



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

K.37

(02/99)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES
PERTURBATIONS

**Techniques d'amélioration de la compatibilité
électromagnétique hautes et basses fréquences
dans les installations et systèmes de
télécommunication – Recommandation de base
sur la compatibilité électromagnétique**

Recommandation UIT-T K.37

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE K
PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS



Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

RECOMMANDATION UIT-T K.37

TECHNIQUES D'AMÉLIORATION DE LA COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE HAUTES ET BASSES FRÉQUENCES DANS LES INSTALLATIONS ET SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATION – RECOMMANDATION DE BASE SUR LA COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Résumé

La présente Recommandation définit les techniques d'amélioration de la compatibilité électromagnétique qui peuvent permettre aux opérateurs de télécommunication d'éviter les perturbations, les brouillages et les dommages, intentionnels ou non, provoqués par les installations d'alimentation en énergie, les lignes électrifiées de chemins de fer, les émetteurs radioélectriques et les décharges électrostatiques.

La présente Recommandation définit des principes à observer pour assurer le fonctionnement normal des systèmes de télécommunication, notamment:

- l'utilisation d'équipements de télécommunication conformes aux prescriptions en matière de compatibilité électromagnétique;
- les principes d'installation appropriés concernant entre autres la réalisation de réseaux de mise à la masse et de mise à la terre, et ainsi que les réseaux d'alimentation électrique en courant alternatif, l'éloignement des équipements perturbateurs par rapport aux équipements de télécommunication, les conditions ambiantes et le câblage;
- les bonnes habitudes qui consistent notamment à éviter d'utiliser des appareils portables de radiocommunication à proximité d'équipements de télécommunication et à observer des précautions spéciales dans la manipulation de dispositifs sensibles aux décharges électrostatiques;
- des pratiques de travail appropriées dans des régions à niveaux élevés d'induction basses fréquences.

Des méthodes spéciales d'amélioration de la CEM, telles que l'installation de blindages et de filtres, sont passées en revue pour les cas où surviennent des problèmes de compatibilité électromagnétique.

La présente Recommandation ne définit aucune règle de conception ni directive de fabrication concernant les circuits ou les équipements, étant entendu que les informations de cette nature sont déjà largement répandues.

Source

La Recommandation UIT-T K.37, révisée par la Commission d'études 5 de l'UIT-T (1997-2000), a été approuvée le 26 février 1999 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'études à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, le terme *exploitation reconnue (ER)* désigne tout particulier, toute entreprise, toute société ou tout organisme public qui exploite un service de correspondance publique. Les termes *Administration*, *ER* et *correspondance publique* sont définis dans la *Constitution de l'UIT (Genève, 1992)*.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 1999

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

| | Page |
|--------|--|
| 1 | Domaine d'application..... 1 |
| 2 | Références normatives 1 |
| 3 | Définitions 2 |
| 4 | CEM hautes fréquences..... 2 |
| 5 | CEM basses fréquences..... 3 |
| 6 | Caractéristiques des équipements..... 3 |
| 7 | Environnement 4 |
| 7.1 | Eloignement des sources de perturbation..... 4 |
| 7.2 | Eloignement des émetteurs radioélectriques 4 |
| 7.3 | Réseau de mise à la terre et de mise à la masse..... 4 |
| 7.4 | Réseau d'alimentation et équipement électrique en courant alternatif 4 |
| 7.5 | Matériaux et degré d'humidité..... 5 |
| 8 | Installation 5 |
| 8.1 | Équipement..... 5 |
| 8.2 | Câblage..... 5 |
| 8.3 | Connecteurs..... 6 |
| 9 | Méthodes de travail 6 |
| 9.1 | Restrictions d'utilisation des équipements perturbateurs..... 6 |
| 9.2 | Décharges électrostatiques lors de l'installation et de l'entretien..... 7 |
| 10 | Mesures d'amélioration spéciales 7 |
| 10.1 | Blindage..... 7 |
| 10.1.1 | Blindage (hautes fréquences) 7 |
| 10.1.2 | Blindage (basses fréquences) 8 |
| 10.2 | Filtrage..... 8 |
| 10.2.1 | Filtrage (hautes fréquences) 8 |
| 10.2.2 | Filtrage (basses fréquences) 8 |
| 10.3 | Bobines d'arrêt de mode commun 9 |
| 10.3.1 | Bobines d'arrêt de mode commun (hautes fréquences)..... 9 |
| 10.3.2 | Bobines d'arrêt de mode commun (basses fréquences)..... 9 |
| 10.4 | Bobines de drainage (basses fréquences) 9 |
| 10.5 | Filtres (basses fréquences) actifs..... 9 |
| 10.6 | Transformateurs neutraliseurs (basses fréquences)..... 10 |

| | Page |
|---|-------------|
| 10.7 Solutions hybrides (basses fréquences)..... | 10 |
| 10.8 Transformateurs d'isolement (hautes et basses fréquences)..... | 10 |
| 10.9 Composants optiques (hautes et basses fréquences) | 10 |
| 10.10 Condensateurs (hautes fréquences) | 10 |
| Appendice I – problèmes de compatibilité électromagnétique HF: origine et remèdes..... | 11 |
| I.1 Introduction | 11 |
| I.2 Origine du problème..... | 11 |
| I.3 Liste de pointage des solutions possibles | 11 |
| I.4 Référence bibliographique..... | 12 |
| Appendice II – Problèmes de compatibilité électromagnétique BF: origine et remèdes..... | 13 |
| II.1 Introduction | 13 |
| II.2 Origine du problème..... | 13 |
| II.3 Liste de pointage des solutions possibles | 14 |

Introduction

La présente Recommandation contient des directives à l'intention des opérateurs quant à la façon d'éviter les brouillages et les dégâts, intentionnels ou non, provoqués par les installations d'alimentation en énergie, les lignes électrifiées de chemins de fer, les émetteurs radioélectriques et les décharges électrostatiques. Le texte, dont la concision est voulue, renvoie le lecteur aux normes de référence et aux documents mentionnés.

