



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.996.1

(02/2001)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE
TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX
NUMÉRIQUES

Sections numériques et systèmes de lignes numériques –
Réseaux d'accès

**Procédures de test pour les émetteurs-
récepteurs de ligne d'abonné numérique**

Recommandation UIT-T G.996.1

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIODÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES EQUIPEMENTS DE TEST	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.500–G.599
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.600–G.699
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.800–G.899
Généralités	G.900–G.909
Paramètres pour les systèmes à câbles optiques	G.910–G.919
Sections numériques à débits hiérarchisés multiples de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Systèmes numériques de transmission par ligne à débits non hiérarchisés	G.930–G.939
Systèmes de transmission numérique par ligne à supports MRF	G.940–G.949
Systèmes numériques de transmission par ligne	G.950–G.959
Section numérique et systèmes de transmission numériques pour l'accès usager du RNIS	G.960–G.969
Systèmes sous-marins à câbles optiques	G.970–G.979
Systèmes de transmission par ligne optique pour les réseaux locaux et les réseaux d'accès	G.980–G.989
Réseaux d'accès	G.990–G.999

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

Procédures de test pour les émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique

Résumé

La présente Recommandation définit les procédures de test applicables aux Recommandations de l'UIT-T portant sur les lignes d'abonné numériques (DSL, *digital subscriber line*). Les procédures d'essai qu'elle décrit incluent des méthodes permettant de tester des émetteurs-récepteurs DSL en présence de diaphonie provoquée par d'autres services, de captage de radiofréquences, de bruit impulsif et de signalisation de service téléphonique ordinaire. Les boucles d'essai et les modèles de câblage chez l'abonné sont spécifiés pour différentes régions du monde dans le cadre des mesures de qualité de fonctionnement de lignes DSL. D'autres Recommandations portant sur les lignes DSL sont mentionnées dans la présente Recommandation en ce qui concerne les procédures et les configurations de test. La présente Recommandation ne spécifie pas la qualité de fonctionnement requise par ces autres Recommandations; elle ne spécifie que les procédures de mesure de la qualité de fonctionnement requise par une Recommandation donnée.

Source

La Recommandation G.996.1 de l'UIT-T, révisée par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 9 février 2001 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

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.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), 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 l'AMNT.

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 avait 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 2002

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

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application.....	1
2	Références normatives.....	1
3	Définitions	1
4	Abréviations.....	1
5	Procédures de test et montage de laboratoire.....	2
5.1	Fonctionnement de systèmes DSL avec séparateurs.....	3
5.1.1	Montage de laboratoire	3
5.1.2	Essai de diaphonie et de captage RFI	6
5.1.3	Essai de bruit impulsif	9
5.1.4	Essai de brouillage dû au service POTS	9
5.2	Fonctionnement de systèmes DSL sans séparateur dans l'unité ATU-R.....	10
5.2.1	Montage de laboratoire	10
5.2.2	Essai de diaphonie et de captage RFI	13
5.2.3	Essai de bruit impulsif	13
5.2.4	Essai de brouillage dû au service POTS	13
5.3	Essais de qualité de service POTS	14
5.3.1	Circuit téléphonique	14
5.3.2	Conditions d'essai	15
5.3.3	Résumé de la procédure de test	16
6	Boucles d'essai	17
6.1	Configurations de boucles d'essai locales.....	17
6.1.1	Boucles d'essai nord-américaines.....	17
6.1.2	Boucles d'essai locales européennes.....	20
6.1.3	Boucles d'essai dans un environnement coexistant avec un système DSL TCM-RNIS.....	26
6.2	Modèles de câblage chez l'abonné	36
6.2.1	Modèle de câble interne chez l'abonné n° 1	36
6.2.2	Modèle de câblage chez l'abonné n° 2: câble en marguerite, à 4 conducteurs, 24 AWG, cordon de raccordement non couplé	37
6.2.3	Modèle de câblage chez l'abonné n° 3: étoile – 152,4 m (500 pieds), fils de la catégorie 3 à 4 paires	38
6.2.4	Modèle de câblage chez l'abonné pour un environnement DSL TCM- RNIS	39
7	Densité spectrale de puissance de signaux perturbateurs par diaphonie	41
7.1	Densité spectrale de puissance de signaux DSL simulée et paradiaphonie induite	41
7.2	Densité spectrale de puissance HDSL et paradiaphonie induite.....	42

	Page	
7.3	Densité spectrale de puissance de ligne T ₁ simulée et paradiaphonie induite.....	44
7.4	Densité spectrale de puissance simulée dans le sens descendant G.992.1 et paradiaphonie et télédiaphonie induites	46
7.4.1	Télédiaphonie.....	46
7.4.2	Paradiaphonie.....	47
7.5	Densité spectrale de puissance simulée G.992.1 dans le sens montant et paradiaphonie et télédiaphonie induites	48
7.5.1	Télédiaphonie.....	49
7.5.2	Paradiaphonie.....	50
7.6	Paradiaphonie et télédiaphonie G.992.2 simulées dans le sens descendant.....	50
7.6.1	Télédiaphonie.....	50
7.6.2	Paradiaphonie.....	51
7.7	Paradiaphonie et télédiaphonie G.992.2 dans le sens montant simulées.....	52
7.7.1	Télédiaphonie.....	52
7.7.2	Paradiaphonie.....	53
7.8	Diaphonie ETSI A, ETSI B et Euro-K.....	54
7.9	Densité spectrale de puissance des signaux perturbateurs par diaphonie dans un environnement coexistant avec des systèmes DSL TCM-RNIS.....	56
7.9.1	Type de signal perturbateur par diaphonie.....	56
7.9.2	Paramètres d'essai de diaphonie	57
7.9.3	Densité PSD de système DSL TCM-RNIS simulée et paradiaphonie et télédiaphonie induites	59
7.9.4	Densité spectrale de puissance HDSL simulée et paradiaphonie induite	62
7.9.5	Densité spectrale de puissance dans le sens descendant ADSL simulée et paradiaphonie et télédiaphonie induites.....	64
7.9.6	Densité spectrale de puissance dans le sens montant ADSL simulée et paradiaphonie et télédiaphonie induites.....	67
8	Caractéristiques des ondes de bruit impulsif	70
9	Structures de modèles de téléphone pour tester des systèmes DSL sans séparateur à l'unité ATU-R.....	77
9.1	Modèle n° 1 de téléphone décroché	77
9.2	Modèle n° 2 de téléphone décroché	79
9.3	Modèle de téléphone raccroché.....	80
	Annexe A – Constantes primaires des câbles à isolation polyéthylène (PIC).....	83

Recommandation UIT-T G.996.1

Procédures de test pour les émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique

1 Domaine d'application

La présente Recommandation définit les procédures d'essai applicables aux Recommandations de l'UIT-T portant sur les lignes d'abonné numériques (DSL, *digital subscriber line*). Les procédures de test qu'elle décrit incluent des méthodes permettant de tester des émetteurs-récepteurs DSL en présence de diaphonie provoquée par d'autres services, de captage de radiofréquences, de bruit impulsif et de signalisation de service téléphonique ordinaire. Les boucles d'essai et les modèles de câblage chez l'abonné sont spécifiés pour différentes régions du monde dans le cadre des mesures de qualité de fonctionnement de lignes DSL. D'autres Recommandations portant sur les lignes DSL sont mentionnées dans la présente Recommandation en ce qui concerne les procédures et les configurations d'essai. La présente Recommandation ne spécifie pas la performance requise par ces autres Recommandations; elle ne spécifie que les procédures de mesure de la performance requise par une Recommandation donnée.

On trouvera dans la Recommandation UIT-T G.995.1 un aperçu général des émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique (DSL).

2 Références normatives

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

- UIT-T G.992.1 (1999), *Emetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique asymétrique*.
- UIT-T G.992.2 (1999), *Emetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique asymétrique sans filtre séparateur*.

3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

- 3.1 sens descendant (aval):** sens ATU-C vers ATU-R.
- 3.2 sens montant (amont):** sens ATU-R vers ATU-C.
- 3.3 séparateur:** filtre qui sépare les signaux haute fréquence (DSL) des signaux en bande vocale.
- 3.4 bande vocale:** bande de fréquences comprise entre 0 et 4 kHz.
- 3.5 services en bande vocale:** services téléphoniques ordinaires et tous les services de données utilisant la bande vocale.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

- ADC convertisseur analogique numérique (*analogue-to-digital converter*)
- ADSL ligne d'abonné numérique asymétrique (*asymmetric digital subscriber line*)

ATU-C	émetteur-récepteur ADSL, extrémité du central (<i>ADSL transceiver unit, central office end</i>)
ATU-R	émetteur-récepteur ADSL, extrémité du terminal distant (<i>ADSL transceiver unit, remote terminal end</i>)
BER	taux d'erreur sur les bits (<i>bit error rate</i>)
CO	central (<i>central office</i>)
DAC	convertisseur numérique analogique (<i>digital-to-analogue converter</i>)
DMT	tonalités multiples discrètes (<i>discrete multitone</i>)
DSL	ligne d'abonné numérique (<i>digital subscriber line</i>)
ES	secondes erronées (<i>errored seconds</i>)
FEXT	trajet de télédiaphonie (<i>far-end crosstalk</i>)
kbit/s	kilobit par seconde
NEXT	trajet de paradiaphonie (<i>near-end crosstalk</i>)
POTS	service téléphonique ordinaire (<i>plain old telephone service</i>)
PSD	densité spectrale de puissance (<i>power spectral density</i>)
QS	qualité de service
RF	radiofréquence
RFI	captage de radiofréquence (<i>radio frequency ingress</i>)
RMS	écart quadratique moyen (<i>root-mean-square</i>)
RT	terminal distant (<i>remote terminal</i>)
⊕	ou exclusif; somme modulo-2
xDSL	ligne d'abonné numérique (DSL) de type quelconque
XT	diaphonie (<i>crosstalk</i>)
xTU-C	émetteur-récepteur xDSL, extrémité du central (<i>xDSL transceiver unit – central office end</i>)
xTU-R	émetteur-récepteur xDSL, extrémité du terminal distant (<i>xDSL transceiver unit – remote terminal end</i>)

5 Procédures de test et montage de laboratoire

Les méthodes décrites dans la présente Recommandation permettent de tester la qualité de transmission des systèmes DSL. Ces méthodes de laboratoire évaluent la capacité d'un système à minimiser les erreurs sur les bits provoquées par des brouillages dus:

- au couplage par diaphonie en provenance d'autres systèmes;
- au captage de radiofréquences (RF) en mode différentiel et en mode commun;
- au bruit de fond;
- au bruit impulsif;
- à la signalisation des services téléphoniques ordinaires.

Ces sources potentielles de dégradation sont simulées dans un montage de laboratoire qui comprend des boucles d'essai, des appareils d'essai, des équipements brouilleurs, ainsi que le système d'essai même.

Les signaux brouilleurs par diaphonie et par bruit impulsif sont simulés à partir de conditions et de mesures correspondant à des boucles réelles. La procédure de test consiste à "injecter" le brouillage dans les boucles d'essai et à mesurer leur effet sur la performance du système au moyen d'un essai d'erreur sur les bits effectué simultanément sur les canaux d'information du système.

En ce qui concerne la diaphonie, on choisit un niveau de puissance initial ou de référence du signal brouilleur pour représenter le cas le plus défavorable. Si la puissance du signal brouilleur peut être augmentée sans dépassement d'un seuil d'erreur spécifié, le système a alors une marge de performance positive. La marge de performance, exprimée en dB, est la différence entre le niveau du signal brouilleur auquel le seuil d'erreur est atteint et le niveau de référence (soit 0 dB).

En ce qui concerne le bruit impulsif, on applique de la même manière un signal brouilleur de plus en plus puissant jusqu'à ce que le seuil d'erreur soit atteint et on estime la performance à partir de cette information. Etant donné que l'on ne connaît pas totalement les caractéristiques de bruit impulsif de la boucle, la méthode d'estimation se fonde sur des mesures réalisées en différents emplacements. On compare le nombre estimé d'impulsions provoquant des erreurs à un critère donné de secondes erronées (ES, *errored second*). La procédure de test détermine séparément les marges de diaphonie et les seuils d'erreur par bruits impulsifs, bien que l'on applique un brouillage de fond par diaphonie pendant les essais de bruit impulsif.

Pour effectuer des mesures relatives au service POTS, on procède à un certain nombre d'opérations de signalisation et d'avertissement réalisées avec des téléphones et des lignes réseaux réels, dans des conditions de brouillage par diaphonie. Les appareils de mesure du BER vérifient les secondes erronées ou le seuil de taux d'erreur sur les bits.

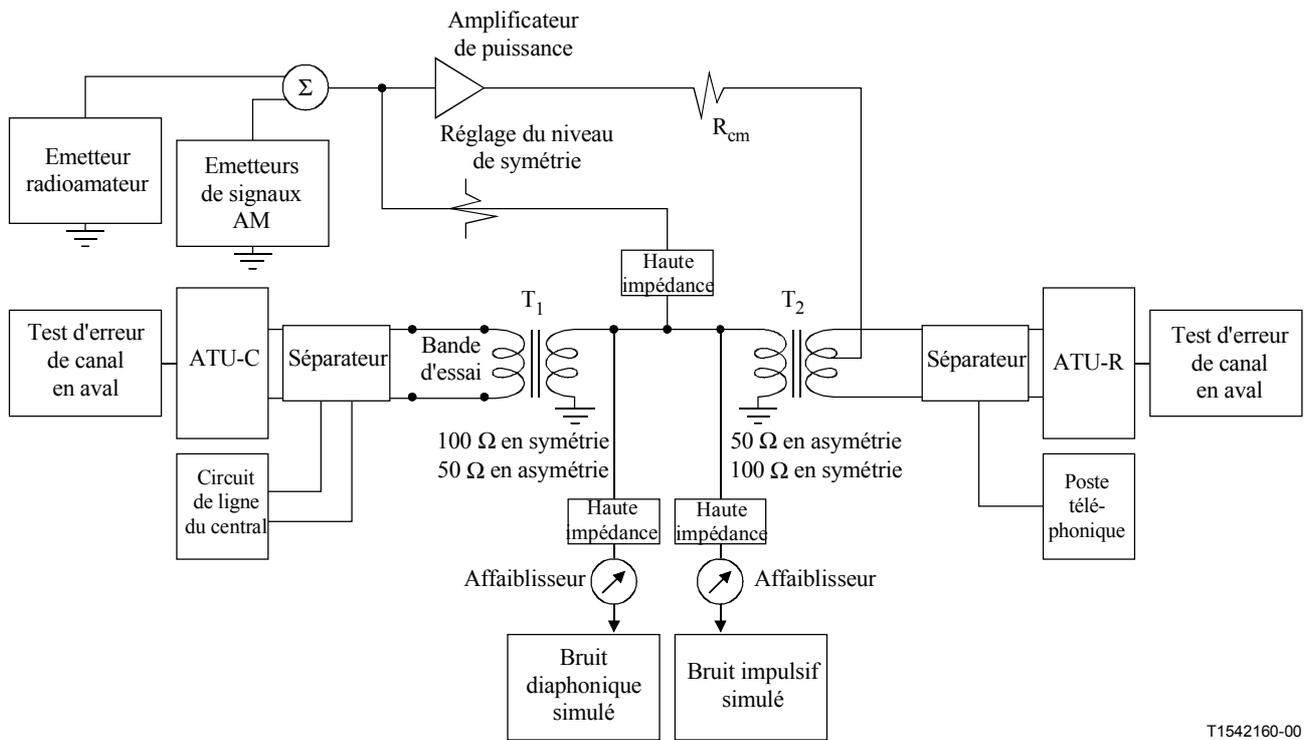
5.1 Fonctionnement de systèmes DSL avec séparateurs

5.1.1 Montage de laboratoire

La Figure 1 illustre le montage d'essai utilisé pour mesurer les marges de performance sur le canal descendant de systèmes DSL avec séparateurs et la Figure 2 le montage d'essai utilisé pour mesurer les marges de performance sur le canal montant de systèmes DSL avec séparateurs. Ce montage d'essai permet de superposer des signaux en mode différentiel et en mode commun à une liaison de trafic, afin de simuler des situations de captage. Le système d'essai se compose d'un émetteur-récepteur à l'extrémité du central (ATU-C), d'un émetteur-récepteur à l'extrémité distante (ATU-R) et de séparateurs aux deux extrémités. Les deux émetteurs-récepteurs sont reliés par la boucle d'essai. Des impulsions de diaphonie et un captage de radiofréquences (RFI, *radio frequency ingress*) sont injectées dans l'unité ATU-R pour les essais dans le sens descendant et dans l'unité ATU-C pour les essais sur le canal montant.

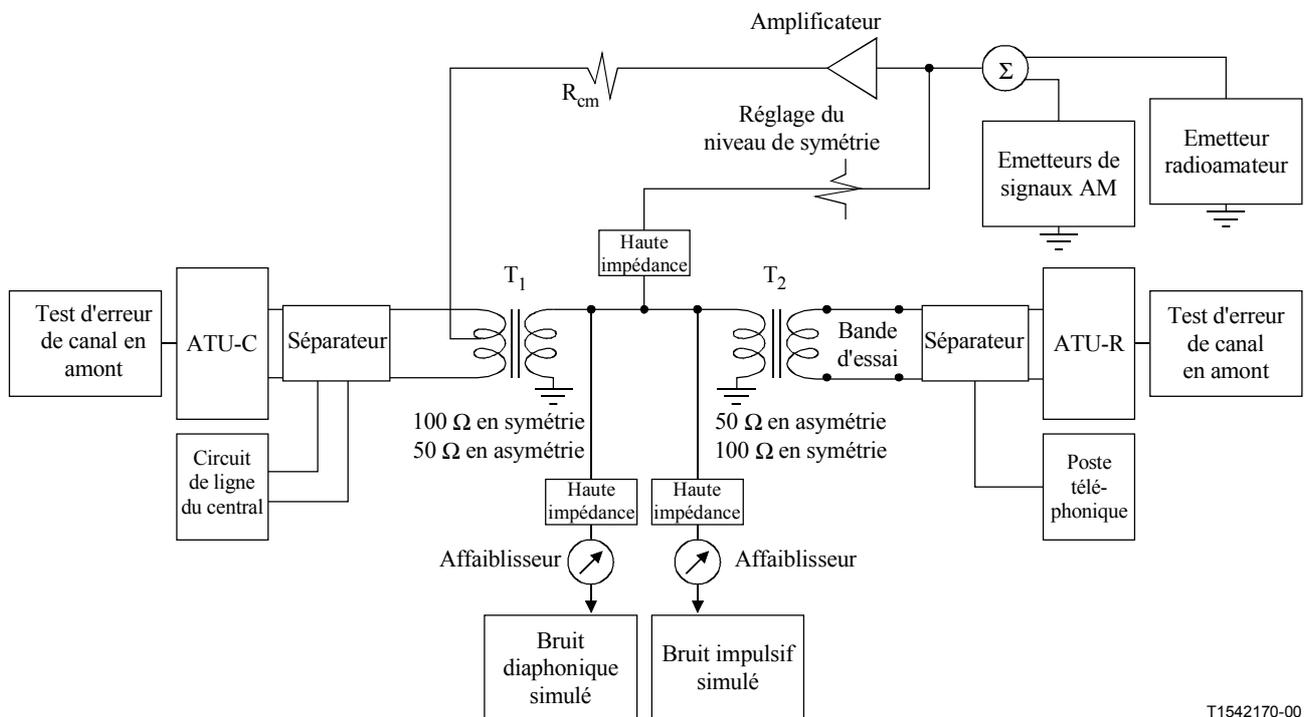
En ce qui concerne les essais sur le canal descendant, comme on le voit sur la Figure 1, des données binaires pseudo-aléatoires provenant de l'émetteur de l'appareil de mesure du BER sont appliquées à l'entrée du canal descendant de l'unité ATU-C. La sortie du canal descendant de l'unité ATU-R est reliée au récepteur du même appareil d'essai ou d'un appareil de mesure du BER analogue. L'appareil mesure le taux d'erreur sur les bits ou les secondes erronées selon les cas. On procède à des mesures d'erreur analogues dans le sens montant au débit requis pour le système particulier testé (voir Figure 2).

