



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

J.142

(05/2000)

SÉRIE J: TRANSMISSION DES SIGNAUX
RADIOPHONIQUES, TÉLÉVISUELS ET AUTRES
SIGNAUX MULTIMÉDIAS

Mesure de la qualité de service

**Méthodes de mesure des paramètres de
transmission des signaux de la télévision
numérique par câble**

Recommandation UIT-T J.142

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE J
TRANSMISSION DES SIGNAUX RADIOPHONIQUES, TÉLÉVISUELS ET AUTRES SIGNAUX
MULTIMÉDIAS

Recommandations générales	J.1–J.9
Spécifications générales des transmissions radiophoniques analogiques	J.10–J.19
Caractéristiques de fonctionnement des circuits radiophoniques analogiques	J.20–J.29
Équipements et lignes utilisés pour les circuits radiophoniques analogiques	J.30–J.39
Codeurs numériques pour les signaux radiophoniques analogiques	J.40–J.49
Transmission numérique de signaux radiophoniques	J.50–J.59
Circuits de transmission télévisuelle analogique	J.60–J.69
Transmission télévisuelle analogique sur lignes métalliques et interconnexion avec les faisceaux hertziens	J.70–J.79
Transmission numérique des signaux de télévision	J.80–J.89
Services numériques auxiliaires propres aux transmissions télévisuelles	J.90–J.99
Prescriptions et méthodes opérationnelles de transmission télévisuelle	J.100–J.109
Services interactifs pour la distribution de télévision numérique	J.110–J.129
Transport des signaux MPEG-2 sur les réseaux par paquets	J.130–J.139
Mesure de la qualité de service	J.140–J.149
Distribution de la télévision numérique sur les réseaux locaux d'abonnés	J.150–J.159

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

**Méthodes de mesure des paramètres de transmission
des signaux de la télévision numérique par câble**

Résumé

La présente Recommandation spécifie des méthodes objectives de mesure des paramètres de transmission de signaux de la télévision numérique par câble. La Recommandation s'applique à des signaux de télévision numérique par câble utilisant les modulations PSK, QAM et OFDM. Une description des influences mutuelles entre les signaux de télévision analogique et numérique figure également dans les appendices.

Source

La Recommandation J.142 de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 9 (1997-2000) de l'UIT-T, a été approuvée le 18 mai 2000 selon la procédure définie dans la Résolution 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'étude 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 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, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

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 2001

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 informatives.....	1
3	Termes et définitions	2
4	Abréviations.....	2
5	Méthodes objectives de mesure des paramètres de transmission des signaux numériques de télévision par câble.....	4
5.1	Mesure de bout en bout de signaux de télévision avec modulation PSK et QAM	4
5.1.1	Isolement mutuel entre sorties de systèmes.....	7
5.1.2	Réponse en amplitude à l'intérieur d'un canal.....	7
5.1.3	Puissance de la porteuse radioélectrique	8
5.1.4	Puissance de bruit radioélectrique	8
5.1.5	Rapport porteuse sur bruit (C/N).....	9
5.1.6	Taux d'erreur binaire (BER)	9
5.1.7	Taux d'erreur binaire par rapport à E_b/N_0	11
5.1.8	Marge de bruit.....	12
5.1.9	Taux d'erreur de modulation (MER)	13
5.1.10	Rapport signal sur bruit (S/N)	15
5.1.11	Vecteur d'erreur cible (TEV)	16
5.1.12	Gigue de phase radioélectrique.....	17
5.1.13	Echos (masque pour un égaliseur de mesure).....	19
	Annexe A – Mesure de bout en bout de signaux de télévision avec multiplexage OFDM	21
A.1	Mesure de bout en bout de signaux de télévision OFDM.....	22
A.1.1	Isolation entre les sorties du système.....	22
A.1.2	Niveau du signal	22
A.1.3	Largeur de bande de la porteuse	22
A.1.4	Limite de synchronisation du rapport C/N	23
A.1.5	Rapport C/N en fonction du taux BER.....	24
A.2	Mesure du taux BER de signaux de télévision OFDM.....	25
A.2.1	Taux BER en fonction de l'intermodulation.....	25
A.2.2	Taux BER en fonction des échos.....	26
A.2.3	Taux BER en fonction de la modulation de ronflement.....	27
A.2.4	Taux BER en fonction de la gigue de phase.....	28
	Appendice I – Notes pour les mesures	28
I.1	Unités de mesure radioélectrique.....	28
I.2	Précautions à prendre lors de la mesure de la puissance du signal radioélectrique	28
I.2.1	Mesures effectuées à l'aide d'un enregistreur de puissance	29

	Page
I.2.2 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre	29
I.3 Précautions à prendre lors de la mesure de la puissance de bruit radioélectrique	30
I.3.1 Mesures effectuées à l'aide d'un enregistreur de puissance	30
I.3.2 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre	30
I.4 Corrections de proximité de bruit	30
I.5 Approximation des mesures pour la puissance moyenne et le rapport porteuse sur bruit	31
I.5.1 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre ne disposant pas de la capacité de mesure de la densité spectrale	32
I.5.2 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre disposant de la capacité de mesure de la densité spectrale	32
I.5.3 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre disposant de la capacité de mesure de la densité spectrale avec normalisation à toutes les largeurs de bande	32
I.5.4 Mesures en service du rapport porteuse sur bruit	33
I.6 Autres procédures de mesure des puissances moyennes	33
I.7 Mesures du taux BER avant le décodeur FEC (débits brut et net)	33
Appendice II – Mesure de perturbation par harmoniques en fonction de la marge de bruit ...	35
Appendice III – Interférence mutuelle entre signaux analogiques et numériques	39
III.1 Interférence mutuelle entre signaux analogiques et numériques	39
III.1.1 Interférence provoquée par des signaux numériques QAM-64 avec des signaux analogiques NTSC	39
III.1.2 Interférence provoquée par des signaux analogiques NTSC avec des signaux numériques QAM-64	40

Introduction

La télévision numérique entraîne de nouvelles dégradations qui altèrent la qualité de l'image reçue. Des mesures objectives des paramètres de transmission sont nécessaires afin de garantir une qualité de service optimale.

Recommandation UIT-T J.142

Méthodes de mesure des paramètres de transmission des signaux de la télévision numérique par câble

1 Domaine d'application

La présente Recommandation spécifie des méthodes objectives de mesure des paramètres de transmission des signaux de la télévision numérique par câble. Il s'agit du fonctionnement de bout en bout des signaux numériques de télévision par câble de la source du signal au récepteur de l'utilisateur. La mesure de signaux de télévision avec modulation OFDM est également spécifiée dans l'Annexe A. Cette chaîne de transmission comprend le système de distribution par câble. Elle peut également contenir les liaisons par satellite, de Terre ou par réseau à large bande susceptibles de fournir des sources pour la tête de ligne.

Etant donné qu'il existe plusieurs mesures de différents types spécifiques aux systèmes par satellite, par ondes hertziennes et de Terre, le présent document n'est pas approprié pour fournir la définition de chacun de ces systèmes.

Il convient que chaque mesure du fonctionnement des signaux émis par un système de télévision par câble sans transmodulation, où la source originale est extraite des sources par satellite (QPSK, BPSK, etc.), de Terre (VSB-8 ou COFDM) ou des systèmes par ondes hertziennes de radiodistribution multipoint, soit consignée dans les documents UIT-T appropriés relatifs aux dits systèmes, qui sont disponibles ou qui sont susceptibles de l'être.

2 Références informatives

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.

- UIT-T J.82 (1996), *Transport des signaux de télévision MPEG-2 à débit constant dans le RNIS à large bande.*
- UIT-T J.83 (1997), *Systèmes numériques multiprogrammes pour la distribution par câble des services de télévision, son et données.*
- UIT-T J.131 (1998), *Transport des signaux MPEG-2 dans les réseaux à hiérarchie numérique plésiochrone.*
- UIT-T J.132 (1998), *Transport des signaux MPEG-2 dans les réseaux à hiérarchie numérique synchrone.*
- UIT-T J.140 (1998), *Evaluation subjective de la qualité de l'image dans les systèmes de télévision numérique par câble.*
- UIT-T P.910 (1999), *Méthodes subjectives d'évaluation de la qualité vidéographique pour les applications multimédias.*

3 Termes et définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1 télévision par câble: systèmes de communication distribuant, au moyen d'un câble coaxial ou optique, des signaux diffusés et non diffusés, ainsi qu'une série de programmes et autres signaux d'origine satellitaire.

3.2 MPEG-2: système de codage de signaux audio et vidéo défini dans l'ISO/CEI 13818 et UIT-T H.222 et H.262.

3.3 multiplex: flux de toutes les données numériques véhiculant un ou plusieurs services sur un canal physique unique.

3.4 informations de service (SI, *service information*): données numériques décrivant le système de livraison, le contenu et la programmation/les horaires de diffusion de flux numériques, etc. Elles contiennent les informations spécifiques de programme (PSI) MPEG-2 ainsi que des extensions définies de manière indépendante.

3.5 flux de transport (TS, *transport stream*): TS signifie flux de transport.

3.6 isolation mutuelle: atténuation spécifiée entre les sorties du système pour toute fréquence appartenant au domaine du système étudié. Elle est toujours spécifiée, pour toute installation donnée, comme étant égale à la valeur minimale obtenue dans les limites des fréquences spécifiées.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

BER	taux d'erreur sur les bits (<i>bit error rate</i>)
BPSK	modulation par déplacement de phase bivalente (<i>binary phase shift keying</i>)
BW	largeur de bande (<i>bandwidth</i>)
C/N	rapport porteuse sur bruit (<i>carrier to noise ratio</i>)
CATV	télévision par câble (<i>cable television</i>)
COFDM	multiplex par répartition de fréquence avec codage orthogonal (<i>coded orthogonal frequency division multiplex</i>)
CSO	produit composite du second ordre (<i>composite second order beat</i>)
CTB	produit composite à triple battement (<i>composite triple beat</i>)
CW	onde entretenue (<i>continuous wave</i>)
dB	décibel (<i>decibel</i>)
dBc	décibels sous une porteuse utilisée comme référence (<i>decibels below a carrier used as reference</i>)
dBm	décibels avec référence à une puissance de 1 mW (<i>decibels referred to a 1 mW power</i>)
dBmV	décibels avec référence à un niveau de signal quadratique moyen de 1 millivolt (<i>decibels referred to a 1 millivolt rms signal level</i>)
dB μ V	décibels avec référence à un niveau de signal quadratique moyen de 1 microvolt (<i>decibels referred to a 1 microvolt rms signal level</i>)
DVB	diffusion vidéonumérique (<i>digital video broadcasting</i>)
DVB-SI	diffusion vidéonumérique – informations de service (<i>digital video broadcasting – Service information</i>)
EB	bloc erroné (<i>errored block</i>)

E _b	énergie par bit (<i>energy per bit</i>)
ES	seconde erronée (<i>errored second</i>)
FEC	correction d'erreur directe (<i>forward error correction</i>)
GHz	gigahertz (10 ⁹ hertz) [<i>giga hertz (10⁹ hertz)</i>]
Hz	hertz (1 cycle par seconde) [<i>Hertz (1 cycle per second)</i>]
I/Q	en phase/en quadrature (<i>in-phase/quadrature-phase</i>)
kHz	kilohertz (1000 Hz) [<i>kilo hertz (1000 Hz)</i>]
MATV	TV à antenne collective (<i>master antenna television</i>)
MER	taux d'erreur de modulation (<i>modulation error ratio</i>)
MHz	mégahertz (10 ⁶ Hz) [<i>mega hertz (10⁶ Hz)</i>]
MMDS	système de distribution multicanal multipoint (<i>multichannel multipoint distribution system</i>)
MPEG	groupe d'experts pour les images animées (<i>motion picture experts group</i>)
MVDS	système de distribution de vidéo multipoint (<i>multichannel video distribution system</i>)
mW	milliwatt (<i>milliwatt</i>)
NM	marge de bruit (<i>noise margin</i>)
No	puissance de bruit normalisée pour 1 Hz (<i>noise power normalized to 1 Hz</i>)
°	degrés centigrades (<i>degrees celsius</i>)
OFDM	multiplexage par répartition de fréquences orthogonales (<i>orthogonal frequency division multiplex</i>)
PRBS	séquence binaire pseudo-aléatoire (<i>pseudo random binary sequence</i>)
PSI	informations spécifiques du programme (<i>program specific information</i>)
PSK	modulation par déplacement de phase (<i>phase shift keying</i>)
QAM	modulation d'amplitude en quadrature (<i>quadrature amplitude modulation</i>)
QEF	quasi sans erreur (<i>quasi error free</i>)
QPSK	modulation par déplacement de phase quadrivalente (<i>quaternary phase-shift keying</i>)
RF	radiofréquence (<i>radio frequency</i>)
RMS	valeur quadratique moyenne (<i>root mean square</i>)
R-S	Reed Solomon (codage) (<i>Reed-Solomon</i>)
S/N	rapport signal sur bruit (<i>signal to noise ratio</i>)
SDP	période de perturbation importante (<i>severely disturbed period</i>)
SES	seconde de perturbation importante (<i>severely errored second</i>)
SHF	ondes centimétriques (<i>super high frequency</i>)
SI	informations de service (<i>service information</i>)
SMATV	système de réception collective de télévision par satellite (<i>satellite master antenna television</i>)
TC8PSK	codage en treillis avec déplacement de phase à octovalent (<i>trellis coded 8 phase shift keying</i>)
TCM	modulation avec codage en treillis (<i>trellis coded modulation</i>)
TEV	vecteur d'erreur cible (<i>target error vector</i>)
TS	flux de transport (<i>transport stream</i>)

UIT-R	Secteur des radiocommunications de l'Union internationale des télécommunications (<i>International Telecommunication Union – Radiocommunication sector</i>)
UIT-T	Union internationale des télécommunications – Secteur de la normalisation des Télécommunications (<i>International Telecommunication Union – Telecommunication standardization sector</i>)
Ut	temps indisponible (<i>unavailable time</i>)
VSF-8	(système à) huit bandes latérales résiduelles (<i>eight vestigial sideband</i>)
XM	transmodulation (<i>cross modulation</i>)

5 Méthodes objectives de mesure des paramètres de transmission des signaux numériques de télévision par câble

Le Figure 5-1 donne un aperçu général d'un système de distribution par câble. La méthode de mesure de paramètres sera spécifiée uniquement de bout en bout quelle que soit la complexité du système. La Figure 5-2 représente, comme sous-système de distribution par câble, le système SMATV/MATV. La présente Recommandation s'applique à tous les systèmes numériques de distribution par câble (dont les systèmes de réception individuels) équipés d'une sortie de câble coaxial et destinés principalement aux signaux de télévision et aux signaux de radiodiffusion sonore dont la gamme de fréquences est comprise entre environ 30 MHz et 2150 MHz.

Une extension de la gamme de fréquences allant de 5 MHz à 3000 MHz sera prise en compte pour les travaux ultérieurs.

La présente Recommandation énumère les méthodes de base de mesure des caractéristiques de fonctionnement des systèmes numériques de distribution par câble, équipés de sorties de câbles coaxiaux afin d'évaluer leur fonctionnement ainsi que leurs limites.

5.1 Mesure de bout en bout de signaux de télévision avec modulation PSK et QAM

Les méthodes de mesures énumérées ci-dessous s'appliquent aux signaux modulés numériquement par PSK, QAM et OFDM. Des méthodes de mesures spécifiques peuvent s'avérer nécessaires pour la transmission de signaux BLR par câble; celles-ci sont à l'étude.

- Isolement mutuel entre sorties de systèmes.
- Réponse en amplitude à l'intérieur d'un canal.
- Porteuse radioélectrique.
- Puissance de bruit radioélectrique.
- Rapport porteuse sur bruit (C/N).
- Taux d'erreur binaire (BER).
- Taux d'erreur binaire (BER) par rapport à E_b/N_0 .
- Marge de bruit.
- Taux d'erreurs de modulation (MER).
- Rapport signal sur bruit (S/N).
- Gigue de phase radioélectrique.
- Echos (masque pour un égaliseur de mesure).