Un équipement doit pouvoir fonctionner correctement, sans perturber d'autres équipements, lorsqu'il est installé dans l'environnement pour lequel il a été conçu. La classification des conditions d'environnement et les prescriptions des essais de CEM permettent d'assurer ce bon fonctionnement.

Normalement, un équipement de télécommunication répond aux prescriptions de CEM lorsque les portes des coffrets sont fermées et que les différents panneaux dont il est muni sont en place. Lors des opérations d'installation et de maintenance, l'ouverture nécessaire des portes exige des précautions particulières si l'on manipule des dispositifs sensibles aux décharges électrostatiques (ESD, *electrostatic discharges*). Dans de telles conditions, les équipements radioélectriques portatifs peuvent également causer des brouillages.

Des méthodes d'amélioration sont également indiquées dans les cas où les brouillages sont dus à des transitoires rapides ou à des phénomènes radioélectriques pour une raison ou une autre, par exemple si l'équipement est installé dans une classe d'environnement plus rigoureuse que celle pour laquelle il est conçu ou si d'autres systèmes alimentés sur le secteur créent des conditions ambiantes difficiles. Des règles pratiques sont énoncées pour les situations dans lesquelles surviennent des brouillages dus, par exemple, à un système d'alimentation sur le secteur ou à un utilisateur branché sur le secteur.

La présente Recommandation est une Recommandation fondamentale pour les télécommunications en ce qui concerne la CEM.

Recommandation K.37

TECHNIQUES D'AMÉLIORATION DE LA COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE HAUTES ET BASSES FRÉQUENCES DANS LES INSTALLATIONS ET SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATION – RECOMMANDATION DE BASE SUR LA COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

(révisée en 1999)

1 Domaine d'application

La présente Recommandation définit des techniques d'amélioration de la compatibilité électromagnétique basses et hautes fréquences visant à éviter les perturbations et les brouillages causés par des transitoires rapides et par des phénomènes à basses et hautes fréquences.

La présente Recommandation s'applique à l'installation et à l'entretien des équipements de télécommunication. Elle ne s'applique pas aux mesures de protection contre les niveaux bruit très élevés. Elle ne s'applique pas non plus aux câbles coaxiaux (pas de mode différentiel).

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui de ce fait en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée.

- [1] Recommandation UIT-T K.34 (1996), *Classification des conditions d'environnement électromagnétique pour les équipements de télécommunication – Transitoires rapides et phénomènes radioélectriques.*
- [2] Recommandation UIT-T K.32 (1995), *Spécifications d'immunité et méthodes d'essai pour les décharges électrostatiques vers les équipements de télécommunication – Recommandation générique de la compatibilité électromagnétique.*
- [3] Recommandation CCITT K.15 (1972), *Protection des installations de téléalimentation et des répéteurs de ligne contre les coups de foudre et les perturbations dues aux lignes électriques voisines.*
- [4] CISPR 22, *Limites et méthodes de mesure des caractéristiques des perturbations radioélectriques produites par les appareils de traitement de l'information.*
- [5] Recommandation UIT-T K.27 (1996), *Configurations équipotentielles et mise à la terre dans les bâtiments de télécommunication.*
- [6] Recommandation UIT-T K.31 (1993), *Configurations équipotentielles et mise à la terre des installations de télécommunication à l'intérieur d'un bâtiment d'abonné.*
- [7] Recommandation UIT-T K.35 (1996), *Configurations équipotentielles et mise à la terre dans les installations électroniques distantes.*
- [8] CEI 61000-5-2 (1997), *Compatibilité électromagnétique (CEM), Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage.*

- [9] ETSI Technical Report ETR 127 (1994), *Equipment engineering (EE); Electrostatic environment and mitigation measures for Public Telecommunications Network (PTN) (Ingénierie des équipements; Environnement électrostatique et mesures de protection des réseaux de télécommunication publics)*.
- [10] Recommandation UIT-T K.10 (1996), *Perturbation à basse fréquence due à la dissymétrie des installations de télécommunication par rapport à la terre*.
- [11] CEI 60096-1 (1986), *Câbles pour fréquences radioélectriques. Première partie: Inscriptions générales et méthodes de mesure*.
- [12] ETSI Technical Report ETR 151 (1995), *Equipment Engineering (EE); (EMC) testing of telecommunications equipment above 1 GHz (Ingénierie des équipements: Essais de CEM des équipements de télécommunication au-dessus de 1 GHz)*.
- [13] CEI 60050-161 (1990), *Vocabulaire électrotechnique international. Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*.

3 Définitions

Les définitions de la CEI 60050-161 s'appliquent:

| | |
|-------|--|
| RNIS | réseau numérique à intégration de services |
| RTPC | réseau téléphonique public commuté |
| T | très grande vitesse |
| xDSL | boucle d'abonné numérique (<i>digital subscriber loop</i>) |
| x = A | asymétrique |

4 CEM hautes fréquences

En télécommunication, la CEM hautes fréquences porte sur la limitation des émissions et sur la sensibilité des équipements et des installations aux émissions.

Les émissions à hautes fréquences proviennent essentiellement des harmoniques des fréquences d'horloge de circuits numériques, qui se propagent par conduction ou par rayonnement. On peut considérer que les rayonnements non essentiels des équipements radioélectriques entrent également en ligne de compte. La limitation des émissions s'obtient au niveau de la conception des équipements et de la qualité de leur installation.

Les problèmes de sensibilité peuvent avoir pour origine les transitoires rapides et les phénomènes à hautes fréquences tels que les champs à fréquences radioélectriques de différents systèmes radioélectriques, les courants à fréquences radioélectriques induits dans les lignes d'alimentation électrique et de télécommunication, les transitoires rapides causés par des commutateurs situés dans des équipements connectés à l'alimentation en courant continu ou en courant alternatif, et par des décharges électrostatiques. La sensibilité à ces phénomènes est limitée par la conception des équipements afin de les aligner sur des prescriptions d'essai normalisées, par la conception des réseaux, par la qualité de l'installation, par les conditions ambiantes et leur maintien, et par des méthodes de travail correctes.

5 CEM basses fréquences

En télécommunication, la CEM basses fréquences porte sur la limitation des émissions et sur la sensibilité des équipements et des installations aux émissions.

