tout étant placé sous un revêtement en jute imprégné.
  - 3.3 Le type S concerne les câbles posés dans un terrain où il existe un risque particulier d'attaque par corrosion des enveloppes métalliques; il est utilisé également pour les câbles avec enveloppes en aluminium. En principe la construction des couches isolantes est analogue dans ce cas, à celle du type Y avec la seule différence qu'entre l'enveloppe métallique et la couche continue de polychlorure de vinyle on applique une couche intermédiaire de dérivé de paraffine mélangée avec un bactéricide. Cette couche intermédiaire a pour but de restreindre la pénétration de l'air et de l'humidité en profondeur en cas de détérioration de la compacité de la couche isolante continue. En outre, sur ces câbles l'armure est très soigneusement protégée par une couche de bitume et par quatre rubans de polychlorure de vinyle plastifié. Sur la dernière couche on applique une enveloppe en jute imprégné. La protection du type S est pour le moment au stade des essais; des renseignements détaillés seront fournis plus tard. Les directives élaborées fixent pour les différents cas dans quels endroits et sur quelles longueurs il est nécessaire d'utiliser les différents types de protections passives décrits ci-dessus.

Ces types de protections sont appliqués en Tchécoslovaquie depuis quatre ans et pour le moment on n'a pas constaté d'inconvénient notable. Etant donné que la fabrication de câbles comportant ces protections passives est relativement coûteuse (de 1 à 4% plus chère que l'exécution classique) on attache une grande importance à limiter leur emploi aux endroits où l'on a constaté avec certitude que le câble est exposé à la corrosion. Les câbles munis de ces revêtements de protection sont fabriqués par l'industrie tchécoslovaque; ils sont principalement utilisés lors de la pose de nouveaux câbles ou de la réfection d'anciennes artères. En plus des revêtements de protection cités, on emploie encore un autre type de ruban et de pâte de protection connus sous le nom de « PLU ». Ce ruban et cette pâte de protection sont appliqués à la main sur l'enveloppe en jute des câbles d'exécution classique lors des réparations générales et lors de l'élimination des défauts, mais seulement lorsque les câbles existants sont exposés à la corrosion sur une longueur de 50 mètres au moins. Le ruban protecteur est en tissu de verre très fin abondamment imprégné sur les deux côtés par une pâte composée de paraffine. L'enduit a des effets fongicides et contient 50% à 60% de substances minérales finement broyées et au minimum 5% de chromates alcalins. Après application sur le revêtement des câbles, après pose de l'enroulement protecteur et après un réchauffage léger de la surface à l'aide d'une lampe à essence, au cours duquel la surface est sans cesse lissée, il se forme un revêtement isolant compact qui empêche l'humidité de pénétrer vers l'enveloppe du câble et absorbe l'humidité existante contenue dans les revêtements isolants. Cette protection passive est également employée dans les cas où il faut renouveler le revêtement de protection sur les manchons de l'épissure lors du montage des câbles d'exécution classique.

Les difficultés qui se présentent pour les protections passives sont toujours celles de la méthode de préservation et de la mesure de l'état d'isolement des protections après la pose du câble dans la terre. En ce sens,

L'Administration tchécoslovaque est en train d'élaborer des méthodes de préservation et de mesure de l'état d'isolement des protections passives des types S et Y, mais des résultats sûrs ne seront pas connus avant un an.

#### *Conclusions*

Les conclusions suivantes ont été formulées à la suite de l'emploi, depuis quatre ans, des méthodes de protection décrites ci-dessus :

- a) L'utilisation satisfaisante des câbles avec protection passive dépend principalement du soin apporté aux travaux de sondage du terrain.
- b) Il faut utiliser de façon rigoureusement conforme à la norme correspondante les plastifiants qui interviennent dans la composition du polychlorure de vinyle.
- c) Les défauts constatés pour le moment sur les couches isolantes sont dues aux défauts de fabrication ou à un maniement incorrect du câble pendant les travaux de pose.
- d) Le prix total de la construction des artères en câbles résultant de l'emploi de câbles munis des protections mentionnées est de 1 à 4 % plus cher que celui des câbles sous enveloppe de plomb d'exécution classique.
- e) Les essais de la longévité des revêtements de protection faits en laboratoire ont montré qu'il est possible de compter sur une longévité supérieure à 15 ans.

#### ANNEXE 5

(à la Question 3/VI)

#### **Enveloppes de câbles en matière plastique conductrice**

(Renseignements fournis par la Northern Electric Company)

#### *Résumé*

Il existe en de nombreux endroits des câbles enterrés à enveloppe en matière plastique conductrice; ces câbles ont fait l'objet d'essais comparatifs avec des câbles à enveloppe plastique normale. Les résultats de ces essais font apparaître une amélioration notable en ce qui concerne la fréquence des dommages et, par voie de conséquence, la facilité de localisation des défauts, s'il y en a.

#### *Câbles*

Les divers câbles utilisés dans l'essai pratique contenaient de 25 à 200 paires de conducteurs ayant un diamètre de 0,91 mm ou 0,64 mm. L'âme du câble est enveloppée d'un ruban longitudinal de matière plastique ou d'un ruban en caoutchouc et plastique; le blindage était réalisé par un ruban d'aluminium tendre, de 0,22 mm, qui dans la plupart des cas était ondulé transversalement. La couche extérieure de matière plastique conductrice avait une conductivité de l'ordre de 100 ohm/cm; cette matière se trouve dans le commerce.

La substance utilisée pour le revêtement est un copolymère d'éthylène/acrylate d'éthyle contenant jusqu'à 50 % de noir de carbone. Cette matière, si elle est élaborée avec soin et convenablement séchée, possède des propriétés avantageuses d'extrusion ainsi qu'une bonne résistance à la traction, aux chocs et aux cisaillements. D'autre part, elle a une bonne souplesse aux basses températures et une bonne résistance aux contraintes de fissuration. On n'a pas placé de substances d'étanchéité liquides sous le revêtement, car on n'a pas trouvé de matériau ayant une conductivité électrique satisfaisante.

#### *Milieu ambiant*

Les câbles étaient installés dans des zones où le niveau isokéraunique correspondait à 20-30 jours d'orage par année.

#### *Exécution des essais*

Une longueur totale de câbles de 28 km a été mise en service dans l'est du Canada pendant des périodes allant de quatre à cinq ans. Ces câbles ont été installés en sept emplacements qui étaient caractérisés dans le passé par une grande fréquence d'endommagement des câbles par la foudre.

*Résultats*

Pendant toute la durée de l'essai, on n'a enregistré que deux cas d'endommagement des câbles; dans chacun de ces cas, les dégâts étaient très localisés. D'autres câbles pourvus d'enveloppe non conductrice et installés dans le même secteur — soit parallèles aux câbles étudiés, soit raccordés en série avec ces câbles — subissaient les dégâts habituels; ils présentaient de nombreuses piqûres réparties sur de grandes longueurs des câbles. Comme les défauts constatés sur les câbles à enveloppe conductrice étaient localisés, leur répartition était plus facile que sur les autres câbles.

*Remarque.* — Des courants vagabonds continus de forte intensité circulant dans la terre peuvent avoir un effet défavorable sur ce type d'enveloppe, comme ce serait le cas avec un câble à enveloppe de plomb dotée d'une protection par jute ou par un autre matériau non isolant. Dans les zones où ce problème ne soulève pas de difficultés graves, il apparaît que l'emploi d'une enveloppe en matière plastique conductrice au-dessus d'un blindage métallique a pour effet de réduire sensiblement l'endommagement du câble par la foudre.

## ANNEXE 6

(à la Question 3/VI)

**Renseignements fournis par l'I.T.T. en 1971***Emploi de matières plastiques comme revêtements protecteurs pour une enveloppe métallique de câble*

On trouvera ci-après la description de certaines caractéristiques, établies par des essais, d'enveloppes en matière plastique conductrice à base de polyéthylène ou de polychlorure de vinyle. Le principal avantage de l'enveloppe en matière plastique conductrice est son aptitude à protéger efficacement et économiquement les câbles contre les dommages dus aux décharges atmosphériques.

Dans l'Annexe 5 à la Question, la Northern Electric Company fournit des renseignements sur l'expérience qu'elle a acquise en quatre à cinq ans sur quelque 28 km de câbles de télécommunication de ce genre installés au Canada.

Les résultats les meilleurs sont obtenus avec des enveloppes rendues conductrices par incorporation de 30 à 35% de noir de carbone bien dispersé. On constate qu'il est difficile de maintenir la valeur de la résistivité transversale, caractéristique importante pour la protection contre la foudre, dans l'ordre de grandeur de la résistivité longitudinale de l'enveloppe en matière plastique, caractéristique moins importante à cet égard. Pendant l'extrusion d'une matière thermoplastique, les conditions dans lesquelles s'effectue cette opération semblent causer une orientation des particules de noir de carbone. Si ce dernier est à chaîne longue, condition souhaitable dans cette application, les chaînes s'orientent longitudinalement. Il en résulte une diminution de la résistivité longitudinale, accompagnée d'une augmentation de la résistivité transversale (c'est-à-dire dans le sens radial).

Le comportement de l'enveloppe en présence d'une contrainte mécanique est lui aussi important. On a constaté à cet égard que l'allongement à la rupture et la résistance à la traction diminuent quand la teneur en noir de carbone augmente jusqu'à sa valeur optimale. Les conditions d'extrusion peuvent aussi influencer sensiblement ces caractéristiques mécaniques.

Une influence intéressante à considérer est celle qui s'exerce sur la tension de claquage de l'enveloppe en matière plastique chargée. On a constaté que la résistivité de l'enveloppe diminue quand on élève, en l'absence d'électrolyte, la tension continue appliquée au câble. Comme la rigidité d'un diélectrique auquel on applique un courant continu diminue avec sa résistance, la tension de claquage pour une épaisseur donnée s'abaisse aussi.

Si l'on enterre une enveloppe en matière plastique conductrice dans un sol sujet à électrolyse sous l'action de courants vagabonds, on peut escompter que ce phénomène n'augmentera pas sensiblement la résistance transversale de la gaine; en effet, la diminution de la conductivité de celle-ci est compensée par l'infiltration de l'électrolyte. Toutefois, si ce processus se poursuivait, il aurait un effet défavorable sur un blindage métallique éventuel, dont la protection contre la corrosion serait assurée par la matière plastique conductrice de l'enveloppe.

On n'a pas encore étudié l'influence des ondes de choc; ces essais seraient nécessaires pour déterminer l'efficacité de la protection contre les décharges atmosphériques.

Quand les enveloppes en matière plastique chargée sont immergées dans l'eau pendant plusieurs semaines, on constate, dans le cas de copolymères de polyéthylène, une diminution de la conductivité; celle-ci diminue d'abord très rapidement, mais finit par se stabiliser à une valeur constante. On n'a pas trouvé d'explication à ce comportement. Dans le cas de polychlorure de vinyle, le phénomène est moins accusé.