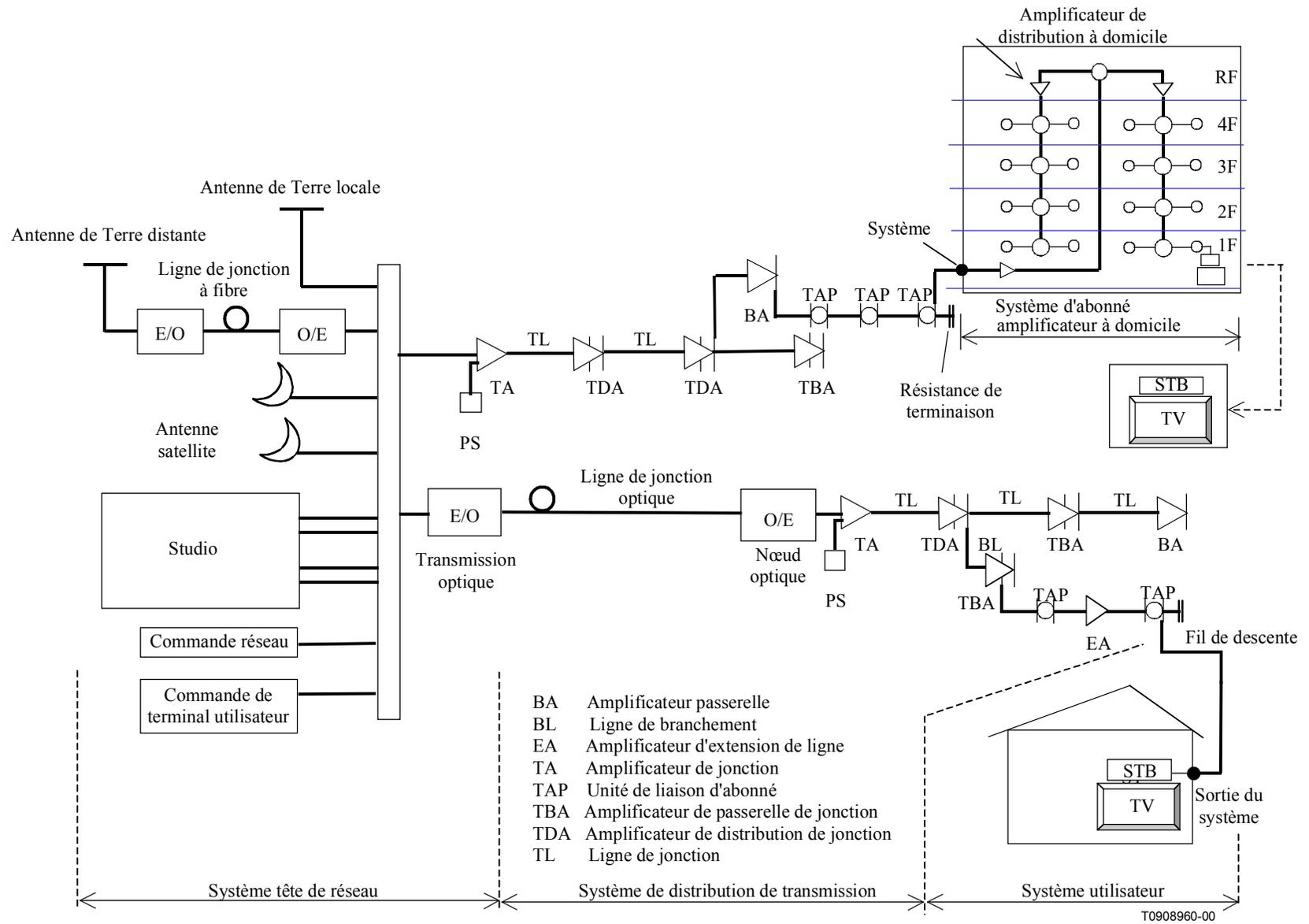
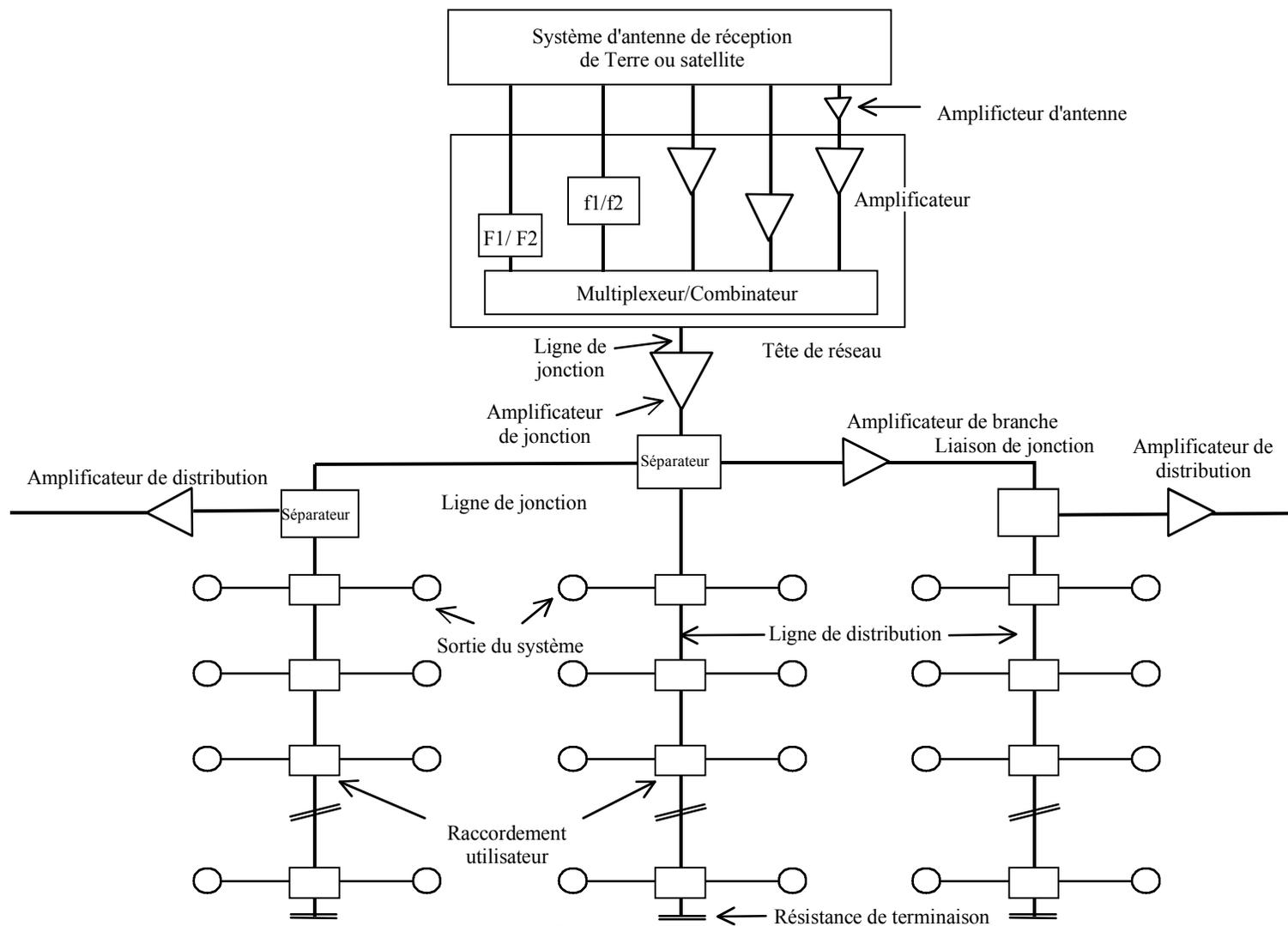


Figure 5-1/J.142 – Exemple de système de distribution par câble pour des signaux de télévision et de son



T0908970-00

Figure 5-2/J.142 – Exemple de système de télévision par antenne collective de Terre (MATV) ou satellite

Les méthodes de mesure des signaux modulés numériquement diffèrent de celles utilisées pour la modulation analogique pour plusieurs raisons:

- a) à l'exception du cas de la transmission BLR, la porteuse est absente du signal modulé, ce qui signifie qu'elle ne peut être mesurée (c'est-à-dire des systèmes utilisant la modulation PSK ou QAM tel que décrit dans UIT-T J.83). Il existe également des milliers de porteuses modulées (c'est-à-dire des systèmes utilisant des signaux OFDM y compris des ondes pilotes et la modulation BPSK, ainsi que la modulation QPSK et QAM);
- b) le signal modulé dispose d'un spectre plat dans la largeur de bande et similaire au bruit;
- c) les paramètres affectant la qualité du signal reçu sont associés aux erreurs binaires et aux erreurs liées aux mots, introduites par le canal (bruit, inégalités lors des réponses en phase et en amplitude, échos, etc.) avant démodulation et correction d'erreur.

Les méthodes de mesure des signaux modulés numériquement reposent sur l'hypothèse selon laquelle:

- a) le flux de transport MPEG-2 (TS) est le signal de sortie et d'entrée spécifié pour tous les systèmes de référence, à savoir pour la distribution par satellite, par câble, par SMATV, par MMDS/MVDS et de Terre;
- b) les signaux modulés numériquement reçus par satellite sont modulés au format PSK, c'est-à-dire au format QPSK. Par ailleurs, ceux-ci peuvent être distribués dans le même format que celui des systèmes câblés (Systèmes SMATV);
- c) les signaux modulés numériquement reçus par satellite sont distribués dans les systèmes de télévision par câble au format QAM;
- d) les signaux modulés numériquement reçus par radiodiffusion de Terre au format OFDM sont distribués dans les systèmes de télévision par satellite à antenne collective/par câble (SMATV/CATV) au même format OFDM;
- e) une source de signal en bande de base I/Q pour les formats PSK, QAM ou OFDM est disponible, des interfaces appropriées sont accessibles et conformes aux documents SI pertinents;
- f) un récepteur de référence pour les formats PSK, QAM ou OFDM est disponible aux endroits où les interfaces appropriées sont indiquées;
- g) l'implémentation du décodeur n'affectera pas la cohérence des résultats.

5.1.1 Isolement mutuel entre sorties de systèmes

L'isolement est en général mesuré entre:

- a) sorties de système connectées aux prises de distribution adjacentes;
- b) sorties de système connectées aux mêmes prises de distribution multiples;
- c) sorties de système adjacentes en boucle.

La méthode de mesure est fondée sur l'utilisation d'un générateur de balayage pour ce qui concerne les signaux modulés analogiquement.

5.1.2 Réponse en amplitude à l'intérieur d'un canal

La méthode décrite s'applique à la mesure de la réponse en amplitude des systèmes câblés de distribution sur la gamme de fréquences d'un canal individuel entre deux points spécifiques du système.

Néanmoins, lorsque des signaux d'entrée du système sont démodulés à bande de base, et par conséquent modulés sur les fréquences de porteuse du système, la réponse d'un démodulateur et d'un modulateur ne doit pas être incluse. S'il s'avère nécessaire d'inclure les caractéristiques de ces

éléments, une évaluation séparée doit être effectuée en utilisant les méthodes applicables à ces équipements.

Lorsque le système dispose d'un appareil de changement de fréquences entre l'entrée d'antenne et la prise du système soumis aux dits essais, l'étalonnage du dispositif doit être effectué aux fréquences de sortie, après s'être assuré au préalable que la sortie du générateur de fréquences est également plate sur le canal d'entrée.

La méthode de mesure repose sur l'utilisation d'un générateur de balayage pour ce qui concerne les signaux modulés analogiquement.

5.1.3 Puissance de la porteuse radioélectrique¹

La puissance radioélectrique pour les porteuses modulées numériquement (puissance utile) est définie par la puissance moyenne mesurée par un enregistreur de puissance thermique. Elle peut également se mesurer à l'aide d'un analyseur de spectre en intégrant la puissance spectrale dans la largeur de bande nominale du canal. (Cet équipement est disponible en plusieurs modèles d'analyseurs de spectre.)

La largeur de bande du canal (BW) pour les signaux PSK, PSKQ et QAM est définie comme les temps des débits de transmission de symboles $(1 + \alpha)$. Où α (alpha), la largeur de bande supplémentaire du filtre, est définie dans chaque application. La largeur de bande pour les signaux OFDM est la bande située entre les deux porteuses extérieures.

La puissance de bruit radioélectrique est exprimée en dBm (dB par rapport à 1 mW de puissance).

Il est également possible d'utiliser un analyseur vectoriel de signaux, ou tout autre dispositif approprié conçu et étalonné pour mesurer la puissance radioélectrique des signaux modulés numériquement.

Certaines précautions doivent être prises lors de la mesure de la puissance de bruit radioélectrique, voir le I.2.

La mesure peut s'effectuer à la prise du système, à la prise de l'équipement de distribution (passif ou actif), à la prise de la tête de ligne ou d'une unité extérieure (récepteur SHF) pour la réception par satellite.

5.1.4 Puissance de bruit radioélectrique

Le bruit fait partie intégrante de tout système de transmission, ce qui provoque d'importantes dégradations des signaux transmis.

La puissance de bruit (ou puissance non essentielle) se définit par la puissance moyenne mesurée par l'enregistreur de puissance thermique. Il est également possible de la mesurer à l'aide d'un analyseur de spectre en intégrant la puissance spectrale dans la largeur de bande nominale du canal.

Il convient de désactiver (hors service) la porteuse du canal soumise à l'essai lors de la mesure. Il est également recommandé d'utiliser la même largeur de bande pour mesurer la puissance de bruit radioélectrique que celle utilisée pour mesurer la puissance de bruit radioélectrique (voir ci-dessus).

La puissance de bruit radioélectrique est exprimée en dBm (dB par rapport à 1 mW de puissance).

On peut également utiliser un analyseur vectoriel de signal pour mesurer la puissance de bruit radioélectrique.

La mesure peut s'effectuer à la prise du système, à la prise de l'équipement de distribution (passif ou actif), à la prise de la tête de ligne ou d'une unité extérieure (récepteur SHF) pour la réception par satellite.

¹ Ce terme est utilisé pour des raisons pratiques même si l'expression "porteuse supprimée" peut s'employer.

Certaines précautions doivent être prises lors de la mesure de la puissance de bruit radioélectrique, voir le I.3.

La largeur de bande (BW) du canal pour les signaux PSK, QPSK et QAM est définie comme étant égale au débit de symboles.

5.1.5 Rapport porteuse sur bruit (C/N)

Le rapport porteuse sur bruit est défini comme la différence en dB entre la puissance de la porteuse radioélectrique et la puissance de bruit radioélectrique, les deux étant mesurées suivant la méthode précédemment décrite.

Le I.5 fournit une procédure approximative.

5.1.6 Taux d'erreur binaire (BER)

Le taux d'erreur binaire constitue le paramètre primaire décrivant la qualité de la transmission numérique. Il se définit comme le rapport entre les bits erronés et le nombre total de bits reçus.

Les mesures de taux d'erreur binaire (BER) hors service, qui sont effectuées avant le décodeur FEC, permettent de relever le nombre total d'erreurs reçues. La mesure s'effectue par l'alimentation d'une suite binaire pseudo-aléatoire (PRBS) au modulateur en tête de ligne.

Les mesures en service sont possibles avec des données réelles utilisant les capacités de détection d'erreur de la portion de correction d'erreur R-S du décodeur FEC. Cette méthode fournit une mesure statistique du fonctionnement du signal reçu.

Dans les deux types de mesures, si l'on fait référence au taux d'erreur binaire mesuré, le débit binaire brut ou net doit figurer avec les résultats. Le point de mesure du taux d'erreur binaire doit être indiqué avec les résultats.

5.1.6.1 Mesure hors service du taux d'erreur binaire brut avant la correction FEC

Si les mesures du taux d'erreur binaire effectuées avant le décodeur FEC se situent entre 10^{-2} et 10^{-4} , on peut alors procéder à la mesure dans un laps de temps raisonnable.

Cette méthode de mesure doit être effectuée dans des conditions hors service.

L'établissement de la mesure du taux d'erreur binaire est illustré à la Figure 5-3.