Un combiné téléphonique est relié au joncteur téléphonique du séparateur de l'ATU-R et un circuit de lignes téléphoniques opérationnel est relié au joncteur téléphonique du séparateur de l'ATU-C.



T1542160-00

Figure 1/G.996.1 – Montage d'essai en laboratoire pour mesurer les marges de performance sur le canal descendant avec séparateurs



T1542170-00

Figure 2/G.996.1 – Montage d'essai en laboratoire pour mesurer les marges de performance sur le canal montant avec séparateurs

Le montage d'essai est pratiquement transparent dans les deux sens entre les transformateurs T_1 et T_2 , de façon qu'une connexion de trafic normale puisse être établie en présence ou en absence de captage.

T_1 est un symétriseur de précision qui minimise les effets d'un éventuel captage. Noter cependant que ce symétriseur ne compensera pas les parasites dus au raccordement à cet accès d'un appareil mal symétrisé. Le signal issu de T_1 avec une asymétrie de 50Ω parvient au modem récepteur en passant par T_2 . Les signaux diaphoniques et vocaux, ainsi que la partie différentielle du signal de captage, sont appliqués à la liaison à 50Ω entre les transformateurs par l'intermédiaire d'affaiblisseurs à haute impédance. T_2 est également un symétriseur de précision, qui n'augmente donc pas notablement l'asymétrie au niveau du modem récepteur. Une éventuelle asymétrie à cet accès sera due au modem lui-même.

Le signal de captage en mode commun est appliqué, par l'intermédiaire de l'amplificateur linéaire de puissance A_1 et de la résistance R_{cm} , à la prise médiane de T_2 . L'amplificateur A_1 doit avoir la capacité de produire le niveau de signal requis tout en maintenant à une valeur inférieure ou égale à -113 dBm les éventuels produits différentiels d'intermodulation qui en résultent dans la bande d'un canal quelconque (ce qui équivaut à -150 dBm/Hz de part et d'autre d'une fréquence de $4,3125$ kHz). En admettant que le modem en essai possède une symétrie différentielle de 35 dB, le maintien à ≤ 113 dBm dans un canal quelconque de la composante différentielle résultante à partir du signal à 0 dBm en mode commun nécessite que les produits d'intermodulation en mode commun soient à -78 dBm sur la prise médiane de T_2 . A cette fin, l'on peut effectuer un filtrage du signal à la sortie de l'amplificateur.

La résistance R_{cm} est insérée de façon à modéliser correctement l'impédance longitudinale différentielle de l'appareil. Cela est nécessaire parce que cette impédance, ainsi que celle de l'entrée en mode commun du modem en essai, peut affecter le résultat d'essai. Une valeur de 200Ω est recommandée pour R_{cm} . L'on part ici du principe que l'amplificateur a une impédance de sortie négligeable. Si tel n'est pas le cas, le circuit peut être modifié en conséquence. De même, il y a lieu qu'un éventuel filtre inséré à la sortie de l'amplificateur soit suffisamment transparent dans la largeur de bande dans laquelle cette impédance est conservée.

Aucun verrouillage de phase n'est nécessaire entre les signaux en mode commun et les signaux en mode différentiel. Il est possible que, dans certains modems, un verrouillage spécifique soit avantageux. Cet avantage pourrait être annulé par un essai avec deux verrouillages déphasés de 90° mais cela doublerait la durée d'essai. Le fait de ne pas spécifier de verrouillage vise à ce que les modems soient prévus pour tous les déphasages possibles, car sur le site aucun verrouillage spécifique ne pourra être pris comme hypothèse.

Attributs nécessaires de l'appareillage d'essai

- L'impédance de Thévenin équivalente à tous les circuits à couplage de bruit différentiel connectés à la boucle d'essai doit être supérieure à 4000Ω par rapport à un point d'impédance 100Ω .
- Impédance de source en mode commun = 200Ω .
- L'affaiblissement du circuit mélangeur doit toujours être correctement compensé dans les circuits utiles et brouilleurs. Il y a avantage à minimiser l'affaiblissement dans le circuit utile car le niveau de cette courbe plate d'affaiblissement devra être soustrait de l'affaiblissement du modèle de ligne.
- Il y a lieu que le montage d'essai ait une symétrie minimale de 60 dB, ce qui est supérieur de 20 dB au rapport mode commun/mode différentiel spécifié à 40 dB.

Le circuit d'essai ne doit jamais créer de produits non essentiels excessifs, entrant dans la bande du signal d'essai. La spécification d'un niveau de -113 dBm dans une fenêtre de $4,3125$ kHz correspond à -150 dBm/Hz, ce qui devrait suffire pour ne pas biaiser l'essai car cette valeur est à 10 dB au-dessous du seuil inférieur de bruit blanc.

5.1.2 Essai de diaphonie et de captage RFI

On procède à des essais de diaphonie et de captage RFI pour évaluer la performance des systèmes DSL en présence de diaphonie provoquée par d'autres services dans la boucle ainsi qu'en présence de captage RFI.

5.1.2.1 Injection de diaphonie et de captage RFI

La Figure 3 décrit une méthode particulière d'injection de dégradation, sous forme de diaphonie par exemple.

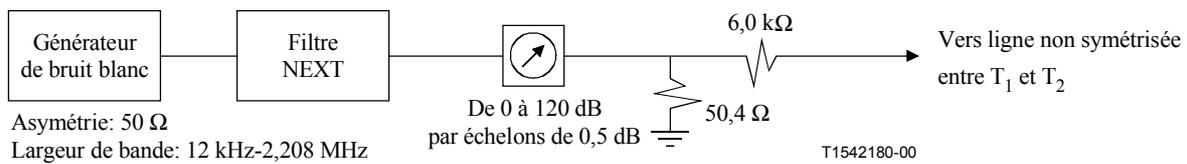


Figure 3/G.996.1 – Circuit à haute impédance d'injection de diaphonie

La méthode d'étalonnage des niveaux de dégradation est décrite dans la Figure 3a. Les deux modems et les boucles d'essai ont été supprimés et remplacés par des charges de 100Ω . Les dégradations différentielles sont ajustées jusqu'à ce que leur valeur soit atteinte aux bornes d'une charge de 100Ω remplaçant le récepteur. Les niveaux de mode commun se rapportent à la lecture sur un appareil de 50Ω connecté à la tension V_{cmOC} (noter que lorsque cette technique est utilisée, la définition du niveau 0 dBm est $223,6$ mV_{eff}). Cela ne constitue pas une double terminaison car l'impédance de 100Ω aux bornes de T_2 ne crée qu'une charge différentielle. Si ce mesurage est effectué avec un appareil à haute impédance, les niveaux seront de 12 dB supérieurs.

Il convient de noter que les niveaux qui apparaissent en cours d'essai réel peuvent varier par rapport aux niveaux d'étalonnage car les impédances en mode différentiel et en mode commun du modem peuvent varier largement par rapport aux valeurs de 100Ω et de 50Ω utilisées pour l'étalonnage.

Le niveau réel des dégradations en mode commun et en mode différentiel avec présence des modems sera fonction des impédances en mode commun et en mode différentiel des modems et des circuits d'essai.

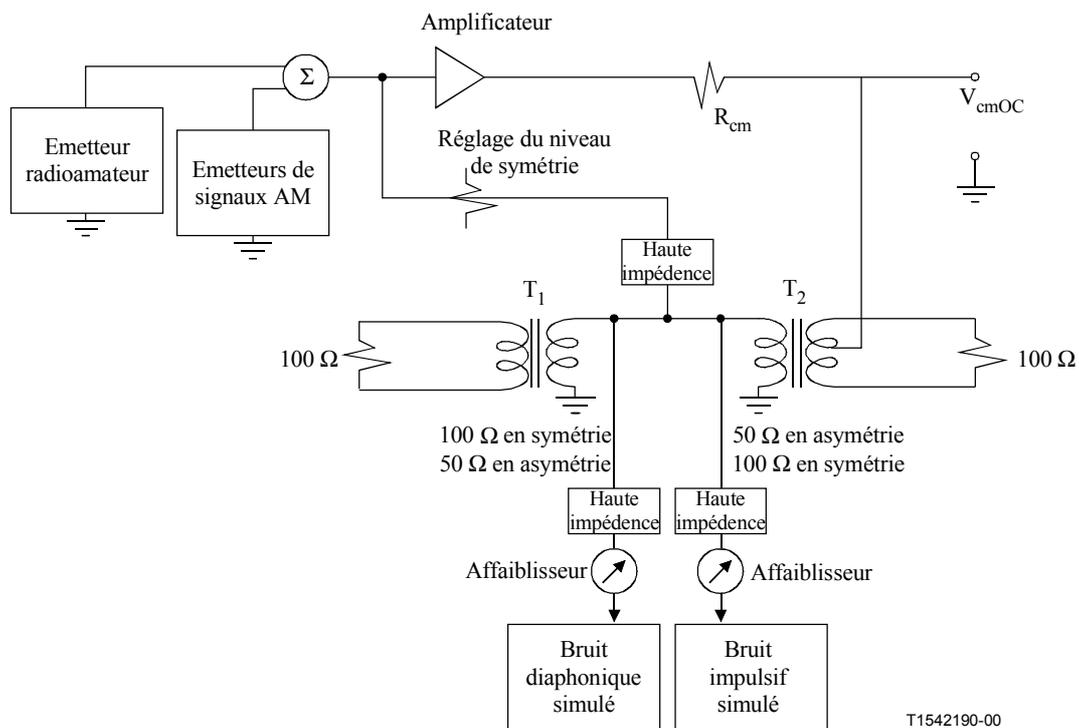


Figure 3a/G.996.1 – Circuit d'étalonnage pour les dégradations

Essais de diaphonie

La diaphonie simulée devrait dans l'idéal avoir la puissance et la densité spectrale définies par les équations applicables à NEXT et à FEXT au paragraphe 7, densité spectrale de puissance de signaux perturbateurs par diaphonie. On reconnaît toutefois que si la méthode de création de la diaphonie simulée est analogue à celle qui est illustrée à la Figure 3, la précision de cette méthode dépendra alors de la conception du filtre utilisé pour modéliser le bruit blanc. En conséquence, on peut définir la densité spectrale de puissance de la diaphonie calculée de manière à admettre une tolérance sur la fréquence f_0 of $\pm 2\%$ pour chaque zéro. Dans ce cas, la précision de la diaphonie simulée sera de ± 1 dB, par rapport à la diaphonie calculée pour toutes les fréquences auxquelles la valeur calculée de la diaphonie est inférieure à 45 dB au-dessous de la valeur crête. La valeur totale de la diaphonie simulée sera de $\pm 0,5$ dB par rapport à la valeur spécifiée au moyen de la même charge d'étalonnage.

La densité spectrale de puissance de la diaphonie simulée sera vérifiée au moyen de la charge d'étalonnage illustrée à la Figure 3 et d'un voltmètre sélectif ou d'un voltmètre à valeurs efficaces vraies ayant une largeur de bande d'environ 3 kHz. En ce qui concerne la diaphonie sur des lignes DSL ou HDSL, le circuit sera étalonné pour une diaphonie de 1,3 dB de moins que celle qui est spécifiée au paragraphe 7 afin de compenser l'utilisation de charges de 100 Ω au lieu de 135 Ω.

Il convient de veiller, lors de la spécification du générateur de bruit blanc illustré à la Figure 3, aux éléments suivants:

- répartition statistique de l'amplitude de crête: le bruit doit être gaussien dans toutes les bandes de fréquences;
- facteur de crête: le facteur de crête est une indication du nombre d'écart types auxquels le bruit suit une répartition gaussienne; le facteur de crête minimal requis est de 5;
- spectre des fréquences radioélectriques: si le bruit est créé au moyen de méthodes numériques, le rythme de récurrence des séquences affectera la corrélation des échantillons et donc le spectre des fréquences radioélectriques;
- largeur de bande de bruit: elle sera d'au moins 12 kHz à 2,208 MHz.

5.1.2.1.1 Injection de diaphonie pour l'environnement TCM-RNIS

Pour tester la qualité de transmission d'un système ADSL conforme à l'Annexe C/G.992.1 et à l'Annexe C/G.992.2 (système ADSL fonctionnant dans un environnement coexistant avec des lignes DSL TCM-RNIS), la densité de puissance spectrale de la diaphonie NEXT de ligne DSL TCM-RNIS ainsi que la densité spectrale de puissance de la diaphonie FEXT de ligne DSL TCM-RNIS définies au paragraphe 7 seront injectées en alternance en mode rafale comme il est spécifié à la Figure 4, mode identique à celui de l'émetteur-récepteur de signaux DSL TCM-RNIS. La valeur de x dans la figure doit être fixée pendant l'essai de qualité de transmission.

Le seuil d'erreur spécifié ainsi que la marge de qualité minimale doivent être respectés pour une valeur arbitraire de x située dans une fourchette de $6 \leq x \leq 40$.

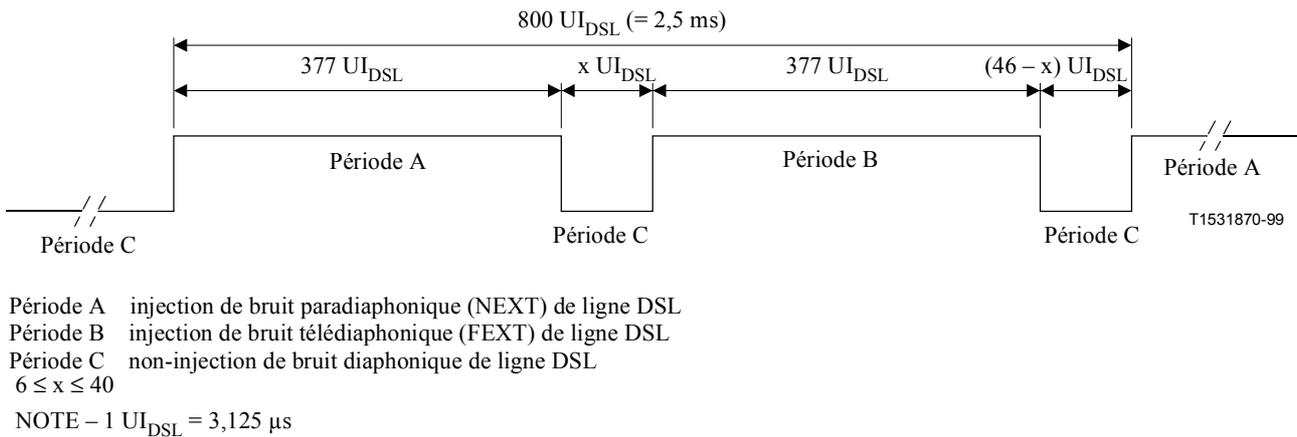


Figure 4/G.996.1 – Méthode d'injection de diaphonie de ligne DSL TCM-RNIS

5.1.2.2 Méthode d'essai de diaphonie et de captage RFI

Avant de procéder aux essais, les unités DSL sont conditionnées aux niveaux requis du brouillage présent par diaphonie et par captage RFI. La diaphonie simulée et le captage RFI sont injectés au niveau de référence approprié. Ce niveau de puissance est considéré comme correspondant à la marge de 0 dB pour ce type et ce nombre de signaux perturbateurs. Par exemple, la marge de 0 dB pour la paradiaphonie NEXT d'un système DSL causée par 24 signaux perturbateurs est de -52,6 dBm. On mesure la marge en changeant, décibel par décibel, les niveaux de puissance de diaphonie et de captage RFI injectés dans l'émetteur-récepteur et en surveillant le BER sur les boucles d'essai. Un système soumis à des essais a une marge positive pour un type de diaphonie et de captage RFI donné sur une boucle donnée s'il a pu fonctionner au BER spécifié avec une puissance de diaphonie injectée supérieure à la marge de 0 dB. Si la diaphonie simulée et le captage RFI sont ajoutés au bruit de fond afin d'obtenir le brouillage simulé, le niveau de puissance du bruit de fond est augmenté du niveau de puissance de la diaphonie et du brouillage RFI au cours des essais de marge.

Noter que, pour les essais de captage RFI, le brouillage radioamateur n'est pas injecté en cours de conditionnement mais n'est injecté au niveau de pleine puissance qu'au cours des essais de marge.

Les critères de détermination du niveau de marge doivent inclure une vérification que l'unité DSL peut se conditionner à ce niveau de marge.

Les temps d'essai minimaux pour déterminer les BER avec 95% de fiabilité sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1/G.996.1 – Temps d'essai minimal pour la diaphonie

Débit	Temps d'essai minimal
Au-dessus de 6 Mbit/s	100 s
1,544 Mbit/s à 6 Mbit/s	500 s
Moins de 1,544 Mbit/s	20 min

5.1.3 Essai de bruit impulsif

On procède à des essais de bruit impulsif pour évaluer la performance des systèmes DSL en présence de bruit impulsif.

5.1.3.1 Injection de bruit impulsif

Le même circuit de couplage que celui décrit au 5.1.2.1 est utilisé pour l'injection de bruit impulsif. L'amplitude des impulsions peut être mesurée par un oscilloscope.

5.1.3.2 Méthode d'essai de bruit impulsif

Avant de procéder aux essais, les unités DSL sont conditionnées au brouillage par diaphonie requis. La procédure de test consiste à injecter la forme d'onde impulsive choisie avec des amplitudes et des phases aléatoires variables. A chaque niveau, l'impulsion est appliquée 15 fois avec un intervalle d'une seconde au moins pendant que l'on mesure les erreurs sur les canaux DSL. L'amplitude (u_e) en millivolts à laquelle les impulsions provoquent une erreur est déterminée pour chaque forme d'onde.

Une fois déterminée l'amplitude, on obtient, au moyen de l'équation ci-dessous, la probabilité estimée qu'une seconde soit erronée:

$$E = 0.0037 P(u > u_{e1}) + 0.0208 P(u > u_{e2})$$

où:

$$P(u > u_e) = \frac{25}{u_e^2}, \text{ pour } 5 \text{ mV} = u_e = 40 \text{ mV}$$

$$P(u > u_e) = \frac{0.625}{u_e}, \text{ pour } u_e > 40 \text{ mV}$$

u_{e1} se rapporte à l'onde 1

u_{e2} se rapporte à l'onde 2

La probabilité de secondes erronées qui en résulte doit être inférieure à 0,14%.

5.1.4 Essai de brouillage dû au service POTS

On procède à un essai de brouillage dû au service POTS pour évaluer la performance des systèmes DSL en présence de la signalisation de service POTS.

5.1.4.1 Injection de brouillage dû au service POTS

Le brouillage dû au service POTS sur la même ligne provient de l'utilisation de téléphones et de circuits de centraux variables raccordés de manière normale au système soumis à l'essai. Les opérations de signalisation et d'avertissement de service POTS indiquées ci-après doivent être réalisées:

- appel téléphonique à l'unité ATU-R et laisser sonner 25 fois;
- décrocher le poste, à l'unité ATU-R, qui a sonné 25 fois;

- décrocher et raccrocher le téléphone à l'unité ATU-R, 25 fois;
- effectuer une numérotation décimale et une numérotation à fréquence vocale.

5.1.4.2 Méthode d'essai de brouillage dû au service POTS

Avant de procéder aux essais, les unités DSL sont conditionnées au brouillage par diaphonie requis. Les perturbations de signalisation sont créées par l'utilisation de la ligne réseau raccordée au séparateur dans l'unité ATU-C et le poste téléphonique est raccordé au joncteur téléphonique du séparateur dans l'unité ATU-R. Pendant ces opérations, on devra surveiller les canaux DSL tout en relevant les conditions d'essai provoquant des secondes erronées.

5.2 Fonctionnement de systèmes DSL sans séparateur dans l'unité ATU-R

5.2.1 Montage de laboratoire

La Figure 5 illustre le montage d'essai permettant de mesurer des marges de performance sur le canal descendant dans les systèmes DSL sans séparateur dans l'unité ATU-R. La Figure 6 décrit le montage d'essai permettant de mesurer les marges de performance sur le canal montant dans les systèmes DSL sans séparateur dans l'unité ATU-R. Le montage d'essai permet de superposer des signaux en mode différentiel et en mode commun sur une liaison de trafic, afin de simuler des situations de captage. Le système d'essai se compose d'un émetteur-récepteur à l'extrémité du central (ATU-C), d'un émetteur-récepteur à l'extrémité distante (ATU-R), et d'un séparateur situé dans l'unité ATU-C. Les deux émetteurs-récepteurs sont raccordés par la boucle d'essai et par le modèle de câblage chez l'abonné. La diaphonie, les bruits impulsifs et le captage RFI sont injectés dans l'unité ATU-R pour des essais sur les canaux descendants et dans l'unité ATU-C pour des essais sur les canaux montants.