En général, les émissions à basses fréquences des équipements et systèmes de télécommunication ne posent pas de problème particulier et elles ne seront donc pas étudiées dans la présente Recommandation. Lorsque de tels problèmes se posent, ils sont normalement symptomatiques de problèmes plus graves.

Les problèmes d'immunité peuvent être dus à des phénomènes basses fréquences ayant pour origine par exemple les systèmes d'alimentation électrique, les chemins de fer électrifiés, les clôtures électriques (pour animaux), les équipements de soudage et autres systèmes industriels à haute puissance qui agissent par induction dans les lignes de télécommunication. Certains systèmes industriels induisent des impulsions transitoires rapides dans les systèmes de télécommunication. Les perturbations à basses fréquences sont généralement causées par couplage avec les câbles du système desservant l'équipement. La plupart des problèmes de bruit à basses fréquences sont du type conduction ou induction, mais il existe aussi des cas de couplage par rayonnement.

L'immunité dépend de nombreux facteurs: conception des équipements (qui doivent supporter certains tests normalisés), conception du réseau, soin apporté à l'installation, maîtrise des conditions ambiantes, maintenance et méthodes de travail. La limitation de ces rayonnements relève de la responsabilité du "perturbateur" et, dans certains cas, des autorités nationales. Dans la plupart des cas, il est économiquement plus intéressant pour toutes les parties concernées de régler le problème à la source, mais il est parfois trop onéreux de concevoir des équipements permettant de faire face à toutes les situations, et il est alors nécessaire de recourir à des solutions palliatives externes.

6 Caractéristiques des équipements

L'équipement doit pouvoir fonctionner sans problème de compatibilité électromagnétique dans l'environnement pour lequel il a été conçu. C'est la raison pour laquelle quatre classes d'environnement électromagnétique ont été définies pour les équipements de télécommunication [1]. Cette classification a servi à spécifier le cahier des charges en matière d'essai pour différents types d'équipements [2] et [3]. Il faut en outre spécifier les caractéristiques des émissions [4].

L'opérateur doit spécifier un cahier des charges en se référant à la Recommandation UIT-T appropriée ou au document correspondant avant de vérifier la conformité de l'équipement à ce cahier des charges, soit en consultant les indications du constructeur, soit en procédant lui-même au contrôle des caractéristiques de l'équipement.

Pour ce qui est des aspects basses fréquences, l'équipement doit pouvoir fonctionner sans problème de perturbation BF dans l'environnement pour lequel il a été conçu (par exemple, avec une tension de mode commun de 200 mV, un niveau de bruit psophométrique ne causant pas de problème pour les circuits téléphoniques conformes à la Recommandation K.10). La Recommandation K.34 [1] définit la classification des conditions d'environnement électromagnétique pour les équipements de télécommunication. Il existera toujours des cas où les niveaux des perturbations seront tellement élevés qu'il sera inutile de recourir à des solutions coûteuses. Il s'agira généralement d'un problème de perturbation basses fréquences, imposant d'autres mesures.

7 Environnement

7.1 Eloignement des sources de perturbation

Dans la réalité, il n'est pas toujours possible de placer les systèmes de télécommunication à distance des sources de perturbation basses fréquences; en fait, ces sources peuvent avoir été installées ultérieurement et leurs perturbations se faire sentir sur plusieurs kilomètres. Si aucune norme ou Recommandation ne permet de résoudre le problème, les deux parties doivent parvenir à un accord sur les moyens de réduction des perturbations et sur leurs coûts.

7.2 Eloignement des émetteurs radioélectriques

Les centres de télécommunication doivent être installés à une distance suffisante des radioémetteurs de telle sorte que l'intensité du champ radioélectrique ne dépasse pas la sévérité caractéristique de la classe d'environnement correspondante [1]. Le tracé des trajets en faisceaux hertziens doit éviter les aéroports et les zones caractérisées par la présence de signaux radar.

7.3 Réseau de mise à la terre et de mise à la masse

Afin d'obtenir une bonne compatibilité électromagnétique, il est primordial que les locaux dans lesquels l'équipement est installé soient munis d'un réseau spécial de mise à la terre et de mise à la masse soigneusement conçu. Les classes d'environnement "Centres de télécommunication majeurs" et "Centres de télécommunication mineurs" supposent l'implémentation d'un réseau de mise à la terre et de mise à la masse conforme aux indications de [5]. Des directives concernant la réalisation d'un réseau de mise à la terre et de mise à la masse dans des locaux d'abonné figurent dans [6]. Les méthodes recommandées pour la réalisation d'un tel réseau dans les centres de télécommunication figurent dans [7].

Du point de vue de la protection contre les transitoires rapides et les phénomènes radioélectriques, la mise à la masse à l'intérieur des locaux s'avère plus importante que le contact avec la terre par l'électrode de mise à la terre. Pour les basses fréquences, le système de câblage externe doit être conforme à une norme qui garantit la non-propagation des perturbations (par exemple, la méthode de mesure de la symétrie décrite dans la Recommandation K.10 [10] doit être utilisée pour vérifier si un problème existe). Les mesures aux fréquences vocales donnent une bonne indication de la qualité de fonctionnement des systèmes à large bande (par exemple, du RNIS, xDSL).

Il faut considérer que le plus important est de mettre à la masse les différents éléments et blindages puis de les mettre à la terre des protections intrinsèques et de doter les câbles de barrières métalliques anti-humidité. On considère que la mise à la terre a une importance secondaire et qu'en revanche la mise à la masse a une incidence déterminante. Les mesures de limitation à basses fréquences exigent habituellement une connexion à la terre.

7.4 Réseau d'alimentation et équipement électrique en courant alternatif

En ce qui concerne le schéma du réseau d'alimentation a.c. des bâtiments, on préfère le type TN-S au type TN-C [5], [6] et [8]. Les documents de référence contiennent des directives concernant les situations où le courant est fourni par un réseau TT ou IT.

Dans le cas d'un réseau TT ou IT, les surtensions auxquelles les lignes de télécommunication et les lignes d'alimentation exposent les équipements de télécommunication peuvent être beaucoup plus élevées que dans le cas d'un réseau TN-S, ce qui nécessite une immunité plus poussée ou une protection accrue.