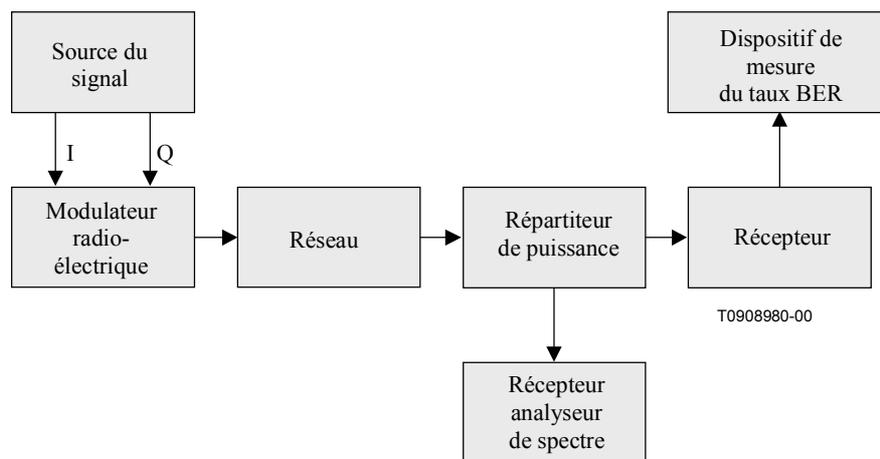


Figure 5-3/J.142 – Montage d'essai pour la mesure du taux d'erreur binaire

Mettre en marche la modulation et mesurer le taux d'erreur binaire, en comptant les bits d'erreur durant un laps de temps suffisamment long pour au moins atteindre 100 bits d'erreur. Rappporter ce résultat au nombre total de bits transmis pendant ce laps de temps (débit binaire brut). Voir le I.7 de l'Appendice I pour les remarques sur les débits binaires bruts et nets.

5.1.6.2 Mesure en service avant correction FEC

Le texte ci-dessous fait référence à la mesure du taux d'erreur binaire brut effectuée avant le décodeur FEC.

Il est admis que si les erreurs du décodeur FEC sont aléatoires (absence d'erreur en paquet) et se situent en deçà du niveau de 2×10^{-4} , la sortie du décodeur R-S est alors considérée comme quasi sans erreur (QEF). Quasi sans erreur (QEF) signifie moins d'un événement erreur non corrigé par heure de transmission, ce qui correspond à un taux d'erreur binaire (BER) = 10^{-10} à 10^{-11} à la sortie du décodeur R-S. Dans un tel cas de figure, le débit d'erreur ne peut être mesuré après correction de l'erreur.

Lors de la mesure, la sortie du décodeur FEC (supposé exempt d'erreur) est codée rétroactivement par le FEC et retournée pour comparaison avec une version retardée et tamponnée du flux TS à l'entrée du décodeur FEC. Le nombre de bits erronés est comptabilisé comme la différence entre les deux flux TS (taux d'erreur binaire brut comptabilisé pour la synchronisation, la trame et le surdébit de codage).

Cette procédure est considérée comme valide lorsque le flux de transport ne contient aucune erreur non corrigée.

5.1.6.3 Mesure en service après correction FEC

Le texte ci-dessous fait référence aux mesures effectuées après le décodeur FEC.

En cas de paquets d'erreurs importants, l'algorithme de correction des erreurs peut être surchargé, ce qui le rend incapable de corriger les erreurs du paquet de flux TS. Le bit `transport_error_indicator` (indicateur d'erreur de transport) du paquet de transport affecté doit alors être établi.

En comptant le nombre de paquets en erreur et en les reliant à la durée, on obtient une définition des différents types de mesure d'erreur suivants:

bloc erroné

Paquet de flux de transport comportant au moins une erreur non corrigible, indiquée par le fanion `transport_error_indicator` (indicateur d'erreur de transport).

perte de synchronisation

Occurrence de deux octets ou plus de synchronisation consécutifs altérés.

période de perturbation importante

Durée de la perte de synchronisation ou de la perte d'un signal.

seconde erronée

Période d'une seconde avec un ou plusieurs blocs avec erreurs.

seconde sévèrement erronée

Période d'une seconde contenant un plus grand pourcentage spécifié de blocs avec erreurs, ou au moins une période SDP.

Il convient que ce pourcentage fasse l'objet d'un accord entre les personnes chargées de l'échange du flux de transport.

temps d'indisponibilité (U_t , *unavailable time*)

Une période de temps d'indisponibilité commence au début de 10 événements SES consécutifs. Ces 10 événements sont considérés comme partie intégrante du temps d'indisponibilité.

Une période de temps de disponibilité commence au début de 10 événements non SES consécutifs. Ces 10 événements sont considérés comme partie intégrante du temps de disponibilité.

5.1.7 Taux d'erreur binaire par rapport à E_b/N_o

Cette méthode s'applique à la mesure du taux d'erreur binaire des signaux modulés numériquement utilisant les formats PSK ou QAM. La mesure du taux d'erreur binaire par rapport à E_b/N_o permet de tracer un diagramme et de le comparer à un diagramme théorique, pour représenter la perte d'implémentation du système sur une gamme de taux d'erreurs binaires comme la différence dans la relation E_b/N_o entre les deux diagrammes à un taux d'erreur binaire souhaité. Le taux d'erreur binaire résiduel à des valeurs E_b/N_o élevées constitue un indicateur de problèmes de réseau potentiels. La gamme des taux d'erreurs binaires considérée est comprise entre 10^{-7} et 10^{-3} .

La mesure s'effectue à la prise du système d'un réseau de distribution câblé, tandis que le signal modulé au format approprié est appliqué à l'entrée de la tête de ligne ou du réseau de distribution, en fonction de la partie du système à mesurer.

La tête de ligne peut comprendre des convertisseurs de modulation (par exemple du format PSK au format QAM).

Cette méthode de mesure doit être appliquée dans des conditions hors service.

Le montage de mesure pour le taux d'erreur binaire par rapport à la mesure E_b/N_o est illustré à la Figure 5-4.

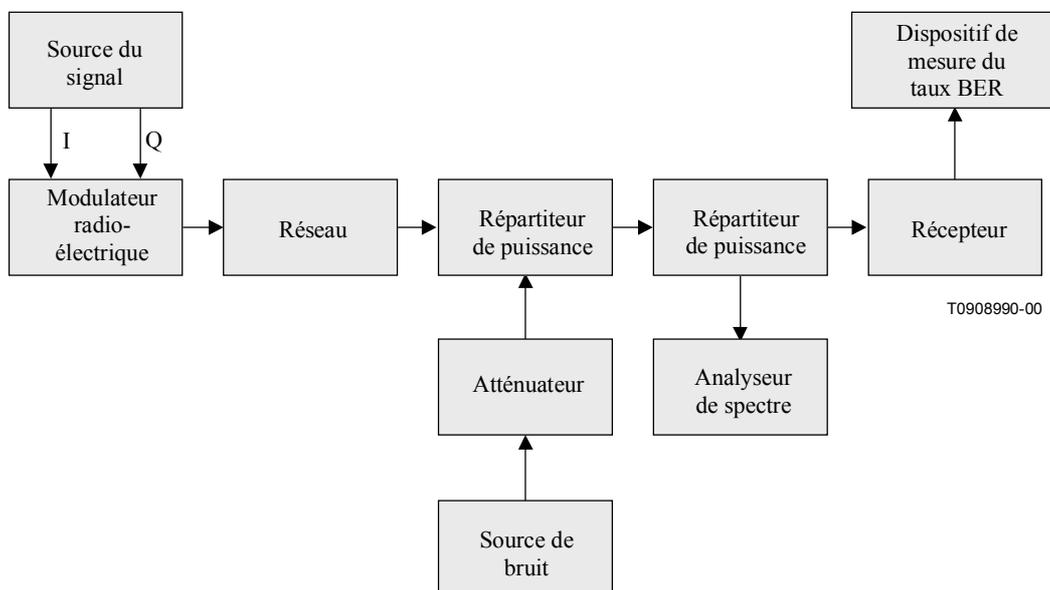


Figure 5-4/J.142 – Montage d'essai pour la mesure du taux BER par rapport à E_b/N_o et la mesure de la marge de bruit

Calculer E_b/N_o à partir de la formule suivante:

$$(E_b/N_o)_{dB} = (C/N)_{dB} - 10 \lg m$$

$$(E_b/N_o)_{dB} = (C/N)_{dB} + 10 \lg(BW_n) - 10 \lg(f_s) - 10 \lg m$$

où:

f_s est la rapidité de modulation

BW_n est la largeur de bande du bruit telle qu'elle est utilisée dans la mesure de puissance de bruit radioélectrique

m est le nombre de bits par symbole modulant la porteuse (PSK ou QAM). Par exemple ($m = 1$ pour BPSK, $m = 2$ pour QPSK et TC8PSK, $m = 4$ pour QAM 16, $m = 6$ pour QAM-64 et $m = 8$ pour QAM-256.)

La procédure de mesure est la suivante:

- mettre en marche le générateur de bruit et la modulation;
- modifier les paramètres de l'atténuateur et mesurer le taux BER à la sortie du récepteur et la relation E_b/N_o à l'entrée du récepteur;
- répéter l'étape précédente afin d'obtenir un tracé du taux BER par rapport à E_b/N_o .

Lors de la mesure d'un signal QAM modulé comme décrit dans UIT-T J.83 dans un système de télévision par câble, la valeur E_b/N_o donnée comme le débit binaire net, peut être calculée en utilisant le débit de code FEC y compris toute autre perte de débit à partir d'en-têtes de synchronisation ou de trame ajoutés, R_{FEC} .

En utilisant le facteur de conversion suivant pour l'Annexe A/J.83 et l'Annexe C/J.83 RS(204, 184) code (voir I.7 pour information):

$$10 \log_{10} (204/184) = +0,448 \text{ dB}$$

En utilisant le facteur de conversion suivant pour Annexe B/J.83 code (voir I.7 pour information):

$$10 \lg_{10} (1/R_{FEC}) = +0,512 \text{ dB (64-QAM)}$$

$$10 \lg_{10} (1/R_{FEC}) = +0,434 \text{ dB (256-QAM)}$$

Lorsqu'on mesure un signal PSK, BPSK ou QAM émis par un satellite, avec un code FEC convolutif supplémentaire, ou lorsqu'on mesure un signal modulé en OFDM, la valeur E_b/N_o donnée comme valeur du débit binaire net, peut se calculer en tenant compte à la fois du débit de code intérieur et du débit RS. Si, par exemple, le débit de code est de $3/4$, on peut calculer le facteur de conversion de la façon suivante:

$$10 \log_{10} (4/3)(204/184) = +1,604 \text{ dB}$$

Le taux d'erreur binaire est tracé par rapport à E_b/N_o (dB). Le point de mesure du taux BER doit être indiqué avec les résultats.

5.1.8 Marge de bruit

Cette méthode de mesure est destinée à fournir une indication sur la fiabilité de la voie de transmission. La mesure de la marge de bruit est une mesure de la marge de fonctionnement du système plus utile qu'une mesure directe du BER (taux d'erreur binaire) en raison de l'inclinaison de la courbe du taux BER par rapport au taux E_b/N_o .

La mesure est effectuée à la prise du système d'un réseau câblé de distribution, tandis que le signal modulé de format approprié est appliqué à l'entrée de la tête de ligne ou du réseau de distribution, en fonction de la partie du système à mesurer.

La tête de ligne peut comprendre des convertisseurs de modulation (du format PSK au format QAM).

Cette méthode de mesure doit être appliquée dans des conditions hors service.

Le montage de mesure de la marge de bruit est identique à celui établi pour la mesure du taux BER par rapport à E_b/N_0 . Il est illustré à la Figure 5-4.

La procédure de mesure est la suivante:

- établir le signal d'entrée pour obtenir le format de modulation, la fréquence du canal ainsi que le niveau du signal souhaités;
- sélectionner les conditions de fonctionnement appropriées pour l'appareil de mesure;
- mesurer et noter sous la forme N_1 le rapport porteuse sur bruit mesuré comme décrit au 5.1.5;
- ajouter le bruit au signal modulé à la sortie du réseau câblé, jusqu'à ce que le taux BER soit de 1 sur 10^{-4} ;
- mesurer et noter sous la forme N_2 le rapport porteuse sur bruit mesuré comme décrit au 5.1.5;
- calculer la marge de bruit NM à l'aide de la formule suivante:

$$NM_{dB} = N_1 - N_2 \quad (dB)$$

La marge de bruit mesurée est exprimée en dB. Le point d'interface de la mesure du taux BER doit figurer avec les résultats.

Dans le cas de la transmission d'un signal QAM-64 il a été rapporté que la courbe du taux BER en fonction du rapport C/N est voisine de la courbe théorique dans le domaine des valeurs relativement faibles du rapport C/N, mais que ceci n'est plus le cas dans le domaine de valeurs relativement élevées du rapport C/N, lorsqu'une ou plusieurs distorsions monotones de deuxième ou de troisième ordre sont présentes dans la bande de transmission. L'Appendice II décrit les résultats des essais.

5.1.9 Taux d'erreur de modulation (MER)

Cette méthode de mesure fournit une analyse unique du "facteur de qualité" du signal reçu.

Ce facteur est calculé pour inclure la dégradation totale du signal susceptible de se produire à l'entrée des circuits de décision du récepteur commercial et par conséquent pour fournir une indication sur la capacité dudit récepteur à décoder le signal correctement.

La mesure est réalisée à la prise du système d'un réseau câblé de distribution, tandis que le signal modulé au format approprié est appliqué à l'entrée de la tête de ligne ou du réseau de distribution, en fonction de la partie du système à mesurer.

La tête de ligne peut comprendre des convertisseurs de modulation (du format PSK au format QAM).

Le montage de mesure du taux d'erreur de modulation (MER) est illustré à la Figure 5-5.

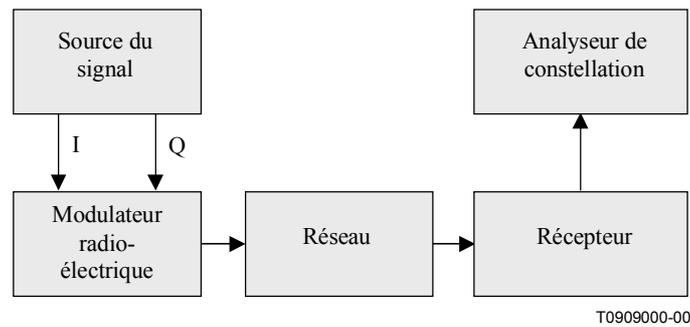


Figure 5-5/J.142 – Montage d'essai pour la mesure du taux d'erreur de modulation et de la gigue de phase

La procédure de mesure est la suivante:

- établir le signal d'entrée pour obtenir le format de modulation, la fréquence du canal ainsi que le niveau du signal souhaités;
- sélectionner les conditions de fonctionnement appropriées pour l'appareil de mesure.

Le rétablissement de la fréquence porteuse et du débit des symboles permet d'éliminer l'erreur de fréquence et la succession de phase. Le décalage d'origine (dû par exemple à une porteuse résiduelle ou à un décalage du niveau continu), l'erreur provoquée par la distorsion de l'onde en quadrature et le déséquilibre de l'amplitude ne sont pas corrigés.

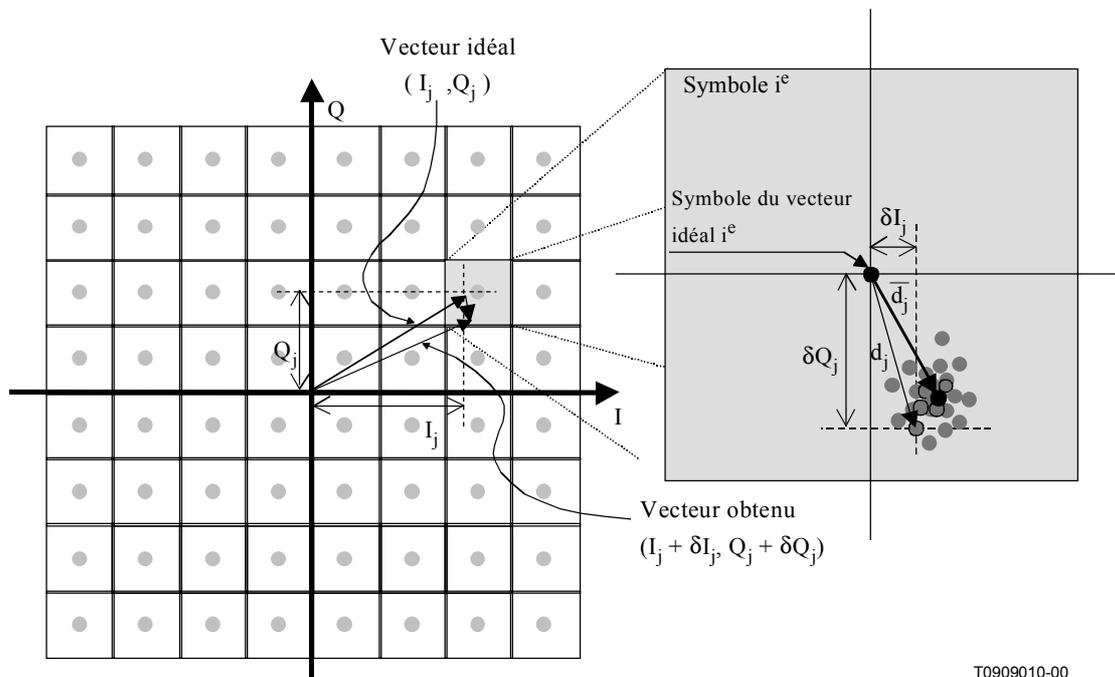
Un enregistrement temporel des paires de coordonnées des symboles N reçus ($I_j + \delta I_j$, $Q_j + \delta Q_j$) est saisi par l'analyseur de constellation. N doit être nettement plus grand que les points des symboles M .