En ce qui concerne les essais sur les canaux descendants, les données binaires pseudo-aléatoires de l'émetteur de l'appareil de mesure de BER sont appliquées à l'entrée du canal descendant de l'unité ATU-C. La sortie du canal descendant de l'unité ATU-R est raccordée au récepteur du même appareil de mesure ou d'un appareil de mesure de BER analogue. L'appareil mesure le taux d'erreur sur les bits ou les secondes erronées selon les besoins. On procède à des mesures d'erreur analogues dans le sens montant, aussi aux débits requis pour le système particulier soumis aux essais.

Un circuit de ligne téléphonique actif est raccordé au joncteur téléphonique du séparateur à l'extrémité ATU-C. A l'extrémité ATU-R, on peut ajouter des téléphones en certains endroits dans le modèle de câblage chez l'abonné.

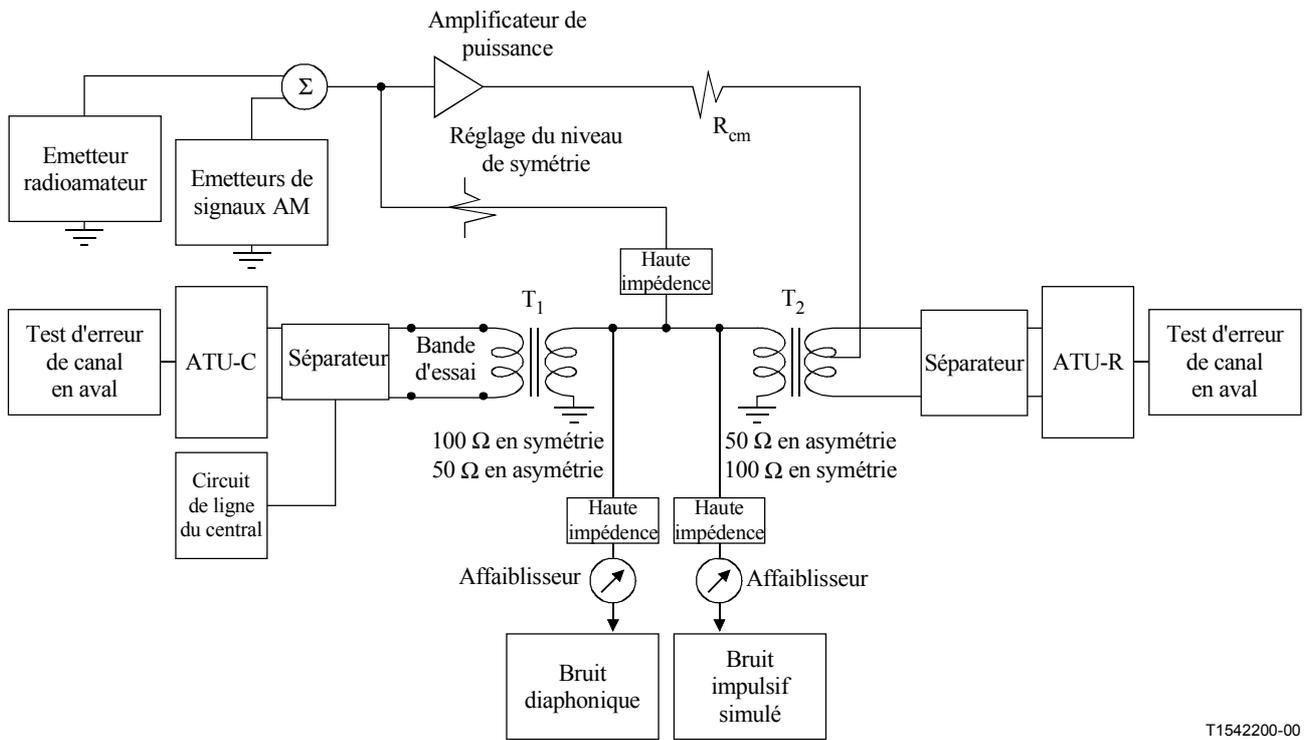


Figure 5/G.996.1 – Montage d'essai de laboratoire pour mesurer les marges de performance sur le canal descendant sans séparateur dans l'unité ATU-R

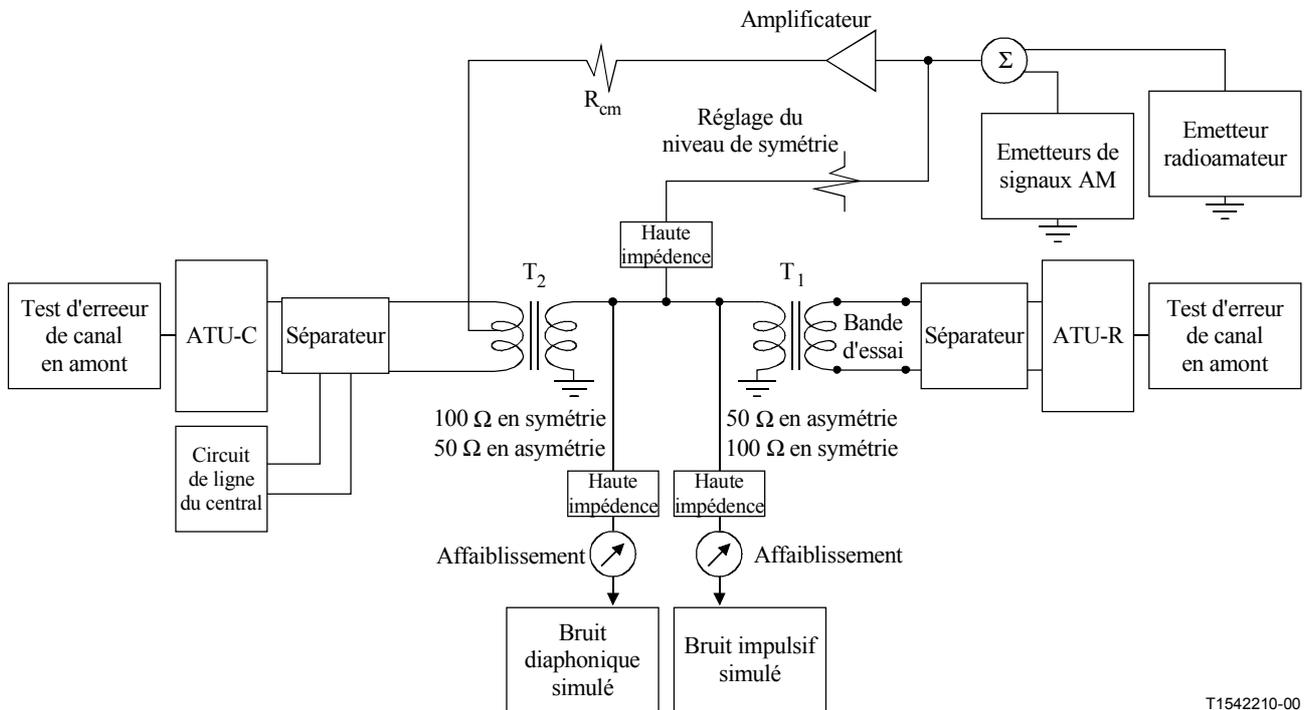


Figure 6/G.996.1 – Montage d'essai de laboratoire pour mesurer les marges de performance sur le canal montant sans séparateur dans l'unité ATU-R

Le montage d'essai est pratiquement transparent dans les deux sens entre les transformateurs T_1 et T_2 , de façon qu'une connexion de trafic normale puisse être établie en présence ou en absence de captage.

T_1 est un symétriseur de précision qui minimise les effets d'un éventuel captage. Noter cependant que ce symétriseur ne compensera pas les parasites dus au raccordement à cet accès d'un appareil mal symétrisé. Le signal issu de T_1 avec une asymétrie de 50Ω parvient au modem récepteur en passant par T_2 . Les signaux diaphoniques et vocaux, ainsi que la partie différentielle du signal de captage, sont appliqués à la liaison à 50Ω entre les transformateurs par l'intermédiaire d'affaiblisseurs à haute impédance. T_2 est également un symétriseur de précision, qui n'augmente donc pas notablement l'asymétrie au niveau du modem récepteur. Une éventuelle asymétrie à cet accès sera due au modem lui-même.

Le signal de captage en mode commun est appliqué, par l'intermédiaire de l'amplificateur linéaire de puissance A_1 et de la résistance R_{cm} , à la prise médiane de T_2 . L'amplificateur A_1 doit avoir la capacité de produire le niveau de signal requis tout en maintenant à une valeur inférieure ou égale à -113 dBm les éventuels produits différentiels d'intermodulation qui en résultent dans la bande d'un canal quelconque (ce qui équivaut à -150 dBm/Hz de part et d'autre d'une fréquence de $4,3125$ kHz). En admettant que le modem en essai possède une symétrie différentielle de 35 dB, le maintien à ≤ 113 dBm dans un canal quelconque de la composante différentielle résultante à partir du signal à 0 dBm en mode commun nécessite que les produits d'intermodulation en mode commun soient à -78 dBm sur la prise médiane de T_2 . A cette fin, l'on peut effectuer un filtrage du signal à la sortie de l'amplificateur.

La résistance R_{cm} est insérée de façon à modéliser correctement l'impédance longitudinale différentielle de l'appareil. Cela est nécessaire parce que cette impédance, ainsi que celle de l'entrée en mode commun du modem en essai, peut affecter le résultat d'essai. Une valeur de 2000Ω est recommandée pour R_{cm} . L'on part ici du principe que l'amplificateur a une impédance de sortie négligeable. Si tel n'est pas le cas, le circuit peut être modifié en conséquence. De même, il y a lieu qu'un éventuel filtre inséré à la sortie de l'amplificateur soit suffisamment transparent dans la largeur de bande dans laquelle cette impédance est conservée.

Aucun verrouillage de phase n'est nécessaire entre les signaux en mode commun et les signaux en mode différentiel. Il est possible que, dans certains modems, un verrouillage spécifique soit avantageux. Cet avantage pourrait être annulé par un essai avec deux verrouillages déphasés de 90° mais cela doublerait la durée d'essai. Le fait de ne pas spécifier de verrouillage vise à ce que les modems soient prévus pour tous les déphasages possibles, car sur site aucun verrouillage spécifique ne pourra être pris comme hypothèse.

Attributs nécessaires de l'appareillage d'essai

- L'impédance de Thévenin équivalente à tous les circuits à couplage de bruit différentiel connectés à la boucle d'essai doit être supérieure à 4000Ω par rapport à un point d'impédance 100Ω .
- Impédance de source en mode commun = 200Ω .
- L'affaiblissement du circuit mélangeur doit toujours être correctement compensé dans les circuits utiles et brouilleurs. Il y a avantage à minimiser l'affaiblissement dans le circuit utile car le niveau de cette courbe plate d'affaiblissement devra être soustrait de l'affaiblissement du modèle de ligne.
- Il y a lieu que le montage d'essai ait une symétrie minimale de 60 dB, ce qui est supérieur de 20 dB au rapport mode commun/mode différentiel spécifié à 40 dB.

Le circuit d'essai ne doit jamais créer de produits non essentiels excessifs, entrant dans la bande du signal d'essai. La spécification d'un niveau de -113 dBm dans une fenêtre de $4,3125$ kHz correspond à -150 dBm/Hz, ce qui devrait suffire pour ne pas biaiser l'essai car cette valeur est à 10 dB au-dessous du seuil inférieur de bruit blanc.

5.2.2 Essai de diaphonie et de captage RFI

On procède à des essais de diaphonie et de captage RFI pour évaluer la performance des systèmes DSL en présence de diaphonie provoquée par d'autres services dans la boucle et en présence de captage RFI.

5.2.2.1 Injection de diaphonie et de captage RFI

La diaphonie simulée, XT (NEXT et/ou FEXT) et le captage RFI sont introduits dans la boucle d'essai comme décrit au 5.1.2.1.

5.2.2.1.1 Injection de diaphonie pour un environnement TCM-RNIS

Pour tester la qualité de transmission d'un système ADSL conforme à l'Annexe C/G.992.2 (système ADSL fonctionnant dans un environnement coexistant avec un système DSL TCM-RNIS), la densité spectrale de puissance de la paradiaphonie NEXT d'un système DSL TCM-RNIS ainsi que la densité spectrale de puissance de la télédiaphonie FEXT d'un système DSL TCM-RNIS définies au paragraphe 7 doivent être injectées dans la boucle d'essai, comme décrit au 5.1.2.1.1.

5.2.2.2 Méthode d'essai de diaphonie

On procédera à l'essai de diaphonie comme il est indiqué au 5.1.2.2.

5.2.3 Essai de bruit impulsif

On procède à des essais de bruit impulsif pour évaluer la performance des systèmes DSL en présence de bruit impulsif.

5.2.3.1 Injection de bruit impulsif

Le même circuit de couplage que celui utilisé au 5.1.2.1 sert à injecter du bruit impulsif. L'amplitude des impulsions peut être mesurée par un oscilloscope.

5.2.3.2 Méthode d'essai de bruit impulsif

On procédera à l'essai de bruit impulsif comme il est indiqué au 5.1.3.2.

5.2.4 Essai de brouillage dû au service POTS

On procède à un essai de brouillage dû au service POTS pour évaluer la performance des systèmes DSL en présence de signalisation de service POTS.

5.2.4.1 Injection de brouillage dû au service POTS

Le brouillage dû au service POTS sur la même ligne provient de l'utilisation d'une structure de modèle téléphonique et de circuits de central raccordés de la manière traditionnelle au système testé. La structure téléphonique est décrite au paragraphe 9; elle devrait être raccordée au point approprié dans le modèle de câblage chez l'abonné (voir 6.2). Les opérations de signalisation et d'avertissement de service POTS énumérées ci-après doivent être réalisées:

- appeler les postes téléphoniques de l'unité ATU-R et laisser sonner 25 fois;
- prendre le poste téléphonique qui sonne "A" (voir Figure 12) et le laisser décroché;
- raccrocher le téléphone "A".

Répéter les opérations ci-dessus 25 fois.

5.2.4.2 Essais de services POTS sans séparateur dans l'unité ATU-R

Avant d'être soumises à des essais, les unités DSL sont conditionnées au brouillage par diaphonie requis ou créé. On crée des perturbations de la signalisation en raccordant la ligne centrale au séparateur dans l'unité ATU-C et la structure du modèle de téléphone aux joncteurs téléphoniques dans le modèle de câblage chez l'abonné (voir 6.2). Pendant les activités de signalisation décrites au 5.1.4.1, on soumet le système à des essais en mesurant:

- le temps requis pour que la transmission s'effectue sans erreur après un événement de signalisation (mesure du temps de reconditionnement rapide);
- les débits binaires à l'état "raccroché" et "décroché".

Il convient de relever que lors du premier passage de l'état raccroché à décroché, le temps de reconditionnement sera beaucoup plus long étant donné qu'il faudra procéder à une initialisation complète pour générer le profil décroché qui correspond au téléphone "A". Les passages ultérieurs des états "raccroché" à "décroché" devraient avoir un reconditionnement rapide et utiliser le profil mémorisé du téléphone "A".

5.3 Essais de qualité de service POTS

5.3.1 Circuit téléphonique

La Figure 7 représente un diagramme de bloc simplifié d'un circuit téléphonique type, le sens du flux des signaux étant indiqué par des flèches entre les blocs. Le flux de signaux du côté gauche de l'adaptateur différentiel ("hybride") 2 fils/4 fils en général est bidirectionnel et la distorsion non linéaire produite à cet endroit peut provoquer l'apparition de composantes harmoniques réfléchies et d'oscillations d'intermodulation sur les fils de tête et de nuque. Le flux de signaux du côté droit du transformateur différentiel est en général unidirectionnel. La distorsion non linéaire des signaux DSL dans le circuit d'attaque de l'écouteur peut provoquer des signaux audibles dans l'écouteur, mais elle ne sera pas en général perceptible sur la boucle locale, ce qui n'est pas le cas, bien entendu pour l'interface du microphone, de sorte que la distorsion non linéaire à cet endroit n'est pas un problème.

Dans l'interface de ligne bidirectionnelle, la plupart des composants se situent du côté du crochet commutateur, loin des fils de tête et de nuque, ce qui inclut la grande majorité des sources de distorsion non linéaire, qui sont hors de la boucle lorsque le téléphone est raccroché.

Critères de mesure

Les critères suivants doivent être pris en compte pour évaluer les brouillages entre les canaux DSL et les canaux de service POTS pour des systèmes DSL sans séparateur:

- la configuration primaire pour mesurer les brouillages sur les canaux doit comporter un ou plusieurs appareils téléphoniques à l'état décroché. Dans un téléphone type, les circuits sont pour la plupart (y compris, dans presque tous les cas, n'importe quel composant provoquant une distorsion non linéaire d'un signal DSL) du côté du crochet commutateur et sont isolés par rapport aux signaux DSL lorsque le téléphone est raccroché (voir Figure 7). Si la mesure de la puissance dans la bande utilisée par les services POTS à l'état raccroché est un paramètre adéquat tant pour les systèmes DSL sans séparateur que pour les systèmes DSL traditionnels, elle ne suffit pas en elle-même pour évaluer les systèmes sans séparateur; en fait, elle donne des résultats beaucoup moins significatifs que des mesures effectuées lorsque le téléphone est décroché;
- les mesures des brouillages doivent comprendre la sortie de pression acoustique à l'écouteur du téléphone. Il ne suffit pas de mesurer les composants non linéaires et les oscillations d'intermodulation produits sur les fils de tête et de nuque étant donné qu'une distorsion partielle ou complète peut se produire du côté à quatre fils du transformateur différentiel, provoquant ainsi des bruits audibles au niveau de l'écouteur, même en l'absence de signal

audio sur la ligne. La mesure directe de la puissance électrique aux bornes de l'écouteur peut ne pas suffire en raison de caractéristiques de conversion variables des écouteurs. Pour les modems et les appareils de télécopies de service POTS, il faut bien entendu remplacer la mesure de la pression acoustique par d'autres mesures liées à la dégradation de la performance;

- les mesures des brouillages devraient également comprendre les composants produits sur les fils de tête et de nuque. Un contenu harmonique excessif sur la ligne peut entraîner une dégradation de la performance, voire une impossibilité de connexion dans le sens descendant sur des boucles plus longues;
- il existe un large éventail d'appareils téléphoniques qui doivent fonctionner avec un système DSL sans séparateur. Des résultats d'essais fondés sur un échantillon restreint d'appareils ne refléteront pas de manière précise la performance réelle. Les résultats d'essais présentés devraient mentionner les types d'appareils utilisés et leur nombre afin de donner une indication sur la représentativité de la base de données.

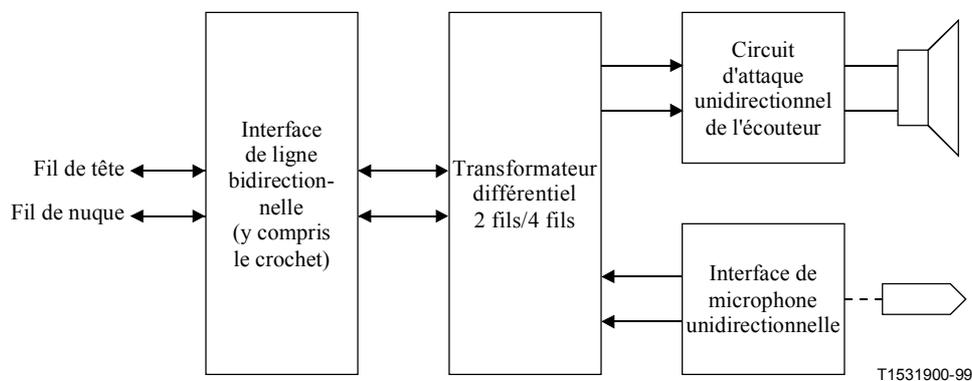


Figure 7/G.996.1 – Flux de signaux téléphoniques type

5.3.2 Conditions d'essai

La configuration utilisée pour tester les émetteurs-récepteurs DSL en ce qui concerne les brouillages lorsque le téléphone est décroché est illustrée à la Figure 8. Un poste téléphonique de contrôle (dont le microphone est coupé) est raccordé via un simulateur de réseau POTS afin d'assurer des fonctions de commutation et de signalisation pour la connexion POTS. Le simulateur de réseau POTS doit être en mesure d'introduire du bruit électrique dans la bande RTGC comme le permet en général le simulateur conçu pour tester des modems de lignes téléphoniques automatiques conformes à la Rec. UIT-T V.56 *bis*. L'autre côté du simulateur de réseau POTS est raccordé via un séparateur POTS de central afin d'isoler le canal DSL du simulateur de réseau POTS. La borne non dissociée DSL/POTS du séparateur POTS de central est raccordé via un simulateur de boucle locale à large bande au téléphone local et à l'émetteur-récepteur local (ATU-R). L'émetteur-récepteur du central (ATU-C) est raccordé à la borne appropriée sur le séparateur POTS de central. Un microphone électrostatique est couplé acoustiquement au combiné téléphonique – on le positionne à environ 1 mm de l'axe central de l'écouteur du combiné et on l'aligne sur celui-ci. L'espace entre le microphone et l'écouteur est ouvert. Le microphone et le combiné sont placés dans un milieu isolé pour minimiser le bruit ambiant. On mesure les niveaux sonores de l'écouteur du combiné au moyen d'un sonomètre, en utilisant une pondération B conforme à la norme CEI 651 et un temps de réponse lent. La référence de la puissance acoustique de 0 dB est de 20 μ Pa.