Les câbles protégés par ce moyen contre les décharges atmosphériques risquent d'avoir une action défavorable sur des câbles adjacents, éventuellement posés dans la même tranchée. Nous n'avons pas encore étudié cette éventualité.

En conclusion, on peut réaliser des enveloppes efficaces à faible résistance électrique transversale, en utilisant une matière plastique, polyéthylène ou chlorure de polyvinyle, chargée d'un produit approprié; les caractéristiques physiques obtenues dépendent beaucoup des conditions de mélange et d'extrusion.

#### Question 4/VI

(suite de la Question 4/VI, 1968-1972)

Réalisation d'enveloppes de câble en matière plastique:

- i) cas où l'enveloppe est entièrement en matière plastique;
- ii) cas où l'enveloppe comporte une couche métallique étanche.

*Remarque 1.* — Des renseignements sont demandés au sujet des méthodes de localisation des dérangements dans les câbles sous matière plastique. Spécialement dans le cas où les conducteurs sont sous enveloppe en matière plastique, le point où se manifeste un défaut peut en effet être très éloigné de l'endroit où l'eau a pénétré dans l'enveloppe du câble.

*Remarque 2.* — Il convient de fournir des renseignements sur les méthodes d'appréciation de la durée de vie des câbles à enveloppe de matière plastique et sur la résistance des joints obtenus par divers moyens: soudure, moulage, dispositifs mécaniques, rubans composés à base de résine, époxy, etc.

#### ANNEXE 1

(à la Question 4/VI)

#### Renseignements fournis par la République fédérale d'Allemagne (1961-1964)

##### 1. Type de câble

Dans la République fédérale d'Allemagne, on a fabriqué et posé, à titre d'essai, des câbles dont les conducteurs sont, comme ceux des câbles à enveloppe de plomb, isolés par du papier. L'âme du câble recevait, comme écran statique, un enroulement ininterrompu en ruban d'aluminium et, sur cet enroulement, un revêtement sans couture, composé d'un mélange de polyisobutylène et de noir de fumée. Etant donné que ce revêtement est très plastique et mou, on l'a protégé par des rubans de matière textile enroulés et par plusieurs bandes de papier enroulées entre des couches de matière. Sur l'ensemble on place une armure en fils d'acier plate et, extérieurement, une gaine protectrice en jute entre des couches de matière.

Le polyisobutylène employé pour le mélange est un hydrocarbure thermoplastique très polymère, à haut poids moléculaire et très étanche à la vapeur d'eau. Le polyisobutylène est, à la température normale, résistant aux acides, lessives, solutions salines, etc. Il reste plastique jusqu'à une température minimale de  $-50^{\circ}\text{C}$ . Sa résistance à la traction est minime. Sa résistance au vieillissement serait très bonne.

##### 2. Raccordement

Une épissure entre deux sections de câble est recouverte au moyen d'un manchon en mélange de polyisobutylène. Ce manchon est fabriqué d'une pièce et a une couture longitudinale. La couture longitudinale est soudée sous pression et chaleur (environ  $200^{\circ}\text{C}$ ) au moyen d'un outil spécial chauffé (au gaz propane). Les deux collets du manchon sont soudés à l'enveloppe en polyisobutylène de la même manière. Lorsque les couches superposées de polyisobutylène sont soudées ensemble, les joints sont absolument étanches à l'eau. Le manchon mou et plastique en mélange de polyisobutylène avec joints soudés est protégé par un manchon protecteur en fonte composé de deux demi-coquilles. L'espace vide entre le manchon en polyisobutylène et le manchon protecteur en fonte est rempli de composition isolante à une température de coulée maximale de  $150^{\circ}\text{C}$ .

ANNEXE 2  
(à la Question 4/VI)

**Câbles sous enveloppe entièrement en matière plastique utilisés au Royaume-Uni**  
(Renseignements mis à jour en 1968 par le Royaume-Uni)

1. *Câble de réseau local à isolation au polyéthylène sous enveloppe de polyéthylène*

Une grande quantité de ce type de câble (évaluée à 225 000 kilomètres de longueur) est utilisée dans de très bonnes conditions dans des réseaux locaux de distribution. Il est probable qu'un peu plus de la moitié de ces câbles est en conduites, le reste étant enterré directement. Le prix de revient d'un tel câble est considéré comme légèrement inférieur à celui d'un câble équivalent sous enveloppe de plomb et isolé au papier, mais sa souplesse et sa sécurité de fonctionnement lui confèrent un avantage économique de plus. Depuis avril 1960, tous les câbles de distribution d'une capacité inférieure ou égale à 100 paires sont de ce type. Certains de ces câbles sont équipés de barrières, à intervalles d'environ 18 mètres, qui sont destinées à restreindre les infiltrations d'eau qui pourraient se produire lorsqu'un revêtement est endommagé; toutefois, les plus modernes d'entre eux sont entièrement remplis de vaseline, leurs conducteurs étant enrobés de mousse de polyéthylène isolante pour compenser l'accroissement de capacité dû à la vaseline. On commence, pour ce genre de câble, à utiliser des conducteurs d'aluminium.

2. *Câble local de grande capacité avec enveloppe de polyéthylène*

Pour les câbles des grands centraux, les prix de revient se présentent différemment en sorte que les câbles avec isolation et enveloppe en polyéthylène reviendraient plus cher que les câbles sous plomb isolés au papier. Dans ce cas, le câble isolé au papier avec enveloppe de polyéthylène est économique; il est utilisé depuis avril 1964 pour la plupart des lignes d'abonné et peut compter de 100 à 3000 paires. Dans ce câble, un ruban d'aluminium, à la fois mince et large, dont un côté a été revêtu à l'avance d'un film de polyéthylène à forte adhérence, est posé en longueur sur l'âme de papier, avant pose de l'enveloppe, la couche de polyéthylène étant au-dehors. Le polyéthylène chaud sortant de la presse à extrusion se soude à la surface en polyéthylène du ruban et lie solidement l'aluminium à la paroi interne de l'enveloppe. La barrière constituée par le ruban d'aluminium diminue d'au moins 50 fois la surface de diffusion apparente de la vapeur d'eau dans l'âme de papier, si bien que la diffusion est pratiquement négligeable.

Un gros câble isolé au polyéthylène sous enveloppe de polyéthylène se prête à un aboutissement direct à un répartiteur, et, afin d'éviter un raccordement, on l'utilise fréquemment plutôt qu'un câble isolé au papier, pour l'extrémité qui a accès au central.

3. *Câble interurbain et câble de jonction à fréquences vocales*

Le câble de jonction Douvres-Deal (environ 15 km), posé à titre expérimental, est muni d'une enveloppe au polyéthylène de 2,5 mm, sans noir de carbone, recouvrant des conducteurs d'aluminium isolés au papier. L'âme est suffisamment lâche pour faciliter le passage d'un gaz sec en cas de besoin. Le diamètre est de 32 mm. Le câble est maintenu sous pression de gaz constante; on en trouve une description complète dans l'*I.P.O.E.E. Journal*, volume 48, page 224, et volume 49, page 22, janvier et avril 1956.

Mis en service en juin 1955, ce câble donne toute satisfaction depuis 13 ans.

On observe une différence d'environ 12 °C entre les températures du câble en été et en hiver et, à la température hivernale minimale d'une année normale, la résistance d'isolement est environ trois fois plus grande qu'à la température maximale estivale. Au moment de la pose du câble, la résistance d'isolement à cette température maximale atteignait 24 000 mégohms/km; pour la même température, elle est actuellement d'un peu moins de 3000 mégohms/km.

Un certain nombre d'autres câbles interurbains et de jonction à fréquences vocales, papier-polyéthylène, ont été posés; ils sont maintenant d'utilisation courante. Tous ces câbles sont munis à l'intérieur de la gaine de polyéthylène, d'un ruban d'aluminium qui arrête la vapeur d'eau, si bien que la lente diminution de la valeur de l'isolement enregistrée sur le câble Douvres-Deal ne se constate pratiquement plus.

## ANNEXE 3

(à la Question 4/VI)

**Technique utilisée en Italie pour la réalisation des joints des câbles  
sous enveloppe en matière plastique**

1. *Méthode de raccordement des conducteurs dans les épissures des câbles sous enveloppe thermoplastique et dont les conducteurs sont isolés par polyéthylène*

L'isolant des conducteurs des câbles sous enveloppe thermoplastique est généralement en polyéthylène solide ou cellulaire; parfois, on utilise aussi du polyéthylène dont la section transversale a la forme d'une étoile. Dans les deux premiers cas, l'isolant des conducteurs est rendu étanche par l'introduction d'un petit manchon en polyéthylène à l'endroit du raccordement et en le soudant à chaud à l'enveloppe en polyéthylène des conducteurs, de part et d'autre du joint. Une autre méthode consiste à obtenir l'adhésion du petit manchon en polyéthylène à l'aide de deux pièces coniques. Quelle que soit la méthode utilisée, on recherche l'étanchéité absolue de l'isolant des conducteurs pour que le service ne soit pas affecté même si l'eau pénétrait sous l'enveloppe du câble à l'épissure.

Dans le cas du polyéthylène à section en étoile, le procédé consistant à recouvrir l'extrémité des fils torsadés avec un capuchon rempli de graisse au silicone est en usage.

2. *Méthodes de raccordement des enveloppes thermoplastiques*

a) *Câbles sous enveloppe en polychlorure de vinyle*

Après avoir enrobé les conducteurs d'un ruban de polyéthylène, on introduit sur l'épissure deux demi-manchons en polychlorure de vinyle qui sont ensuite soudés à l'aide d'un solvant approprié, entre eux et à l'enveloppe du câble. Afin de donner un support à ces demi-manchons, lors de la soudure, on introduit, préalablement, sur l'ensemble des conducteurs, un manchon rigide (par exemple en polychlorure de vinyle).

b) *Câbles sous enveloppe en polyéthylène*

Le raccordement des conducteurs est réalisé comme décrit ci-dessus; en ce qui concerne l'enveloppe du câble, on utilise un manchon cylindrique en polyéthylène, soudé à l'enveloppe de part et d'autre de l'épissure à l'aide d'un outil spécial, chauffé préalablement à une température déterminée. A l'extérieur du joint, on place, dans le cas d'un câble souterrain, une boîte en fonte remplie de bitume dont le point de fusion est à une température peu élevée. Un tel joint dans le cas d'un câble aérien est protégé à l'aide d'une pièce métallique qui sert aussi pour l'amarrage du câble porteur.

c) *Câble sous enveloppe en polyéthylène, et d'une gaine supplémentaire en polychlorure de vinyle*

Ce type de câble est de plus en plus utilisé en Italie, et le raccordement de l'enveloppe en polyéthylène et de l'enveloppe en polychlorure de vinyle est effectué séparément, en appliquant les procédés décrits aux points a) et b).

3. *Raccordement entre enveloppe thermoplastique et enveloppe en plomb*

On utilise un joint prémoulé constitué d'un tampon étanche en matière synthétique, traversé par des conducteurs en nombre correspondant à ceux des câbles à raccorder, et muni des deux côtés des manchons de raccordement aux enveloppes, respectivement en plomb et en matière thermoplastique.