On considère (I_j, Q_j) comme la paire de symboles idéale.

Pour chaque symbole reçu, on vérifie le symbole transmis. Le vecteur d'erreur est défini comme la distance entre la position idéale du symbole choisi (le centre de la case de décision) et la position réelle du symbole reçu.

La différence peut s'exprimer comme le vecteur $d_j = (\delta I_j, \delta Q_j)$.

Un exemple de représentation du schéma de constellation pour un format de modulation QAM-64 et de la distance $(\delta I_j, \delta Q_j)$ pour chacun des symboles N reçus dans le i^{e} point à partir de la position idéale (I_j, Q_j) est illustré à la Figure 5-6.



T0909010-00

Figure 5-6/J.142 – Exemple de schéma de constellation pour un format de modulation QAM-64 où le i^e point a été agrandi afin de montrer les coordonnées du vecteur d'erreur des symboles

Pour chaque symbole M , un nuage de vecteurs d'erreurs apparaît.

On divise la somme des carrés de la grandeur des vecteurs des symboles idéaux par la somme des carrés des grandeurs des vecteurs des erreurs de symboles. Le résultat, exprimé comme le rapport de puissance en dB, est défini comme le taux d'erreur de modulation (MER):

$$MER = 10 \lg_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} \quad (\text{dB})$$

Avant de procéder à la mesure, vérifier le fonctionnement du modulateur, en connectant le récepteur à l'analyseur de constellation à la sortie du générateur de signal modulé par la source numérique. Le schéma de constellation présenté doit être consigné par écrit et considéré comme la position de référence pour la mesure.

Le taux d'erreur de modulation (MER) mesuré s'exprime en dB. L'interface du récepteur où la mesure a été effectuée doit figurer avec les résultats.

5.1.10 Rapport signal sur bruit (S/N)

Ce terme fait référence au signal démodulé perçu après le processus de démodulation.

Le bruit total est celui extrait du réseau de transmission plus le bruit intégré au signal de modulation sous la forme de bruit d'amplitude, de bruit phase et d'interférence intersymboles ainsi que d'autres dégradations de la modulation.

On procède à la mesure du rapport S/N à partir des données de la constellation après démodulation.

Il est possible, à partir de chaque nuage correspondant à un symbole dans la constellation, d'en extraire la distribution statistique. Après suppression des effets de la distorsion des quadratures, du déséquilibre de l'amplitude, du décalage d'origine, de la porteuse résiduelle, des distorsions non linéaires, de la gigue de phase ainsi que du brouilleur par ondes entretenues, on considère que le nuage restant est dû au bruit gaussien et qu'il constitue la base de calcul du rapport signal sur bruit.

Une fois toutes les erreurs susmentionnées supprimées, on considère que le taux d'erreur de modulation (MER) et le rapport signal sur bruit auront une valeur égale.

Le rapport S/N est défini par la formule suivante:

$$S/N = MER = 10 \lg_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} \quad (\text{dB})$$

5.1.11 Vecteur d'erreur cible (TEV)

Il est possible de définir le vecteur d'erreur cible (TEV), qui constitue une aide permettant de réduire les erreurs précédemment citées, comme suit:

Calculer la distance d_{ij} , pour chaque symbole i des points de symboles M dans un schéma de constellation, entre le point théorique de symboles et le point correspondant à la moyenne du nuage de ce point de symbole particulier. Cette grandeur \bar{d}_i est appelée le vecteur d'erreur cible (TEV). Elle est illustrée à la Figure 5-7.

$$d_{ij} = (\delta I_{ij}, \delta Q_{ij})$$

Etant donné que les échantillons N_i , en dehors des échantillons N obtenus, sont associés à chaque symbole de l'index "i".

Le vecteur d'erreur cible (TEC) est décrit par:

$$\bar{d}_i = \frac{1}{N_i} \times \sum_{k=1}^{k=N_i} d_{ij}$$

où k représente chaque échantillon "j" associé au symbole "i".

A partir de chaque vecteur "j" échantillonné dans le symbole "i" au centre du nuage de vecteurs, la différence est représentée comme suit:

$$(\Delta I_{ij}, \Delta Q_{ij}) = d - \bar{d}$$

pour chaque symbole "i" des symboles M de la constellation. On peut utiliser ces différences pour calculer la valeur efficace du bruit pour chaque symbole.

² Il est à noter que dans la formule donnée pour le MER (§ 5.1.9) l'indice "j" se situe entre 1 et N . Dans cette formule, "j" ne représente pas l'indice du symbole, mais celui de l'échantillon. Dans la mesure où tous les symboles sont inclus dans le calcul, il n'est pas nécessaire de les distinguer.

Il convient de spécifier pour le TEV un indice permettant de différencier les symboles, de sorte que l'indice "i" se situe entre 1 et M . L'association à chaque symbole "i" permet d'obtenir des échantillons N_i . N_i est typiquement différent pour chaque symbole, toutefois, il tend à devenir égal à mesure que N devient plus grand que M .

Le vecteur d'erreur cible (TEV) indique le niveau de distorsions telles que la porteuse résiduelle, le déséquilibre de l'amplitude, l'erreur due à la distorsion de l'onde en quadrature, les distorsions non linéaires, etc.

La Figure 5-7 indique le vecteur d'erreur cible (TEV) comme la moyenne de tous les vecteurs d_{ij} pour chaque symbole de la constellation.

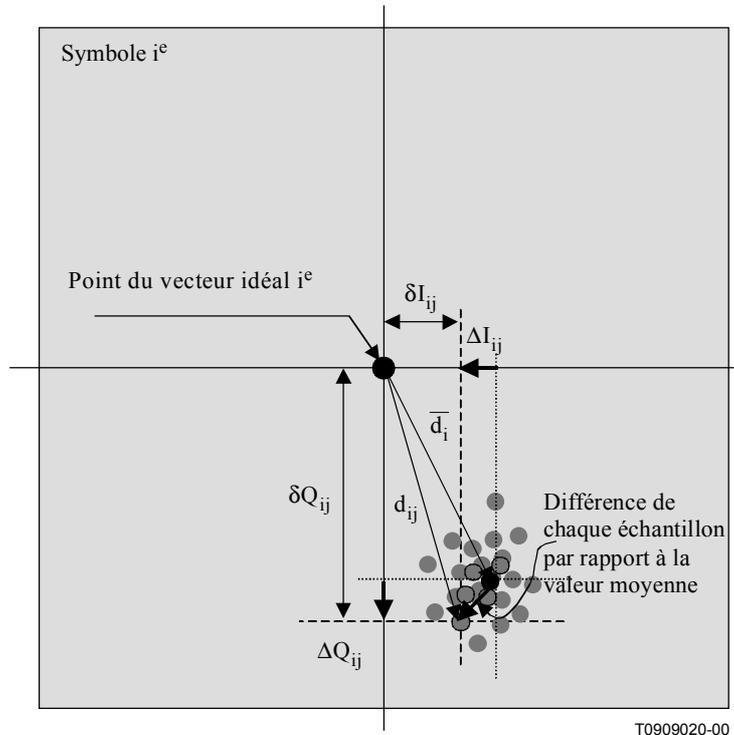


Figure 5-7/J.142 – Mesure du rapport signal sur bruit (S/N) à l'aide de la constellation

5.1.12 Gigue de phase radioélectrique

Cette méthode de mesure donne une indication des fluctuations de la phase ou de la fréquence d'un oscillateur utilisé dans l'équipement du système câblé de distribution (à savoir un convertisseur de fréquence). Le recours à un tel oscillateur à signaux modulés numériquement peut entraîner des inexactitudes d'échantillonnage dans le récepteur, en raison de l'incapacité de la régénération de la porteuse à suivre les fluctuations de phase.

La mesure est effectuée à la prise du système d'un réseau câblé de distribution, tandis que le signal modulé au format approprié est appliqué à l'entrée de la tête de ligne ou du réseau de distribution, en fonction de la partie du système à mesurer. La tête de ligne peut contenir des convertisseurs de modulation. Ces méthodes de mesure peuvent être appliquées dans des conditions hors service.

Le montage de mesure de gigue de phase est illustré à la Figure 5-5.

La procédure de mesure est la suivante:

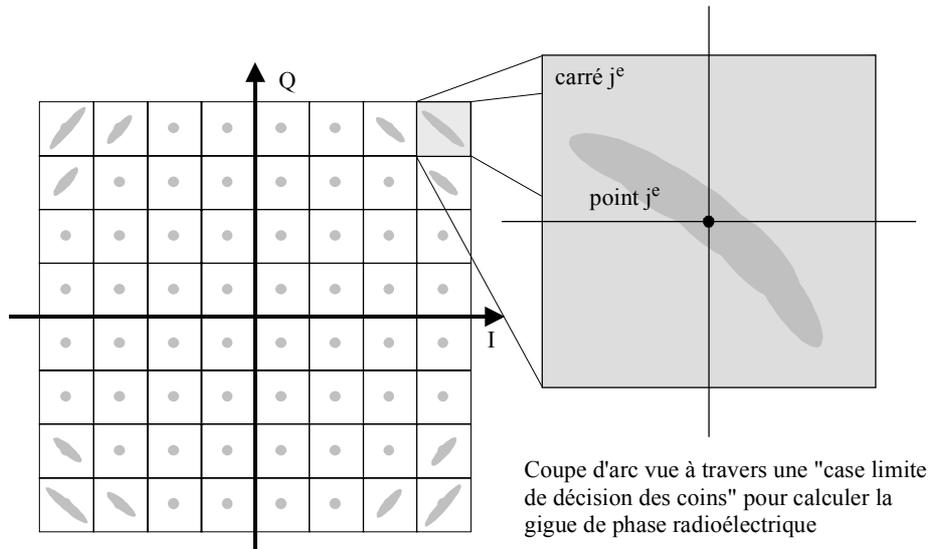
- établir le signal d'entrée afin d'obtenir le format de modulation, la fréquence du canal ainsi que le niveau du signal souhaités;
- sélectionner les conditions de fonctionnement appropriées de l'appareil de mesure.

Le rétablissement de la fréquence porteuse et du débit des symboles permet d'éliminer l'erreur de fréquence et la succession de phase mais non la gigue de phase. Le décalage d'origine (dû par exemple à une porteuse résiduelle ou un décalage du niveau continu), l'erreur provoquée par la distorsion de l'onde en quadrature et le déséquilibre de l'amplitude ne sont pas corrigés.

Un enregistrement temporel des paires de coordonnées des symboles N reçus ($I_j + \delta I_j, Q_j + \delta Q_j$) est saisi par l'analyseur de constellation. N doit être nettement plus grand que les points de symboles M.

On considère (I_j, Q_j) comme la paire de symboles idéale.

Les points de signal affectés par la gigue de phase sont disposés le long d'une ligne courbe traversant le centre de chaque case limite de décision comme illustré à la Figure 5-8 pour les quatre "cases limites de décision des coins".



T0909030-00

Figure 5-8/J.142 – Exemple de schéma de constellation pour un format de modulation QAM-64 représentant les "cases limites de décision des coins" pour la mesure de la gigue de phase radioélectrique

On peut calculer la gigue de phase en appliquant la procédure suivante. Pour chaque symbole reçu:

- Calculer l'angle entre l'axe I de la constellation et le vecteur par rapport au symbole reçu (I_{rcvd}, Q_{rcvd}):

$$\phi_1 = \arctan (Q_{rcvd}/I_{rcvd})$$

- Calculer l'angle entre l'axe I de la constellation et le vecteur par rapport au symbole idéal correspondant (I_{ideal}, Q_{ideal})

$$\phi_2 = \arctan (Q_{ideal}/I_{ideal})$$

- Calculer l'angle d'erreur:

$$\phi_E = \phi_1 - \phi_2^3$$

³ Pour effectuer cette mesure, il convient de s'assurer que la différence de phase se situe dans le domaine $[-\pi/2, \pi/2)$ en soustrayant ou en additionnant π si nécessaire.

A partir de ces angles d'erreurs N , calculer la gigue de phase efficace (PJ):

$$PJ = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \phi_{E_i}^2 - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{i=1}^N \phi_{E_i} \right)^2}$$

Avant de procéder à la mesure, vérifier le fonctionnement du modulateur en connectant le récepteur à l'analyseur de constellation à la sortie du générateur de signal modulé par la source numérique. Le schéma de la constellation présenté doit être consigné par écrit et considéré comme la position de référence pour la mesure.

La gigue de phase mesurée est exprimée en degrés.

5.1.13 Echos (masque pour un égaliseur de mesure)

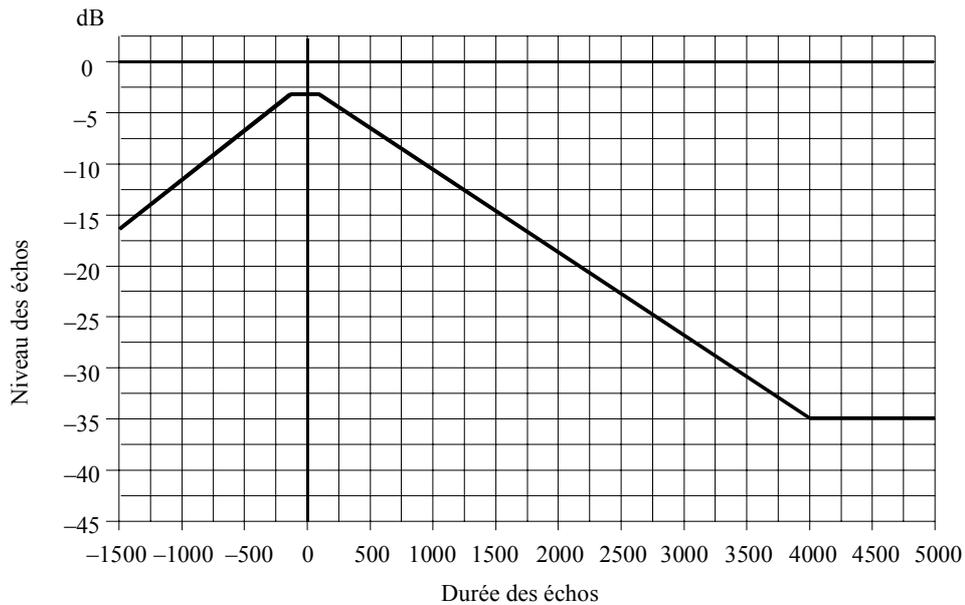
Cette procédure concerne des mesures faites pendant le service et utilise les capacités du filtre d'égalisation adaptatif intégré dans le récepteur de mesure.

Des modulations d'ordre élevé telles que les modulations QAM-64 sont très sensibles aux distorsions. L'ouverture de l'œil est si étroite que toute perturbation peut sérieusement gêner la réception du signal. A mesure que le facteur d'arrondi s'affaiblit, le problème s'accroît. Dans un réseau réel, si le récepteur ne subit aucun traitement particulier, les yeux apparaissent complètement fermés, rendant impossible toute synchronisation. Pour surmonter cette difficulté, tous les récepteurs câblés, qu'ils soient professionnels ou non, sont équipés d'égaliseurs.

Parmi les dégradations les plus courantes sur les réseaux câblés, certaines sont des échos dus à une non-adaptation des impédances de l'équipement ou à des effets de filtration. Ces dégradations se manifestent par des perturbations de la réponse de fréquence (ou réponse impulsionnelle) du canal. Elles sont corrigées par l'égaliseur qui se présente sous la forme d'un filtre adaptateur. Les égaliseurs sont très efficaces contre les distorsions linéaires, mais restent inefficaces contre les distorsions non linéaires. Ils s'attaquent aux interférences de fréquences fixes, équivalentes aux produits d'intermodulation des signaux de télévision analogiques. Les égaliseurs jouent un rôle important sur les systèmes d'horloge ou de récupération de porteuse, puisque ceux-ci peuvent utiliser les signaux égalisés. Par conséquent, le comportement global du récepteur dépend du fonctionnement de l'égaliseur.