On prendra soin, dans les locaux qui abritent des équipements de télécommunication, de munir les installations électriques de dispositifs de protection appropriés. Des tubes fluorescents pour applications industrielles, par exemple, non munis de condensateurs d'antiparasitage, peuvent induire des perturbations dans les systèmes de transmission numérique de forte capacité.

Des installations électriques utilisant une alimentation à onduleur peuvent causer de graves perturbations, surtout quand elles sont connectées à des réseaux de distribution TT ou IT. Les équipements de télécommunication sont spécialement touchés par les perturbations quand l'impédance de mode commun de la ligne de télécommunication est faible. Pour cette raison, dans les systèmes TT ou IT, les équipements auront de préférence une impédance de mode commun élevée.

7.5 Matériaux et degré d'humidité

Le choix des matériaux et le contrôle du degré d'humidité permettent de limiter l'importance des décharges électrostatiques susceptibles de se produire dans un environnement donné [9].

Dans un environnement non contrôlé, caractérisé par la diversité des types de matériaux et des degrés d'humidité, et dans lequel le type de chaussures et de vêtements du personnel ne fait l'objet d'aucune spécification, on peut mesurer des tensions de charge électrostatique supérieures à 8 kV. Dans un environnement partiellement maintenu sous contrôle par des restrictions d'utilisation de matériaux dotés de propriétés fortement tribo-électriques, mais dans lequel le degré d'humidité peut fluctuer librement, la tension de charge électrostatique reste normalement inférieure à 8 kV.

Un contrôle parfait du choix des matériaux, une formation adéquate du personnel et une maîtrise du degré d'humidité relative, maintenu par exemple au-dessus de 40%, auront normalement pour effet de réduire la tension de charge électrostatique à moins de 4 kV. Il est souvent possible d'adopter des dispositions de ce genre dans les centres de télécommunication. Il est également possible de limiter la tension de charge sans contrôler le degré d'humidité, mais en choisissant les matériaux de revêtement des sols et le matériau des chaussures du personnel de telle sorte que le trajet vers le système de mise à la terre offre une résistance totale inférieure à $10^8 \Omega$.

Dans un environnement spécialement régularisé, par exemple un centre de réparation de cartes imprimées, les tensions de charge doivent être réduites au minimum, généralement à moins de 200 V. Les mesures de limitation adoptées à cet effet sont spécifiées dans [9].

8 Installation

8.1 Equipement

L'équipement est normalement raccordé au réseau de mise à la terre et de mise à la masse pour des raisons de sécurité. Dans la mesure du possible, les équipements de télécommunication ne doivent pas être installés à proximité d'équipements radioélectriques de forte puissance, d'équipements électriques de forte puissance ou de systèmes susceptibles de générer de nombreuses harmoniques. Ce danger est particulièrement important en milieu industriel. Il peut être d'isoler les équipements par blindage et séparation de la mise à la terre.

8.2 Câblage

On suppose que le câblage interne d'une installation de télécommunication a été correctement effectué et qu'il n'y a pas de perturbation due aux câbles utilisés. La compatibilité électromagnétique d'un système dépend autant des caractéristiques des câbles que de leur installation. Les brouillages sont la conséquence d'une tension perturbatrice de mode différentiel dans le circuit affecté. Les

mesures d'atténuation visent donc à limiter autant que possible cette perturbation de mode différentiel par comparaison au signal transmis par le circuit.

L'emploi de paires torsadées ou de câbles coaxiaux permet habituellement d'éviter le couplage direct des perturbations de mode différentiel. Ces deux structures de câble limitent le couplage à la boucle en mode différentiel.

Le couplage de mode commun fait apparaître dans un système des tensions et des intensités de mode commun. La symétrie des paires torsadées et la présence d'écrans permettent de réduire le couplage du mode commun au mode différentiel. La Recommandation [10] traite de différents aspects de la symétrie des câbles; bien que la symétrie des câbles normaux ne soit pas très bonne aux fréquences élevées, il existe des câbles spécialement conçus. Les paires torsadées peuvent être protégées par des écrans et le conducteur extérieur des câbles coaxiaux peut faire office d'écran. L'impédance et l'admittance de transfert mesurent la qualité des écrans. La définition de ces caractéristiques et les spécifications applicables aux différents types de câbles figurent dans [11].

On peut limiter le couplage de mode commun en diminuant la distance entre les lignes de signalisation et les lignes d'alimentation électrique et en réduisant autant que possible la surface des boucles de mise à la terre. De préférence, les câbles de types différents ne suivront pas le même chemin, du moins dans les centres de télécommunication. Les chemins de câbles métalliques interconnectés et reliés au réseau de mise à la terre et d'équipotentialité contribuent à réduire la superficie des boucles de mise à la terre. Dans certains cas, l'emploi d'un chemin de câble métallique fermé permet de former un écran autour des câbles. La référence [8] donne un ensemble de principes de compatibilité électromagnétique pour les câbles et les circuits.

Les problèmes basses fréquences dans les paires torsadées peuvent parfois être attribués aux paires détorsadées. En général, la très faible modification de symétrie du câble qui en résulte est difficile à détecter.

8.3 Connecteurs

Pour être efficaces aux fréquences élevées, les écrans des câbles doivent être en contact avec la paroi métallique de l'enveloppe de l'équipement. Il importe par ailleurs que cette connexion soit réalisée au moyen d'un connecteur de bonne qualité, dont l'impédance de transfert soit suffisamment basse ou encore au moyen d'un autre circuit, spécialement conçu à cet effet, qui réalise un contact autour de l'écran. Le contact réalisé par un fil de connexion unique n'est pas suffisant aux fréquences élevées.

La référence [8] couvre différents aspects concernant les connecteurs.

Les problèmes basses fréquences qui se posent dans les câbles ont souvent pour origine les raccords et notamment sur les câbles à paires torsadées. D'autres caractéristiques des câbles tendent à s'écarter de la norme (par exemple, dérivation vers la résistance d'isolement par rapport au sol) lorsque les problèmes apparaissent.