On utilise un analyseur de signaux pour visualiser les caractéristiques des signaux directement sur les fils de tête et de nuque au moyen d'une sonde différentielle à haute impédance. Cet analyseur sert à fixer et à vérifier les niveaux des signaux provenant de l'émetteur DSL et à contrôler les conditions d'essai.

Pour chaque essai, on établit une connexion POTS et la sortie acoustique de l'écouteur du téléphone est enregistrée en l'absence de signal DSL pour établir un niveau de contrôle. Certaines Recommandations spécifient ou autorisent l'utilisation d'un filtre en série avec le téléphone local (par exemple séparateur POTS dans les locaux d'abonné, filtre de ligne etc.). La position de ce filtre facultatif est représentée dans la Figure 8 par une case en pointillé.

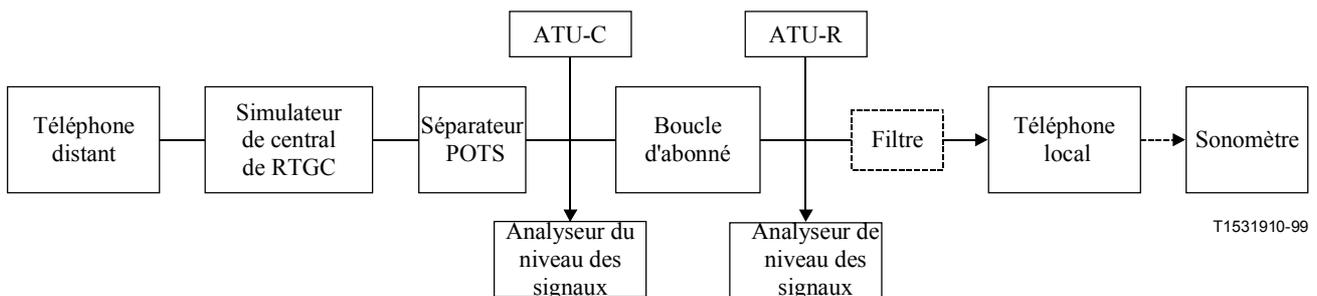


Figure 8/G.996.1 – Configuration d'essai

5.3.3 Résumé de la procédure de test

- 1) Les émetteurs-récepteurs ATU-C/ATU-R sont hors circuit. Le bruit du simulateur RTGC est hors circuit. Le téléphone distant ne sonne pas. La longueur de la boucle est de zéro.
- 2) Une connexion de type RTGC est établie entre le téléphone distant et le téléphone local.
- 3) Le volume acoustique de l'écouteur du téléphone local est mesuré à des fins de référence: **SP1**. (Cette mesure établit le bruit acoustique plancher tel qu'il est mesuré au téléphone local.)
- 4) Le bruit du simulateur RTGC est enclenché au niveau acceptable dBrn spécifié pour le service RTGC.
- 5) Le volume acoustique de l'écouteur du téléphone local est mesuré: **SP2**. (SP2 est donc l'équivalent acoustique du bruit de service RTGC acceptable sur ce téléphone particulier.)
- 6) Le bruit du simulateur RTGC est arrêté. Les émetteurs ATU-C/ATU-R sont enclenchés à leurs niveaux d'émission prescrits.
- 7) Le volume acoustique de l'écouteur du téléphone local est mesuré: **SP3**. Le résultat de l'essai est la différence entre les mesures SP2 et SP3 en dB. Si le résultat de l'essai est positif, c'est-à-dire si SP3 est inférieur à SP2, cela signifie que l'équipement DSL n'introduit pas un bruit audio en plus de celui autorisé par le service RTGC pour le téléphone local utilisé.

Variations des conditions d'essai

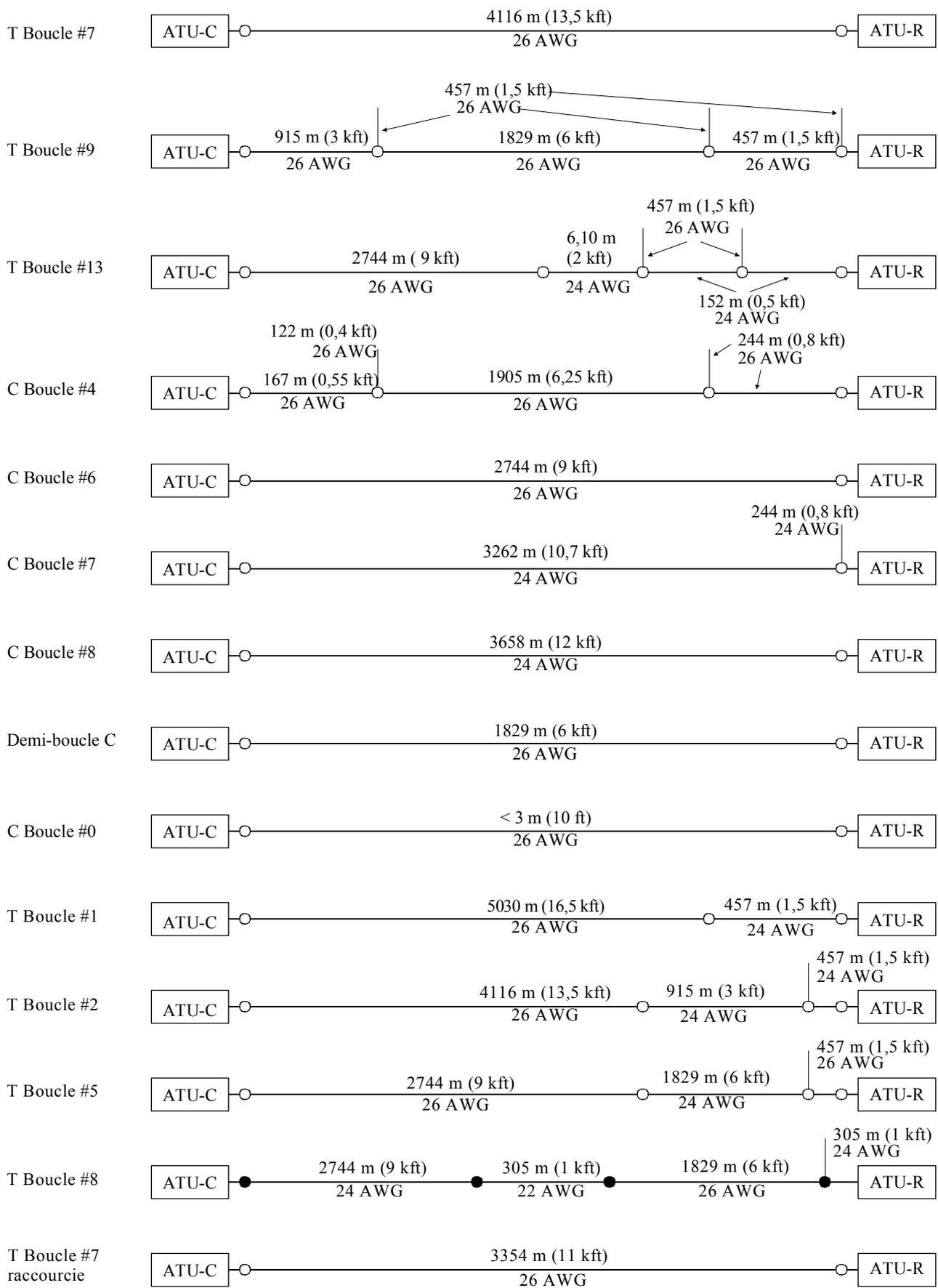
Les valeurs spécifiées pour le RTGC peuvent comporter deux seuils dBrnC devant être testés. Par exemple, une valeur inférieure à 20 dBrnC peut correspondre au service préféré et une valeur supérieure à 30 dBrnC peut correspondre à un service inacceptable.

6 Boucles d'essai

6.1 Configurations de boucles d'essai locales

6.1.1 Boucles d'essai nord-américaines

Voir Figure 9.



T1531920-99

NOTE – AWG (*american Wire Gauge*): calibre des fils (26 AWG = 0,4 mm, 24 AWG = 0,5 mm, 22 AWG = 0,65 mm).

Figure 9/G.996.1 – Boucles d'essai nord-américaines

Résistance et affaiblissement d'insertion

Les Tableaux 2, 3 et 4 contiennent les valeurs calculées de résistance et d'affaiblissement d'insertion entre des charges de 100 Ω des boucles illustrées à la Figure 9.

Tableau 2/G.996.1 – Valeurs de résistance et d'affaiblissement d'insertion, en dB pour des boucles d'essai à 70° F (21,1° C)

Boucle #	Résistance (Ω)	Fréquence (kHz)											Affaiblissement d'insertion (dB)
		20	40	100	200	260	300	400	500	600	780	1100	
T # 7	1127	29,8	36,7	45,2	52,8	57,3	60,2	67,7	74,8	81,7	93,0	110	
T # 9	877	27,6	36,4	52,5	47,5	55,7	62,0	60,3	71,5	72,2	82,7	96,2	
T # 13	909	26,6	34,1	47,9	48,3	55,7	61,3	62,2	71,4	74,1	85,3	100	
C # 4	634	17,6	22,0	29,6	39,6	40,1	42,5	49,2	50,2	53,8	55,7	70,7	
C # 6	751	20,0	24,4	30,1	35,2	38,2	40,2	45,1	49,9	54,4	62,0	73,6	
C # 7	562	17,3	20,9	26,8	33,6	37,8	38,6	43,1	49,9	57,9	60,2	72,7	
C # 8	630	19,2	22,8	27,7	34,4	38,3	40,8	46,9	52,4	57,4	65,4	77,8	
Demi-boucle C	501	13,3	16,2	20,0	23,4	25,4	26,8	30,1	33,2	36,3	41,3	49,1	

Tableau 3/G.996.1 – Résistance et affaiblissement d'insertion en dB pour des boucles d'essai à 90° F (32,2° C)

Boucle #	Résistance (Ω)	Fréquence (kHz)											Affaiblissement d'insertion (dB)
		20	40	100	200	260	300	400	500	600	780	1100	
T # 7	1176	30,6	37,9	46,9	54,6	59,1	62,1	69,6	76,6	83,4	95,0	113	
T # 9	915	28,4	37,5	53,4	49,1	57,2	63,1	61,9	72,8	73,6	84,2	98,1	
T # 13	948	27,4	35,2	49,0	49,9	57,2	62,5	63,7	72,8	75,6	87,0	102	
C # 4	658	18,0	22,6	30,4	40,3	41,0	43,5	50,0	50,9	54,3	56,6	71,6	
C # 6	784	20,5	25,2	31,2	36,4	39,4	41,4	46,4	51,1	55,6	63,3	75,2	
C # 7	586	17,9	21,6	27,7	34,0	38,7	39,5	44,1	50,9	58,8	61,4	74,0	
C # 8	657	19,8	23,6	28,7	35,4	39,3	41,8	47,9	53,5	58,6	66,8	79,4	
Demi-boucle C	523	13,8	16,7	20,7	24,2	26,2	27,6	30,9	34,0	37,1	42,2	50,1	

**Tableau 4/G.996.1 – Résistance et affaiblissement d'insertion en dB
pour des boucles d'essai à 120° F (48,9° C)**

Boucle #	Résistance (Ω)	Fréquence (kHz)											Affaiblissement d'insertion (dB)
		20	40	100	200	260	300	400	500	600	780	1100	
T # 7	1250	31,9	39,6	49,4	57,4	61,8	64,8	72,3	79,3	86,1	97,9	116	
T # 9	972	29,5	39,1	54,7	51,5	59,5	65,0	64,1	74,4	75,7	86,4	101	
T # 13	1008	28,5	36,8	50,7	52,3	59,5	64,5	66,0	74,9	77,9	89,4	105	
C # 4	704	18,9	23,8	32,2	41,9	42,8	45,2	51,5	52,8	56,0	58,7	74,1	
C # 6	833	21,4	26,3	32,8	38,2	41,2	43,2	48,2	52,9	57,4	65,3	77,5	
C # 7	623	18,7	22,6	29,1	36,2	40,0	43,2	45,5	52,5	60,2	63,2	76,0	
C #8	699	20,7	24,8	30,2	36,9	40,8	43,3	49,4	55,1	60,4	68,8	81,7	
Medio-C	555	14,4	17,5	21,8	25,5	27,5	28,8	32,1	35,1	38,3	43,5	51,6	

Constantes primaires

Les constantes primaires R, L, C et G des câbles à isolation polyéthylène (PIC, *polyethylene-insulated cable*) à 0° F, 70° F et 120° F, sont définies dans le tableau de l'Annexe A.

La variation de R et de L avec la fréquence peut être modélisée de manière précise comme suit:

$$R = \left(roc^4 + ac \times f^2 \right)^{\frac{1}{4}}$$

et

$$L = \frac{L_0 + L_8 \times xb}{1 + xb}$$

où: $xb = \left(\frac{f}{fm} \right)^b$

Les six coefficients pour un câble à isolation de polyéthylène de 24 et 26 AWG par km à 70 °F sont indiqués dans le Tableau 5.

**Tableau 5/G.996.1 – Coefficients permettant de calculer R et L
[câbles PIC de 24 et 26 AWG à 70° F (21,1° C)]**

	roc	ac	L ₀	L ₈	fm	b
24 AWG	174,559	0,05307	617,295	478,971	553,76	1,15298
26 AWG	286,176	0,14769620	675,369	488,952	806,339	0,929

En ce qui concerne les câbles PIC, les valeurs de C sont constantes avec la fréquence 51,56 nF/km et les valeurs de G sont si faibles qu'elles sont négligeables.

6.1.2 Boucles d'essai locales européennes

La variation des constantes de ligne primaires (R, L et C) avec la fréquence pour les différents types de câbles de référence est indiquée dans les Tableaux 7 et 8. Il convient de relever que l'on part de l'hypothèse que G est égale à zéro. Les valeurs de RLC sont indiquées par kilomètre à une température de 20° C; il s'agit de valeurs mesurées qui ont été pondérées.

La variation de R et de L avec la fréquence peut être modélisée de manière précise comme suit:

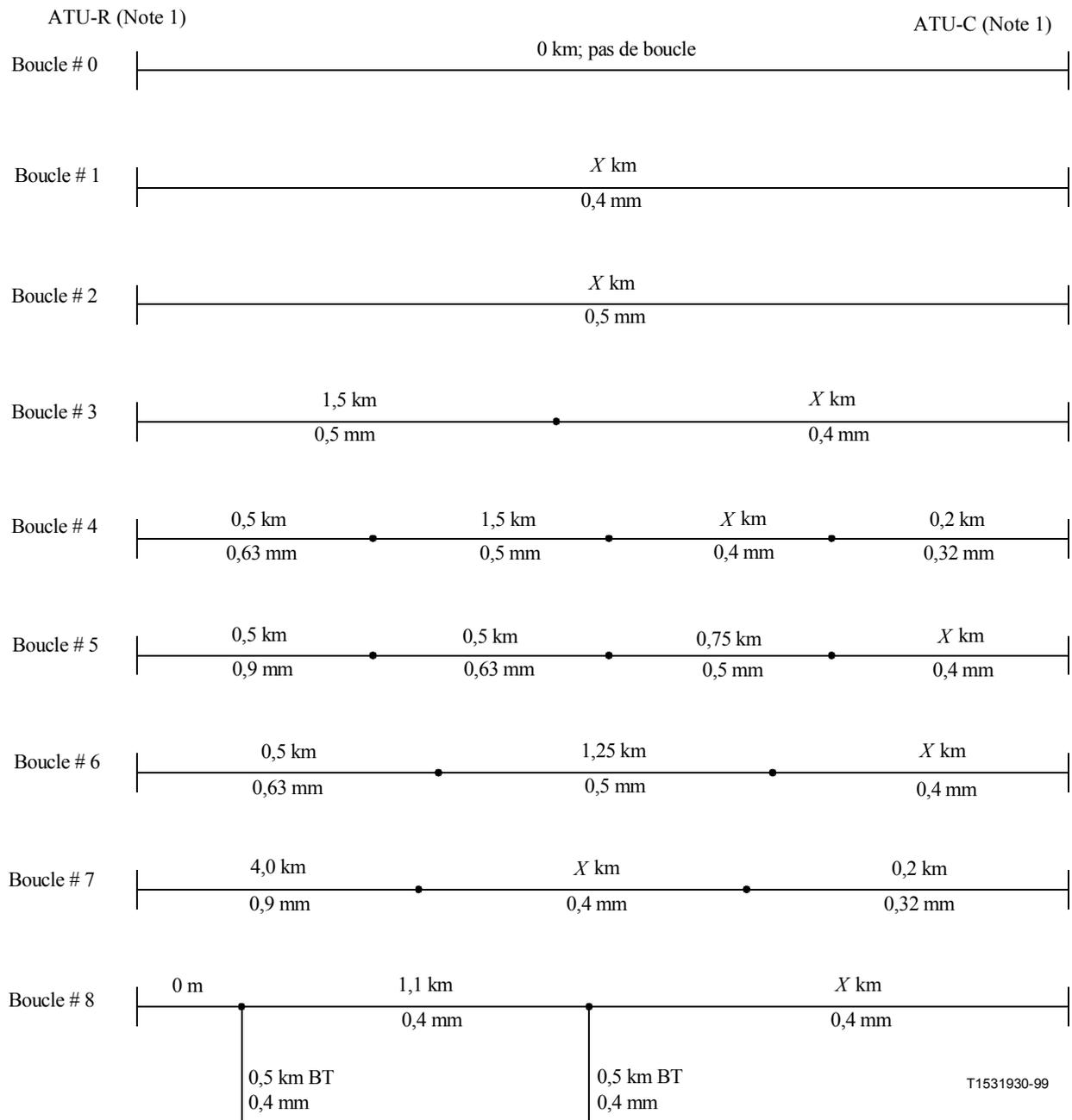
$$R = \left(roc^4 + ac \times f^2 \right)^{\frac{1}{4}}$$

et

$$L = \frac{L_0 + L_8 \times xb}{1 + xb}$$

où: $xb = \left(\frac{f}{fm} \right)^b$

Les six coefficients pour les types de câble mentionnés dans la Figure 10 sont indiqués au Tableau 9. Il convient de relever également que le Tableau 10 contient des sections ajustables (désignées par un "X"). Les longueurs nominales de ces sections sont indiquées dans le Tableau 6. Les longueurs des sections sont fondées sur les valeurs de référence de RLC pour chaque type de câble mentionné dans les Tableaux 7 et 8. Toutefois, pour pouvoir répéter les résultats des mesures, les longueurs de ces sections doivent être ajustées pour donner l'affaiblissement d'insertion global indiqué au Tableau 6. L'affaiblissement d'insertion est mesuré à 300 kHz avec des impédances de source et de terminaison de 100 Ω (impédance résistive et symétrique).