4. *Utilisation des câbles sous enveloppe en matière plastique comme câbles aériens autoporteurs*

Afin d'éviter les inconvénients de la suspension rigide des câbles aériens autoporteurs traversant des régions exposées aux orages et aux vents assez violents, en Italie on a mis au point un dispositif pour la suspension du câble au poteau, ce dispositif permet au câble un certain déplacement longitudinal. Bien que ce dispositif n'empêche pas les vibrations du câble sous l'effet du vent, il réduit son effet nuisible sur les supports.

Pour les portées exposées particulièrement au vent, on a eu exceptionnellement recours à une suspension « caténaire » à l'aide d'un câble porteur supplémentaire, auquel le câble est suspendu avec les mêmes dispositifs.

En cas de pose de ces câbles le long du chemin de fer électrifié, on a souvent utilisé le fil de garde déjà existant pour y fixer le câble aérien en des points intermédiaires, de façon à réduire la longueur de la portée.

## ANNEXE 4

(à la Question 4/VI)

**Raccordement des câbles à enveloppe en matière plastique**

[Renseignements fournis par l'Administration australienne (1968)]

L'Administration australienne utilise depuis un certain temps des câbles sous enveloppe en matière plastique; elle a mis à l'épreuve sur le terrain un certain nombre de méthodes de raccordement. Dans la méthode la plus couramment employée aujourd'hui pour les raccordements souterrains, l'étanchéité du joint est totalement assurée par des résines époxydes.

Les conducteurs sont raccordés par des fils torsadés, soudés et protégés par des manchons en matière plastique. Un moule en matière plastique est placé autour du joint; puis il est rempli d'un composé de résine époxyde. Cette résine est livrée dans des troussees de travail contenant:

- a) un flacon en polyéthylène transparent à parois minces contenant un mélange de résine époxyde de base (Epikote 834: Epichlorohydrine-Bisphenol A) et d'un diluant réactif (Cardura E: acide gras synthétique époxydisé);
- b) un tube de plomb étamé avec un bec verseur contenant un produit gras, du « polymid 75 » (résine polyamide-polyamine);
- c) trois sacs en matière plastique dont deux sont utilisés pour protéger les mains pendant que l'on mélange et verse la résine et le troisième pour placer les matériaux de rebut.

Le durcisseur est versé dans le flacon en matière plastique qui contient la résine; le mélange est soigneusement malaxé dans ce flacon et ensuite il est versé dans le moule où on le laisse reposer.

Pour les raccordements en surface, les joints en fils conducteurs torsadés et soudés sont protégés par des manchons en polyéthylène remplis de graisse au silicone. Les joints sont placés dans des boîtes montées sur des poteaux, mais on ne cherche pas à les sceller hermétiquement sous enveloppe.

Une base et un capuchon en matière plastique prémoulés ont été mis au point et font actuellement l'objet de nombreux essais sur le terrain. Les câbles sont scellés à la base à l'aide de résine époxyde et les conducteurs raccordés par fils torsadés et soudés sont protégés par des manchons de polyéthylène remplis de graisse au silicone.

## ANNEXE 5

(à la Question 4/VI)

**Réalisation des joints sur les câbles de réseaux urbains à isolation en polyéthylène sous enveloppe en polychlorure de vinyle : méthode employée par la Fédération de Malaisie et Singapour (1961-1964)**

1. Les divers types de joints de câbles peuvent se répartir de la manière suivante:

1.1 *Joints à bande en matière plastique*

Dans ce type de joints, des bandes de matière plastique assurent le scellement. Dans le cas de joints sur des câbles à plus de deux paires, un manchon en matière plastique est posé sur le joint, le ruban de matière plastique étant enroulé autour du manchon et du revêtement du câble au point où le câble sort du manchon pour assurer un scellement étanche à l'humidité. Dans le cas de joints sur câbles à une et à deux paires; où la longueur du joint ne dépasse pas 7,5 cm, on n'utilise pas un manchon de matière plastique, mais le joint est protégé par chevauchement de rubans en matière plastique, qui assure en même temps le scellement.

Ce type de joints en bande de matière plastique est utilisé lorsqu'il s'agit de faire un joint rectiligne entre deux câbles en matière plastique de même dimension. Dans le cas de joints en « Y » ou de joints multiples, on utilise la technique des joints à bouchons comprimables.

1.2 *Joints à bouchons comprimables*

Dans ce type de joint, on utilise un manchon de plomb (ou de laiton), ou une chambre en matériaux identiques pour protéger le joint, le scellement étant effectué au moyen d'un bouchon comprimable.

Le joint peut être du type à tête unique en « U » ou à double tête. Dans le premier cas, les câbles pénètrent dans l'espace de jonction par des trous spéciaux aménagés à cet effet dans le bouchon comprimable inséré à l'extrémité ouverte de cet espace. Si le nombre des trous n'est pas suffisant pour recevoir tous les câbles à raccorder, on utilise un joint à double tête. Dans ce type de joint, on utilise deux bouchons avec un manchon ouvert à ses deux extrémités. Un bouchon est inséré à chaque extrémité du manchon et les câbles pénètrent dans le manchon par l'intermédiaire du bouchon, à l'une ou à l'autre extrémité. Dans toute la mesure du possible, on utilise le câble à tête unique qui ne nécessite qu'un bouchon comprimable.

### 1.3 *Joint entre un câble sous enveloppe en matière plastique et un câble sous enveloppe de plomb*

Si les dimensions du câble sous enveloppe de plomb sont telles qu'il peut pénétrer dans les trous d'un bouchon comprimable comme le câble sous enveloppe en matière plastique, le joint est identique à celui qui a été décrit ci-dessus. Néanmoins, lorsque cela n'est pas possible, il est nécessaire d'opérer un soudage et le câble sous plomb pénètre dans le manchon à l'extrémité opposée de celle où pénètre le câble sous enveloppe en matière plastique, le câble étant soudé au manchon.

## 2. *Emploi de barrières étanches à l'eau*

Si l'eau pénètre par un trou ou par absorption dans un câble sous enveloppe en matière plastique, l'eau ou la vapeur d'eau peut se répandre dans le câble et, si l'isolation du conducteur n'a pas subi de dégâts, le fonctionnement normal du câble n'en est pas affecté tant que l'eau ne parvient pas à un joint. Pour l'éviter, des manchons formant barrières étanches à l'eau sont installés à tous les joints entre câbles sous enveloppe de plomb et câbles sous enveloppe en matière plastique. On emploie les systèmes suivants de barrières étanches à l'eau.

### 2.1 *Barrières étanches à l'eau pour le couplage*

Ce type de barrière peut être installé au voisinage d'un joint existant s'il n'est pas possible d'adapter des manchons étanches à l'eau aux extrémités des câbles à l'intérieur du joint. On peut également les installer aux points où l'on a constaté un endommagement de l'enveloppe. Le couplage comporte deux parties identiques en matière plastique therm durcissable qui, lorsqu'elles sont montées ensemble, forment un corps cylindrique autour de l'enveloppe du câble. Chaque partie du couplage comporte une mince pastille d'une substance qui peut être enlevée de la partie supérieure du couplage pour former le trou par lequel on versera le matériau de scellement.

### 2.2 *Manchons formant barrières étanches à l'eau*

Il s'agit de manchons en caoutchouc synthétique qui peuvent être adaptés aux extrémités des câbles et remplis d'un matériau de scellement pour combler les interstices entre les conducteurs.

## ANNEXE 6

(à la Question 4/VI)

### Renseignements fournis à la Commission d'études VI pendant la période d'études 1964-1968

#### *République fédérale d'Allemagne*

Des câbles à isolation en matière plastique et à enveloppe en matière plastique sont à l'essai dans le réseau local. Les raccordements aux points d'épissure sont exécutés avec des manchons en polyéthylène. Les joints longitudinaux des manchons et les joints entre manchons et extrémités de câble sont soudés, la chaleur étant dégagée par un courant électrique que l'on fait passer à travers un fil conducteur noyé dans le polyéthylène. La source de courant utilisée à cet effet est une batterie d'automobile de 12 volts.

Les câbles sont maintenus sous pression d'air, car il serait difficile d'évacuer l'eau qui aurait pénétré jusqu'à l'âme. On essaye actuellement un câble dont les conducteurs sont entourés de polyéthylène plein, l'interstice d'air habituellement prévu étant rempli de matière plastique cellulaire.

*Pays-Bas*

On a installé près de 28 000 km de câble à isolation en polyéthylène et à enveloppe en polyéthylène, contenant environ 400 000 km de paires. Environ les trois quarts de ce câble sont enterrés sans protection dans le sol, à une profondeur d'au moins 50 cm. Le procédé de raccordement généralement utilisé comporte l'emploi de résine époxy. Plus de 500 000 joints ont été exécutés.

Par rapport au câble armé, le câble en polyéthylène a un taux de dérangements à peu près six fois supérieur, mais les joints au polyéthylène sont bien plus sûrs que ceux avec manchons de plomb soudés dans les câbles armés en acier. Si l'on considère à la fois le câble et les points d'épissure, le taux de dérangements du câble en polyéthylène non protégé n'est que de 1,4 fois supérieur à celui du câble à enveloppe de plomb armé.

*Japon*

On utilise des câbles à conducteurs isolés par matière plastique, aussi bien pour les lignes interurbaines que pour les lignes d'abonné. Si de l'eau pénètre dans l'âme du câble, le service n'est pas immédiatement interrompu, mais les conducteurs peuvent s'avérer au bout d'un certain temps par suite de corrosion. Il est donc nécessaire de faire rapidement une réparation. Lorsque le tronçon humide est suffisamment court, on le sèche par injection d'azote; s'il est trop long, par exemple plus de 30 mètres, on le remplace. Pour repérer approximativement le tronçon défectueux, on fait un essai avec un appareil du type en pont; puis, pour le localiser exactement, on fait un essai d'écho par impulsions et l'on détermine la longueur effectivement humide, en mètres, au moyen d'un autre essai du même type. Bien qu'on ne prétende pas obtenir une grande précision avec l'essai d'écho par impulsion, cet essai facilite le choix entre les deux procédés de réparation mentionnés ci-dessus.

Le Japon a aussi en service 5500 kilomètres de câble à isolation en papier avec enveloppe en « stahlpeth », comprenant grosso modo 50 000 joints d'enveloppe. La « méthode perfectionnée des manchons auxiliaires en plomb », utilisée pour ce câble, donne satisfaction.

## ANNEXE 7

(à la Question 4/VI)

La Commission d'études VI envisage d'établir un Avis sur l'encapsulation des épissures des câbles à enveloppe en matière plastique.

Toutefois, à la suite d'une proposition approuvée par la V<sup>e</sup> Assemblée plénière, on commencera par rédiger une brochure, et M. Nikolski (U.R.S.S.) jouera le rôle de rapporteur spécial à cet effet.