9 Méthodes de travail

9.1 Restrictions d'utilisation des équipements perturbateurs

L'usage d'équipements radioélectriques portatifs est de plus en plus répandu parmi le public et le personnel des compagnies de télécommunication. Les nouveaux systèmes tels que le GSM font appel au multiplexage temporel (AMRT) et constituent notamment une source potentielle de perturbations, puisque le signal AMRT est redressé à l'intérieur de l'équipement perturbé.

Certains équipements alimentés en courant alternatif doivent être utilisés avec précaution à proximité des installations de télécommunication (par exemple, les postes de soudure à arc ou à induction), car ils sont susceptibles de provoquer d'importantes pannes du système.

L'intensité du champ rayonné par un portable de type GSM atteint pratiquement 8 V/m à une distance de 1 m et tombe à 2,5 V/m à 3 m [12]. La valeur spécifiée du champ radioélectrique pour assurer l'immunité d'un équipement à installer dans un centre de télécommunication est normalement de 1 V/m ou de 3 V/m. Or le champ radioélectrique produit par les téléphones portables peut dépasser 1 V/m. C'est la raison pour laquelle les exploitants des centres de télécommunication doivent réglementer l'utilisation de téléphones cellulaires dans leurs locaux, de façon à garantir que les champs radioélectriques apparaissant au voisinage immédiat des équipements ne dépassent pas les limites indiquées.

9.2 Décharges électrostatiques lors de l'installation et de l'entretien

Bien que les équipements de télécommunication spécialement conçus pour présenter une immunité aux décharges électrostatiques ne subissent pas de perturbations en cours de fonctionnement, la manipulation de circuits imprimés et de composants exige certaines précautions. Dans les centres de télécommunication, les supports des équipements peuvent être munis de bornes de mise à la terre auxquelles le personnel peut se raccorder par des bracelets antistatiques. Les spécifications techniques et de sécurité concernant ces bornes de mise à la terre sont indiquées dans [9].

Lorsque l'abonné ne dispose pas de bornes de mise à la terre, il faut empêcher l'apparition de décharges électrostatiques par l'utilisation d'outils et de surfaces de travail spécialement conçus pour permettre l'égalisation des potentiels pendant la manipulation de dispositifs sensibles aux décharges de ce type. Il faut par ailleurs utiliser des emballages de protection antistatiques pour le transport de ces dispositifs, et leur réparation doit s'effectuer dans un centre de réparation spécialement conçu où tous les matériaux, l'outillage, le mobilier, la tenue de travail et les chaussures du personnel sont contrôlés [9].

10 Mesures d'amélioration spéciales

Le présent paragraphe contient des directives générales sur les techniques d'amélioration de la CEM hautes et basses fréquences. L'application des principes énoncés visant à résoudre des problèmes pratiques est examinée pour les hautes fréquences dans l'Appendice I et dans l'Appendice II pour les basses fréquences.

10.1 Blindage

10.1.1 Blindage (hautes fréquences)

Dans le cas d'équipements destinés à être installés dans des centres de télécommunication, les spécifications en matière d'émissions et d'immunité aux champs radioélectriques prennent souvent en considération la catégorie "Centres de télécommunication majeurs". S'ils fonctionnent dans des centres de télécommunication mineurs ou dans des installations électroniques distantes [7], des problèmes risquent d'apparaître du fait de la proximité d'un émetteur radio ou des émissions des équipements de télécommunication qui perturbent la réception des émissions radiophoniques ou de télévision dans les habitations proches du centre de télécommunication ou de l'installation électronique distante. En pareilles circonstances, l'exploitant peut alors installer un blindage autour du centre ou autour de l'équipement responsable des perturbations. Il peut suffire d'utiliser à cet effet des plaques métalliques; le problème peut parfois être résolu par l'installation d'une seule de ces plaques, correctement mise à la terre, sur une seule paroi.

Le blindage peut également s'avérer nécessaire lorsque l'équipement de télécommunication perturbe le fonctionnement d'un système radioélectrique du même centre de télécommunication. L'origine du rayonnement doit alors être identifiée et le blindage doit ensuite être installé en conséquence, par exemple autour du répartiteur principal, à moins qu'il ne s'avère nécessaire de raccorder les blindages des câbles aux coffrets des équipements.

10.1.2 Blindage (basses fréquences)

Les exigences en matière d'immunité basses fréquences pour les équipements des centres de télécommunication ne posent généralement pas de problème. Lorsqu'il y a problème, il y a aussi problème aux hautes fréquences; l'exploitant peut alors installer un blindage autour du centre ou autour de l'équipement responsable des perturbations. Un blindage de l'équipement et du câblage par plaque métallique est en général suffisant.

Il faut identifier la source de ces rayonnements et ajouter les blindages nécessaires (mise à la terre des blindages des câbles, des barrières métalliques anti-humidité ou des paires de réserve, etc.). En cas de perturbations inductives sur le trajet des câbles, une mise à la terre est nécessaire en de nombreux points le long du trajet des câbles afin de réduire la tension longitudinale sur les fils acheminant les signaux. La mise à la terre doit au moins être réalisée à chaque extrémité et à proximité de la source de bruit. La mise à la terre en des points intermédiaires peut encore améliorer la situation. En l'absence de blindage, de porteur ou de barrière métallique anti-humidité, on pourra enfouir un ruban de cuivre ou d'acier le long du câble. Une autre méthode de blindage consiste à mettre à la terre les paires de réserve du câble (situées en périphérie du câble à paires multiples).

10.2 Filtrage

10.2.1 Filtrage (hautes fréquences)

Lorsque des phénomènes radioélectriques ou des transitoires très intenses causent des perturbations via des lignes de télécommunication basses fréquences ou via des lignes d'alimentation, il est possible d'affaiblir les brouillages au moyen de filtres. Ceux-ci doivent être associés aux écrans ou être montés à l'intérieur des équipements, d'entente avec le constructeur.

Les clients qui n'utilisent que le téléphone normal pourront bénéficier à l'avenir de services numériques à large bande via leurs lignes d'abonné existantes. Dans ce cas il faudra supprimer le filtre passe-bas servant à limiter les perturbations hautes fréquences.