La plupart des mesures spécifiées dans la présente Recommandation sont effectuées après égalisation. La raison première est que le signal est trop endommagé avant l'égalisation pour pouvoir obtenir des résultats de mesure qui soient significatifs. En outre, dans la mesure où la plus grande partie de la distorsion à ce point serait éliminée dans tout récepteur pratique, ces mesures peuvent ne pas se révéler utiles. Par conséquent, les résultats des mesures dépendent de la réponse de l'égaliseur. Cela signifie également que les équipements avec différentes architectures d'égaliseur auront des caractéristiques de fonctionnement différentes. Une telle situation n'est pas acceptable du point de vue des mesures, ce qui a conduit à une spécification de l'égaliseur.

La Figure 5-9 représente un masque pratique pour les systèmes de télévision par câble numérique.



T0909040-00

Figure 5-9/J.142 – Spécification du masque pour l'égaliseur de mesures

La spécification d'un égaliseur est une tâche difficile, étant donné qu'il existe un grand nombre de types d'égaliseur, du fait de la gamme des algorithmes pour la mise à jour des coefficients, et des différentes architectures de filtre (basées sur le temps et sur les fréquences récursives ou non récursives). En outre, il convient qu'aucune spécification actuelle ne limite le fonctionnement des équipements futurs. Une solution pratique consiste à spécifier le fonctionnement global du récepteur concernant une perturbation typiquement corrigée par l'égaliseur, les échos plus particulièrement.

La spécification doit être définie de sorte que la perturbation de référence n'affecte pas les mesures. Le niveau minimum de perturbation à corriger par l'égaliseur est alors défini. Une solution consiste à établir le niveau minimum d'un écho incapable de diminuer la dégradation équivalente du bruit du signal entrant de plus de 1 dB. On procède à cette mesure dans le cas le plus défavorable de déphasage de l'écho.

Dans certains cas, lorsqu'on analyse les réponses aux signaux du réseau fournies par le récepteur d'un consommateur individuel, il convient de disposer d'un égaliseur dans l'appareil de mesure dont le fonctionnement est proche de celui du récepteur du consommateur individuel.

L'écho est défini par le rapport des niveaux de signal désiré et non désiré (D/U , *desired/undesired signal level ratio*) en fonction du retard temporel entre les signaux à l'aller et en retour. La Figure 5-10 présente le dispositif. Les résultats seront donnés sous la forme d'un diagramme indiquant le rapport D/U en abscisse et le retard temporel en ordonnées.

La procédure de mesure est la suivante:

NOTE – Cette procédure s'applique dans des conditions hors service et utilise un analyseur réseau.

- Montage des équipements de mesure conformément à la Figure 5-10.
- Etablissement du canal et de l'équipement de mesure de caractéristiques de transmission (TCME, *transmission characteristic measuring equipment*) en sortie.
- Etablissement du signal d'entrée de l'équipement TCME.
- Confirmation du fait que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont adéquats.

Mesure du temps de retard de groupe et du rapport D/U afin de relever les caractéristiques d'écho.

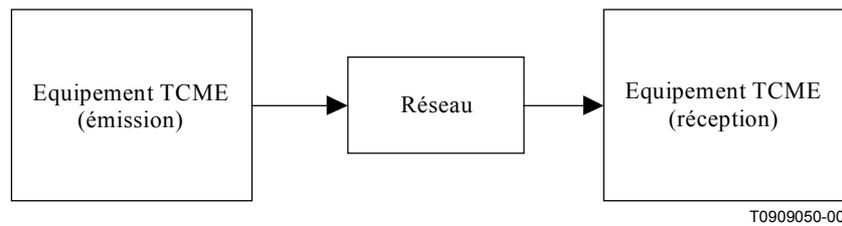


Figure 5-10/J.142 – Dispositif d'essais pour les mesures d'écho

La Figure 5-11 présente un exemple de mesures d'écho:

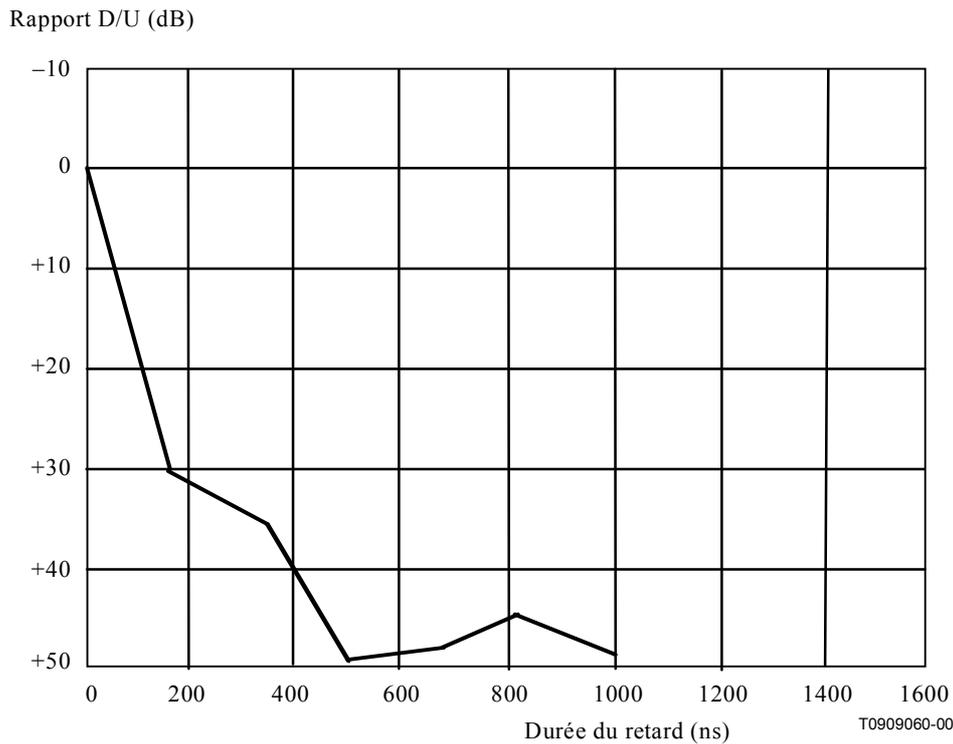


Figure 5-11/J.142 – Exemple de mesures d'écho

ANNEXE A

Mesure de bout en bout de signaux de télévision avec multiplexage OFDM

On peut souhaiter, dans certains cas, une distribution par câble sans nouvelle modulation des signaux reçus au niveau de la tête de réseau du système. Ceci peut être le cas pour des systèmes MATV ainsi que pour certains systèmes de télévision satellite par câble, pour lesquels le coût d'installation d'un modulateur supplémentaire au niveau de la tête de réseau ne paraît pas justifié. Dans de tels cas et dans des régions où la télévision numérique de Terre utilise le multiplexage OFDM, il peut être nécessaire de véhiculer des signaux OFDM sur le réseau de distribution CATV. La présente annexe fournit des méthodes de mesure pour des signaux de télévision OFDM pouvant être véhiculés par de tels systèmes.

A.1 Mesure de bout en bout de signaux de télévision OFDM

Ce paragraphe spécifie la mesure de paramètres des signaux de télévision OFDM. Tous les éléments de mesure seront mis en mode "décodage R-S hors service".

A.1.1 Isolation entre les sorties du système

L'isolation sera mesurée en général entre les points suivants:

- sorties du système connectées à des connexions d'abonnés adjacents;
- sorties du système connectées à une même connexion d'abonnés multiples;
- sorties du système sur des boucles adjacentes.

La méthode de mesure fait appel à un générateur de balayage comme dans le cas de signaux analogiques.

A.1.2 Niveau du signal

Le multiplexage OFDM est un système avec porteuses multiples modulées de manière indépendante. La forme d'onde du signal reçu est voisine d'un bruit blanc. Il est de ce fait nécessaire, lorsque le niveau du signal est mesuré avec un analyseur de spectre, de choisir soigneusement la résolution de largeur de bande de ce dernier. La Figure A.1 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure A.1;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit au sein du modulateur OFDM;
- établir le niveau de signal et la fréquence du convertisseur amont;
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects;
- mesurer le niveau du signal OFDM au moyen de l'analyseur de spectre et de l'appareil de mesure de puissance.

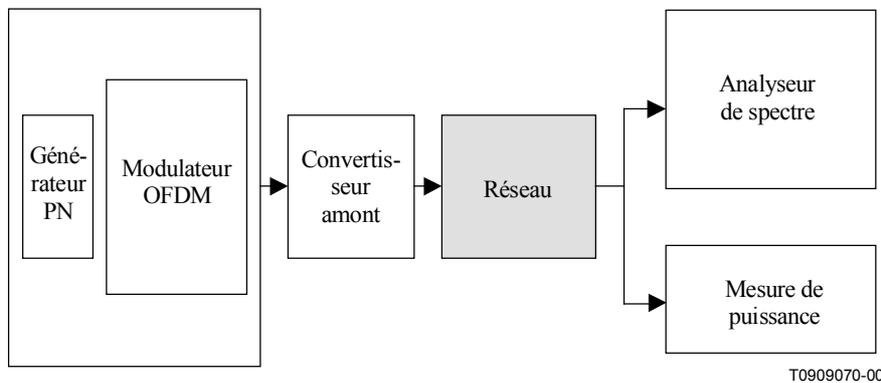


Figure A.1/J.142 – Mesure du niveau de signal

A.1.3 Largeur de bande de la porteuse

Le système OFDM nécessite des porteuses multiples, des intervalles réduits entre porteuses et une longueur effective de symbole élevée afin d'augmenter ses capacités. Il est nécessaire de choisir soigneusement pour cette mesure la résolution de largeur de bande et la largeur de bande du signal vidéo. La Figure A.2 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure A.2;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit au sein du modulateur OFDM;
- établir le niveau de signal et la fréquence du convertisseur amont;
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects;
- mesurer la largeur de bande de porteuse OFDM au moyen de l'analyseur de spectre.

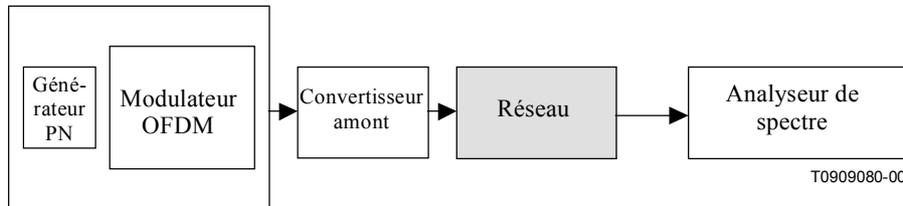


Figure A.2/J.142 – Mesure de la largeur de bande de porteuse

A.1.4 Limite de synchronisation du rapport C/N

Les deux symboles (I et Q) d'une même information doivent être orthogonaux dans les signaux OFDM transmis. La synchronisation entre les données et l'horloge doit être assurée de manière continue au cours du processus de réception.

Ce paragraphe décrit les mesures de la limite de synchronisation en fonction du rapport C/N lorsque le générateur de bruit gaussien est chargé pour les signaux OFDM. La Figure A.3 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure A.3;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit au sein du modulateur OFDM;
- établir le niveau de signal et la fréquence des convertisseurs amont et aval;
- connecter un oscilloscope au circuit de synchronisation du récepteur OFDM;
- positionner le niveau du signal d'entrée et la largeur de bande de l'équipement d'essais d'interférence de bruit (NITE, *noise interference test equipment*);
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects;
- mesurer le point de perte de synchronisation comme limite de synchronisation en faisant varier le rapport C/N.

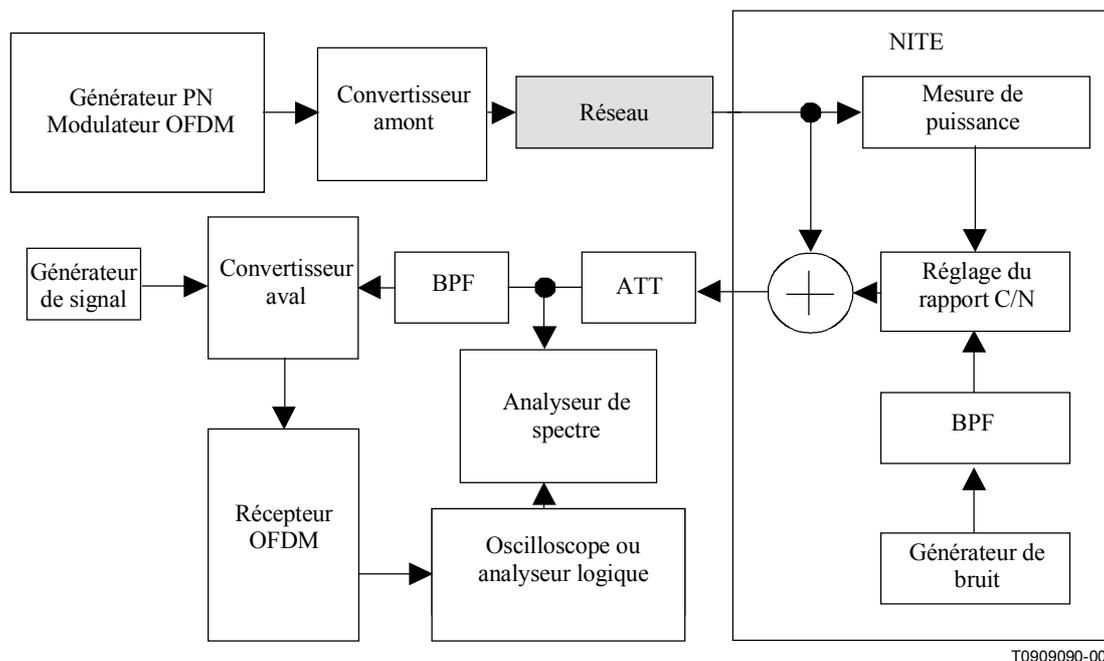


Figure A.3/J.142 – Mesure de la limite de synchronisation du rapport C/N

A.1.5 Rapport C/N en fonction du taux BER

Ce paragraphe décrit les mesures du taux d'erreur de bit en fonction du rapport C/N lorsque le générateur de bruit gaussien est chargé pour les signaux OFDM. La Figure A.4 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure A.4;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit au sein du modulateur OFDM;
- établir le niveau de signal et la fréquence des convertisseurs amont et aval;
- positionner le niveau du signal d'entrée et la largeur de bande de l'équipement d'essais d'interférence de bruit;
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects;
- mesurer le taux BER en faisant varier le rapport C/N. Le domaine mesuré pour le taux BER se situera entre 10^{-1} et 10^{-8} .

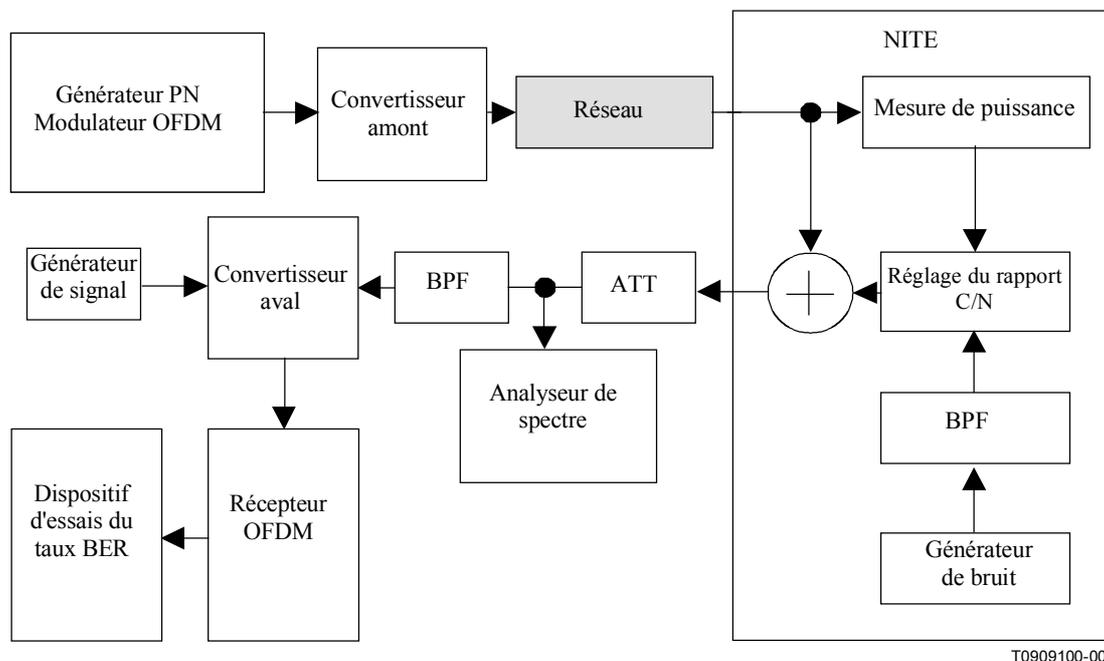


Figure A.4/J.142 – Rapport C/N en fonction du taux BER

A.2 Mesure du taux BER de signaux de télévision OFDM

Une dégradation des performances du taux BER peut se manifester dans la transmission OFDM si le système de transmission possède des caractéristiques non linéaires. Les paramètres liés à la non linéarité du système de transmission doivent être mesurés avec soin pour cette raison. Tous les éléments de mesure seront mis en mode "décodage R-S hors service".