La brochure contiendra des descriptions des divers encapsulages utilisés actuellement et des recommandations générales, qui préciseront éventuellement comment adapter à des conditions particulières les différents principes d'encapsulation. On y fera une distinction entre encapsulages « droits » et « borgnes »<sup>1</sup> et entre les câbles comprenant respectivement peu et beaucoup de paires de conducteurs. On mentionnera aussi les méthodes de décapsulage des enveloppes. Les administrations seront ainsi à même de choisir, parmi les encapsulages décrits dans la brochure, celui qui répond le mieux à leurs conditions particulières.

Le plan de cette brochure est reproduit dans l'Appendice à la présente Annexe. Un complément d'information serait nécessaire pour faciliter la tâche de M. Nikolski; il y aurait donc lieu que des Administrations et des sociétés privées aussi nombreuses que possible fournissent des renseignements détaillés sur les méthodes qu'elles emploient actuellement pour l'encapsulation des raccords de câbles. Ces renseignements devraient s'étendre notamment aux points suivants;

- 1) désignation de la méthode;
- 2) pays, Administration des télécommunications, exploitation ou entreprise privée;
- 3) domaine d'utilisation;
- 4) bref énoncé des données techniques;
- 5) circuits, diagrammes, figures et photographies illustrant les principales étapes des travaux de raccordement, dimensions, opérations à effectuer;

<sup>1</sup> Dans les encapsulages « droits », le raccordement comprend à un bout de l'encapsulation une extrémité de câble et à l'autre bout une ou plusieurs extrémités de câble. Dans les encapsulages « borgnes », toutes les extrémités de câble se trouvent à un même bout de l'encapsulation.

- 6) méthode d'exécution des essais de fiabilité (précision et qualité du raccordement);
- 7) matériaux et gabarits à utiliser (spécifications);
- 8) estimation du temps et du prix d'exécution d'un raccordement (en fonction du diamètre du câble).

Lorsque le projet de brochure sera suffisamment avancé, on pourra rédiger l'Avis correspondant.

Il est proposé que la brochure soit éditée dans le même format que les *Recommandations* et avec les mêmes perforations, de façon qu'elle puisse être rangée dans la même couverture.

## APPENDICE

(à l'Annexe 7 à la Question 4/VI)

### Table des matières pour une brochure sur le raccordement des câbles de télécommunication à enveloppe en matière plastique

#### Introduction

(Par M. J. R. Walters, Post Office du Royaume-Uni)

#### Chapitre 1

##### PRINCIPAUX TYPES D'ENVELOPPES DE CÂBLE

- 1.1 Généralités
- 1.2 Enveloppe « Alpeth » (N.T.T., Japon)
- 1.3 Enveloppe « Stalpeth » (Administration des Etats-Unis)
- 1.4 Enveloppe « Lepeth » (Administration des Etats-Unis)
- 1.5 Enveloppe à double écran (N.T.T., Japon)
- 1.6 Enveloppe « Qualpeth » (Automatic Electric Company, General Cable Corporation, U.S.A.)
- 1.7 Enveloppe de polyéthylène à barrière étanche à l'humidité (T.C.L., Grande-Bretagne)
- 1.8 Enveloppe « Sealmetic » (Anakonda Wire and Cable Company, U.S.A.)
- 1.9 Enveloppe « Co-polymer » (Automatic Electric Company, General Cable Corporation, U.S.A.)
- 1.10 Enveloppe à écran « Ken-Tel » (Kennecot-Okonite Telephone Cables, U.S.A.)
- 1.11 Enveloppe « T.I. » (Texas Instruments, U.S.A.)
- 1.12 Enveloppes soudées et ondulées (Hackethal Draht und Kabelwerke AG, R.F. d'Allemagne).

#### Chapitre 2

##### CLASSIFICATION DES MÉTHODES DE RACCORDEMENT

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Généralités</li> <li>2.2 Méthodes de raccordement à froid</li> <li>2.3 Méthodes de raccordement à chaud</li> </ol> | } | Classification qu'il pourrait<br>être souhaitable de modifier<br>après complément d'information |
|---|---|---|

#### Chapitre 3<sup>1</sup>

##### MÉTHODES DE RACCORDEMENT DES CONDUCTEURS ISOLÉS SOUS MATIÈRE PLASTIQUE

- 3.1 Généralités
- 3.2 Raccordement au moyen de manchons en matière plastique remplis d'huile de silicones (Post Office du Royaume-Uni).
- 3.3 Raccordement au moyen de manchons de serrage (Administration de la R.F. d'Allemagne).
- 3.4 Raccordement au moyen de manchons en matière plastique soudés avec isolation en matière plastique (Administrations de l'Italie, de la Suède et de la République Populaire Hongroise).
- 3.5 Raccordement au moyen d'un pistolet de soudage (N.T.T., Japon).

<sup>1</sup> Voir l'information à rassembler au titre de la Question 7/VI.

*Chapitre 4*MÉTHODES DE JONCTION DES ENVELOPPES EN MATIÈRE PLASTIQUE  
ET DES ENVELOPPES EN MATIÈRE PLASTIQUE ET MÉTAL

- 4.1 Généralités.
  - 4.2 Jonction au moyen de rubans en matière plastique (Administration de l'Italie, Post Office du Royaume-Uni et Administration de l'U.R.S.S.).
  - 4.3 Jonction mécanique des enveloppes en matière plastique (Administration de l'Italie, Post Office du Royaume-Uni et Administration de l'U.R.S.S.).
  - 4.4 Jonction des enveloppes en matière plastique au moyen de résines à mouler, de pâtes et de colles (Post Office du Royaume-Uni, Administrations de l'Italie, de l'Autriche et de la Tchécoslovaquie).
  - 4.5 Méthodes de soudage des enveloppes en matière plastique au moyen de pistolets de soudage, de chalumeaux à gaz et d'autres appareils de chauffage (Administrations de l'Autriche, de l'Australie, de l'Italie et de la R.F. d'Allemagne).
  - 4.6 Méthode de soudage par injection (Post Office du Royaume-Uni).
  - 4.7 Méthodes de soudage des enveloppes en matière plastique au moyen d'appareils électrothermiques (Post Office du Royaume-Uni et Administration de la R.F. d'Allemagne).
  - 4.8 Méthode de soudage en moufle (Administrations de la R.F. d'Allemagne et de la Suède).
  - 4.9 Méthode de jonction des enveloppes en matière plastique au moyen de manchons en plomb (N.T.T., Japon).
  - 4.10 Méthode de raccordement des câbles à enveloppe ondulée en acier sous tubulure souple en matière plastique (Administration de l'Autriche).
- (Voir aussi la contribution COM VI — n° 7 (U.R.S.S.) au sujet des renseignements concernant les manchons thermo-rétractables.)

*Chapitre 5*MÉTHODES DE JONCTION DES ENVELOPPES EN MATIÈRE PLASTIQUE  
AVEC DES ENVELOPPES EN MÉTAL

- 5.1 Généralités
- 5.2 Méthode de jonction d'enveloppes en matériaux de natures différentes au moyen d'adaptateurs en matière plastique et métal (Administration de la R.F. d'Allemagne).
- 5.3 Méthode de jonction des enveloppes en matière plastique avec des enveloppes métalliques à l'aide d'une couche monomoléculaire d'acide stéarique (Administration des Etats-Unis).
- 5.4 Méthode de jonction des enveloppes en matière plastique avec des enveloppes métalliques au moyen d'adaptateurs en plomb (Administration du Japon).
- 5.5 Méthode de jonction mécanique des enveloppes en matière plastique avec des enveloppes métalliques (Post Office du Royaume-Uni).
- 5.6 Méthode de raccordement des câbles à enveloppe en matière plastique avec des câbles à enveloppe en plomb au moyen de câbles de raccordement intermédiaires (Administration de la Suède).
- 5.7 Méthode de jonction des enveloppes en matière plastique avec des enveloppes en plomb au moyen d'adaptateurs (Administration de l'Italie).
- 5.8 Méthode de raccordement des enveloppes en matière plastique avec des enveloppes en plomb au moyen de moules en résine époxyde (Administration de l'Australie).
- 5.9 Méthode de jonction d'enveloppes en matériaux de natures différentes au moyen de manchons de raccordement mécanique du type CSS-10 (Post Office du Royaume-Uni).

*Chapitre 6*

## MONTAGE DES CÂBLES DE TÉLÉCOMMUNICATION AÉRIENS

- 6.1 Généralités.
- 6.2 Normes de montage des câbles de télécommunication aériens.
- 6.3 Méthode yougoslave (Administration de la Yougoslavie).
- 6.4 Méthode suédoise (Administration de la Suède).

*Chapitre 7*

## BIBLIOGRAPHIE

**Question 5/VI — Attaque des enveloppes de câble en matière plastique ou en métal par les insectes, les rongeurs ou les bactéries. Protection contre ces attaques.**

(suite de la Question 5/VI, 1968-1972)

ANNEXE 1

(à la Question 5/VI)

**Renseignements recueillis par la 6<sup>e</sup> Commission d'études en 1957-1960**

L'importance des dommages causés aux câbles de télécommunication par les insectes et les rongeurs dépend beaucoup des régions géographiques. Dans les zones tempérées, ces dommages représentent plus un inconvénient qu'un danger majeur.

Dans les zones à climat chaud, les attaques peuvent être beaucoup plus sévères et il peut être nécessaire de prendre des précautions spéciales pour se prémunir contre ces attaques. Les statistiques communiquées en 1954-1956 par l'Administration australienne montrent que 3% environ des dérangements de câbles sont dus aux insectes, aux termites et aux rongeurs.

*Insectes*

1. Parmi les insectes responsables de dommages, qui ont été signalés au C.C.I.T.T., il faut accorder une place spéciale au *Sinoxylon sexdentatum*. Cet insecte s'attaque aux câbles sous plomb posés en aériens dans la région méditerranéenne et au Japon. Il est responsable, dans certaines régions du Japon, de près de 10% des dérangements subis par les câbles.

Les perforations faites par le *Sinoxylon* se produisent en général à proximité immédiate des colliers de suspension de câble, probablement parce que l'insecte prend appui sur ces colliers pendant qu'il perce le câble. On suppose également que l'action de l'insecte peut être favorisée par l'appui qu'il prend sur une aspérité quelconque de la surface de l'enveloppe de plomb. Les câbles les plus endommagés sont ceux de moindre diamètre, et les câbles d'un diamètre supérieur à 25 mm ne sont presque pas attaqués.

2. Des dommages dus à des insectes ont été constatés sur des câbles encore enroulés sur des bobines en bois. Ces dommages résultent de ce que les tambours ne sont pas fabriqués dans un bois suffisamment sain. Parmi les insectes responsables, on a identifié un insecte de la famille des hyménoptères, le *Sirex juvencus*, et un insecte de la famille des coléoptères, la guêpe du pin (*Hylotropes bajulus*). Ces insectes déposent leurs œufs dans les arbres résineux encore debout ou abattus; les larves se développent dans les bobines fabriquées avec des bois ainsi contaminés et donnent naissance à des insectes qui, en voulant sortir de la bobine, percent parfois l'enveloppe de plomb du câble enroulé sur la bobine.
3. Ce n'est que dans certains cas particuliers qu'une protection contre les insectes doit être envisagée.
4. Pour la protection contre le *Sinoxylon*, on a eu recours à une enveloppe en matériau thermoplastique. Cette enveloppe conserve ses vertus de protection aussi longtemps qu'elle reste suffisamment molle et élastique.
5. Une méthode de protection consiste à enduire l'enveloppe du câble d'une solution insecticide, ou mieux d'une solution de produit chimique répulsive pour les insectes. Une solution insecticide n'est pas forcément efficace, car les insectes n'ingèrent pas toujours la substance constituant l'enveloppe et s'attaquent à cette substance uniquement pour y déposer leurs œufs.