10.2.2 Filtrage (basses fréquences)

Le filtrage des voies de qualité téléphonique ne pose normalement pas de problème, en revanche, les circuits RNIS ou les xDSL subiront des affaiblissements élevés et leur fonctionnement pourra être fortement perturbé. En l'absence de filtre, les données transmises dans le cadre de services numériques seront entachées d'un grand nombre d'erreurs et parfois même ces services seront impossibles à assurer. Il est donc essentiel d'étudier un filtrage parfaitement adapté aux services. Le tableau ci-dessous donne des valeurs types des pertes d'insertion de filtres combinant bobines d'arrêt et bobines de drainage en mode commun utilisés pour éliminer le bruit harmonique à 50 Hz.

| Service | Perte d'insertion (dB) |
|---------------|------------------------|
| RTPC | 0,5 à 1 kHz |
| Gain de paire | 2,5 à 40 kHz |
| RNIS | 3,5 à 100 kHz |
| ADSL | non compatible |

10.3 Bobines d'arrêt de mode commun

10.3.1 Bobines d'arrêt de mode commun (hautes fréquences)

Lorsqu'il ne suffit pas de réduire au minimum la superficie des circuits de retour commun, les câbles peuvent être munis de bobines de filtrage ou de noyaux de ferrite pour augmenter l'impédance du circuit de mode commun. Un tel dispositif réduit l'intensité de mode commun sans affecter le signal de mode différentiel. L'obtention d'une réduction effective de l'intensité de mode commun dépend de l'impédance d'origine du circuit de mode commun; mais, dans de nombreux cas, un système installé peut être équipé très facilement d'un dispositif efficace de ce type.

10.3.2 Bobines d'arrêt de mode commun (basses fréquences)

Lorsque la diminution de la taille des boucles de mode commun s'avère insuffisante, les lignes peuvent être équipées de bobines d'arrêt de mode commun pour accroître l'impédance du circuit de mode commun. L'efficacité des ferrites à ces fréquences n'est généralement pas grande. Un tel dispositif diminue le courant de mode commun mais n'agit pas sur le signal en mode différentiel. L'efficacité de la réduction du courant de mode commun dépend de l'impédance initiale du circuit de mode commun et de la symétrie du système, dans la plupart des cas ces dispositifs peuvent être facilement placés dans un système déjà installé. Si le système concerné n'est pas doté d'une terre de référence, l'utilité des bobines d'arrêt sera moindre. L'efficacité de telles bobines placées dans les cartes de ligne d'abonné est particulièrement grande.

10.4 Bobines de drainage (basses fréquences)

Les bobines de drainage sont souvent utilisées à l'extrémité abonné d'un circuit où elles sont associées à des bobines d'arrêt de mode commun lorsque l'équipement terminal n'est pas relié à la terre (c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de courant naturel de mode commun qui s'écoule vers la terre). Pour le RTPC et autres circuits de lignes alimentées en courant, un couplage capacitif des bobines de drainage permet d'éviter la présence d'un trajet à courant continu vers la terre (voir la Figure 1). Ces dispositifs ont la capacité de fournir une faible impédance en mode commun à la Terre.

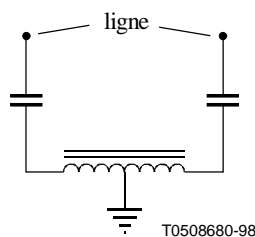


Figure 1/K.37 – Bobine de drainage

10.5 Filtres (basses fréquences) actifs

L'apparition des processeurs de signal numérique a permis la réalisation de filtres actifs parfaitement symétriques dotés de fonctions spécifiques. L'inconvénient de ces filtres est qu'ils doivent dans l'état actuel être alimentés sur le secteur pour pouvoir éliminer les perturbations sur les circuits. Il faudra attendre pour que leur consommation devienne suffisamment faible pour pouvoir les alimenter par la ligne depuis le commutateur (sur le circuit actif ou sur une paire de réserve).

Les filtres actifs permettent d'éliminer les composantes de mode commun gênantes et les composantes différentielles associées, et ainsi de rétablir la symétrie dans les câbles de réseau. Il ne devrait pas y avoir de limite de longueur de ligne pour l'utilisation de ces filtres comme c'est le cas des systèmes de transmission numérique (par exemple, avec les systèmes de multiplication de paires). Compte tenu du traitement du signal associé à ces filtres, il se peut que les filtres actifs ne permettent pas d'éliminer les perturbations hautes fréquences en télécommunication.

10.6 Transformateurs neutraliseurs (basses fréquences)

Bien qu'ils servent à protéger les installations d'une augmentation du potentiel de terre, les transformateurs neutraliseurs peuvent aussi être utilisés pour diminuer le niveau des tensions de mode commun sur un câble, notamment lorsque celui-ci comporte plusieurs circuits. Par rapport aux bobines de drainage, ils présentent l'avantage de ne pas nécessiter de découplage avec les circuits d'alimentation à courant continu. Dans certaines circonstances, ces transformateurs peuvent exiger un courant d'excitation plus important.

10.7 Solutions hybrides (basses fréquences)

On associe couramment des bobines d'arrêt de mode commun et des bobines de drainage pour obtenir un filtrage lorsque l'équipement considéré présente une impédance longitudinale élevée. Parfois cette méthode n'est pas suffisante et il peut être nécessaire d'utiliser des bobines de drainage dans un système de transmission numérique pour corriger les défauts des câbles (qui se traduisent par des composantes différentielles). Ainsi, l'utilisation d'une bobine de drainage dans un système de transmission numérique pour éliminer la tension longitudinale du côté numérique de l'unité distante permet d'offrir, en présence d'un système de multiplication des paires numériques, un circuit téléphonique exempt de perturbation à l'abonné. Le système numérique élimine les composantes différentielles dues au bruit et présente un signal analogique de bonne qualité à l'abonné.

10.8 Transformateurs d'isolement (hautes et basses fréquences)

Les transformateurs d'isolement servent essentiellement à interrompre le trajet basses fréquences des boucles de mode commun dans les circuits d'alimentation et dans les circuits de signalisation. Selon la capacité entre le primaire et le secondaire du transformateur, celui-ci est susceptible d'augmenter également l'impédance du circuit de mode commun aux très hautes fréquences.