- NOTE 1 – Sur les boucles d'essai illustrées, les unités ATU-R se trouvent à gauche, conformément à la convention européenne, alors que sur la Figure 9, les unités ATU-R se trouvent à droite.
- NOTE 2 – Tous les câbles sont à isolation polyéthylène.
- NOTE 3 – 1 km = 3,28 kft.
- NOTE 4 – BT = branchement à dérivation (*bridged tap*) (c'est-à-dire section de câble sans raccordement).

Figure 10/G.996.1 – Boucles d'essai de l'ETSI

**Tableau 6/G.996.1 – Exemples d'affaiblissement d'insertion de boucle
pour des longueurs nominales (essais européens)**

Boucle #	Affaiblissement d'insertion de boucle 36 dB à 300 kHz	Affaiblissement d'insertion de boucle 36 dB à 300 kHz	Affaiblissement d'insertion de boucle 51 dB à 300 kHz	Affaiblissement d'insertion de boucle 61 dB à 300 kHz
	Valeur nominale de longueur ajustable "X" (km)			
1	2,55	2,55	3,60	4,30
2	3,40	3,40	4,80	5,70
3	1,40	1,40	2,45	3,15
4	0,90	0,90	1,90	2,65
5	1,45	1,45	2,50	3,20
6	1,30	1,30	2,35	3,05
7	0,60	0,60	1,60	2,20
8	0,75	0,75	1,80	2,50

Tableau 7/G.996.1 – Valeurs de RLC (câbles PE de 0,32, 0,4 et 0,5 mm)

Fréquence (kHz)	0,32 mm C = 40 nF/km		0,4 mm C = 50 nF/km		0,5 mm C = 50 nF/km	
	R (ohm/km)	L (mH/km)	R (ohm/km)	L (ohm/km)	R (mH/km)	L (ohm/km)
0	409,000	607,639	280,000	587,132	179,000	673,574
2,5	409,009	607,639	280,007	587,075	179,015	673,466
10	409,140	607,639	280,110	586,738	179,244	672,923
20	409,557	607,639	280,440	586,099	179,970	671,980
30	410,251	607,639	280,988	585,322	181,161	670,896
40	411,216	607,639	281,748	584,443	182,790	669,716
50	412,447	607,639	282,718	583,483	184,822	668,468
100	422,302	607,631	290,433	577,878	199,608	661,677
150	437,337	607,570	302,070	571,525	218,721	654,622
200	456,086	607,327	316,393	564,889	239,132	647,735
250	477,229	606,639	332,348	558,233	259,461	641,208
300	499,757	605,074	349,167	551,714	279,173	635,119
350	522,967	602,046	366,345	545,431	298,103	629,489
400	546,395	596,934	383,562	539,437	316,230	624,309
450	569,748	589,337	400,626	533,759	333,591	619,557
500	592,843	579,376	417,427	528,409	350,243	615,202
550	615,576	567,822	433,904	523,385	366,246	611,211
600	637,885	555,867	450,027	518,677	381,657	607,552
650	659,743	544,657	465,785	514,272	396,528	604,192
700	681,138	534,942	481,180	510,153	410,907	601,104
750	702,072	526,991	496,218	506,304	424,835	598,261
800	722,556	520,732	510,912	502,707	438,348	595,639
850	742,601	515,919	525,274	499,343	451,480	593,217
900	762,224	512,264	539,320	496,197	464,258	590,975
950	781,442	509,503	553,064	493,252	476,71	588,896
1000	800,272	507,415	566,521	490,494	488,857	586,966
1050	818,731	505,831	579,705	487,908	500,720	585,169
1100	836,837	504,623	592,628	485,481	512,317	583,495

NOTE – G = 0 à toutes les fréquences.

Tableau 8/G.996.1 – Valeurs de RLC (câbles PE de 0,63 et 0,9 mm)

Fréquence (kHz)	0,63 mm C = 45 nF/km		0,9 mm C = 40 nF/km	
	R (ohm/km)	L (mH/km)	R (ohm/km)	L (mH/km)
0	113,000	699,258	55,000	750,796
2,5	113,028	697,943	55,088	745,504
10	113,442	693,361	56,361	731,961
20	114,737	687,008	59,941	716,775
30	116,803	680,714	64,777	703,875
40	119,523	674,593	70,127	692,707
50	122,768	668,690	75,586	682,914
100	143,115	642,718	100,769	647,496
150	164,938	622,050	121,866	625,140
200	185,689	605,496	140,075	609,652
250	204,996	592,048	156,273	598,256
300	222,961	580,960	170,987	589,504
350	239,764	571,691	184,556	582,563
400	255,575	563,845	197,208	576,919
450	270,533	557,129	209,104	572,237
500	284,753	551,323	220,365	568,287
550	298,330	546,260	231,081	564,910
600	311,339	541,809	241,326	561,988
650	323,844	537,868	251,155	559,435
700	335,897	534,358	260,615	557,183
750	347,542	531,212	269,745	555,183
800	358,819	528,378	278,577	553,394
850	369,758	525,813	287,138	551,784
900	380,388	523,480	295,452	550,327
950	390,734	521,352	303,538	549,002
1000	400,816	519,402	311,416	547,793
1050	410,654	517,609	319,099	546,683
1100	420,264	515,956	326,602	545,663

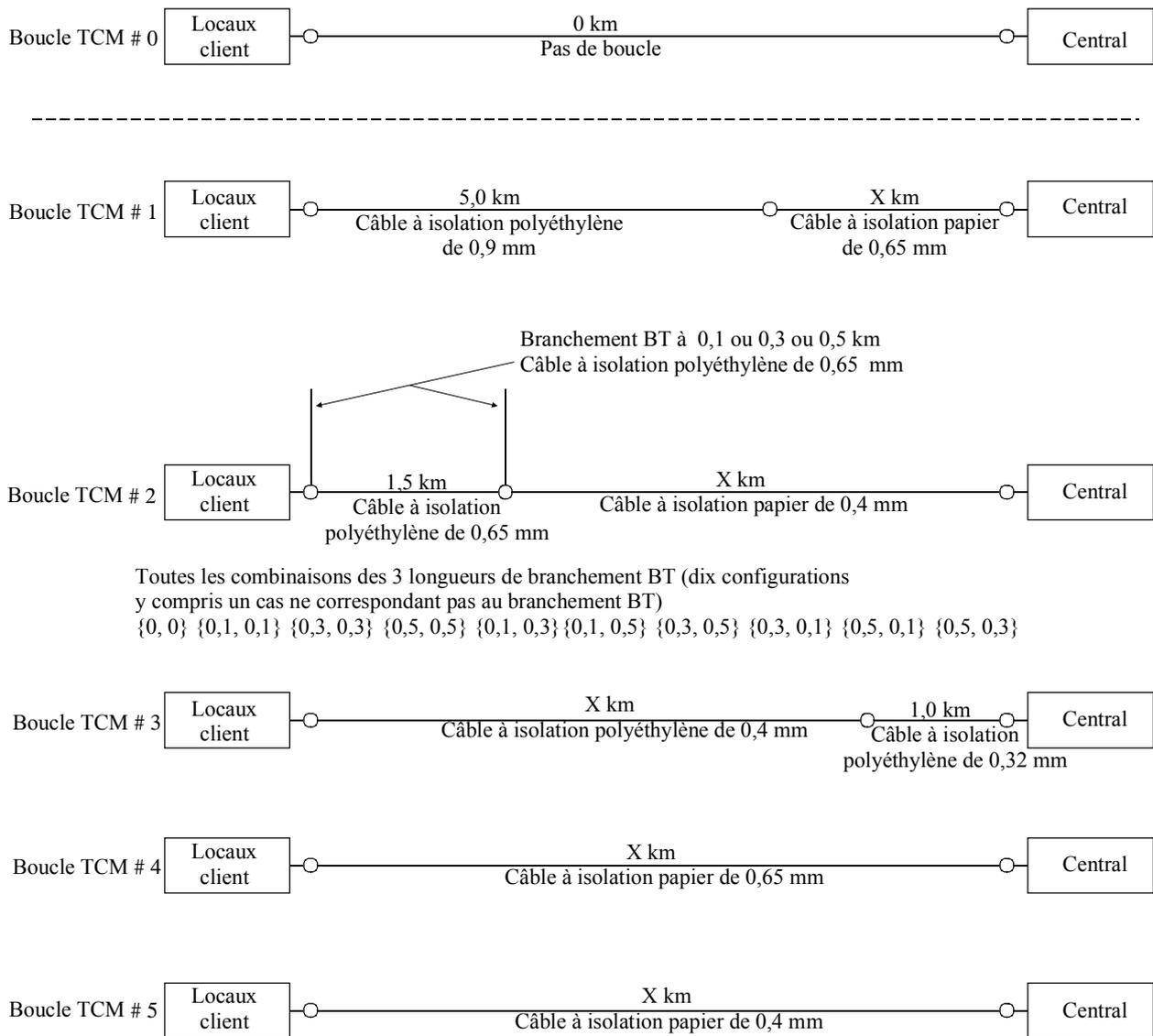
NOTE – G = 0 à toutes les fréquences.

Tableau 9/G.996.1 – Coefficients de calcul de R et L

	roc	ac	L_0	L_8	fm	b
0,32 mm	0,4090	0,3822	0,6075	0,5	0,6090	5,269
0,4 mm	0,2800	0,0969	0,5873	0,4260	0,7459	1,385
0,5 mm	0,1792	0,0561	0,6746	0,5327	0,6647	1,195
0,63 mm	0,113	0,0257	0,6994	0,4772	0,2658	1,0956
0,9 mm	0,0551	0,0094	0,7509	0,5205	0,1238	0,9604

6.1.3 Boucles d'essai dans un environnement coexistant avec un système DSL TCM-RNIS

Pour mesurer la performance des émetteurs-récepteurs G.992.1 et G.992.2, il faut utiliser les boucles d'essai illustrées à la Figure 11. Il convient de relever que la figure comporte des sections ajustables (désignées par "X"). Les longueurs nominales de ces sections correspondant à chaque couverture de boucle sont indiquées dans le Tableau 10. Les longueurs des sections sont fondées sur les valeurs de RLC de référence pour chaque type de câble illustré ci-dessous. L'affaiblissement d'insertion global calculé de boucle à 300 kHz et la résistance de boucle en continu sont également indiquées dans le Tableau 10.



T1531940-99

Figure 11/G.996.1 – Boucle d'essai dans un environnement coexistant avec un système DSL TCM-RNIS

Tableau 10/G.996.1 – Affaiblissement d'insertion de boucle et longueurs nominales

Affaiblissement d'insertion de la boucle (160 kHz)	Boucle TCM #	Valeur nominale de "X"	Longueur totale de la boucle	Affaiblissement d'insertion de la boucle (300 kHz)	Temps de propagation de groupe (µs) (160 kHz)	Résistance en continu de la boucle
26,0 dB (couverture 60%)	1	0,42 km	5,42 km	36,1 dB	28,8	314 ohms
	2	1,32 km	2,82 km	34,6 dB	15,5	518 ohms
	3	0,78 km	1,78 km	31,9 dB	9,8	642 ohms
	4	3,62 km	3,62 km	37,0 dB	19,3	376 ohms
	5	2,07 km	2,07 km	34,0 dB	11,4	567 ohms
37,0 dB (couverture 90%)	1	1,95 km	6,95 km	51,8 dB	37,0	474 ohms
	2	2,19 km	3,69 km	49,0 dB	20,2	758 ohms
	3	1,75 km	2,75 km	45,6 dB	15,4	910 ohms
	4	5,15 km	5,15 km	52,7 dB	27,5	536 ohms
	5	2,94 km	2,94 km	48,3 dB	16,1	807 ohms
50,0 dB (couverture 99%)	1	3,76 km	8,76 km	70,3 dB	46,6	662 ohms
	2	3,23 km	4,73 km	66,0 dB	25,9	1041 ohms
	3	2,91 km	3,91 km	61,7 dB	22,0	1227 ohms
	4	6,97 km	6,97 km	71,2 dB	37,2	724 ohms
	5	3,97 km	3,97 km	65,3 dB	21,8	1090 ohms
65,0 dB (couverture 99,9%) (pour G.992.2 seulement)	1	5,85 km	10,85 km	91,7 dB	57,8	879 ohms
	2	4,42 km	5,92 km	85,6 dB	32,5	1368 ohms
	3	–	–	–	–	–
	4	9,06 km	9,06 km	92,6 dB	48,3	941 ohms
	5	5,16 km	5,16 km	84,9 dB	28,3	1417 ohms

NOTE 1 – Les valeurs du tableau correspondant à la boucle TCM #2 ne tiennent compte que de la section qui aboutit aux locaux client et au central, à condition de mettre à part les branchements de dérivation (BT, *bridge tap*); l'effet sur les caractéristiques d'affaiblissement d'insertion global provoqué par les branchements BT n'est pas pris en considération.

NOTE 2 – Les boucles d'essai ayant une couverture de 60-99% sont destinées à tester la performance des systèmes G.992.1. Les boucles d'essai ayant une couverture de 60-99,9% sont destinées à tester la performance des systèmes G.992.2. Il n'est pas nécessaire de se conformer aux valeurs PSL (perte somme puissance) NEXT/FEXT ($NPSL_n/FPSL_n$) définies au 7.9 pour les boucles d'essai dont la couverture est de 99,9%. Les débits de données nets qui en résultent peuvent être considérés comme une fonction des valeurs $NPSL_n/FPSL_n$ dans ce cas.

NOTE 3 – La boucle TCM #3 ayant une couverture de 99,9% est supprimée de la liste du fait que la résistance en continu de la boucle est supérieure à 1 500 Ω.

Constantes de ligne primaires

Les constantes de ligne primaires sont R , L , C , et G . La variation de R , L et G avec la fréquence peut être calculée avec précision grâce aux équations indiquées ci-dessous. Les coefficients de calcul R , L et G sont indiqués dans le Tableau 11. Les équations ci-dessous donnent la valeur de R en ohm/m, de L en H/m, de G en mho/m, de C en F/m, et de f en Hz au moyen des valeurs des coefficients indiqués dans le tableau. Il convient de relever que l'on part de l'hypothèse que la capacité C est constante avec la fréquence ($C = 50$ pF/m).

Les constantes de ligne primaires (R , L , G et C) calculées au moyen des équations ci-dessous pour les types de câbles mentionnés à la Figure 11 sont indiqués dans les Tableaux 13 à 17, en fonction de la fréquence, R étant indiqué en ohm/km, L en $\mu\text{H}/\text{km}$, G en $\mu\text{mho}/\text{km}$, C en nF/km, f en kHz, et pour une température de 20°C .

$$R = 2(R_i + R_n + R_{ns}) \quad [\text{ohm/m}]$$

$$L = 2(L_a + L_i + L_n + L_{ns}) \quad [\text{H/m}]$$

$$G = \omega C \tan \delta \quad [\text{mho/m}]$$

$$C = 50 \times 10^{-12} \quad [\text{F/m}]$$

$$R_i = \frac{1}{\pi r^2 \sigma} f_i^{(R)} = \frac{1}{\pi r^2 \sigma} \operatorname{Re} \left[\frac{1+j}{2\delta} r \frac{J_0\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)}{J_1\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)} \right]$$

$$R_n = \frac{1}{\pi \sigma d^2} f_n^{(R)} = \frac{1}{\pi \sigma d^2} \operatorname{Re} \left[-\frac{1+j}{\delta} r \frac{J_1\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)}{J_0\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)} \right]$$

$$R_{ns} = \frac{1}{\pi \sigma d^2} 4 f_n^{(R)} = \frac{4}{\pi \sigma d^2} \operatorname{Re} \left[-\frac{1+j}{\delta} r \frac{J_1\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)}{J_0\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)} \right]$$

$$L_a = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{d}{r}\right)$$

$$L_i = \frac{\mu_r \mu_0}{2\pi} f_i^{(L)} = \frac{\mu}{2\pi} \operatorname{Re} \left[\frac{\delta}{(1+j)r} \frac{J_0\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)}{J_1\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)} \right]$$

$$L_n = -\frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{r}{d}\right)^2 f_n^{(L)} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{r}{d}\right)^2 \operatorname{Re} \left[\frac{J_2\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)}{J_0\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)} \right]$$

$$L_{ns} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{r}{d}\right)^2 4 f_n^{(L)} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{r}{d}\right)^2 4 \operatorname{Re} \left[\frac{J_2\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)}{J_0\left(\frac{1+j}{\delta} r\right)} \right]$$

où:

$$\omega = 2\pi f \quad \text{pulsation}$$

r rayon d'un conducteur

σ conductivité du cuivre (conducteur)

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu_r\mu_0}} \quad \text{épaisseur de la gaine}$$

$$d = 2\sqrt{2}(r + c_0) \quad \text{entraxe des conducteurs d'une paire}$$

c_0 épaisseur de l'isolant d'un câble

μ_r perméabilité relative du cuivre (conducteur)

μ_0 perméabilité du vide

Tableau 11/G.996.1 – Coefficients de calcul de R et L

Coefficient	Papier				Polyéthylène				
	0,4 mm	0,5 mm	0,65 mm	0,9 mm	0,32 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,65 mm	0,9 mm
r (m)	$0,2 \times 10^{-3}$	$0,25 \times 10^{-3}$	$0,325 \times 10^{-3}$	$0,45 \times 10^{-3}$	$0,16 \times 10^{-3}$	$0,2 \times 10^{-3}$	$0,25 \times 10^{-3}$	$0,325 \times 10^{-3}$	$0,45 \times 10^{-3}$
c_0 (m)	$0,09 \times 10^{-3}$	$0,11 \times 10^{-3}$	$0,17 \times 10^{-3}$	$0,24 \times 10^{-3}$	$0,05 \times 10^{-3}$	$0,13 \times 10^{-3}$	$0,15 \times 10^{-3}$	$0,20 \times 10^{-3}$	$0,27 \times 10^{-3}$
μ_r	1								
μ_0 (H/m)	$4\pi \times 10^{-7}$								
σ (mho/m)	$5,8 \times 10^7$								
$\tan \delta$	$2,5 \times 10^{-2}$				$4,0 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$			

La variation de R et L avec la fréquence peut être modélisée de manière précise comme suit. Les cinq coefficients correspondant aux types de câbles mentionnés dans la Figure 11 sont indiqués dans le Tableau 12. Les équations d'approximation suivantes permettent de calculer les valeurs de R en ohm/m, de L en H/m, de G en mho/m, de C en F/m et de f en Hz au moyen des valeurs des coefficients indiquées dans le tableau.

$$R = \left(roc^4 + ac \times f^2\right)^{\frac{1}{4}} \quad [\text{ohm/m}]$$

$$L = xa + xb \times f^{\frac{1}{2}} + xc \times f^{\frac{1}{3}} \quad [\text{H/m}]$$

$$G = \omega C \tan \delta \quad [\text{mho/m}]$$

$$C = 50 \times 10^{-12} \quad [\text{F/m}]$$

Tableau 12/G.996.1 – Coefficients de calcul de R et L (à 20° C)

Type de câble		roc	ac	xa	xb	xc
Papier	0,4 mm	$2,688 \times 10^{-1}$	$2,267 \times 10^{-13}$	$6,834 \times 10^{-7}$	$-2,094 \times 10^{-10}$	$7,205 \times 10^{-10}$
	0,5 mm	$1,724 \times 10^{-1}$	$9,374 \times 10^{-14}$	$7,351 \times 10^{-7}$	$1,930 \times 10^{-11}$	$-2,330 \times 10^{-9}$
	0,65 mm	$1,041 \times 10^{-1}$	$2,787 \times 10^{-14}$	$8,006 \times 10^{-7}$	$2,696 \times 10^{-10}$	$-5,340 \times 10^{-9}$
	0,9 mm	$5,589 \times 10^{-2}$	$7,180 \times 10^{-15}$	$8,304 \times 10^{-7}$	$5,111 \times 10^{-10}$	$-8,161 \times 10^{-9}$
Polyéthylène	0,32 mm	$4,175 \times 10^{-1}$	$6,998 \times 10^{-13}$	$6,003 \times 10^{-7}$	$-3,919 \times 10^{-10}$	$3,081 \times 10^{-9}$
	0,4 mm	$2,714 \times 10^{-1}$	$1,705 \times 10^{-13}$	$7,257 \times 10^{-7}$	$-2,059 \times 10^{-10}$	$9,678 \times 10^{-10}$
	0,5 mm	$1,742 \times 10^{-1}$	$7,346 \times 10^{-14}$	$7,618 \times 10^{-7}$	$-1,547 \times 10^{-11}$	$-1,656 \times 10^{-9}$
	0,65 mm	$1,048 \times 10^{-1}$	$2,436 \times 10^{-14}$	$8,139 \times 10^{-7}$	$2,354 \times 10^{-10}$	$-4,801 \times 10^{-9}$
	0,9 mm	$5,630 \times 10^{-2}$	$6,486 \times 10^{-15}$	$8,407 \times 10^{-7}$	$4,816 \times 10^{-10}$	$-7,721 \times 10^{-9}$