Des expériences sont en cours depuis plusieurs années à Cuba pour protéger les câbles aériens au moyen d'un enduit en émail comportant du DDT et ont donné de bons résultats.

L'Administration australienne effectue des recherches sur l'attaque des câbles sous enveloppe plastique par les insectes et examine l'effet des différents insecticides incorporés dans la matière plastique.

Parmi les produits répulsifs pour les insectes, il convient de citer les produits à base de cuivre, tels que le naphthénate de cuivre, qui constitue en même temps un fongicide très puissant.

La seule solution réellement efficace pour obtenir la protection d'un câble en matière plastique contre les insectes consiste d'ailleurs à recouvrir d'une armure métallique légère l'enveloppe du câble en matière plastique.

6. Pour éviter les dégâts aux câbles enroulés sur des bobines en bois, on procédera à un étuvage ou à une imprégnation de ces bobines. On peut se dispenser de ces traitements lorsque les bois des bobines sont sains.

#### Rongeurs

Les dommages causés par les rongeurs se manifestent principalement sur des câbles posés en conduite et sur des câbles enterrés dans le sol sans armure. Les endroits rongés ont une longueur de quelques centimètres et un aspect à peu près ovale. Les perforations sont nettement délimitées et permettent de bien reconnaître les traces de dents des rongeurs.

Dans les grandes villes, la plupart de ces dommages sont causés par des rats.

La lutte contre les rongeurs est difficile parce que les endroits où les dommages se produisent sont très dispersés. Aucune mesure systématique de protection, telle que l'incorporation de substances repoussant les rongeurs, n'est donc prise pour les câbles de télécommunication ordinaires.

## ANNEXE 2

(à la Question 5/VI)

### Attaque des matières plastiques par les insectes et les rongeurs

(Renseignements fournis par l'Administration australienne et mis à jour en 1972)

Les essais pratiques et l'expérience acquise par l'Administration australienne depuis 1951 montrent nettement que les câbles à enveloppes de polychlorure de vinyle ou de polyéthylène peuvent être gravement endommagés par les termites et les fourmis. Il a été démontré que les espèces suivantes sont à l'origine de nombreux dégâts sur les câbles et les fils:

Termites: *Mastotermes*, *Coptotermes*, *Nasutitermes*.

Fourmis: *Pheidole*, *Iridomyrmex*, *Monomorium*, *Pheidolegeton*.

On a de plus signalé des cas isolés d'attaques de câbles par des rats, des souris, des lapins et des péramèles, et ceci dans des zones très étendues.

L'Administration australienne a cherché à mettre au point une enveloppe de câble pouvant résister aux attaques des insectes et, à cet effet, elle a procédé à une série d'essais portant sur divers matériaux d'enveloppe dont certains comportaient un insecticide. Ces essais ont montré que l'incorporation d'insecticides (dieldrine, gammexane ou aldrine) dans une proportion pouvant atteindre 1% n'assure pas une protection suffisante et que l'adjonction de 5% de silice finement divisée n'est pas absolument efficace. Les essais ont aussi porté sur d'autres matériaux d'enveloppe et on a constaté que si la probabilité d'attaque est plus faible avec le polypropylène, le polyéthylène à haute densité et le polyuréthane, on ne peut quand même pas considérer ces corps comme donnant toute satisfaction. Cependant, d'importants essais ont montré que l'application d'une gaine extérieure de 0,075 cm d'épaisseur de nylon — et vraisemblablement aussi d'acétal — sur une enveloppe de polyéthylène assure une protection totale contre les attaques des insectes. Des recherches antérieures avaient montré que le Nylon 6 a tendance à s'écailler et à former des bulles dont l'éclatement peut permettre aux fourmis d'atteindre la couche de polyéthylène sous-jacente. De ce fait, les recherches ont été poursuivies avec le Nylon 11, qui a donné des résultats absolument satisfaisants, une solution de rechange étant actuellement (1964-1968) étudiée avec le nylon 12.

En 1972, l'Administration australienne a effectué divers essais pour déterminer l'efficacité des produits insecticides que l'on introduit dans les enveloppes des câbles en polyéthylène pour lutter contre les attaques des termites, fourmis, etc. L'Administration australienne a jugé finalement que la méthode de protection la plus efficace de son point de vue consiste à employer des enveloppes de câble dures, et elle utilise couramment du nylon. Certaines difficultés rencontrées avec le Nylon 11 ont amené à utiliser de préférence le Nylon 12, plus facile à obtenir et qui semble donner des résultats tout aussi bons. A l'origine, le nylon n'était utilisé que pour les câbles dont les âmes ont un diamètre inférieur à 1,25 cm. On peut maintenant l'utiliser pour les diamètres jusqu'à 3,75 cm. Le nylon n'est généralement utilisé que dans les zones rurales de l'Australie où l'on trouve des insectes, ce qui n'est pas le cas dans les villes. Tous les câbles pour systèmes à courants porteurs n'ayant qu'une seule quarte ainsi qu'environ

30 % de tous les câbles à enveloppe en matière plastique installés couramment (1972) sont recouverts de nylon et des essais sont en cours pour remplacer les enveloppes en polyéthylène des câbles coaxiaux par des enveloppes en nylon.

Au cours de ces essais, deux autres méthodes ont donné de bons résultats. Dans la première, une couche unique de ruban de laiton de 0,01 cm recouvert de polyéthylène de faible densité est posée sur une enveloppe intérieure de polyéthylène. Dans la deuxième, on utilise un revêtement de polyéthylène auquel on a ajouté 1 % de l'insecticide « Sevin » au carbamate. Mais la première de ces méthodes est onéreuse et soulève des difficultés de fabrication, alors que l'efficacité à long terme de la deuxième n'est pas encore prouvée.

On procède actuellement avec succès, dans une certaine région de l'Australie, au traitement à la dieldrine du sol qui entoure le câble au moment de la pose. Il apparaît que ce traitement assure une protection de plusieurs années. Les recherches se poursuivent pour contrôler la durée de la protection fournie par diverses concentrations d'insecticides en climat tropical et en climat tempéré.

### ANNEXE 3

(à la Question 5/VI)

#### Renseignements fournis par la Fédération de Malaisie et Singapour (1961-1964)

1. Le département des télécommunications de la Fédération de Malaisie fait une large utilisation de câbles téléphoniques sous enveloppe de matière plastique dans son réseau de lignes d'abonné; il utilise également des câbles sous enveloppe de matière plastique pour certaines lignes auxiliaires sur des trajets ne dépassant pas 32 km (20 miles). Des câbles sous enveloppe en matière plastique sont également utilisés pour les traversées de fleuves et de bras de mer dans les estuaires et, dans une mesure limitée, comme câbles aériens. Les attaques de ces câbles par des insectes ont été très graves.

#### 2. *Type d'attaque*

Les attaques les plus fréquentes se produisent sur les câbles qui sont directement enterrés dans le sol, bien que l'on ait parfois observé ces attaques sur les câbles aériens.

Dans la plupart des cas, les insectes ont traversé en les rongant l'enveloppe en polychlorure de vinyle, le ruban d'aluminium et l'isolation du conducteur. Pratiquement toutes les attaques signalées étaient des attaques radiales (dirigées vers le centre du câble).

#### 3. *Types d'insectes*

Les principales espèces identifiées jusqu'ici comme étant responsables de ces attaques sont:

- a) *Macrotermes*;
- b) *Koloterms*;
- c) *Pheidologeton diversus*, et
- d) *Campanotus* spp.

Cette liste n'est pas nécessairement complète. Il est certain que l'identification des insectes intéressés a été extrêmement difficile car il était difficile de recueillir des spécimens des insectes responsables des attaques.

#### 4. *Expériences en cours*

Des expériences visant à mettre au point des méthodes permettant d'éviter l'attaque des câbles par les insectes sont en cours en divers points répartis dans tout le pays. Toutes ces expériences visent à déterminer une forme de protection qui puisse être incorporée aux câbles, soit sous forme d'imprégnation de l'enveloppe en polychlorure de vinyle par un insecticide ou par un produit repoussant les insectes, soit sous forme d'une barrière spéciale incorporée au câble lors de sa construction. Selon certaines indications, les revêtements en nylon résisteraient mieux aux attaques des insectes que des enveloppes en polychlorure de vinyle.

Une deuxième série d'expériences vise à découvrir une méthode de traitement des câbles ou de pose des câbles permettant de diminuer les risques d'attaques de ce genre. Elles sont étudiées dans les paragraphes ci-dessous.

4.1 *Emploi de bitume*. Selon certaines indications, le bitume pourrait être un repoussant pour les insectes. En conséquence, un certain nombre de câbles ont été recouverts d'une couche de peinture de bitume

avant d'être posés. Dans certains cas, les attaques des câbles ont cessé; dans d'autres, elles se sont poursuivies, en sorte que cette expérience n'est pas actuellement décisive. D'autres expériences appartenant à la même série ont eu lieu, le câble étant peint avec un mélange de bitume et de gammexane ou d'autres insecticides. Les résultats en ont été identiques, les attaques cessant dans certains cas et se reproduisant dans d'autres.

- 4.2 *Emploi de l'arsénite comme moyen de protection.* L'arsénite est largement utilisé comme insecticide dans les plantations d'hévéas pour protéger les arbres et détruire les mauvaises herbes. Une expérience prometteuse a été entreprise en 1959, un câble de 3,2 km (2 miles) de long ayant été posé sous le fossé latéral d'une route de plantation. Ce câble n'a encore subi aucune attaque et on estime que le sol qui l'entoure est constamment imprégné d'arsénite entraîné par les eaux de pluie. Il est difficile de mettre au point une expérience permettant de vérifier cette hypothèse car il faudrait pour cela demander à la plantation de cesser d'utiliser l'arsénite pendant une période de durée telle qu'elle risquerait vraisemblablement de mettre en danger les arbres.
- 4.3 *Profondeur d'enfouissement des câbles.* Les câbles sous enveloppe en matière plastique sont normalement enfouis à une profondeur de 45 cm (18 pouces). On a constaté que, dans certaines régions, l'importance des attaques par les insectes était réduite par un enfouissement plus profond des câbles, qui étaient posés à 90 cm (3 pieds). Néanmoins, il convient d'ajouter que l'on a signalé des attaques se produisant jusqu'à 60 cm (24 pouces) de profondeur.