A.2.1 Taux BER en fonction de l'intermodulation

Plusieurs types de distorsions, principalement harmoniques, présentes sur la ligne de transmission, peuvent dégrader les performances du multiplexage OFDM. Ce paragraphe décrit les mesures du taux BER en fonction du produit composite à triple battement (CTB), du produit composite de second ordre (CSO) et de la transmodulation (XM). La Figure A.5 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure A.5;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit au sein du modulateur OFDM;
- établir le niveau de signal et la fréquence des convertisseurs amont et aval;
- positionner les niveaux de bruit en entrée et en sortie, le profil et la période de mesure de l'équipement de mesure du taux BER;
- positionner la fréquence et le niveau du générateur de signal à canaux multiples;
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects;
- mesurer les distorsions harmoniques à la sortie du générateur de signal avec harmoniques;
- mesurer le taux BER en faisant varier le niveau des harmoniques. Le domaine mesuré pour le taux BER se situera entre 10^{-1} et 10^{-8} .

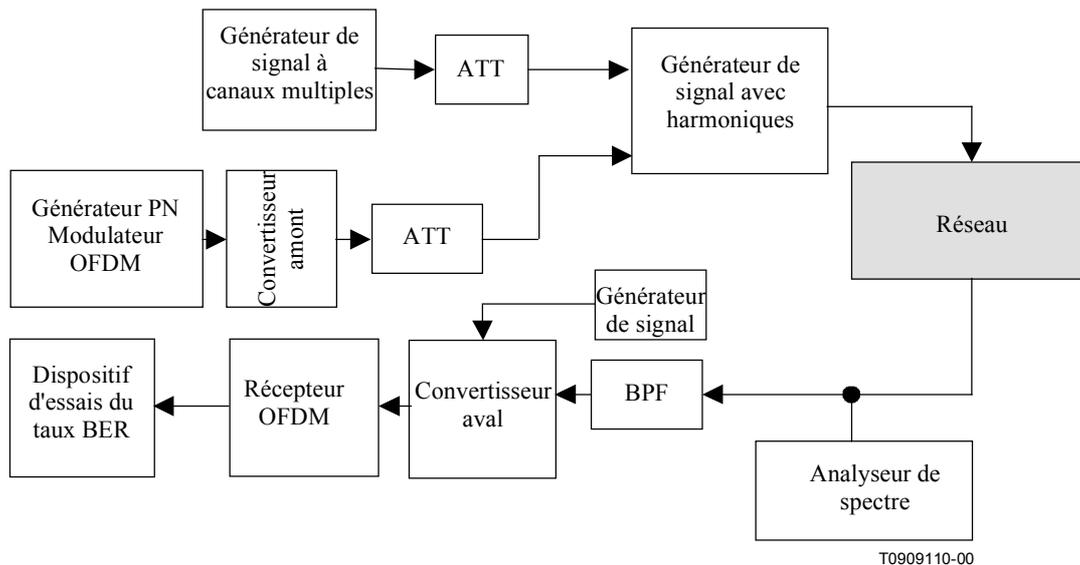


Figure A.5/J.142 – Mesure du taux BER en fonction de l'intermodulation

A.2.2 Taux BER en fonction des échos

Ce paragraphe décrit les mesures du taux BER en fonction des échos. La Figure A.6 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure A.6;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit au sein du modulateur OFDM;
- établir le niveau de signal et la fréquence des convertisseurs amont et aval;
- positionner les niveaux de bruit en entrée et en sortie, le profil et la période de mesure de l'équipement de mesure du taux BER;
- positionner les niveaux de signal d'entrée et de sortie ainsi que les paramètres d'écho du simulateur d'itinéraires multiples;
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects;
- mesurer le taux BER en faisant varier les paramètres d'écho. Le domaine mesuré pour le taux BER se situera entre 10^{-1} et 10^{-8} . Calculer le rapport D/U lorsque le taux BER devient égal à 2×10^{-4} .

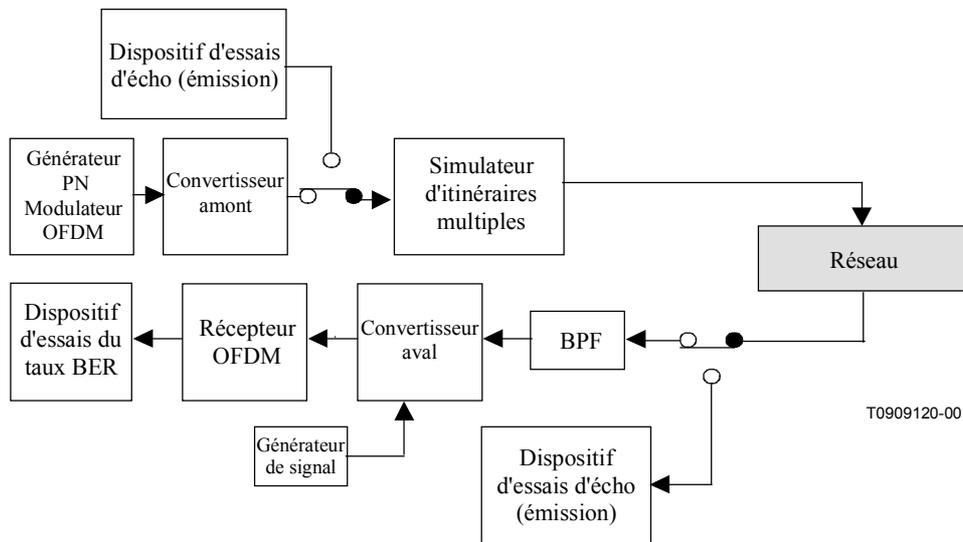


Figure A.6/J.142 – Mesure du taux BER en fonction des échos

A.2.3 Taux BER en fonction de la modulation de ronflement

Ce paragraphe décrit les mesures du taux BER en fonction de la modulation de ronflement. La Figure A.7 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure A.7;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit au sein du modulateur OFDM;
- établir le niveau de signal et la fréquence des convertisseurs amont et aval;
- positionner les niveaux de bruit en entrée et en sortie, le profil et la période de mesure de l'équipement de mesure du taux BER;
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects;
- mesurer le taux BER en faisant varier le niveau de la modulation de ronflement de l'amplificateur. Le domaine mesuré pour le taux BER se situera entre 10^{-1} et 10^{-8} .

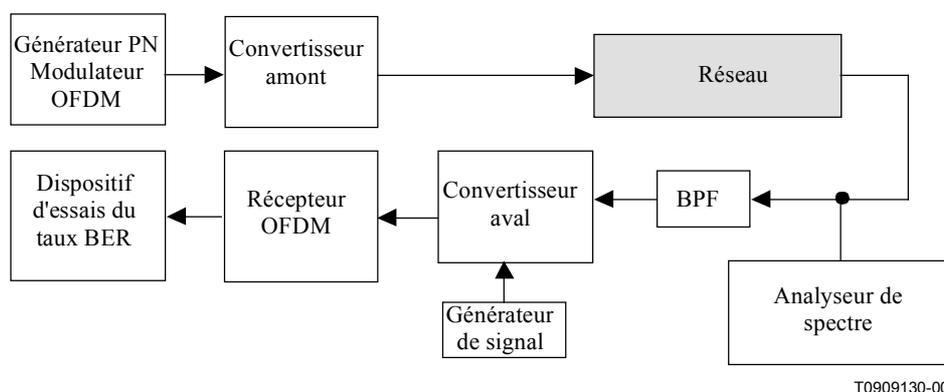


Figure A.7/J.142 – Mesure du taux BER en fonction de la modulation de ronflement

A.2.4 Taux BER en fonction de la gigue de phase

Ce paragraphe décrit les mesures du taux BER en fonction de la gigue de phase. La Figure A.8 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure A.8;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit au sein du modulateur OFDM;
- établir le niveau de signal et la fréquence des convertisseurs amont et aval;
- positionner les niveaux de bruit en entrée et en sortie, le profil et la période de mesure de l'équipement de mesure du taux BER;
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects;
- mesurer le taux BER en faisant varier le bruit de phase appliqué à partir du générateur de bruit de phase connecté au moyen du convertisseur aval. Le domaine mesuré pour le taux BER se situera entre 10^{-1} et 10^{-8} .

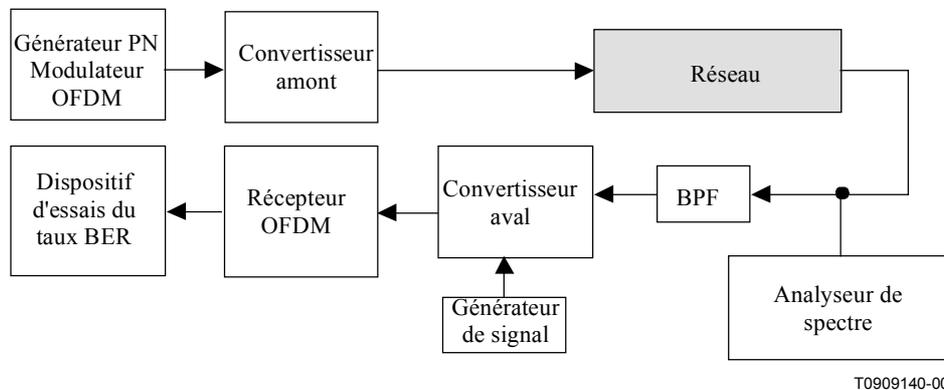


Figure A.8/J.142 – Mesure du taux BER en fonction de la gigue de phase

APPENDICE I

Notes pour les mesures

I.1 Unités de mesure radioélectrique

Les mesures du niveau de la porteuse utilisées par le système de télévision par câble pour les porteuses analogiques (un environnement de 75Ω) sont généralement exprimées en dBmV ou dB μ V.

Pour faciliter la comparaison avec les porteuses analogiques, il est possible de convertir la puissance moyenne mesurée sur les porteuses numériques de dBm en dBmV, en ajoutant 48,75 dB à la valeur mesurée, ou de dBm en dB μ V en ajoutant 108,75 dB.

NOTE – La mesure en dBmV ou dB μ V équivaldrait au niveau d'une porteuse sinusoïdale non modulée équivalente ayant une puissance identique à la valeur mesurée en dBm dans un système 75Ω .

I.2 Précautions à prendre lors de la mesure de la puissance du signal radioélectrique

Il convient que l'opérateur ou le technicien chargé de mesurer la puissance tienne compte de plusieurs faits relatifs aux systèmes de télévision par câble et aux instruments de mesure utilisés.

I.2.1 Mesures effectuées à l'aide d'un enregistreur de puissance

Un enregistreur de puissance est un instrument doté d'une précision et d'une résolution absolues très élevées. Toutefois, il mesure la puissance totale présente à l'entrée. Afin de mesurer la puissance de bruit radioélectrique d'un signal modulé numériquement, il est nécessaire de sélectionner la mesure de la puissance à l'intérieur de la largeur de bande nominale du canal. Il convient de ne pas mesurer toute puissance hors du canal, ou il est recommandé que ladite puissance soit très faible par rapport à la puissance présente dans le canal.

Lors de la mesure de la puissance d'un seul canal, à un point du réseau où seul ledit canal est présent (par exemple avant le multiplexeur dans une tête de ligne), les facteurs les plus importants à éviter sont les suivants:

- les harmoniques du signal proprement dit qui peuvent être filtrées à l'aide d'un filtre approprié;
- fuite vers le canal adjacent. La fuite reste difficile à filtrer. Il est toutefois possible de détecter les erreurs commises en raison de cette fuite lors de la mesure. Si la puissance de fuite est inférieure de plus de 20 dB à la puissance totale, on peut estimer que l'erreur de mesure ne dépasse pas 0,044 dB. Si la différence est de 10 dB, l'erreur est d'environ 0,46 dB (des différences inférieures à 10 dB provoquent par conséquent de plus grandes erreurs);
- d'autres signaux parasites émis par des oscillateurs, etc. Les critères indiqués dans les deux cas précités (à savoir dépendance vis-à-vis de l'excursion de fréquence par rapport au canal et du niveau de puissance désigné comme la puissance utile du canal) peuvent s'appliquer;
- bruit du canal proprement dit. On ne peut l'éviter, mais en général, il reste très faible par rapport à la puissance utile.

Il est presque impossible de procéder à des mesures en présence de canaux adjacents (par exemple après le multiplexeur de la tête de ligne) en raison du nombre de filtres nécessaires, un par canal, mais également en raison de la complexité de chaque filtre qui doit être plat à l'intérieur du canal soumis à la mesure, et avoir un affaiblissement élevé pour tous les autres canaux susceptibles d'être présents.

I.2.2 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre

L'analyseur de spectre est un instrument doté d'une sélectivité élevée, de telle sorte qu'il peut mesurer des largeurs de bande de fréquence très étroites. Sa précision absolue est généralement spécifiée par l'ensemble de la gamme de fréquences opérationnelle allant de quelques kHz à quelques GHz et par une plage de températures relativement large d'environ 50° C. Les spécifications typiques pour la précision de l'amplitude sont comprises entre ± 1 dB et ± 2 dB.

L'analyseur de spectre peut être étalonné dans des conditions contrôlées pour une largeur de bande et une température restreintes, permettant ainsi une précision absolue de l'ordre de 0,3 à 0,1 dB. La répétabilité et la résolution se situent également dans la même marge étroite.

Lors de la mesure de la puissance d'un seul canal, à un point du réseau où seul ledit canal est présent (par exemple avant le multiplexeur d'une tête de ligne), l'analyseur de spectre ne rencontre pas les problèmes mentionnés précédemment pour la mesure effectuée avec l'enregistreur de puissance. Il convient toutefois de noter que ni un analyseur de spectre, ni un enregistreur de puissance ne peuvent éviter les signaux parasites émis à l'intérieur du canal proprement dit.

La mesure effectuée en présence de canaux adjacents (par exemple après le multiplexeur de la tête de la ligne ou à n'importe quel point du réseau de distribution jusqu'au branchement de l'utilisateur) est directe pour l'analyseur de spectre. Cela tient à la sélectivité élevée des filtres étroits disposant de facteurs de forme corrects (dans la pratique, facteurs aussi faibles que le rapport 5:1). Cette largeur de bande de mesure étroite signifie également que la sensibilité est généralement très élevée, comparée aux instruments à large bande. Il convient de préciser une fois encore que, comme cela a été indiqué pour les mesures de canaux simples, le bruit, les produits d'interférence ou

d'intermodulation à l'intérieur de la largeur de bande nominale du canal proprement ne peuvent être évités et seront consignés comme partie intégrante de la puissance utile dudit canal. Néanmoins, si toutes ces sources de puissance parasites sont inférieures de plus de 15 dB à la puissance de signal radioélectrique du canal, le résultat total obtenu ne sera pas trop imprécis.

I.3 Précautions à prendre lors de la mesure de la puissance de bruit radioélectrique

Il est en général difficile de mesurer le bruit, notamment lorsque celui-ci est faible et comparable au bruit interne de l'instrument de mesure.

I.3.1 Mesures effectuées à l'aide d'un enregistreur de puissance

Lors de la mesure du bruit à la sortie d'un canal simple, à un point du réseau où seul ledit canal est présent (par exemple avant le multiplexeur dans une tête de ligne), les facteurs les plus importants à prendre en considération sont les suivants:

- hormis l'étage radioélectrique du canal, la modulation et la porteuse doivent être mises hors tension;
- le signal doit être filtré à l'aide d'un filtre de la même fréquence centrale et de la même largeur de bande de bruit équivalente à la largeur de bande nominale du canal soumis à l'essai.