**Tableau 13/G.996.1 – Valeurs de RLC pour des câbles à isolation papier
de 0,4 et 0,5 mm**

Fréquence (kHz)	0,4 mm C = 50 nF/km		0,5 mm C = 50nF/km	
	R (ohm/km)	L (µH/km)	R (ohm/km)	L (µH/km)
0,00	274,41	664,51	175,62	661,75
2,50	274,42	664,51	175,64	661,73
10,00	274,62	664,42	175,97	661,52
20,00	275,28	664,15	176,99	660,85
30,00	276,36	663,69	178,68	659,74
40,00	277,87	663,07	180,99	658,24
50,00	279,78	662,27	183,88	656,37
100,00	294,75	656,09	204,86	643,13
150,00	316,56	647,33	231,49	627,35
200,00	342,22	637,42	258,98	612,46
250,00	369,40	627,46	285,41	599,57
300,00	396,69	618,03	310,31	588,68
350,00	423,38	609,41	333,73	579,47
400,00	449,19	601,65	355,79	571,61
450,00	474,02	594,68	376,61	564,83
500,00	497,90	588,42	396,34	558,92
550,00	520,87	582,79	415,08	553,73
600,00	542,99	577,69	432,93	549,13
650,00	564,30	573,06	449,98	545,03
700,00	584,86	568,84	466,34	541,34
750,00	604,72	564,98	482,06	538,02
800,00	623,92	561,42	497,22	535,00
850,00	642,50	558,15	511,88	532,24
900,00	660,52	555,11	526,09	529,71
950,00	678,00	552,30	539,88	527,38
1000,00	694,99	549,69	553,30	525,23
1050,00	711,52	547,25	566,38	523,23
1100,00	727,62	544,96	579,14	521,37

**Tableau 14/G.996.1 – Valeurs de RLC pour des câbles à isolation papier
de 0,65 et 0,9 mm**

Fréquence (kHz)	0,65 mm C = 50nF/km		0,9 mm C = 50nF/km	
	R (ohm/km)	L (µH/km)	R (ohm/km)	L (µH/km)
0,00	103,92	684,18	54,20	686,87
2,50	103,95	684,15	54,27	686,73
10,00	104,45	683,60	55,20	684,79
20,00	106,02	681,89	57,98	679,07
30,00	108,52	679,19	62,04	670,97
40,00	111,83	675,66	66,81	661,83
50,00	115,78	671,51	71,88	652,64
100,00	140,25	647,61	96,11	616,45
150,00	165,42	626,69	116,50	594,37
200,00	188,55	610,67	133,77	579,83
250,00	209,58	598,33	148,81	569,58
300,00	228,77	588,57	162,27	561,93
350,00	246,38	580,67	174,61	555,98
400,00	262,68	574,16	186,08	551,17
450,00	277,89	568,69	196,86	547,19
500,00	292,19	564,04	207,06	543,81
550,00	305,73	560,02	216,77	540,90
600,00	318,64	556,51	226,06	538,36
650,00	331,01	553,41	234,97	536,11
700,00	342,90	550,65	243,55	534,10
750,00	354,37	548,17	251,83	532,30
800,00	365,47	545,92	259,84	530,67
850,00	376,23	543,88	267,60	529,18
900,00	386,68	542,00	275,14	527,82
950,00	396,85	540,27	282,47	526,57
1000,00	406,77	538,67	289,61	525,41
1050,00	416,44	537,19	296,58	524,33
1100,00	425,88	535,81	303,38	523,33

**Tableau 15/G.996.1 – Valeurs de RLC pour des câbles à isolation polyéthylène
de 0,32, 0,4 et 0,5 mm**

Fréquence (kHz)	0,32 mm C = 50nF/km		0,4 mm C = 50nF/km		0,5 mm C = 50nF/km	
	R (ohm/km)	L (µH/km)	R (ohm/km)	L (µH/km)	R (ohm/km)	L (µH/km)
0,00	428,76	624,66	274,41	716,20	175,62	703,89
2,50	428,77	624,66	274,42	716,19	175,64	703,88
10,00	428,92	624,62	274,59	716,13	175,91	703,70
20,00	429,41	624,48	275,12	715,91	176,79	703,14
30,00	430,23	624,26	276,02	715,55	178,23	702,23
40,00	431,37	623,94	277,25	715,05	180,20	700,98
50,00	432,83	623,54	278,83	714,42	182,66	699,43
100,00	444,67	620,31	291,19	709,50	200,68	688,42
150,00	463,20	615,30	309,35	702,50	223,85	675,19
200,00	486,98	608,97	330,92	694,53	248,16	662,55
250,00	514,44	601,81	354,05	686,44	271,91	651,46
300,00	544,17	594,24	377,58	678,73	294,59	641,96
350,00	575,05	586,61	400,91	671,59	316,14	633,82
400,00	606,26	579,16	423,72	665,08	336,56	626,79
450,00	637,24	572,03	445,91	659,18	355,93	620,66
500,00	667,67	565,31	467,42	653,82	374,32	615,28
550,00	697,37	559,03	488,25	648,94	391,79	610,53
600,00	726,25	553,18	508,41	644,49	408,45	606,30
650,00	754,29	547,75	527,90	640,42	424,36	602,52
700,00	781,52	542,72	546,76	636,68	439,60	599,12
750,00	807,95	538,05	565,01	633,23	454,24	596,04
800,00	833,64	533,70	582,67	630,05	468,35	593,25
850,00	858,61	529,65	599,77	627,10	481,98	590,69
900,00	882,92	525,88	616,36	624,36	495,18	588,35
950,00	906,60	522,34	632,44	621,82	508,00	586,20
1000,00	929,68	519,03	648,07	619,45	520,46	584,20
1050,00	952,21	515,92	663,27	617,23	532,60	582,35
1100,00	974,20	513,00	678,07	615,15	544,44	580,62

**Tableau 16/G.996.1 – Valeurs de RLC pour des câbles à isolation polyéthylène
de 0,65 et 0,9 mm**

Fréquence (kHz)	0,65 mm C = 50nF/km		0,9 mm C = 50nF/km	
	R (ohm/km)	L (µH/km)	R (ohm/km)	L (µH/km)
0,00	103,92	707,72	54,20	703,89
2,50	103,95	707,69	54,26	703,77
10,00	104,41	707,19	55,14	701,96
20,00	105,84	705,66	57,75	696,66
30,00	108,14	703,22	61,57	689,13
40,00	111,17	700,03	66,08	680,63
50,00	114,81	696,28	70,89	672,04
100,00	137,50	674,59	94,16	637,90
150,00	161,20	655,37	113,97	616,72
200,00	183,24	640,46	130,78	602,67
250,00	203,43	628,83	145,41	592,72
300,00	221,91	619,57	158,49	585,30
350,00	238,88	612,03	170,48	579,52
400,00	254,58	605,79	181,62	574,85
450,00	269,22	600,55	192,09	570,98
500,00	282,98	596,08	202,00	567,70
550,00	296,00	592,23	211,44	564,88
600,00	308,41	588,86	220,46	562,41
650,00	320,29	585,88	229,12	560,22
700,00	331,71	583,23	237,45	558,28
750,00	342,73	580,85	245,50	556,53
800,00	353,40	578,69	253,28	554,94
850,00	363,73	576,73	260,82	553,50
900,00	373,78	574,93	268,14	552,18
950,00	383,55	573,27	275,27	550,96
1000,00	393,07	571,73	282,20	549,83
1050,00	402,36	570,31	288,97	548,79
1100,00	411,44	568,98	295,58	547,81

Tableau 17/G.996.1 – Valeurs de G

Fréquence (kHz)	0,4, 0,5, 0,65, 0,9 mm câble à isolation papier (μmho/km)	0,32 mm câble à isolation polyéthylène (μmho/km)	0,4, 0,5, 0,65, 0,9 mm câble à isolation polyéthylène (μmho/km)
0,00	0,00	0,00	0,00
2,50	19,64	0,31	0,39
10,00	78,54	1,26	1,57
20,00	157,08	2,51	3,14
30,00	235,62	3,77	4,71
40,00	314,16	5,03	6,28
50,00	392,70	6,28	7,85
100,00	785,40	12,57	15,71
150,00	1178,10	18,85	23,56
200,00	1570,80	25,13	31,42
250,00	1963,50	31,42	39,27
300,00	2356,19	37,70	47,12
350,00	2748,89	43,98	54,98
400,00	3141,59	50,27	62,83
450,00	3534,29	56,55	70,69
500,00	3926,99	62,83	78,54
550,00	4319,69	69,12	86,39
600,00	4712,39	75,40	94,25
650,00	5105,09	81,68	102,10
700,00	5497,79	87,96	109,96
750,00	5890,49	94,25	117,81
800,00	6283,19	100,53	125,66
850,00	6675,88	106,81	133,52
900,00	7068,58	113,10	141,37
950,00	7461,28	119,38	149,23
1000,00	7853,98	125,66	157,08
1050,00	8246,68	131,95	164,93
1100,00	8639,38	138,23	172,79

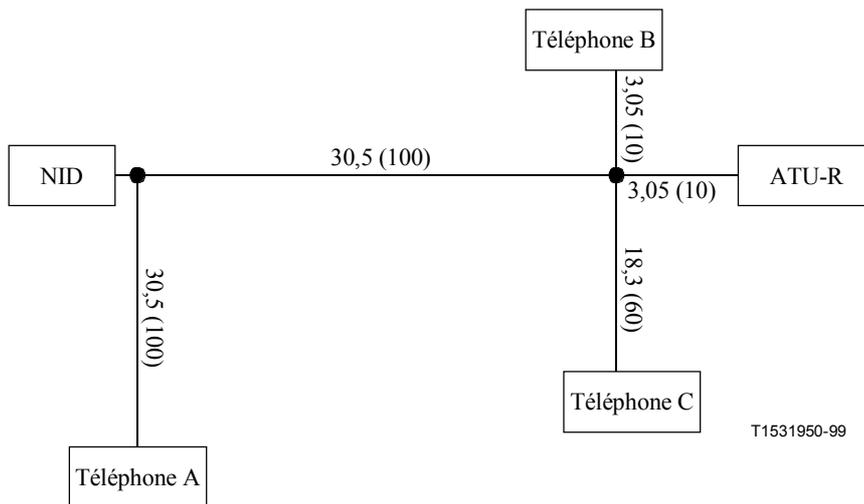
6.2 Modèles de câblage chez l'abonné

6.2.1 Modèle de câble interne chez l'abonné n° 1

Dans le modèle de la Figure 12, il convient de relever que le téléphone "A" sera utilisé pour des essais dans l'état décroché. Tous les câbles indiqués sont des câbles de la catégorie 3.

L'affaiblissement (a) en dB/100 m (328 pieds) du câble de la catégorie 3 est calculé grâce à l'équation suivante:

$$\text{affaiblissement (a) du câble de la catégorie 3} = 2,320 \sqrt{f} + 0,238 f, \quad f \text{ en MHz}$$



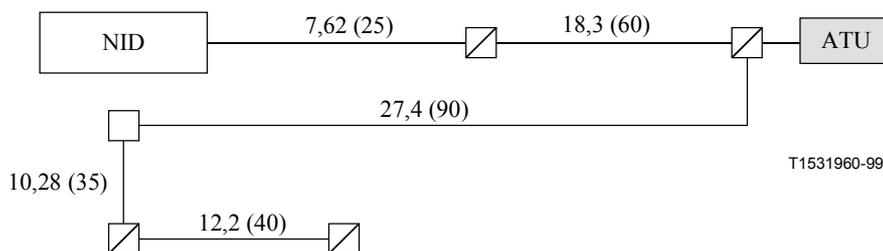
T1531950-99

NOTE – Les longueurs sont indiquées en mètres et leurs équivalents en pieds sont mis entre parenthèses.

Figure 12/G.996.1 – Modèle de câblage n° 1 dans les locaux client

6.2.2 Modèle de câblage chez l'abonné n° 2: câble en marguerite, à 4 conducteurs, 24 AWG, cordon de raccordement non couplé

Voir Figure 13.



T1531960-99

NOTE 1 – La ligne qui traverse le joncteur représente le téléphone raccordé.

NOTE 2 – 1,83 m (6 pieds) de câble (le même type que celui utilisé pour le câblage) relie chaque téléphone et chaque unité ATU-R à chaque joncteur.

NOTE 3 – Les longueurs sont indiquées en mètres et leurs équivalents en pieds sont mis entre parenthèses.

NOTE 4 – Câblage en marguerite des deux paires vers tous les joncteurs.

NOTE 5 – Un second service peut exister.

Figure 13/G.996.1 – Modèle de câblage n° 2 dans les locaux client

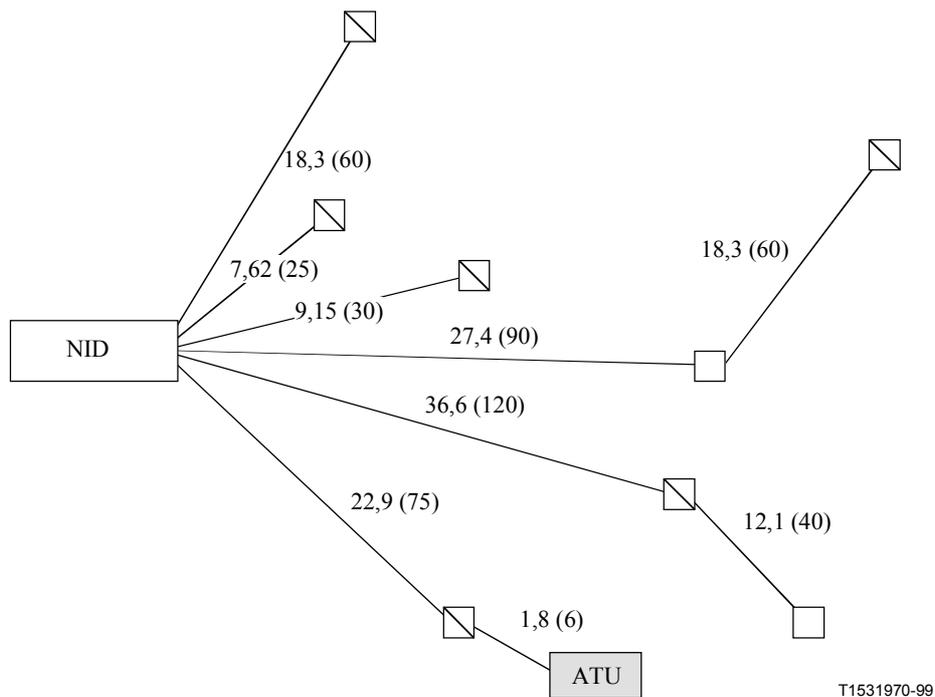
Valeur électrique – Cordon de raccordement

Propriétés	Valeur
<i>Résistance des conducteurs – Maximum</i> 22 AWG 24 AWG	59,1 Ω /km (18,1 Ω /kft) 93,8 Ω /km (28,6 Ω /kft)
<i>Détection d'étincelles</i> Tension minimale Taux de dérangement maximal	1 750 V (alternatif) ou 2 500 V (continu) 1 par 915 m (3 000 pieds)
<i>Capacité coaxiale – Maximum (à 1 000 Hz et 20° C)</i>	279 nF/km (85 nF/kft)
<i>Dissymétrie de capacité entre deux paires – Maximum (à 1000 Hz)</i>	410 pF/500 m (125 pF/500 pieds)
<i>Haute tension</i> Tension de tenue Temps minimal	2500 V (continu) 2 s
<i>Rigidité diélectrique – Enveloppe</i> Tension alternative minimale Intensité de crête pendant un test de 90 s maximum	1500 V (valeur efficace) 10 mA
<i>Résistance d'isolement pour chaque conducteur – Minimum</i>	152 Mohm \times km (500 Mohm \times kft)
Aériens: chaque longueur Faux-contacts: chaque longueur Court circuits: chaque longueur	Aucun autorisé Aucun autorisé Aucun autorisé
NOTE – 22 AWG = 0,65 mm; 24 AWG = 0,5 mm.	

6.2.3 Modèle de câblage chez l'abonné n° 3: étoile – 152,4 m (500 pieds), fils de la catégorie 3 à 4 paires

Dans la Figure 14, l'affaiblissement (a) en dB/100 m (328 pieds) du câble de la catégorie 3 est calculé grâce à l'équation suivante:

$$\text{affaiblissement (a) du câble de la catégorie 3} = 2,320 \sqrt{f} + 0,238 f, \quad f \text{ en MHz}$$



NOTE 1 – La ligne qui traverse le conjointeur indique que le téléphone est raccordé.

NOTE 2 – 1,83 m (6 pieds) de câble (même type que celui utilisé pour le câblage) relie chaque téléphone et chaque unité ATU-R à chaque conjointeur.

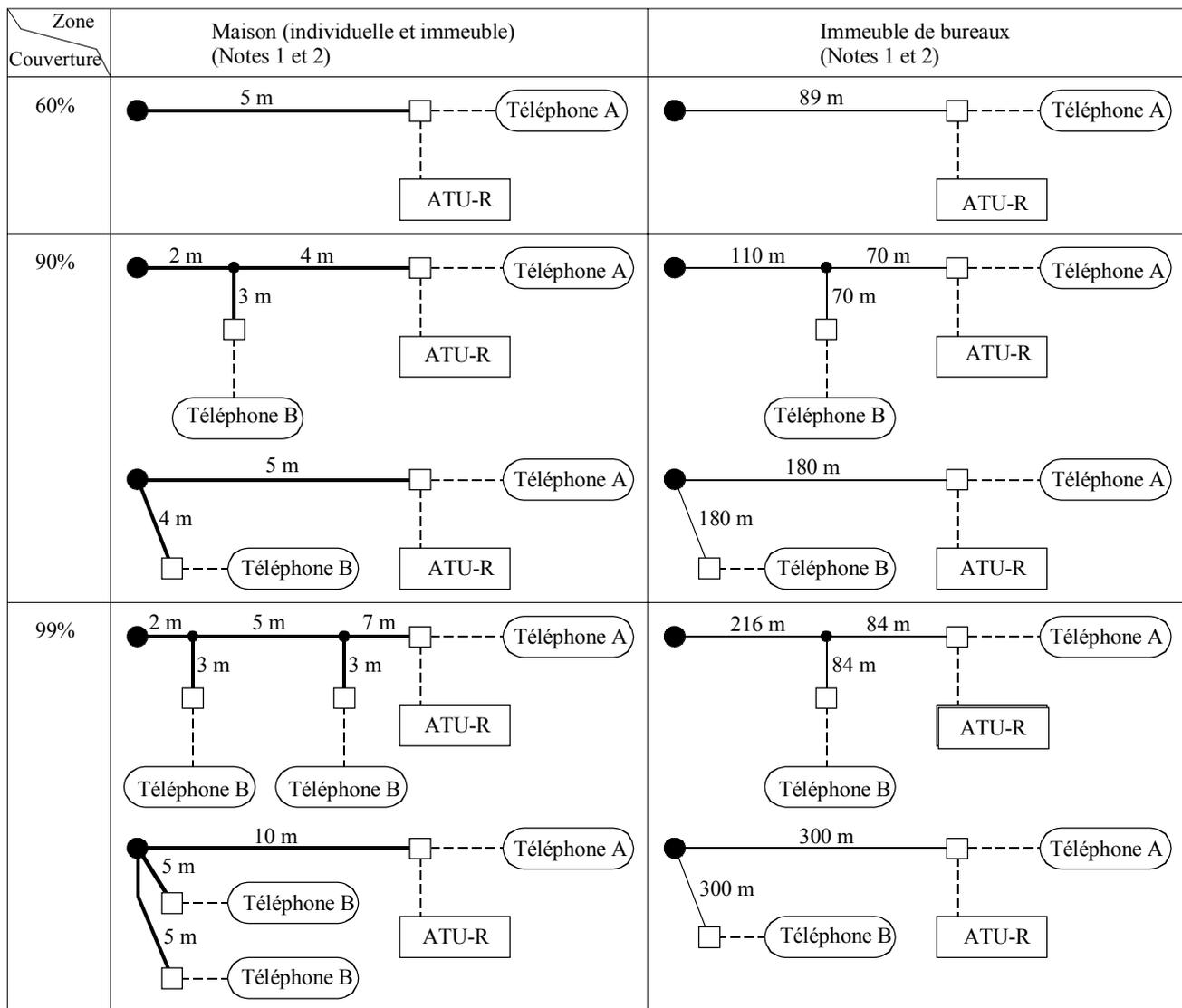
NOTE 3 – Un second service peut exister.