*Référence:* K. LAPKAMP, D. MAGNUS: Bleimantelschäden durch Käferlarven (Dégâts aux enveloppes sous plomb causés par des larves de coléoptères); *N.T.Z.*, 1956, n° 9, pages 415-420.

### Question 6/VI

(suite de la Question 6/VI, 1968-1972)

Réalisation de câbles avec des conducteurs à isolation sous matière plastique.

Les points suivants sont à examiner:

- a) Quelles sont les matières thermoplastiques qui peuvent être recommandées pour l'isolation des conducteurs téléphoniques:
  - i) conducteurs à l'intérieur de câbles urbains ou interurbains;
  - ii) conducteurs isolés câblés sans enveloppe, servant de lignes de raccordement pour les abonnés;
  - iii) conducteurs servant pour les installations téléphoniques intérieures?
- b) Quelles sont les conditions à imposer aux substances thermoplastiques servant à l'isolation des fils des conducteurs?
- c) Quels sont les essais qui permettent de vérifier que ces conditions sont bien remplies?
- d) Conditions d'emploi ou de pose de ces conducteurs.

*Remarque 1.* — Le but recherché est de réunir une documentation relative aux spécifications utilisées pour ces conducteurs par les Administrations et aux normes imposées aux substances thermoplastiques mentionnées dans ces spécifications.

*Remarque 2.* — On distinguera, s'il y a lieu, le cas de conducteurs en fil de cuivre et le cas de conducteurs en un autre métal (acier, aluminium, etc.).

*Remarque 3.* — Si de l'eau est entrée dans une enveloppe de câble et a pénétré le long du câble, quelle méthode est-il possible de recommander pour éliminer cette eau?

*N. B.* — La présence d'humidité sur les conducteurs sous isolation de polyéthylène peut provoquer de très fortes augmentations de l'affaiblissement, particulièrement dans les câbles interurbains chargés, même si la résistance d'isolation est satisfaisante.

*Remarque 4.* — Voir l'article de M. Mituru ROKONOHE dans le *Review of the Electronical Communication Laboratory* (tome 9, n° 11-12, novembre-décembre 1961) publié par la Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, qui décrit un câble avec des conducteurs à petit diamètre dont l'isolant est la mousse de polyéthylène.

*Remarque 5.* — Les renseignements relatifs au raccordement des conducteurs dont il s'agit sont à rassembler au titre de la Question 7/VI (voir aussi la Question 4/VI).

**Question 7/VI — Méthodes utilisées pour le raccordement de conducteurs***(Nouvelle Question)*

Les progrès récents dans l'emploi de circuits en câble ont mis en évidence la nécessité de réaliser des raccordements de conducteurs dont les caractéristiques électriques et mécaniques ne soient pas sensiblement inférieures à celles d'un conducteur isolé équivalent du câble sortant de l'usine. On aurait besoin de renseignements sur les diverses méthodes de raccordement actuellement en usage ou en cours de mise au point pour les conducteurs en cuivre ou en aluminium à isolation en papier ou en matière plastique et sur le comportement de ces raccordements en service.

**Question 8/VI — Protection des lignes à guide d'ondes contre la corrosion***(Nouvelle Question: réunir une documentation générale sur ce sujet)***Question 9/VI***(suite de la Question 9/VI, 1968-1972)*

Protection cathodique commune à plusieurs réseaux.

Y a-t-il lieu de prendre des mesures spéciales lorsque des câbles de télécommunication, des câbles d'énergie, des conduites d'eau ou de gaz, des pipelines, des voies de traction électrique et d'autres structures métalliques enterrées doivent être reliés entre eux dans le but de réaliser une protection électrique, plus particulièrement dans le cas où d'autres considérations rendraient désirable la séparation de certaines de ces installations ?

Quelles devraient être ces mesures ?

Quelles précautions spéciales convient-il de prendre lorsqu'un câble sous enveloppe d'aluminium est incorporé dans un plan de protection commun en même temps que des câbles sous enveloppe en métaux autres que l'aluminium ?

*Remarque.* — A la date de la V<sup>e</sup> Assemblée plénière (décembre 1972), les études effectuées au titre de cette question ont été les suivantes :

1. Deux aspects sous lesquels peut se présenter la protection commune ont été traités: les plans de protection établis dès le départ sur une base commune et ceux qui deviennent des plans communs par suite de l'extension à d'autres structures d'une protection prévue à l'origine pour une série de structures donnée.
2. On a étudié la nature des liens de connexion, compte tenu de la gamme complète des structures qu'il peut être nécessaire de connecter (lignes de télécommunication, de transport d'énergie, de courant de traction, gazoducs, oléoducs, etc.). On a de plus étudié la façon dont les courants vagabonds se répartissent entre les différents ouvrages dans le cas où de tels courants provenant d'un système de distribution d'énergie s'écoulent à travers une liaison de protection cathodique jusqu'à d'autres ouvrages enterrés.
3. On trouve, au paragraphe 9.3.5. des *Recommandations*, quelques indications sur la possibilité d'une interconnexion entre des installations faisant partie de réseaux de distribution à haute tension et d'autres installations associées à des ouvrages enterrés. Il convient toutefois de prendre note des précautions mentionnées dans l'Avis K.8.
4. On a procédé à une étude ayant pour objet de voir s'il y a lieu d'inclure dans un plan de protection cathodique les lignes à haute tension dont les socles des pylônes sont en béton armé.

5. En cas de protection commune de câbles d'énergie, de câbles de télécommunication, de conduites d'eau ou de gaz, de pipelines, etc., on a examiné les points suivants :

- a) Existe-t-il en permanence, ou lors d'un court-circuit sur un câble d'énergie compris dans le plan de protection électrique, des inconvénients possibles tels que : danger d'explosion de gaz, danger d'incendie, détérioration de l'enveloppe des câbles, danger résultant de l'élévation du potentiel d'une enveloppe ?
- b) Quelles sont les mesures spéciales, et éventuellement les dispositifs à prévoir pour se protéger contre ces phénomènes ?

(L'étude des dispositifs de protection a porté à la fois sur la sécurité du personnel et sur celle du matériel.)

Les études effectuées au titre de la Question 9/VI n'ont fait apparaître aucune nécessité particulière de modifier les Avis en vigueur. On a cependant maintenu à l'étude la Question 9/VI afin de pouvoir recueillir de nouveaux renseignements et d'être en mesure d'émettre un nouvel Avis de la série L à associer au chapitre intitulé « Protection cathodique » des « Recommandations concernant la construction, l'installation et la protection des câbles de télécommunication des réseaux publics ».

#### ANNEXE 1

(à la Question 9/VI)

##### Renseignements fournis à la Commission d'études VI pendant la période 1961-1964

Des schémas de protection cathodique communs sont très utilisés en U.R.S.S. Dans ces schémas, le plus grand danger est dû au courant provenant de différences de potentiel produites par des couples galvaniques ainsi qu'à l'échange de courant qui a lieu si le système de protection vient à ne plus fonctionner au voisinage de tramways ou de systèmes de traction à courant continu.

Afin d'éviter cet échange de courant ainsi que la corrosion des enveloppes de plomb qui en résulte, on insère des redresseurs au voisinage de la protection commune. Il s'agit en général, selon le type de protection, d'éléments au germanium ou au silicium.

Utilisée en U.R.S.S. depuis 1954, la protection commune y a donné de bons résultats, tant pour les câbles de télécommunication que pour les conduites souterraines.

Il existe à Milan (Italie) une organisation qui coordonne les différentes dispositions et propositions relatives à la protection. Le besoin en est particulièrement grand à Milan car le réseau des tramways y est très développé. Cette organisation comprend un comité qui se réunit chaque mois, ainsi qu'un bureau central technique. Elle est placée sous le patronage de la municipalité, notamment lorsqu'il convient de prendre des mesures qui intéressent plusieurs services différents. Certaines définitions relatives à la protection ont été rédigées ainsi que des règlements concernant les mesures à prendre en commun et les schémas de protection commune.

Aucune protection cathodique n'est appliquée aux câbles à enveloppe d'aluminium en République fédérale d'Allemagne et en Union des Républiques socialistes soviétiques. La protection cathodique appliquée par le Royaume-Uni au câble Inverness-Nairn, lequel a une enveloppe en aluminium, a essentiellement pour objet de fournir des renseignements à la Commission d'études VI; elle n'entre pas dans le cadre de la pratique couramment suivie au Royaume-Uni pour ce genre de câble.

#### ANNEXE 2

(à la Question 9/VI)

##### Conclusions dégagées par la Commission d'études VI du C.C.I.T.T. pendant la période 1961-1964

Lorsque, pour la réalisation d'une protection électrique commune, des câbles de télécommunication sont directement connectés à l'enveloppe d'un câble d'énergie, il y a lieu de tenir compte des risques, en cas de court-circuit à la terre d'une phase du câble d'énergie, pour le personnel travaillant sur les câbles de télécommunication. Ces risques sont spécialement à craindre lorsque le réseau d'énergie électrique est un réseau à haute tension dont le neutre est mis à la terre.

Il conviendrait alors de déterminer quelle est, au voisinage du point de connexion des câbles d'énergie et de télécommunication, l'élévation du potentiel de l'enveloppe du câble de télécommunication par rapport au potentiel de ce même câble dans une région éloignée, lorsque se produit un court-circuit sur le câble d'énergie, puis de voir si cette élévation de potentiel peut être admise.

Il semblerait, d'autre part, souhaitable de recommander aux ouvriers susceptibles de travailler sur des câbles de télécommunication dont l'enveloppe est reliée à celle d'un câble d'énergie, de shunter au préalable par un fil conducteur d'une section suffisante les deux côtés de la partie d'un câble téléphonique que l'on se propose de couper.

Il conviendrait d'étudier les conditions de réalisation de dispositifs appropriés qui seraient connectés entre les enveloppes des câbles électriques et les enveloppes des câbles de télécommunication, lorsque la protection cathodique est appliquée conjointement aux deux structures ou lorsque ces dispositifs sont utilisés comme moyens d'empêcher des interactions nuisibles. Les dispositifs en question devraient permettre la circulation du courant continu, mais ils devraient limiter la valeur du courant alternatif qui circule dans les conditions de fonctionnement normales et celle du courant alternatif susceptible de circuler lorsqu'il se produit une défaillance du système de mise à la terre du réseau électrique. Des considérations d'ordre pratique pourraient rendre nécessaire l'installation de ces dispositifs dans le sol, en des points où il ne serait pas indiqué d'utiliser des fusibles ou des coupe-circuits. La puissance nominale des dispositifs en question dépendra de l'intensité relative du courant susceptible de circuler vers les enveloppes des câbles de télécommunication en cas de défaillance des prises de terre du réseau de câbles électriques. Il serait intéressant de rechercher s'il convient de prendre des précautions différentes pour des dispositifs reliés à des systèmes électriques à haute tension et pour des dispositifs reliés à des systèmes à tension moyenne.

On pourrait demander l'avis de la Commission d'études V sur ce sujet.