10.9 Composants optiques (hautes et basses fréquences)

L'utilisation d'isolateurs optiques et en particulier de liaisons optiques au lieu de câbles métalliques est un moyen efficace pour empêcher les couplages brouilleurs dus aux phénomènes hautes ou basses fréquences et aux transitoires rapides via les accès de signalisation.

10.10 Condensateurs (hautes fréquences)

L'utilisation de condensateurs montés en parallèle sur les conducteurs acheminant les signaux ou de condensateurs reliés à la terre peut donner de bons résultats lorsqu'il s'agit d'éliminer le bruit hautes fréquences sur les lignes. Il faut veiller à ce que les tensions nominales des composants correspondent aux conditions d'utilisation et tenir compte du type de service. L'utilisation exclusive de condensateurs pour les perturbations basses fréquences ne donne pas, en général, de bons résultats.

APPENDICE I

Problèmes de compatibilité électromagnétique HF: origine et remèdes

I.1 Introduction

Le présent appendice, fondé sur la référence dans I.4, contient des orientations sur la manière de procéder en cas d'apparition d'un problème pratique de CEM. Une démarche logique consiste à identifier tout d'abord l'origine du problème et ensuite à y remédier de la manière la plus économique. Les moyens utilisés pourront être différents selon que le cas se présente dans l'installation d'un client, dans une installation extérieure ou dans un centre de télécommunication; mais, en général, on pourra recourir à quelques procédés empiriques.

I.2 Origine du problème

Lorsqu'on soupçonne que des signaux radioélectriques continus en direction ou en provenance d'un équipement de télécommunication causent des brouillages, on peut tenter d'identifier la source en se servant d'un récepteur radiophonique ou de télévision. Voici quelques caractéristiques habituelles de ce type de perturbation:

- les perturbations causées par les émissions de radioamateurs ou de "cibistes" tendent à brouiller les signaux au point qu'il est difficile de suivre une conversation radiophonique; elles produisent des lignes diagonales sur les écrans de télévision;
- les stations de radiodiffusion produisent un bruit de fond, vocal ou musical, compréhensible, et les émissions MF peuvent produire des lignes ondulées verticales sur un écran de télévision;
- les équipements industriels, scientifiques ou médicaux, voire les équipements de télécommunication, produisent des crachements et des ronflements dans les programmes radiophoniques et du "floconnement statique ou mobile" sur les écrans de télévision.

On peut également rechercher l'origine des perturbations en repérant dans l'environnement d'éventuelles antennes de grandes dimensions, des usines ou des hôpitaux. Une méthode efficace consiste à allumer et à éteindre l'équipement suspecté tout en observant les modifications subies par le récepteur radioélectrique ou de télévision. Bien entendu, cela n'est pas applicable aux grands appareillages.

Si on suspecte des perturbations transitoires, on peut allumer et éteindre successivement les équipements électriques proches ou les lampes à fluorescence tout en observant le système perturbé.

On peut obtenir des renseignements utiles en analysant à quel moment ont commencé les perturbations électromagnétiques, s'il y a des périodes de silence et de bruit, si quelqu'un a installé un ordinateur personnel, un télécopieur, un réfrigérateur, ou si certains appareils électriques ne fonctionnent pas correctement.

I.3 Liste de pointage des solutions possibles

La liste de pointage ci-dessous contient des propositions dont les coûts peuvent varier dans une large mesure. Il est toujours indispensable de trouver l'origine du problème pour être en mesure d'appliquer la technique la plus appropriée et la solution la plus économique.

Problèmes téléphoniques simples:

- mauvaises connexions: nettoyer les connexions sales ou corrodées;
- isolant endommagé: remplacer;

- dispositif de protection contre les surtensions défectueux: remplacer;
- démodulation dans un appareil téléphonique: faire la comparaison avec un appareil téléphonique de haute qualité; remplacer ou monter un filtre ou une bobine;
- courants de mode commun sur la ligne d'abonné: monter un filtre ou une bobine.

Problèmes du réseau de télécommunication:

- insuffisance de mise à la terre ou d'équipotentialité: s'assurer que les recommandations relatives à l'équipotentialité ont été suivies; vérifier la continuité; nettoyer les connexions sales, corrodées ou peintes; vérifier si le système de mise à la terre principal est encore efficace;
- absence d'équipotentialité des écrans de câble: remédier;
- problème de couplage de mode différentiel (paire torsadée): raccourcir autant que possible la partie non torsadée aux interconnexions;
- absence d'écran électromagnétique: s'assurer de la présence des joints autour des portes, panneaux d'accès, etc.; s'assurer que les surfaces de contact ne sont pas peintes ou corrodées et qu'aucun objet tel un morceau de ruban ne se trouve entre les contacts;
- écran électromagnétique endommagé: s'assurer que les joints sont en contact parfait quand les portes sont fermées; remplacer les joints corrodés ou endommagés; nettoyer les surfaces de contact;
- courants de mode commun dans les câbles: utiliser des bobines en ferrite ou d'autres dispositifs d'amélioration; utiliser des câbles correctement blindés; modifier le cheminement des câbles concernés;
- carte imprimée défectueuse: remplacer les cartes imprimées individuellement et contrôler le brouillage;
- équipements trop rapprochés: éloigner l'équipement suspect;
- fréquence utilisée en commun avec un service autorisé: prendre contact avec les autorités de gestion du spectre;
- blindage insuffisant: installer les écrans nécessaires au niveau de l'équipement ou du bâtiment. Selon les fréquences, même des câbles de 8 cm de long peuvent présenter des problèmes.

I.4 Référence bibliographique

- *EMC Engineering Guide – DL CG 92-307*, Bell Canada, Issue 2, mars 1993 (Guide de l'ingénierie de la CEM).