NOTE 4 – Les longueurs sont indiquées en mètres et leurs équivalents en pieds sont mis entre parenthèses.

Figure 14/G.996.1 – Modèle de câblage n° 3 dans les locaux client

6.2.4 Modèle de câblage chez l'abonné pour un environnement DSL TCM-RNIS

Voir Figure 15.



T1531980-99

- En général, paire unique non torsadée de 0,5 mm (Note 3)
- En général, paire torsadée de 0,4 mm (configuration autre qu'à quarts) (Note 5)
- - - - - Cordon de raccordement (en général 3 m) (Note 4)
- NID
- RJ-11

NOTE 1 – Les modèles de câblage chez l'abonné représentés dans la figure doivent remplacer la case intitulée "Locaux client" dans les boucles d'essai (Figure 11) pour les essais de performance de systèmes G.992.2, dans lesquels la qualité devrait être mesurée avec un téléphone décroché (téléphone A). Il n'est pas nécessaire de procéder à des essais de performance de système G.992.1 pour respecter les modèles de câblage illustrés dans cette figure.

NOTE 2 – Un modèle de téléphone linéaire est décrit à des fins d'essai au paragraphe 9; seules les impédances permanentes sont prises en considération, et non les transitoires. Il convient de relever que les modèles de téléphonie sont des modèles ordinaires; ils ne sont ni caractéristiques, ni représentatifs, ni moyens; ce ne sont pas non plus les plus mauvais. Ils sont spécifiés pour uniformiser les conditions d'essai afin de valider la comparaison des résultats des essais. Les résultats des essais ne garantissent pas une performance de système G.992.2 en cas d'exploitation sans séparateur.

NOTE 3 – Les équations permettant de calculer les constantes de lignes primaires R, L, C et G avec la fréquence pour des câbles utilisés chez l'abonné sont indiquées au 6.1.3. Les coefficients de calcul sont indiqués dans le Tableau 37. Il convient de relever que les câbles utilisés chez l'abonné illustrés à la Figure 15 ne sont pas à quarts (contrairement aux câbles illustrés à la Figure 11), de sorte que la distance "d" entre les centres des conducteurs d'une paire utilisée dans les équations doit être "d = 2 (r + c₀)"; la distance n'est pas multipliée par $\sqrt{2}$ comme c'est le cas pour un câble à quarts.

NOTE 4 – Les caractéristiques d'affaiblissement d'insertion d'un cordon de raccordement de 3 m sont représentées à la Figure 48.

NOTE 5 – Les équations et coefficients de calcul figurent au 6.1.3 et dans le Tableau 11.

Figure 15/G.996.1 – Modèles de câblage chez l'abonné dans un environnement coexistant avec un système DSL TCM-RNIS

7 Densité spectrale de puissance de signaux perturbateurs par diaphonie

On mesure la marge de diaphonie au moyen de différents types de signaux perturbateurs sur les lignes DSL, HDSL, T₁ et ADSL. La diaphonie DSL, HDSL et ADSL provient de paires situées dans le même faisceau de paires; la diaphonie T₁ provient de paires situées dans un faisceau de paires adjacent.

7.1 Densité spectrale de puissance de signaux DSL simulée et paradiaphonie induite

La densité spectrale de puissance (PSD, *power spectral density*) de signaux perturbateurs DSL d'accès de base s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}} = K_{DSL} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\sin\left(\frac{\pi f}{f_0}\right) \right]^2}{\left(\frac{\pi f}{f_0}\right)^2} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^4}, \quad f_{3dB} = 80 \text{ kHz}, 0 \leq f < \infty$$

où: $f_0 = 80 \text{ kHz}$, $K_{DSL} = \frac{5}{9} \times \frac{V_p^2}{R}$, $V_p = 2,50 \text{ volts}$ et $R = 135 \text{ ohms}$

Cette équation permet d'obtenir la densité PSD unilatérale; c'est-à-dire que l'intégrale de la densité PSD, par rapport à f , de 0 à l'infini, donne la puissance en watts. La densité spectrale de puissance des signaux perturbateurs DSL correspond à la densité PSD d'un signal 2B1Q à 80 ksymbol/s avec des niveaux aléatoires équiprobables, avec des impulsions échantillonnées pleine bande et un filtrage Butterworth du second ordre ($f_{3dB} = 80 \text{ kHz}$). La Figure 16 indique la densité PSD de la paradiaphonie (NEXT) DSL due à 24 signaux perturbateurs.

La densité PSD de la paradiaphonie (NEXT) DSL peut être représentée sous la forme suivante:

$$PSD_{DSL-NEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}} \times \left(x_n \times f^{3/2} \right) \quad \text{pour } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

où: $x_n = 8,818 \times 10^{-14} \times (n/49)^{0,6}$ ou, ce qui revient au même, $x_n = 0,8536 \times 10^{14} \times n^{0,6}$

L'intégration de la densité $PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}}$ et de la densité $PSD_{DSL-NEXT}$ sur les différentes gammes de fréquences étudiées est indiquée dans le Tableau 18.

Tableau 18/G.996.1 – Puissance d'émission DSL et puissance de la paradiaphonie induite DSL

Gamme de fréquences	Puissance d'émission (dBm)	Puissance de la paradiaphonie 24 signaux perturbateurs (dBm)
0-0,16 MHz	13,60	-52,62
0-0,32 MHz	13,60	-52,62
0-1,544 MHz	13,60	-52,62
0-3 MHz	13,60	-52,62
0-10 MHz	13,60	-52,62

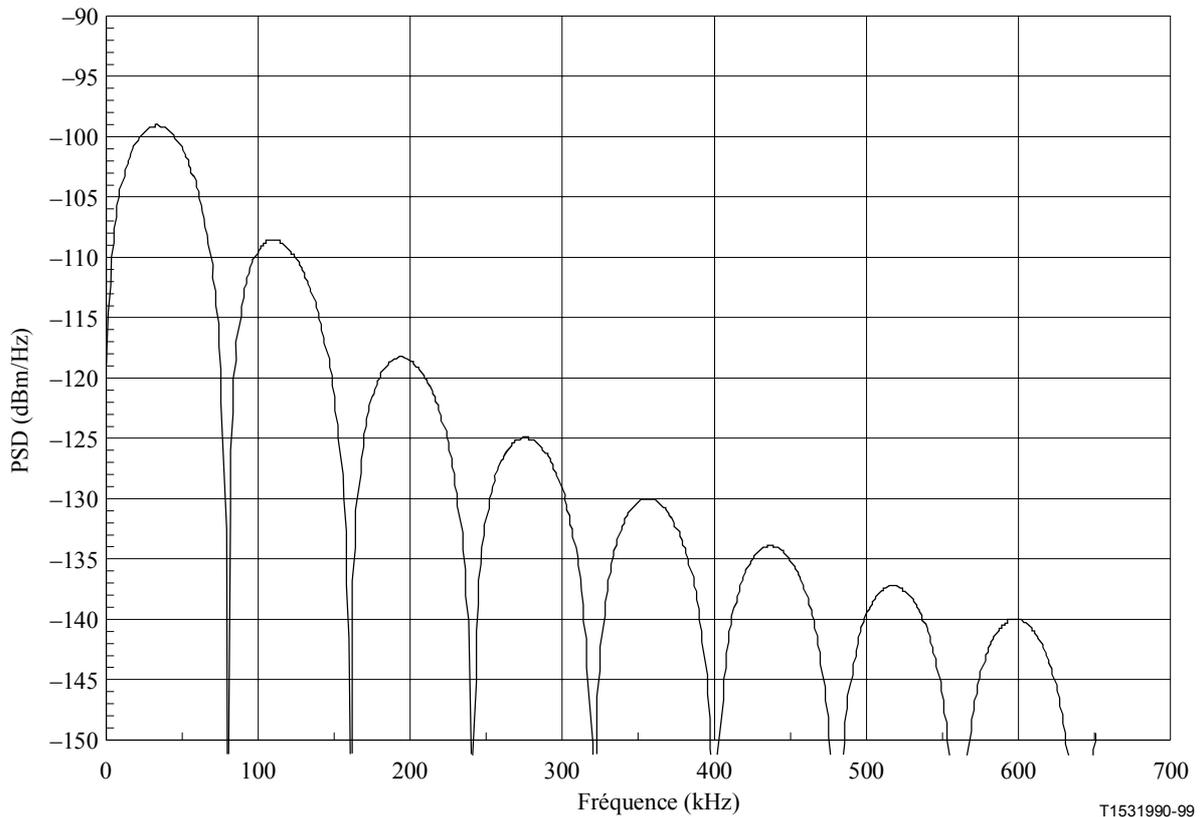


Figure 16/G.996.1 – Paradiaphonie DSL due à 24 signaux perturbateurs

7.2 Densité spectrale de puissance HDSL et paradiaphonie induite

La densité spectrale de puissance (PSD) de signaux perturbateurs HDSL s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs}} = K_{HDSL} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\sin\left(\frac{\pi f}{f_0}\right) \right]^2}{\left(\frac{\pi f}{f_0}\right)^2} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^8}, \quad f_{3dB} = 196 \text{ kHz}, 0 \leq f < \infty$$

où: $f_0 = 392 \text{ kHz}$, $K_{DSL} = \frac{5}{9} \times \frac{V_p^2}{R}$, $V_p = 2.70 \text{ volts}$, et $R = 135 \text{ ohms}$

Cette équation permet d'obtenir la densité PSD unilatérale; c'est-à-dire que l'intégrale de la densité spectrale de puissance, par rapport à f , de 0 à l'infini, donne la puissance en watts. La densité spectrale de puissance des signaux perturbateurs HDSL et la densité spectrale de puissance d'un signal 2B1Q à 392 k symbol/s avec des niveaux aléatoires équiprobables, des impulsions écrêtées pleine bande et un filtrage Butterworth de quatrième ordre ($f_{3dB} = 196 \text{ kHz}$). La Figure 17 indique la densité PSD de la paradiaphonie (NEXT) HDSL due à 10 signaux perturbateurs.

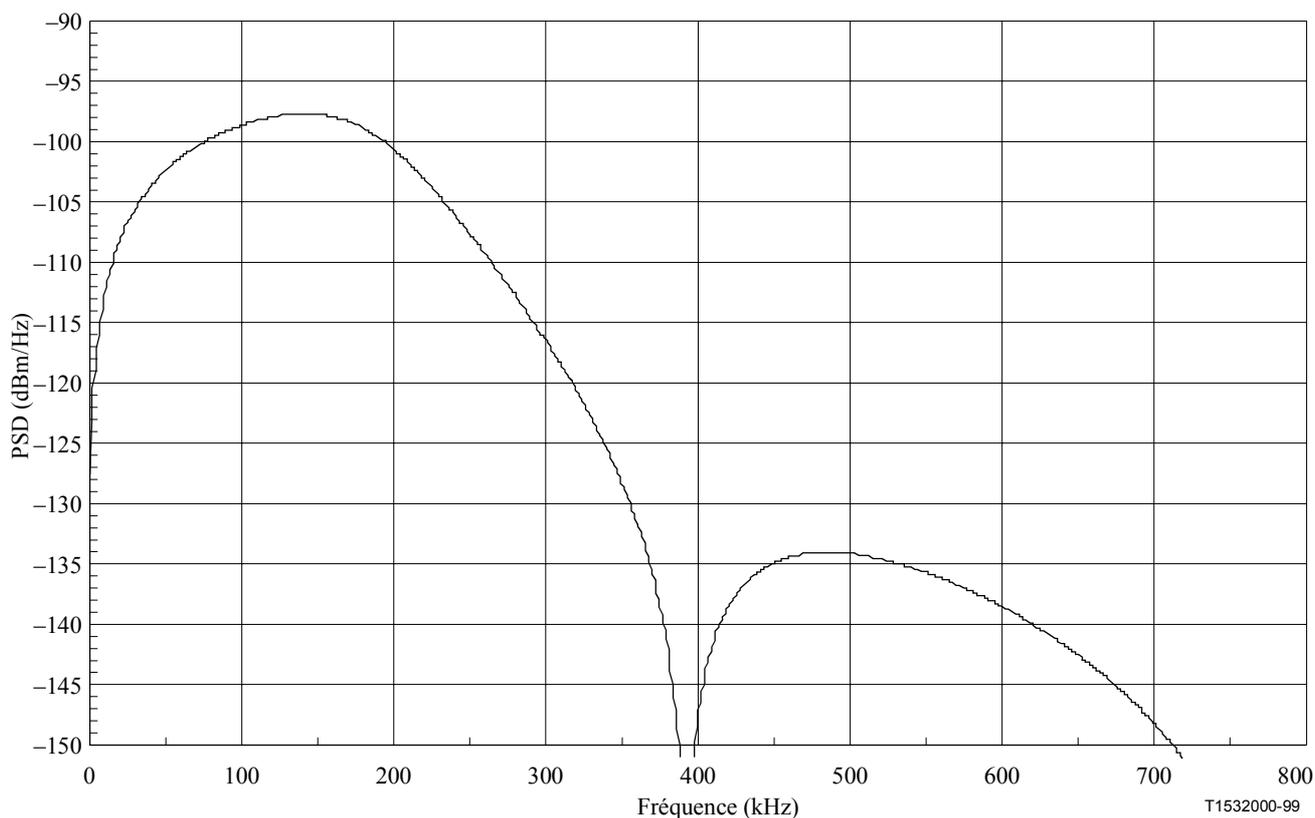


Figure 17/G.996.1 – Paradiaphonie HDSL due à 10 signaux perturbateurs

La densité spectrale de puissance de la paradiaphonie (NEXT) HDSL s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{HDSL-NEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs}} \times \left(x_n \times f^{\frac{3}{2}} \right) \quad \text{pour } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

où: $f_0 = 8,818 \times (n/49)^{0,6}$ ou, ce qui revient au même, $x_n = 0,8536 \times 10^{-14} \times n^{0,6}$

L'intégration de la densité spectrale de puissance de signaux perturbateurs HDSL sur les différentes gammes de fréquences étudiées est indiquée dans le Tableau 19 avec la puissance de la paradiaphonie induite.

Tableau 19/G.996.1 – Puissance d'émission HDSL et puissance de la paradiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission (dBm)	Puissance de la paradiaphonie 10 signaux perturbateurs (dBm)
0-0,196 MHz	13,44	-46,9
0-0,392 MHz	13,60	-46,3
0-0,784 MHz	13,60	-46,3
0-1,544 MHz	13,60	-46,3
0-1,568 MHz	13,60	-46,3
0-3 MHz	13,60	-46,3

7.3 Densité spectrale de puissance de ligne T₁ simulée et paradiaphonie induite

La densité spectrale de puissance des signaux perturbateurs de ligne T₁ est supposée correspondre au code bipolaire alternant (AMI, *alternate mark inversion*) aléatoire avec un rapport cyclique de 50% à 1,544 Mbit/s. La densité PSD unilatérale s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs } T_1} = \frac{V_P^2}{R_L} \times \frac{2}{f_0} \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_0}\right)}{\left(\frac{\pi f}{f_0}\right)} \right]^2 \sin^2\left(\frac{\pi f}{2f_0}\right) \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^6} \times \frac{f^2}{f^2 + f_{3dB}^2}, \quad (0 \leq f < \infty)$$

La puissance totale du signal d'émission T₁ se calcule comme suit:

$$P_{T_1\text{-total}} = \frac{1}{4} \frac{V_P^2}{R_L}$$

On présume que le signal émis passe à travers un filtre de mise en forme passe-bas. Le filtre de mise en forme choisi est un filtre Butterworth passe-bas de troisième ordre avec un point à 3 dB à 3,0 MHz. La fonction de transfert quadratique du filtre est la suivante:

$$\left| H_{\text{mise en forme}}(f) \right|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^6}$$

En outre, le transformateur de couplage est modélisé sous forme de filtre passe-haut avec un point à 3 dB à 40 kHz comme suit:

$$\left| H_{\text{Transformateur}}(f) \right|^2 = \frac{f^2}{f^2 + f_{3dB}^2}$$

En outre, on suppose que $V_p = 3,6$ volts, $R_L = 100 \Omega$, et $f_0 = 1,544$ MHz.

La Figure 18 indique la densité PSD de la paradiaphonie (NEXT) T₁ due à 4 et 24 signaux perturbateurs.

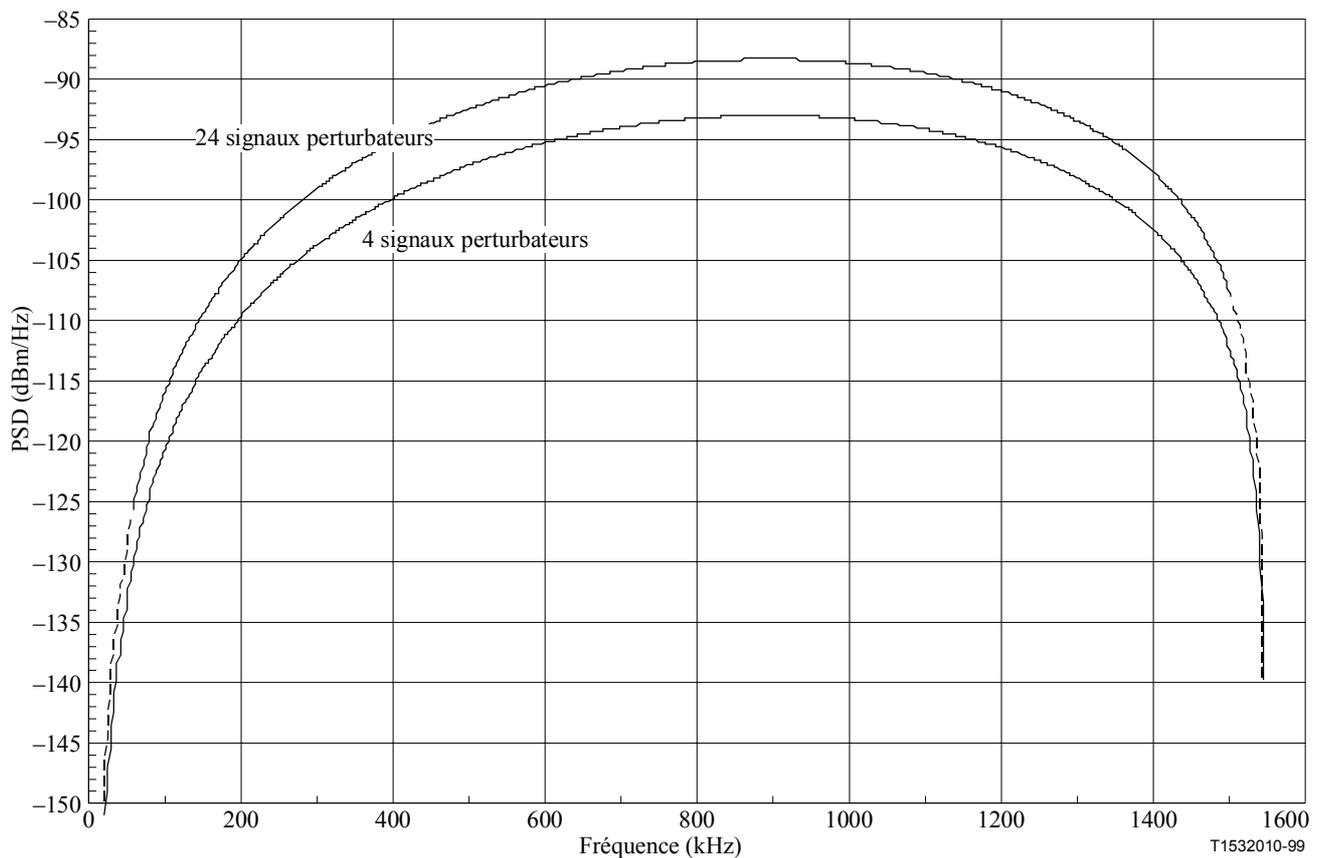


Figure 18/G.996.1 – Paradiaphonie T₁ due à 4 et à 24 signaux perturbateurs

La densité spectrale de puissance de la paradiaphonie T₁ s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{T_1-NEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs } T_1} \times \left(x_n \times f^{3/2} \right) \quad \text{pour } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

où: $x_n = 8,818 \times 10^{-14} \times (n/49)^{0,6}$ ou, ce qui revient au même, $x_n = 0,8536 \times 10^{-14} \times n^{0,6}$

La puissance d'émission T₁ et la puissance de la paradiaphonie induite T₁ au moyen de modèles de diaphonie n (x_n) sont indiquées dans le Tableau 20.