### Question 10/VI

(suite de la Question 10/VI, 1968-1972)

Cas inhabituels de corrosion observés sur des enveloppes en plomb de câbles souterrains, maintenues cependant à des potentiels cathodiques.

*Remarque.* — Voir la Question 17/VI pour les études concernant la corrosion due au courant alternatif.

### ANNEXE

(à la Question 10/VI)

#### Conclusions dégagées par le C.C.I.T.T.

1. La Commission d'études VI a reçu des diagrammes de corrosion du plomb présentés par Cebelcor (diagrammes du professeur Pourbaix, reproduits dans les *Recommandations*).

L'examen du programme du Professeur Pourbaix fait apparaître qu'une corrosion est thermodynamiquement possible lorsqu'on applique au plomb des potentiels très négatifs.

Des expériences au Laboratoire de Cebelcor et sur terrains d'essais ont permis d'obtenir des corrosions cathodiques sous un potentiel inférieur à  $-2,1$  V pour des densités de l'ordre de  $10$  mA/cm<sup>2</sup>; cette densité est mille fois plus élevée que celle qui était nécessaire pour obtenir en laboratoire la protection cathodique et de 1500 à 5000 fois supérieure à la densité utilisée couramment dans la pratique de la protection cathodique des câbles.

L'attaque du plomb sous des potentiels extrêmement négatifs ne se produit de façon permanente que pour du plomb pur en présence de solution aqueuse; dans le cas de plomb allié en présence de solutions ou de sols humides, l'attaque est un phénomène transitoire et superficiel.

Une expérience de 25 ans de protection cathodique de câbles n'a fait apparaître aucun inconvénient dû à l'application de potentiels très bas.

Néanmoins, dans certains pays et notamment en U.R.S.S., on fixe une limite supérieure au potentiel de protection bien que l'on reconnaisse que, dans les sols ordinaires, la valeur du potentiel de cathode peut atteindre quelques volts.

2. Une autre forme de corrosion cathodique est beaucoup plus à craindre en pratique, comme il résulte de renseignements provenant d'Italie, de Grande-Bretagne, de Belgique et d'U.R.S.S. Il s'agit de corrosions subies en milieu fortement alcalin ( $\text{pH} > 10$ ) par du plomb soumis à un *faible* potentiel cathodique.

Les courbes du professeur Pourbaix et de l'Administration de l'U.R.S.S. sont comparables; elles recommandent de relever la limite inférieure du potentiel de protection à partir du moment où le pH du sol ou des canalisations (soit naturellement, soit par suite de travaux dans le voisinage) devient supérieur à 10.

Il faut donc éviter qu'une protection cathodique insuffisante ne porte le plomb du câble en milieu fortement alcalin à un potentiel inférieur à la limite de corrosion. Il pourrait en résulter une corrosion plus rapide que si l'on n'avait pas appliqué la protection cathodique qui est néanmoins à recommander parce que le câble se corroderait de toute façon.

3. Une étude a été entreprise dans les Laboratoires de l'Administration italienne, à Rome, pour identifier le mécanisme qui a donné lieu à certains cas de corrosion sur des enveloppes de câbles en plomb, nettement négatifs.

Les caractéristiques des cas de corrosion observés étaient les suivantes:

- a) Les câbles étaient négatifs par rapport au sol environnant;
- b) Dans tous les cas examinés, on a trouvé une couche compacte et adhérente de protoxyde de plomb (PbO) sous forme tétragonale. Ce composé se présentait sous une forme très poreuse;
- c) Dans tous les cas considérés, on a pu constater la présence d'un milieu fortement alcalin et parfois une variation du pH qui, à partir d'une valeur de 7,7 à 1 mètre de distance du câble, atteignait une valeur de 10 à 1 centimètre du câble.

Les essais en laboratoire qui ont été effectués ont permis d'éclaircir la nature des phénomènes électrochimiques. Ces essais en laboratoire ont été effectués à densité de courant constante. Il est intéressant de noter que les défauts de corrosion cathodique mentionnés ci-dessus correspondaient à des points où le potentiel était variable.

Les observations ci-dessus sont en accord avec le cas mentionné dans le libellé de la Question 10 étudiée en 1957-1960, où il s'agissait d'une corrosion cathodique observée en Grande-Bretagne. Cette corrosion s'était produite dans des conditions assez particulières avec une présence de chaux libre dans une conduite en amiante. Elle s'était manifestée lorsque le potentiel négatif par rapport à la terre était de l'ordre de 1 à 1,5 V (potentiel mesuré avec une électrode impolarisable Cu/SO<sub>4</sub>Cu); lorsque le potentiel négatif était de l'ordre de 10 V, la corrosion cathodique n'était plus constatée.

## Question 11/VI

(suite de la Question 11/VI, 1968-1972)

Modifications et additions aux *Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion.*

*Remarque 1.* — L'objet des études faites au titre de cette question doit être de tenir les *Recommandations* à jour.

*Remarque 2.* — L'attention est attirée sur la nécessité d'établir un critère pour les interactions nuisibles entre les schémas de protection cathodique et d'établir des méthodes de mesure permettant de voir comment ce critère est respecté dans des cas particuliers.

*Remarque 3.* — Il convient de poursuivre l'étude des mesures de protection contre les gaz toxiques, par exemple pour les cas où l'on utilise des brûleurs à combustible liquide pour la soudure.

*Remarque 4.* — Il convient d'étudier les additions à apporter aux chapitres V et VI des *Recommandations* pour ce qui est de la réalisation générale des enveloppes et de revêtements protecteurs contre les tensions élevées dues à l'induction, aux coups de foudre, etc.

*Remarque 5.* — La V<sup>e</sup> Assemblée plénière a approuvé une proposition tendant à remplacer le titre de cette publication par: *Recommandations concernant la construction, l'installation et la protection des câbles de télécommunication des réseaux publics.*

(Pour la période 1973-1976, il n'y a pas de question portant le numéro 12/VI.)

**Question 13/VI — Corrosion due à l'échange de courant continu avec des systèmes d'électrodes installés à proximité**

(suite de la Question 13/VI, 1968-1972)

Corrosion de structures enterrées ou immergées, provoquée par l'entrée ou la sortie de courants continus d'électrodes établies au voisinage de ces structures :

- a) soit pour des réseaux de transport d'énergie à haute tension à courant continu;
- b) soit pour la téléalimentation des répéteurs installés sur des câbles de télécommunication terrestres ou sous-marins.

*Remarque 1.* — La contribution COM VI — n° 13 (1961-1964) de l'Administration de l'U.R.S.S. devrait être étudiée dans le cadre de cette question. Des renseignements complémentaires ont été promis par l'Administration de l'U.R.S.S..

*Remarque 2.* — Bien que cela soit en dehors du cadre de cette question, il serait bon d'étudier la conception des systèmes d'électrodes à utiliser, en vue de telle ou telle application, pour écouler du courant continu en direction ou en provenance de la terre, ou de la mer. Le Post Office du Royaume-Uni présentera une nouvelle contribution sur ce sujet.

ANNEXE

(à la Question 13/VI)

**Construction des réseaux de transport d'énergie à haute tension à courant continu**

(Renseignements communiqués par la C.I.G.R.E. en 1972)

Les réseaux de transport d'énergie à haute tension à courant continu sont réalisés soit sous forme bipolaire, les deux conducteurs (en câble ou ligne aérienne) étant isolés du sol, soit sous forme unipolaire, auquel cas il y a un conducteur unique isolé du sol, le sol et l'eau jouant le rôle de second conducteur.

Dans le premier cas, on peut se borner à mettre à la terre en un point seulement, de manière qu'aucun courant ne s'écoule par le sol à aucun moment. Cependant, normalement, on connecte le point milieu au sol dans chaque sous-station, de manière à permettre le transport d'énergie par l'un des conducteurs dans le cas où l'autre est interrompu pour des raisons de réparation ou de maintenance. Dans ces installations bipolaires, les connexions au sol doivent être faites par des électrodes capables de transporter l'intensité de charge totale, bien que celle-ci ne doive passer par le sol que dans le cas où l'un des conducteurs est interrompu.

*Risques de corrosion*

Tout ouvrage métallique enterré au voisinage de l'une des électrodes risque d'être exposé à la corrosion. Le risque de corrosion est plus grand avec les systèmes unipolaires, car les électrodes écoulent alors l'intensité de charge totale en permanence. Dans le cas d'ouvrages enterrés s'étendant sur une grande longueur, le risque de corrosion est le plus grand au voisinage de l'électrode qui joue le rôle de cathode.

Dans un système bipolaire, les électrodes écoulent l'intensité de charge totale pendant de courtes durées; cela n'empêche pas que certains déséquilibres puissent donner lieu au passage de courant vers le sol à d'autres moments. En pareil cas, le risque de corrosion exige une attention spéciale.

Pour évaluer les effets nuisibles des courants au sol sur les ouvrages enterrés, c'est sur leur valeur intégrée et non sur une valeur instantanée qu'il faut se baser. Il s'ensuit que le maximum admissible du courant au sol et de tous autres effets associés peut être plus grand dans le cas du fonctionnement intermittent avec retour par le sol que dans le cas où ce fonctionnement est permanent.

*Mesures à prendre*

On peut réduire les risques de corrosion moyennant un choix minutieux des emplacements des électrodes et des positions à donner aux ouvrages métalliques placés dans le sol ou dans l'eau au voisinage des électrodes des systèmes à haute tension à courant continu. On peut réduire les dimensions de la zone dans laquelle il y a des risques en plaçant les électrodes de telle manière que leur résistance mesurée par rapport au sol lointain soit faible. A cet effet, on peut tirer parti de la présence d'eau de mer, de minerais métalliques ou de sols de faible résistivité.

Les enquêtes relatives aux risques de corrosion doivent avoir pour objectif d'éviter que les ouvrages avoisinants puissent être gravement endommagés pendant leur durée de vie prévue. On tiendra compte des variations de la résistivité du sol, des dimensions de l'ouvrage enterré, du matériau dont il est fait, de son revêtement, de la distance aux électrodes et de la profondeur de corrosion tolérable.

Avant de fixer définitivement la structure des électrodes, on peut se faire une idée de la distance convenable aux objets enterrés en mesurant sur place les conditions électriques au moyen d'une électrode d'essai alimentée en courant et placée là où on se propose de placer l'électrode définitive. Il sera normalement impossible d'exécuter les essais avec l'intensité de régime totale, mais on pourra quand même évaluer approximativement l'effet sur les ouvrages enterrés en se fondant sur la distribution des potentiels dans le sol et en admettant que l'effet étudié est proportionnel au courant d'essai.

Il résulte de ce qui précède que l'on ne devrait pas admettre que les recommandations concernant l'évaluation des interactions entre installations de protection cathodique et ouvrages enterrés voisins sont applicables aux effets des installations de transport d'énergie à courant continu. Les deux cas présentent certes bien des ressemblances, mais il y a entre eux une différence importante, à savoir que, avec les systèmes à courant continu, le petit nombre des cas dans lesquels on peut considérer qu'il risque d'y avoir des effets nuisibles justifie que l'on fasse des enquêtes détaillées et que l'on examine chacun d'eux en fonction des conditions locales et des frais de premier établissement élevés du système de transport d'énergie à courant continu.