APPENDICE II

Problèmes de compatibilité électromagnétique BF: origine et remèdes

II.1 Introduction

Le présent appendice, fondé sur l'expérience acquise par les membres de la Commission d'études 5 de l'UIT-T, donne la marche à suivre lorsque apparaissent des problèmes pratiques de CEM. Une démarche logique consiste à identifier tout d'abord l'origine du problème et ensuite à y remédier de la manière la plus économique. Les moyens utilisés pourront être différents selon que le problème se pose chez l'abonné, dans une installation extérieure ou dans un centre de télécommunication; mais, en général, on pourra recourir à quelques procédés empiriques. Il est presque toujours plus économique de trouver la cause de la perturbation et de résoudre le problème à la source. Selon la nature du problème, il est sage de s'assurer de l'absence de dégradations dans le système de télécommunication (par exemple, que la symétrie du câble ne s'est pas dégradée suite à la corrosion d'un raccord ou à la pénétration d'eau dans le câble) avant d'en rejeter la responsabilité sur l'entité dont relève la source de bruit.

II.2 Origine du problème

Lorsqu'on soupçonne qu'un bruit basses fréquences continu en direction ou en provenance d'un équipement de télécommunication est à l'origine de la perturbation, on peut tenter d'identifier la source en se servant d'un récepteur radio à large bande. Voici quelques caractéristiques habituelles de ce type de perturbation:

- les équipements industriels, scientifiques, médicaux ou de télécommunication provoquent des ronflements et des bourdonnements dans les signaux audio. Dans des cas graves, il peut y avoir scintillement de l'éclairage;
- un claquement régulier entendu sur le combiné ou sur le récepteur à large bande est en général caractéristique de la présence d'une clôture électrique;
- les postes de soudure à l'arc peuvent provoquer l'apparition de signaux audio intenses à large bande (sans contenu harmonique particulier) qui atteignent des fréquences plus élevées.

L'utilisation d'un psophomètre relié au système de transmission peut également permettre de faire apparaître d'autres caractéristiques qui ne sont pas facilement détectables à l'oreille, et de déterminer si le bruit provient du câblage extérieur ou de l'équipement de télécommunication. Les analyseurs de spectre à basses fréquences sont utiles pour déterminer le contenu harmonique de la perturbation.

On peut également rechercher l'origine des perturbations en repérant dans le voisinage la présence d'importantes installations industrielles, de postes de transformation, de lampes d'éclairage public présentant des scintillations ou de câbles d'alimentation électriques. Une méthode efficace consiste à allumer et à éteindre l'équipement suspecté tout en observant les modifications du bruit dans le signal. Bien entendu, cela n'est pas applicable aux grands appareillages.

Si on suspecte des perturbations transitoires, on peut allumer et éteindre successivement les équipements électriques proches ou les lampes à fluorescence tout en observant le système perturbé.

On peut obtenir des renseignements utiles en analysant à quel moment sont apparues les perturbations électromagnétiques, s'il y a des périodes de silence et de bruit, si quelqu'un a installé un ordinateur personnel, un télécopieur, un réfrigérateur, ou si certains appareils électriques ne fonctionnent pas correctement dans le centre de télécommunication et aussi en recherchant s'il y a eu des modifications le long du trajet des câbles (par exemple, installation d'une clôture électrique).

II.3 Liste de pointage des solutions possibles

La liste de pointage ci-dessous contient des propositions dont les coûts peuvent varier dans une large mesure. Il est toujours indispensable de trouver l'origine du problème pour être en mesure d'appliquer la technique la plus appropriée et la solution la plus économique.

Problèmes téléphoniques simples:

- mauvaises connexions: nettoyer les connexions sales ou corrodées;
- isolant endommagé: remplacer;
- dispositif de protection contre les surtensions défectueux: remplacer;
- démodulation dans un appareil téléphonique: faire la comparaison avec un appareil téléphonique de haute qualité; remplacer ou monter un filtre de drainage;
- courants de mode commun sur la ligne d'abonné: monter un filtre de drainage.

Problèmes du réseau de télécommunication:

- mise à la terre ou mise à la masse insuffisante: s'assurer que les Recommandations relatives à la mise à la masse ont été suivies; vérifier la continuité; nettoyer les connexions sales, corrodées ou peintes; vérifier si le système de mise à la terre principal est encore efficace;
- absence de mise à la masse des blindages de câble: y remédier;
- problème de couplage de mode différentiel (paire torsadée): raccourcir autant que possible la partie non torsadée aux interconnexions. Remplacer la section de câble dont la symétrie est éventuellement insuffisante;
- contacts de mise à la terre défectueux: s'assurer que les surfaces des contacts ne sont pas corrodées ou peintes ou bien qu'aucun élément étranger comme un ruban se trouve entre les contacts;
- courants de mode commun dans les câbles: utiliser des bobines d'arrêt ou d'autres dispositifs d'amélioration; utiliser des câbles correctement blindés; modifier le cheminement des câbles concernés;
- carte imprimée défectueuse: remplacer les cartes imprimées individuellement et contrôler la perturbation;
- équipements trop rapprochés: éloigner l'équipement suspect;
- blindage insuffisant: installer les écrans nécessaires au niveau de l'équipement ou du bâtiment ou des câbles entrants.

SERIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

| | |
|----------------|---|
| Série A | Organisation du travail de l'UIT-T |
| Série B | Moyens d'expression: définitions, symboles, classification |
| Série C | Statistiques générales des télécommunications |
| Série D | Principes généraux de tarification |
| Série E | Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains |
| Série F | Services de télécommunication non téléphoniques |
| Série G | Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques |
| Série H | Systèmes audiovisuels et multimédias |
| Série I | Réseau numérique à intégration de services |
| Série J | Transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias |
| Série K | Protection contre les perturbations |
| Série L | Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures |
| Série M | RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux |
| Série N | Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle |
| Série O | Spécifications des appareils de mesure |
| Série P | Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux |
| Série Q | Commutation et signalisation |
| Série R | Transmission télégraphique |
| Série S | Equipements terminaux de télégraphie |
| Série T | Terminaux des services télématiques |
| Série U | Commutation télégraphique |
| Série V | Communications de données sur le réseau téléphonique |
| Série X | Réseaux pour données et communication entre systèmes ouverts |
| Série Y | Infrastructure mondiale de l'information |
| Série Z | Langages et aspects informatiques généraux des systèmes de télécommunication |