NOTE – Il n'est pas nécessaire que le filtre soit aussi plat et sélectif que celui requis pour la mesure après le multiplexeur de la tête de ligne;

- si le bruit mesuré est proche en valeur du plancher de bruit de l'enregistreur de puissance, il convient alors d'appliquer les facteurs de correction. (Voir ci-dessous, les corrections de proximité de bruit;)
- il est presque impossible de procéder à des mesures en présence de canaux adjacents (par exemple après le multiplexeur de la tête de ligne), en raison du nombre de filtres nécessaires, un par canal, mais également en raison de la complexité de chaque filtre qui doit être plat à l'intérieur du canal soumis à la mesure, et avoir un affaiblissement élevé pour tous les autres canaux susceptibles d'être présents.

I.3.2 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre

En raison de sa sélectivité élevée, l'analyseur de spectre peut aisément effectuer des mesures à la fois dans des applications à canaux simples et à canaux multiples.

Lors de la mesure du bruit d'un canal, il est nécessaire de tenir compte des considérations suivantes:

- hormis l'étage radioélectrique du canal, la modulation et la porteuse doivent être mises hors tension;
- alternativement, si le bruit du système de distribution doit être mesuré, l'étage radioélectrique du canal doit également être désactivé;
- si le bruit mesuré est proche en valeur du plancher de bruit de l'enregistreur de puissance, il convient alors d'appliquer les facteurs de correction. (Voir ci-dessous, les corrections de proximité de bruit.)

I.4 Corrections de proximité de bruit

Le plancher de bruit de l'instrument de mesure peut être mesuré en reliant à son entrée une charge résistive dont la valeur est égale à l'impédance de son entrée (dans les applications de télévision par câble, cette valeur est en général de 75 Ω).

Lorsqu'un signal de bruit extérieur de puissance égale à celle du plancher de bruit intérieur est appliqué à l'entrée de l'instrument, l'empreinte de l'analyseur de spectre, ou la lecture d'un quelconque instrument, augmente de 3 dB. Ainsi, la valeur du bruit appliqué équivaut à la lecture moins le terme de correction, ce qui dépend du niveau d'augmentation de la lecture. Dans l'exemple susmentionné, le terme de correction est de 3 dB.

Si la différence entre la lecture au niveau du plancher de bruit et la valeur de mesure réelle est appelée "D" exprimée en dB, le terme de correction peut être calculé par la formule suivante:

$$\text{Correction}_{\text{dB}} = -D + 10 \log [10^{(D/10)} - 1]$$

Le Tableau I.1 donne le terme de correction pour certaines valeurs de D:

Tableau I.1/J.142 – Termes de correction pour certaines valeurs de D

D_{dB}	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Terme de correction	-16,43	-13,47	-11,76	-10,56	-9,64	-8,89	-8,27	-7,74	-7,28	-6,87
D_{dB}	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Terme de correction	-5,35	-4,33	-3,01	-2,20	-1,65	-1,26	-0,97	-0,75	-0,58	-0,46
D_{dB}	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Terme de correction	-0,359	-0,283	-0,223	-0,176	-0,140	-0,110	-0,080	-0,069	-0,055	-0,044

Plusieurs analyseurs de spectre actuellement disponibles introduisent ce terme de correction dépendant automatiquement de la valeur de la mesure du bruit par rapport au plancher de bruit approprié. Afin de garantir la fiabilité de la mesure, certains instruments introduisent des corrections jusqu'à une valeur de D égale à 2 dB; mais non lorsque ladite valeur est inférieure, du fait de l'incertitude due à un facteur de correction trop grand.

Pour exemple, si le résultat de la mesure du plancher de bruit est de -160 dB/Hz et le bruit mesuré à l'intérieur d'un réseau est de -156 dB/Hz, l'augmentation est de 4 dB et la correction qui en résulte est de -2,2 dB. Ce qui entraîne une valeur corrigée pour le bruit extérieur de -158,2 dB/Hz.

I.5 Approximation des mesures pour la puissance moyenne et le rapport porteur sur bruit

Le spectre d'un signal modulé numériquement est semblable à celui du bruit, si bien que la mesure de la puissance peut être calculée en utilisant la densité de puissance appliquée à la largeur de bande totale du canal.

En général, le spectre est plat sur la majeure partie du canal.

Lorsque l'analyseur de spectre ne peut intégrer toute la puissance sur la largeur de bande du canal, on peut obtenir une mesure approximative de la puissance totale.

La méthode expliquée ci-dessous est valable à la fois pour la puissance porteur et la puissance de bruit à l'intérieur du canal.

Il convient, si nécessaire, d'ajouter les corrections de proximité du bruit.

En raison des hypothèses formulées, les valeurs obtenues avec la méthode indiquée ci-dessous sont approximatives, et il convient de ne jamais les utiliser pour la réception des systèmes, sauf accord des deux parties sur la méthodologie.

I.5.1 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre ne disposant pas de la capacité de mesure de la densité spectrale

La mesure est effectuée à un point proche du centre du spectre, en utilisant une largeur de bande de résolution au moins 10 fois plus étroite que la largeur de bande du canal. Cette méthode implique que le niveau à l'intérieur du canal équivaut au bruit à répartition uniforme dont le niveau est égal à celui du point mesuré.

Il convient d'accorder une attention toute particulière à la réponse en amplitude du spectre de bruit à l'intérieur du canal. S'il ne s'agit pas d'un spectre plat, il convient de veiller à ne pas effectuer les mesures aux points minimum ou maximum.

Calculer la puissance porteuse par la formule suivante:

$$C = C_N + 10 \log_{10} (BW/RBW) - k + 2,5 \text{ dB}$$

où:

C est la puissance porteuse moyenne dans les mêmes unités que C_N .

C_N est le niveau porteur en dB μ V, dBmV ou dBm, tel que mesuré au point de mesure sélectionné (mesuré comme s'il y avait du bruit).

BW est la largeur du canal.

RBW est la largeur de bande de résolution de l'analyseur de spectre (dans les mêmes unités que CBW).

k est le facteur de correction pour la forme du filtre de l'analyseur de spectre.

Le terme 2,5 dB représente la correction de 1,05 dB pour la détection à enveloppe à bande étroite plus une correction de 1,45 dB pour l'amplification logarithmique de l'analyseur de spectre.

Le facteur de correction (k) dépend de l'appareil de mesure utilisé; il convient par ailleurs que le fabricant le fournisse ou qu'il soit obtenu par étalonnage. La valeur du facteur de correction k pour un analyseur de spectre type est d'environ 1,2 dB lorsque la largeur de bande de résolution est définie au niveau -6 dB. Aucun facteur de correction k n'est utilisé lorsque le facteur de résolution est défini à -3 dB.

I.5.2 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre disposant de la capacité de mesure de la densité spectrale

Les facteurs de correction ne sont pas nécessaires si l'appareil de mesure peut être réglé pour afficher le niveau de bruit en unités dBm/Hz. Dans ce cas, C peut être obtenu à partir de la formule suivante:

$$C = C_N + 10 \log_{10} (BW)$$

où:

C est la puissance porteuse moyenne dans les mêmes unités que C_N .

C_N est le niveau porteur normalisé en dB μ V/Hz, dBmV/Hz ou en dBm/Hz.

BW est la largeur de bande du canal en Hz.

I.5.3 Mesures effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre disposant de la capacité de mesure de la densité spectrale avec normalisation à toutes les largeurs de bande

Certains analyseurs de spectre existants permettent une normalisation directe de la mesure à toute valeur de largeur de bande. La valeur de normalisation est établie par rapport à la largeur de bande nominale du canal. La mesure s'effectue directement en plaçant le marqueur de mesure sur le point concerné dans le spectre du canal.

Il est à noter que dans tous ces cas, le point de mesure est sélectionné à un point proche du centre du spectre à caractère de bruit. Le résultat n'est qu'une approximation due à l'hypothèse avancée d'un spectre plat à travers la bande du canal.

I.5.4 Mesures en service du rapport porteuse sur bruit

Lorsque des mesures en service se révèlent nécessaires, on peut obtenir une évaluation du rapport porteuse sur bruit par approximation.

En partant du principe que la puissance peut être représentée par le niveau mesuré au centre du canal à l'aide d'un analyseur de spectre et d'un marqueur, une seconde approximation est possible, en admettant que le bruit dans la discontinuité entre les canaux est représentatif du bruit à l'intérieur du canal (cela implique l'hypothèse selon laquelle le plancher de bruit est plat le long du canal et de son environnement).

En se fondant sur les hypothèses susmentionnées, il est possible de placer un des marqueurs au centre supérieur du canal soumis à la mesure, ainsi qu'un second marqueur à la valeur minimale dans l'encoche située entre le canal mesuré et le canal supérieur ou inférieur adjacent. La différence entre les marqueurs représente la valeur approximative du rapport porteuse sur bruit.

En raison des hypothèses énoncées, les valeurs obtenues de cette façon sont approximatives et il convient de ne jamais les appliquer pour la réception des systèmes.

I.6 Autres procédures de mesure des puissances moyennes

D'autres instruments de mesure de la puissance moyenne à l'intérieur de la largeur de bande du canal soumis à l'essai sont valables tant que le résultat ne dépend pas de la forme du spectre de la puissance du signal mesuré. Ces instruments peuvent être étalonnés par rapport à un enregistreur de puissance.

De tels instruments utilisent un filtre passe-bande avec la largeur de bande nominale du canal et calculent la valeur efficace de la tension afin de calculer la puissance moyenne du canal.

I.7 Mesures du taux BER avant le décodeur FEC (débits brut et net)

Lorsqu'elles sont aléatoires, les erreurs peuvent être uniformément réparties sur les 188 octets nets par paquet d'information, ainsi que sur les 16 octets d'information FEC R-S. En tenant compte de ce qui précède, les taux brut et net seront égaux.

Si la séquence PRBS n'est cependant contenue que dans la capacité utile des paquets de flux TS, et si cette capacité (184 octets, après actualisation de l'en-tête) est la seule prise en considération pour le comptage des bits erronés reçus, et si lesdites séquence et capacité sont liées aux 204 octets totaux par paquet reçu pour calculer le taux BER brut, le taux BER net pour un système numérique de télévision par câble peut alors être calculé en multipliant le taux BER brut par le rapport entre les octets totaux reçus et les octets de capacité utile, ce qui correspond à 204/184 ou 1,108. Si elle est exprimée en dB, cette valeur équivaut à 0,448 dB.

(Le taux BER pour les erreurs comptées sur 184 octets de capacité utile contenus dans 204 octets reçus doit être multiplié par un facteur de correction de 204/184 pour être égal au BER pour les erreurs comptées sur 184 octets de capacité utile contenus dans 184 octets reçus.)

S'agissant de la réception par satellite, comprenant la correction FEC convolutive supplémentaire, le débit binaire net peut se calculer en le multipliant par le rapport de code FEC utilisé lors de la transmission. Le rapport de code FEC peut être de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 ou 7/8.

Pour le codage concaténé, tel que décrit dans l'Annexe B/J.83, le débit binaire net peut être calculé en le multipliant par le débit total de code concaténé FEC comprenant les en-têtes de verrouillage de trame par synchronisation. La définition de la correction d'erreur directe (FEC) se compose d'un code complet extérieur concaténé et d'un code en treillis intérieur. On utilise un code complet

Reed-Solomon (R-S) avec verrouillage de trame, entrelacement et brassage, suivi d'une modulation codée en treillis (TCM) avec un précodage différentiel et un codage convolutif binaire poinçonné. Cette définition du codage concaténé FEC produit un débit de codage global déterminé par les étapes de codage individuelles qui étendent les contenus des symboles du canal QAM au-delà de l'information d'utilisateur d'entrée. Le débit de codage global qui relie la rapidité de modulation QAM du canal au débit binaire d'informations d'entrée se calcule à partir des éléments suivants.

Le code complet extérieur se compose d'un code complet R-S. En général, un code R-S est défini sur un champ fini GF (2^m) qui porte les symboles d'information K dans un mot de code symbole N, où N est supérieur à K et chaque symbole est constitué de bits m. Le rapport entre le débit d'informations d'entrée et le débit codé de sortie est défini comme le débit de code, inférieur ou égal à un. Ainsi, la redondance supplémentaire des symboles du syndrome N-K entraîne une perte de débit par le code R-S, défini comme le débit de code R-S R_{RS} donné par:

$$R_{RS} = \frac{K}{N}$$

Les mots de code R-S sont ensuite entrelacés et établis de manière aléatoire: il s'agit d'opérations qui ne peuvent être répétées (taux égal à un). Ces mots de code R-S entrelacés et aléatoires sont groupés en blocs de mots de code L afin de former une trame FEC. Une séquence de synchronisation de trame de bits s est attribuée à chaque trame de mot de code L. Ce mot supplémentaire de synchronisation de bit s entraîne une perte de débit de trame R_{Trame} donnée par:

$$R_{Trame} = \frac{[L \cdot N \cdot m]}{[L \cdot N \cdot m + s]}$$

Les trames obtenues sont fournies en tant qu'entrée au code en treillis intérieur. Les groupes en treillis sont formés par sérialisation des trames d'entrée afin de former des groupes de cinq symboles QAM de bits q par symbole. Dans les cinq symboles QAM, chaque groupe de deux bits est codé par un codeur convolutif binaire à un débit de 1/2, puis poinçonné à un débit de 4/5. Par conséquent, chaque groupe de deux bits q du groupe en treillis des cinq symboles QAM est codé au débit de 4/5 pour un total de 10 bits codés, et les bits q-2 restant dans chaque groupe en treillis des 5 symboles QAM ne sont pas codés. Le débit de code en treillis $R_{Treillis}$ est par conséquent déterminé comme suit:

$$R_{Treillis} = \frac{5(q-2) + 5(2)(4/5)}{5q} = \frac{[5q-2]}{5q}$$

Le débit global de code concaténé FEC R_{FEC} est obtenu par le produit du débit de code des procédures de codage individuelles décrites de la manière suivante:

$$R_{FEC} = R_{RS} R_{Trame} R_{Treillis}$$

Après remplacement des débits de code dérivés susmentionnés, on obtient:

$$R_{FEC} = \frac{K}{N} \cdot \frac{[L \cdot N \cdot m]}{[L \cdot N \cdot m + s]} \cdot \frac{[5q-2]}{5q}$$

Le débit binaire d'informations R_I est déterminé à partir du débit binaire du canal R_C par le débit de code concaténé FEC:

$$R_I = R_C R_{FEC}$$

où le débit binaire du canal est q fois la rapidité de modulation du canal avec q bits par symbole QAM.

Les relations précédemment mentionnées sont données dans le tableau ci-dessous, à la fois pour QAM-64 et QAM-256 dans le Tableau I.2.

Tableau I.2/J.142

Paramètre	Symbole	Format QAM-64	Format QAM-256
Symboles code RS	N	128	128
Symboles informations RS	K	122	122
Bits/symbole RS	m	7	7
Mots de code trame FEC	L	60	88
Bits synchronisés trame FEC	s	42	40
Bits/symbole QAM	q	6	8
Débit de code RS	R_{RS}	0,9531250	0,9531250
Débit de verrouillage de trame	R_{trame}	0,9992194	0,9994930
Débit de code en treillis	$R_{treillis}$	0,9333333	0,9500000
Débit de code concaténé FEC	R_{FEC}	0,8888889	0,9050097
Rapidité de modulation du canal	R_S	5,056941 Msymb/s	5,360537 Msymb/s
Débit binaire du canal	R_C	30,34165 Mbit/s	42,88430 Mbit/s
Débit binaire d'informations	R_I	26,97035 Mbit/s	38,81070 Mbit/s

APPENDICE II

Mesure de perturbation par harmoniques en fonction de la marge de bruit

On a observé, pour une transmission de modulation QAM-64 sur un réseau de télévision par câble en présence d'une ou de plusieurs distorsions harmoniques monotones d'ordre 2 ou 3 dans la bande de transmission, que la caractéristique du taux BER en fonction du rapport C/N est très voisine de la courbe théorique dans le domaine relativement bas des rapports C/N, mais que les valeurs mesurées diffèrent des valeurs théoriques dans le domaine des rapports C/N élevés, ce domaine est appelé "effet de plancher".

Les Figures II.1 et II.2 donnent des exemples de caractéristiques du taux BER en fonction du rapport C/N pouvant être observées en général lors de l'utilisation d'un système avec transmodulation QAM-64 en présence d'une ou de plusieurs perturbations monotones. Il convient de noter que chaque perturbation est ajoutée de manière intentionnelle sur la ligne de transmission pour accentuer l'effet de plancher avec des rapports C/N relativement élevés.

Le Tableau II.1 présente le cas d'ajout de perturbations monotones sur la ligne de transmission. La Figure II.3 présente le dispositif d'essais.