#### Question 14/VI (voir aussi Question 22/V) — Protection contre la foudre

(suite de la Question 14/VI, 1968-1972, à l'étude par le Groupe de travail mixte CDF des Commissions d'études V et VI)

##### PARTIE A

- a) Etude des phénomènes électromagnétiques susceptibles de se manifester à l'extérieur ou à l'intérieur d'un câble, enterré ou aérien, quand un coup de foudre se produit au voisinage de ce câble.
- b) Possibilité de déterminer par le calcul les effets de protection exercés par la proximité de conducteurs enterrés ou de conducteurs aériens reliés à la terre, d'arbres isolés ou groupés, de bâtiments pourvus d'un paratonnerre, etc.
- c) Il existe des émetteurs de radiodiffusion, ou de télévision, situés sur des sommets montagneux exposés à de fréquents orages, desservis au moyen de câbles souterrains de télécommunication, contenant des circuits à fréquences vocales, mis à la terre à leurs extrémités, et/ou de câbles à paires coaxiales. Dans de telles situations, les câbles, leurs conducteurs et les équipements reliés à ces derniers peuvent subir des dégâts dus à la foudre qui frappe l'antenne ou le sol au sommet de la montagne.

Quelles mesures peut-on prendre pour mettre à l'abri des dégâts dus à la foudre, les câbles, leurs conducteurs et les équipements associés à ces conducteurs, situés au sommet de la montagne ?

##### PARTIE B

- a) Sensibilité aux dégradations affectant l'enveloppe ou l'âme d'un câble (aérien ou souterrain) en cas de coup de foudre se produisant à proximité.
- b) Influence, sur cette sensibilité, des données diverses de construction et de pose du câble (âme du câble, enveloppe, recouvrements divers, armures, etc.).

##### PARTIE C

Possibilité d'utiliser un revêtement dont les qualités conductrices répondent tout à la fois aux exigences de la protection contre la foudre et à celles de la protection contre la corrosion.

*Remarque 1.* — Cette question (analogue à la Question 22/V) doit être étudiée pendant la période 1973-1976 par le Groupe de travail mixte CDF des Commissions d'études V et VI.

*Remarque 2.* — La Commission d'études VI devrait s'assurer que ses propres Avis correspondent aux exigences particulières relatives aux câbles, qui seront fixées dans le Manuel. On peut citer à titre d'exemple:

- les types de connexions appropriés (entre canalisations, joints de câble);
- les méthodes de raccordement et la compatibilité des tensions de rupture en divers points, notamment en ce qui concerne le remplissage de câbles et de raccords par des produits tels que la graisse minérale.

#### **Question 15/VI — Protection des écrans et armures**

*(suite de la Question 15/VI, 1968-1972)*

Protection contre la corrosion de l'acier ou d'autres métaux ferreux utilisés dans la construction des câbles aux fins de diminuer leur sensibilité:

- à l'induction électromagnétique;
- aux avaries mécaniques.

#### **Question 16/VI — Dégradation des propriétés des enveloppes en matière plastique**

*(suite de la Question 16/VI, 1968-1972)*

Évaluation des dégradations des propriétés des enveloppes et revêtements en matière plastique, l'étude devant porter notamment sur l'influence des facteurs suivants:

- leur composition, la nature de leurs constituants, leurs conditions de préparation et d'utilisation;
- le milieu ambiant (intempéries, rayonnement solaire, pollution, bactéries);
- les contraintes mécaniques subies;
- la nature des contacts éventuels avec des substances pouvant exercer un effet catalytique, en indiquant, avec le plus de précision possible, la nature de ces altérations;
- évaluation de la qualité des enveloppes en matière plastique en fonction du temps.

*Remarque.* — Une étude bibliographique du comportement du polyéthylène en présence de certaines matières est donnée à la page 500 du tome I du *Livre Rouge* du C.C.I.T.T.

#### **Question 17/VI — Courants vagabonds alternatifs**

*(suite de la Question 17/VI, 1968-1972)*

Les études sur la corrosion des canalisations métalliques enterrées se font en général à l'aide d'instruments insensibles au courant alternatif. Il en résulte que l'effet des courants alternatifs sur les vitesses de corrosion peut laisser des doutes. Il est donc intéressant de pouvoir répondre aux questions suivantes:

- a) Quelles méthodes peut-on utiliser pour mesurer la densité du courant alternatif échangé entre une canalisation et le sol?
- b) Les densités de courant alternatif que l'on rencontre dans la pratique sont-elles de nature à affecter la vitesse de corrosion des canalisations enterrées?
- c) Si la vitesse de corrosion est affectée par le courant alternatif, l'action de ce courant est-elle accompagnée d'une modification correspondante de la différence de potentiel continue entre le métal et le sol ou bien, au contraire, doit-on procéder à une mesure autre que celle de la différence de potentiel continue pour mettre en évidence l'action du courant alternatif sur la corrosion?

## ANNEXE

(à la Question 17/VI)

**Conclusions de la Commission d'études VI au sujet de  
la corrosion par les courants alternatifs (1972)**

Des expériences entreprises en laboratoire et des observations recueillies au cours de contrôles de réalisations industrielles, il ressort que des corrosions peuvent être provoquées par des courants alternatifs.

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.

Une remarque est cependant à faire:

- Tout en ne se produisant que rarement, la corrosion est plus facilement provoquée lorsque la fréquence du courant diminue et devient inférieure à la fréquence de distribution habituelle (50 ou 60 Hz).
- En outre, il faut tenir compte des éventuels effets de redressement du courant 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 actuellement de connaître pratiquement les densités de courant 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, 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.

Par contre, les informations selon lesquelles la corrosion se produit sous un potentiel donné, dans un milieu défini et pour un métal connu, pourraient être spécifiées sous réserve de vérifications et expérimentations ultérieures.

On peut avancer qu'une faible tension alternative n'est généralement pas un danger pour l'acier, mais peut dans certains cas provoquer une corrosion sur le plomb et surtout l'aluminium. Pour l'aluminium, le danger apparaît dès une tension de l'ordre de 1 volt.

**Question 18/VI — Condition de l'emploi de l'armure**

(suite de la Question 18/VI, 1968-1972)

(Question Asie 9, posée par la Commission du Plan pour l'Asie, C.C.I.T.T. 1964)

- a) Dans le cas des câbles directement enterrés, comment l'armure contribue-t-elle à la sécurité de l'installation et à la sûreté de fonctionnement ?
- b) Dans quelles conditions peut-on renoncer à l'armure pour les câbles directement enterrés ?
- c) Si, dans certaines conditions, l'armure doit essentiellement augmenter la résistance du câble à la traction, une autre forme de câble, par exemple, un câble non armé avec fil de tension central, ne serait-elle pas plus économique ?

*Remarque 1.* — Il conviendrait de donner des renseignements sur la résistance relative du câble lorsqu'il est renforcé par une couche additionnelle de revêtement en matière plastique par comparaison avec la résistance d'un câble protégé au moyen d'une gaine et d'une armure métallique classiques. Il est souhaitable de connaître la résistance relative des câbles à la traction et aux efforts d'impulsion et d'écrasement tels qu'il est possible d'en constater au cours de la pose et du fonctionnement normal. La résistance relative aux vibrations et à l'affaissement de la terre des deux types de câbles est également importante.

Comment mesurer ces propriétés de résistance aux efforts et à la destruction ?

*Remarque 2.* — Voir l'Avis L.3.

**Question 19/VI**

(suite de la Question 19/VI, 1968-1972)

Problèmes de corrosion et de mise à la terre résultant de l'emploi de tuyaux de distribution d'eau non conducteurs et d'enveloppes non conductrices pour des câbles d'alimentation en énergie et de télécommunication.

*Remarque 1.* — L'alimentation en courant basse tension oblige souvent à employer une terre de protection à faible impédance en sorte que, en cas de défaut dans l'isolation, un fusible ou un coupe-circuit entrent en action. Il ne sera peut-être pas facile de disposer de la prise de terre de bonne qualité nécessaire si les enveloppes du tuyau de distribution d'eau ou des câbles n'ont pas une conductivité suffisante. Dans certains pays, les services d'électricité connectent alors le neutre de l'alimentation à un certain nombre d'électrodes réparties sur toute sa longueur en sorte qu'il puisse servir de terre de protection. Une telle mise à la terre multiple du neutre permet à une partie du courant de charge de circuler par la terre et, si ce courant a une composante continue appréciable, il peut être indispensable de protéger contre la corrosion les câbles de télécommunication voisins placés sous enveloppes métalliques.

*Remarque 2.* — L'impédance d'un système de mise à la terre dans une station de télécommunication dépend souvent dans une grande mesure du contact que les enveloppes métalliques des câbles téléphoniques qui pénètrent dans la station ont avec la terre pendant leur trajet. Si ces câbles sont entièrement ou partiellement remplacés par d'autres placés sous enveloppes non conductrices, l'impédance du système d'électrodes de prise de terre de la station augmente et il faut étudier les répercussions de cette augmentation sur ces fonctions protectrices et autres.

Cette question doit être étudiée en liaison avec les autres Commissions d'études intéressées.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES QUESTIONS CONFIEES À LA COMMISSION D'ÉTUDES VI  
PENDANT LA PÉRIODE 1973-1976

N°	Titre abrégé	Observations
1/VI	Réalisation d'enveloppes de câble en aluminium Revêtements protecteurs pour ces enveloppes	
2/VI	Protection des conducteurs et des raccordements en aluminium	
3/VI	Emploi de matières plastiques comme revêtement protecteur pour une enveloppe métallique de câble	
4/VI	Réalisation d'enveloppes de câble en matière plastique	
5/VI	Attaque des enveloppes de câble en matière plastique ou en métal par les insectes, les rongeurs ou les bactéries. Protection contre ces attaques	
6/VI	Réalisation de câbles avec des conducteurs à isolation sous matière plastique	
7/VI	Méthodes utilisées pour le raccordement de conducteurs	Question documentaire pour rédaction d'un manuel
8/VI	Protection des lignes à guide d'ondes contre la corrosion	A étudier avec le point 1.8 de la Question 23/XV
9/VI	Protection cathodique commune à plusieurs réseaux	
10/VI	Cas inhabituels de corrosion	
11/VI	Modifications aux « Recommandations contre la corrosion »	
13/VI	Corrosion due à l'échange de courant continu avec des systèmes d'électrodes installées à proximité	
14/VI	Protection contre la foudre	A étudier par le GM/CDF (voir la Question 22/V)
15/VI	Protection des écrans et armures	
16/VI	Dégradation des propriétés des enveloppes en matière plastique	
17/VI	Courants vagabonds alternatifs	
18/VI	Condition de l'emploi de l'armure	
19/VI	Problèmes de corrosion et de mise à la terre résultant de l'emploi de tuyaux de distribution d'eau non conducteurs et d'enveloppes non conductrices pour des câbles d'alimentation en énergie et de télécommunication	