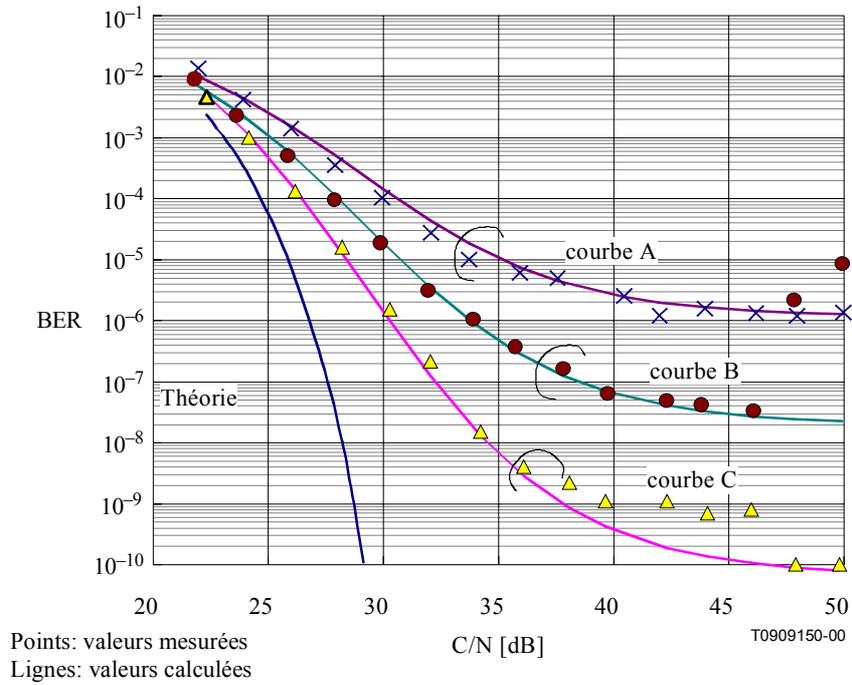


Figure II.1/J.142 – Taux BER en fonction du rapport C/N en présence d'un ton unique

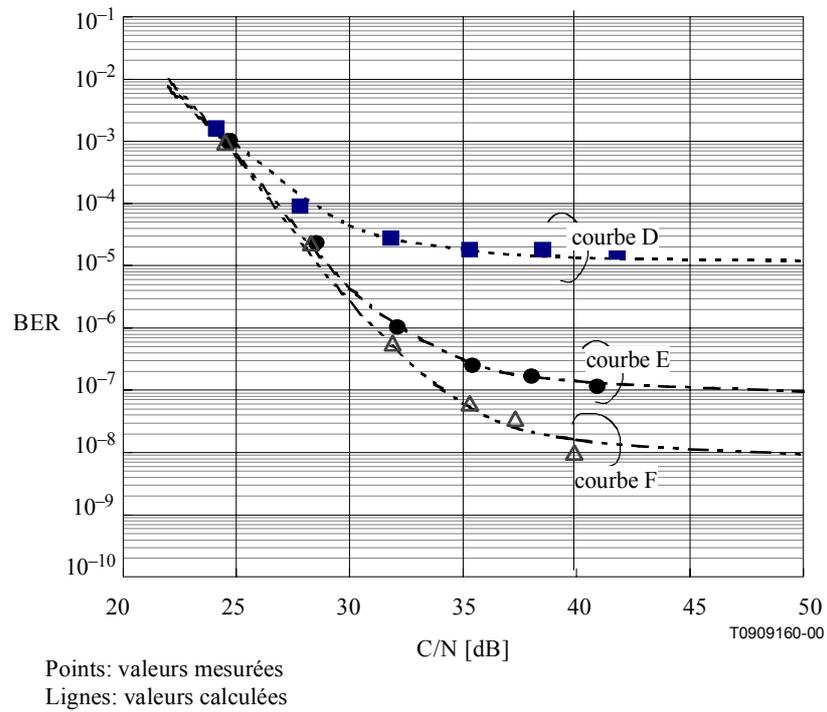


Figure II.2/J.142 – Taux BER en fonction du rapport C/N en présence de cinq tons uniques

Tableau II.1/J.142 – Ajout de perturbations monotones sur une ligne de transmission QAM-64

		Conditions de perturbation du ton (C: puissance QAM moyenne, I: niveau p-p)
Fig. II.1	Courbe A	Perturbation monotone avec C/I = -26,3 dB et bruit blanc avec rapport C/N variable
	Courbe B	Perturbation monotone avec C/I = -31,3 dB et bruit blanc avec rapport C/N variable
	Courbe C	Bruit blanc seul avec rapport C/N variable
Fig. II.2	Courbe D	5 perturbations avec C/I = -50,2, -62,2, -56,6, -60,4 et -56,5 dB et bruit blanc avec rapport C/N variable
	Courbe E	5 perturbations avec C/I = -55, -64,5, -60,8, -64,8 et -61 dB et bruit blanc avec rapport C/N variable
	Courbe F	5 perturbations avec C/I = -57,3, -66,3, -63,1, -66,2 et -63,5 dB et bruit blanc avec rapport C/N variable

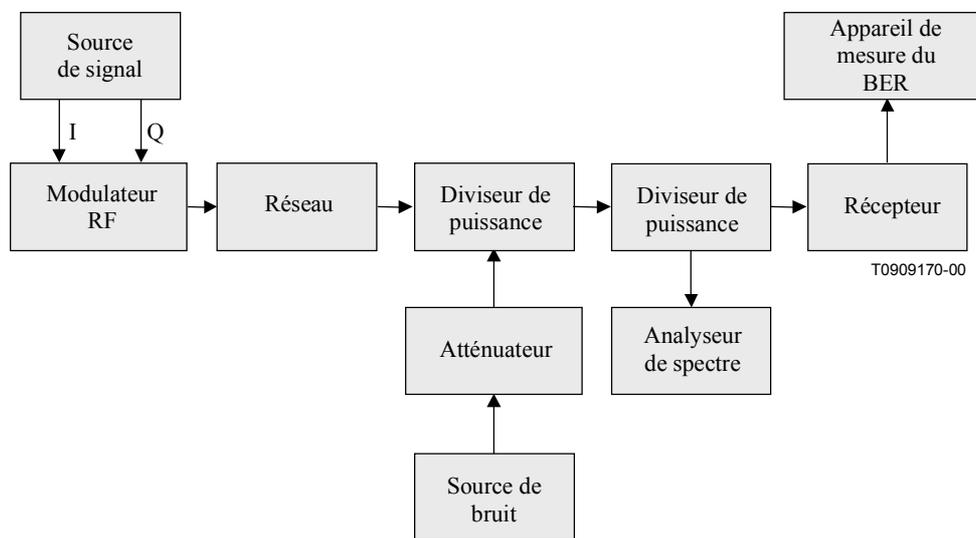


Figure II.3/J.142 – Dispositif d'essais pour les mesures

Lorsqu'on considère de telles perturbations, N1 et N2 sont mesurés et notés lorsque le rapport BER reste fixe, dans ce cas égal à 10^{-5} . Les Tableaux II.2 et II.3 indiquent les résultats. N1 correspond au rapport C/N en présence de bruit blanc uniquement et N2 au rapport C/N lorsque des perturbations de ton sont ajoutées en présence du bruit blanc.

Tableau II.2/J.142 – Marge de bruit pour les courbes A, B et C

	N1 = C/N	BER	N2 mesuré	Marge de bruit
Courbe A	35 dB	1×10^{-5}	31 dB	4 dB
Courbe B	31 dB	1×10^{-5}	27,5 dB	3,5 dB
Courbe C	28 dB	1×10^{-5}	23 dB	5 dB

Tableau II.3/J.142 – Marge de bruit pour les courbes D, E et F

	N1 = C/N	BER	N2 mesuré	Marge de bruit
Courbe D	meilleur que 50 dB	1×10^{-5}	28 dB	meilleure que 22 dB
Courbe E	28,5 dB	1×10^{-5}	27 dB	1,5 dB
Courbe F	28 dB	1×10^{-5}	27 dB	1 dB

La comparaison de la courbe C du Tableau II.2 (perturbation avec ton unique) avec la courbe F du Tableau II.3 (perturbation avec cinq tons) indique que les valeurs mesurées pour N2 sont égales à 23 dB et à 27 dB et les marges de bruit calculées (NM) sont respectivement égales à 5 dB et à 1 dB, bien que les mesures soient faites dans les mêmes conditions ($N1 = 28$ dB et $BER = 10^{-5}$). Cette différence indique que la méthode d'essais de la marge de bruit au moyen du bruit blanc ne peut pas fournir dans tous les cas la marge exacte du système.

D'un point de vue différent, si l'on fait l'hypothèse d'un rapport C/N fixé à 40 dB (E_b/N_o), les Tableaux II.4 et II.5 peuvent être dérivés des courbes A à F.

Tableau II.4/J.142 – Mesures de BER, N2 et NM avec la méthode à 1 ton

	N1 = C/N (E_b/N_o)	BER	N2 mesuré	Marge de bruit
Courbe A	40 dB	7×10^{-5}	31 dB	9 dB
Courbe B	40 dB	3×10^{-7}	27,5 dB	12,5 dB
Courbe C	40 dB	5×10^{-10}	23 dB	17 dB

Tableau II.5/J.142 – Mesures de BER, N2 et NM avec la méthode à 5 tons

	N1 = C/N (E_b/N_o)	BER	N2 mesuré	Marge de bruit
Courbe D	40 dB	9×10^{-4}	28 dB	12 dB
Courbe E	40 dB	3×10^{-7}	27 dB	13 dB
Courbe F	40 dB	5×10^{-10}	27 dB	13 dB

Ces tableaux indiquent que la méthode d'essais avec bruit blanc uniquement peut fournir des résultats différents en présence de perturbations monotones. Les différences signifient que cette méthode est fortement affectée par la présence de perturbations monotones ou par des produits combinés qui sont en général présents sur la ligne de transmission.

Il n'est donc pas toujours adéquat d'utiliser le rapport E_b/N_o pour un système de télévision par câble lorsqu'une ou plusieurs perturbations monotones sont présentes en même temps que du bruit blanc; il semble préférable d'utiliser dans ce cas la méthode d'essais de puissance totale de bruit, bien que la méthode d'essais convenable appelle une étude ultérieure.

NOTE – La méthode d'essais de la marge de bruit au moyen de bruit blanc peut s'appliquer à des systèmes de télévision par câble entièrement numériques en l'absence de porteuses analogiques et utilisant uniquement des porteuses dispersées. Le présent appendice peut être utile pour les essais de marge de bruit dans des conditions mixtes avec des systèmes analogiques et numériques pour lesquels des perturbations par tons coexistent inévitablement avec les signaux QAM.

Interférence mutuelle entre signaux analogiques et numériques

III.1 Interférence mutuelle entre signaux analogiques et numériques

Ce paragraphe décrit les mesures de paramètres pour l'interférence mutuelle entre des signaux de télévision analogique NTSC et de télévision numérique (avec modulation QAM-64). La coexistence de signaux analogiques et numériques est prévue pendant un certain temps avant le début des services entièrement numériques. L'interférence mutuelle entre des signaux analogiques et des signaux numériques avec une modulation autre que QAM-64 appelle une étude ultérieure.

III.1.1 Interférence provoquée par des signaux numériques QAM-64 avec des signaux analogiques NTSC

Ce paragraphe décrit les mesures de l'interférence provoquée par des signaux numériques QAM-64 avec des signaux analogiques NTSC. La Figure III.1 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure III.1;
- établir les signaux audio et vidéo analogiques NTSC devant être évalués;
- établir le taux de modulation des signaux audio et vidéo analogiques du modulateur NTSC-VSB-AM;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit avec connexion au modulateur QAM-64;
- établir le niveau de signal et la fréquence des convertisseurs amont et aval (adjacents amont et aval du canal numérique);
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects.

Mesurer le rapport signal/bruit des signaux audio et vidéo en modifiant le rapport D/U. Confirmer la perturbation des signaux audio et vidéo au moyen de l'analyseur Audio/Vidéo et de l'écran télé

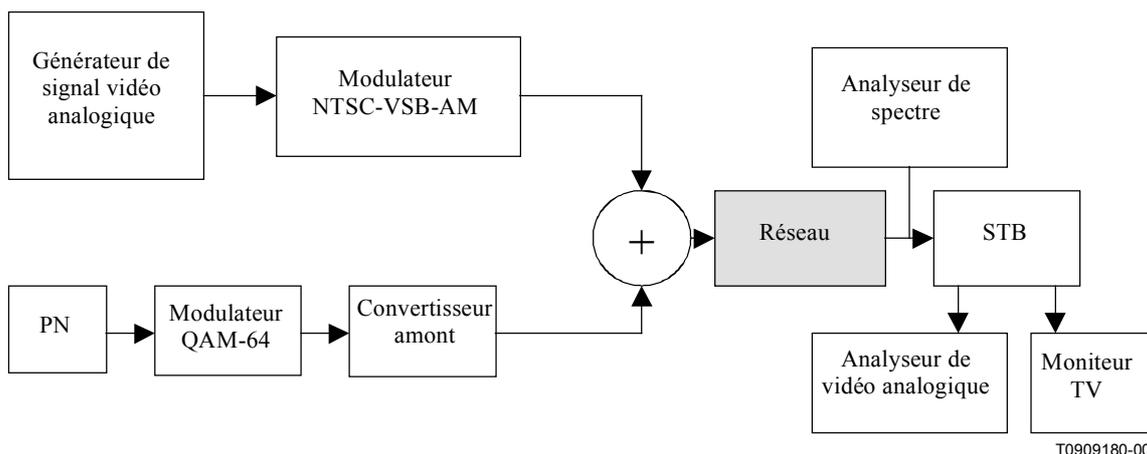


Figure III.1/J.142 – Mesure de l'interférence provoquée par des signaux numériques avec des signaux analogiques

III.1.2 Interférence provoquée par des signaux analogiques NTSC avec des signaux numériques QAM-64

Ce paragraphe décrit les mesures de l'interférence provoquée par des signaux analogiques NTSC avec des signaux numériques QAM-64. La Figure III.2 présente le dispositif d'essais.

La procédure d'essais est la suivante:

- mise en place du dispositif d'essais conformément à la Figure III.2;
- établir le profil PN ($2^{23}-1$) du générateur de pseudo-bruit avec connexion au modulateur QAM-64;
- établir le niveau de signal et la fréquence des convertisseurs amont et aval (adjacents amont et aval du canal analogique);
- établir les niveaux des générateurs de signaux audio et vidéo;
- établir le taux de modulation des signaux audio et vidéo analogiques du modulateur NTSC-VSB-AM;
- vérifier que tous les niveaux de signal d'entrée et de sortie sont corrects.

Mesurer le taux BER du canal numérique en faisant varier le rapport D/U.

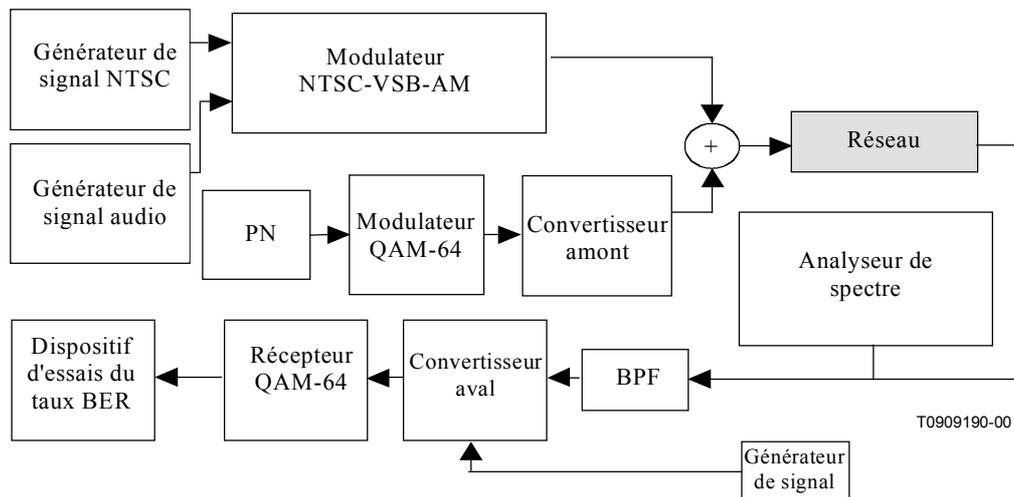


Figure III.2/J.142 – Interférence provoquée par des signaux analogiques NTSC avec des signaux numériques QAM-64

SÉRIES 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 de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects informatiques généraux des systèmes de télécommunication