Tableau 20/G.996.1 – Puissance d'émission T₁ et puissance de la paradiaphonie induite avec mise en forme et transformateur de couplage

Gamme de fréquences	Puissance d'émission (dBm)	Puissance de la paradiaphonie 4 signaux perturbateurs (dBm)	Puissance de la paradiaphonie 24 signaux perturbateurs (dBm)
0-1,544 MHz	14,1	-34,7	-30,0
0-3 MHz	14,57	-32,8	-28,1

Pour procéder aux essais, la puissance du signal brouilleur T₁ et la courbe PSD sont ajustées à la baisse de 15,5 dB au total pour tenir compte de l'effet du faisceau de paires adjacent et d'un facteur de pondération qui tient compte du fait que les bornes T₁ et ADSL ne sont pas situées au même endroit.

7.4 Densité spectrale de puissance simulée dans le sens descendant G.992.1 et paradiaphonie et télédiaphonie induites

La densité PSD de signaux perturbateurs G.992.1 s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.1}} = K_{G.992.1} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\sin\left(\frac{\pi f}{f_0}\right) \right]^2}{\left(\frac{\pi f}{f_0}\right)^2} \times |LPF(f)|^2 \times |HPF(f)|^2, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: $f_0 = 2,208 \times 10^6$ Hz, $K_{G.992.1} = 0,1104$ watts.

Cette équation permet d'obtenir la densité spectrale de puissance unilatérale, où $K_{G.992.1}$ est la puissance totale émise en watts pour l'émetteur G.992.1 dans le sens descendant avant les filtres de mise en forme; elle est telle que la densité PSD ne dépasse pas la densité PSD maximale autorisée. f_0 est la fréquence d'échantillonnage en Hz et

$$|LPF(f)|^2 = \frac{f_h^\alpha}{f^\alpha + f_h^\alpha}, f_h = 1,104 \times 10^6 \text{ Hz}, \alpha = \frac{36}{10 \log(2)} = 11,96$$

est un filtre passe-bas avec un point à 3 dB à 1104 kHz et avec un faisceau de décroissance de 36 dB/octave, et

$$|HPF(f)|^2 = \frac{f^\alpha + f_l^\alpha}{f^\alpha + f_h^\alpha}, f_l = 4000 \text{ Hz}, f_h = 25\,875 \text{ Hz}, \alpha = \frac{57,5}{10 \log \frac{f_h}{f_l}} = 7,09$$

est un filtre passe-haut avec des points à 3 dB à 4 et 25,875 kHz, et avec un affaiblissement de 57,5 dB dans la bande vocale, ce qui distingue les systèmes G.992.1 des services POTS. Avec cet ensemble de paramètres, la densité spectrale de puissance G.992.1 est la densité spectrale de puissance d'un émetteur dans le sens descendant utilisant toutes les sous-porteuses.

7.4.1 Télédiaphonie

Le modèle d'affaiblissement par télédiaphonie est le suivant:

$$|H_{FEXT}(f)|^2 = |H_{channel}(f)|^2 \times k \times l \times f^2 \times p$$

où:

$H_{canal}(f)$ est la fonction de transfert du canal

k est la constante de couplage; elle est de $8 \times 10^{-20} \times (n/49)^{0,6}$ pour $n < 50$ ou $3,083 \times 10^{-20}$ pour 10, 1% des signaux perturbateurs correspondant aux cas les plus défavorables

l est la longueur du trajet de couplage en mètres; elle est égale à 2744 m pour C #6

f est en Hz

p est une constante de conversion de mètres en pieds et correspond à 3,28 pieds/m

La densité spectrale de puissance du bruit par télédiaphonie est donc la suivante:

$$PSD_{G.992.1-FEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.1}} \times |H_{FEXT}(f)|^2$$

L'intégration de la densité $PSD_{G.992.1}$ et de la $PSD_{FEXT-G.992.1}$ sur différentes gammes de fréquences est indiquée dans le Tableau 21.

Tableau 21/G.996.1 – Puissance des signaux G.992.1 et de la télédiaphonie G.992.1 avec mise en forme et transformateur de couplage

Gamme de fréquences	Puissance d'émission (dBm)	Puissance de la télédiaphonie 10 signaux perturbateurs (dBm)
0-1,104 MHz	18,99	-69,61
0-2,204 MHz	19,15	-69,61
0-4,416 MHz	19,15	-69,61

La Figure 19 illustre la densité spectrale de puissance théorique de la télédiaphonie G.992.1 dans le sens descendant due à 10 signaux perturbateurs sur la boucle C #6.

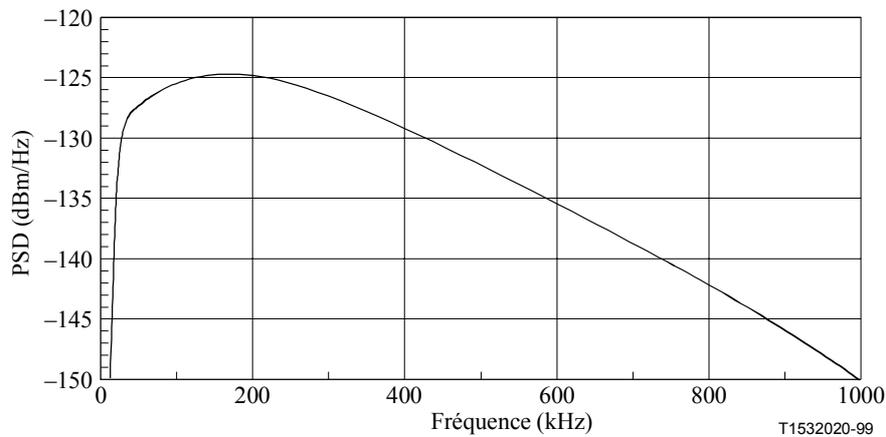


Figure 19/G.996.1 – Télédiaphonie G.992.1 dans le sens descendant due à 10 signaux perturbateurs sur la boucle C #6

7.4.2 Paradiaphonie

La densité PSD de la paradiaphonie G.992.1 dans le sens montant se définit comme suit:

$$PSD_{G.992.1-NEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.1}} \times \left(x_n \times f^{3/2} \right) \quad \text{pour } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

où: $x_n = 8,818 \times 10^{-14} \times (n/49)^{0,6}$ ou, ce qui revient au même, $x_n = 0,8536 \times 10^{-14} \times n^{0,6}$

L'intégration de la paradiaphonie induite sur la bande de 0 à 1,104 MHz pour $n = 49$ est de -25,4 dB.

La Figure 20 illustre la densité PSD théorique de la paradiaphonie G.992.1 dans le sens descendant due à 10 signaux perturbateurs.

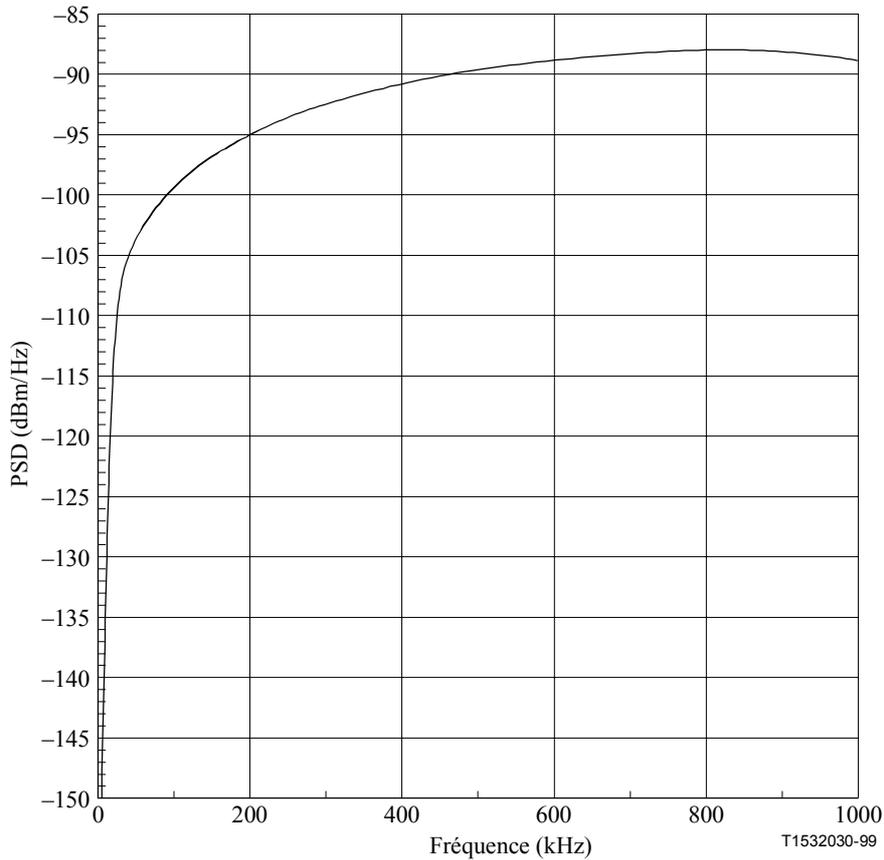


Figure 20/G.996.1 – Paradiaphonie G.992.1 dans le sens descendant due à dix signaux perturbateurs induite dans le sens montant

7.5 Densité spectrale de puissance simulée G.992.1 dans le sens montant et paradiaphonie et télédiaphonie induites

La densité spectrale de puissance (PSD) de signaux perturbateurs G.992.1 s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.1}} = K_{ADSL} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\sin\left(\frac{\pi f}{f_0}\right) \right]}{\left(\frac{\pi f}{f_0}\right)^2} \times |LPF(f)|^2 \times |HPF(f)|^2, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: $f_0 = 276 \times 10^3$ Hz, $K_{G.992.1} = 0,02185$ watts.

Cette équation permet d'obtenir la densité PSD unilatérale, $K_{G.992.1}$ étant la puissance totale émise en watts pour l'émetteur G.992.1 dans le sens montant avant les filtres de mise en forme; elle est telle que la densité PSD ne dépasse pas la densité PSD maximale autorisée. f_0 est la fréquence d'échantillonnage en Hz et

$$|LPF(f)|^2 = \frac{f_h^\alpha}{f^\alpha + f_h^\alpha}, f_h = 138 \times 10^3 \text{ Hz}, \alpha = \frac{24}{10 \log(181,125/138)} = 20,32$$

est un filtre passe-bas avec un point à 3 dB à 138 kHz et un affaiblissement de 24 dB à 181,125 kHz, et

$$|HPF(f)|^2 = \frac{f^\alpha + f_l^\alpha}{f^\alpha + f_h^\alpha}, f_l = 4000 \text{ Hz}, f_h = 25\,875 \text{ Hz}, \alpha = \frac{59.5}{10 \log \frac{f_h}{f_l}} = 7,34$$

est un filtre passe-haut avec des points à 3 dB à 4 et 25,875 kHz et un affaiblissement de 59,5 dB en bande vocale, ce qui distingue les systèmes G.992.1 des services POTS. Avec cet ensemble de paramètres, la densité spectrale de puissance G.992.1 est la densité spectrale de puissance d'un émetteur dans le sens montant utilisant toutes les sous-porteuses.

7.5.1 Télédiaphonie

Le modèle d'affaiblissement par télédiaphonie (FEXT) est le suivant:

$$|H_{FEXT}(f)|^2 = |H_{canal}(f)|^2 \times k \times l \times f^2 \times p$$

où: $H_{canal}(f)$ est la fonction de transfert du canal, k est la constante de couplage; elle est de

$$8 \times 10^{-20} \times (n/49)^{0,6}$$

pour $n < 50$ ou $3,083 \times 10^{-20}$ pour 10, 1% des signaux perturbateurs correspondant aux cas les plus défavorables, l est la longueur du trajet de couplage en mètres, f est en Hz, p est une constante de conversion de mètres en pieds et correspond à 3,28 pieds/m.

La densité spectrale de puissance du bruit par télédiaphonie est donc de:

$$PSD_{G.992,1} = PSD_{G.992,1} \times |H_{FEXT}(f)|^2$$

La Figure 21 illustre la densité spectrale de puissance théorique de la télédiaphonie G.992.1 dans le sens montant due à 10 signaux perturbateurs sur une boucle C #6.

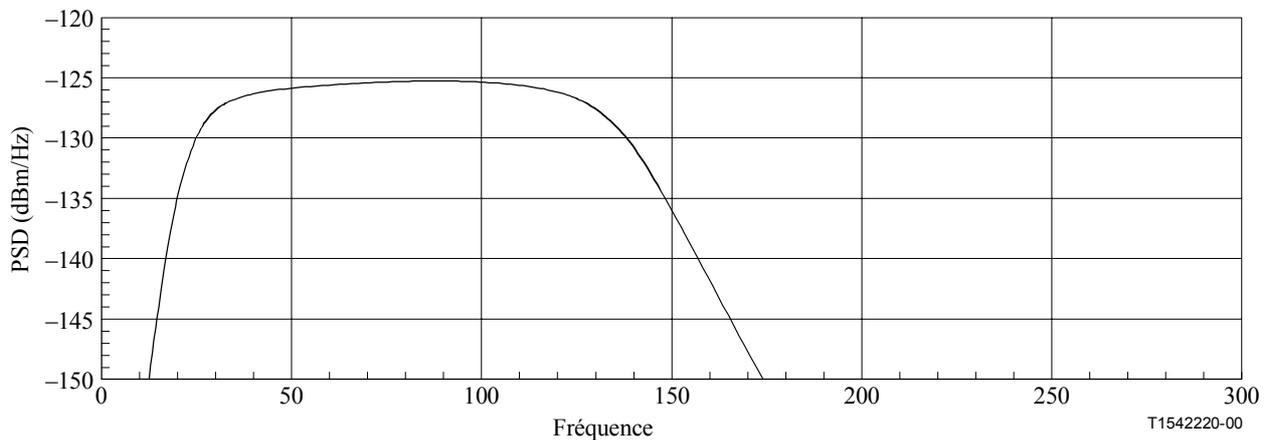


Figure 21/G.996.1 – Télédiaphonie G.992.1 dans le sens montant due à dix signaux perturbateurs sur une boucle C #6

7.5.2 Paradiaphonie

Le signal G.992.1 dans le sens montant occupe nominale-ment la bande de 25 à 138 kHz, mais les lobes latéraux supérieurs du filtre passe-bande au-delà de 138 kHz peuvent également contribuer à la paradiaphonie dans le sens descendant. L'effet de ces lobes latéraux dépendra de la méthode antirepliement utilisée dans l'émetteur distant. La densité PSD de la paradiaphonie G.992.1 dans le sens montant s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{G.992,1} = PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.1}} \times \left(x_n \times f^{3/2} \right) \quad \text{pour } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

où: $x_n = 8,818 \times 10^{-14} \times (n/49)^{0,6}$ ou, ce qui revient au même, $x_n = 0,8536 \times 10^{-14} \times n^{0,6}$

La Figure 22 illustre la densité spectrale de puissance théorique de la paradiaphonie G.992.1 dans le sens montant due à 10 signaux perturbateurs induite dans le sens descendant.

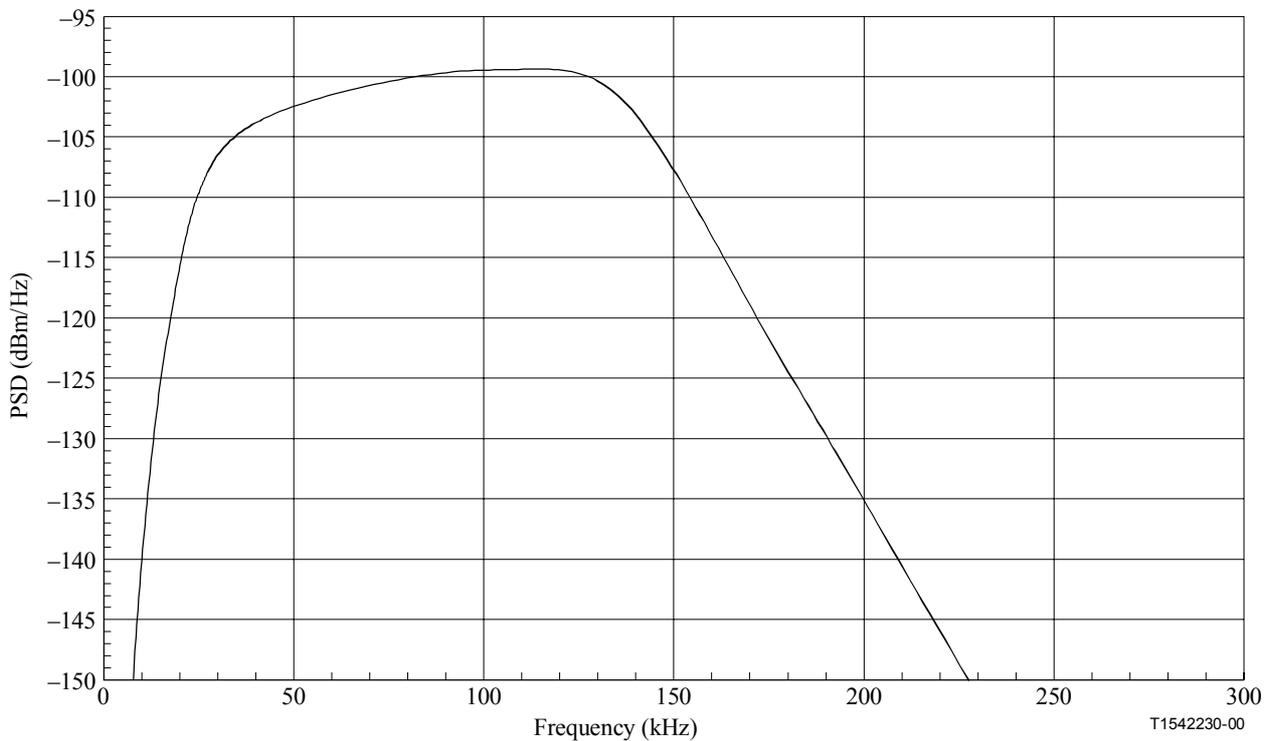


Figure 22/G.996.1 – Paradiaphonie G.992.1 dans le sens montant due à dix signaux perturbateurs induite dans le sens descendant

7.6 Paradiaphonie et télédiaphonie G.992.2 simulées dans le sens descendant

La densité PSD unilatérale de signaux perturbateurs G.992.2 s'exprime comme suit:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.2}} = PSD_{\text{Annexe A-G.992.2}} - 3.5 \text{ dB}$$

7.6.1 Télédiaphonie

Le modèle d'affaiblissement par télédiaphonie est le suivant:

$$|H_{FEXT}(f)|^2 = |H_{\text{canal}}(f)|^2 \times k \times l \times f^2 \times p$$

où: $H_{\text{canal}}(f)$ est la fonction de transfert du canal, k est la constante de couplage; elle est de

$$8 \times 10^{-20} \times (n/49)^{0,6}$$

pour $n < 50$ ou $3,083 \times 10^{-20}$ pour 10, 1% des signaux perturbateurs correspondant aux cas les plus défavorables, l est la longueur de trajet de couplage en mètres, f est en Hz, p est une constante de conversion de mètres en pieds et correspond à 3,28 pieds/m.

La densité PSD du bruit par télédiaphonie est donc de:

$$PSD_{G.992.2-FEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.2}} \times |H_{FEXT}(f)|^2$$

L'intégration de la télédiaphonie induite sur la bande de 0 à 1,104 MHz pour $n = 49$ et au moyen de la boucle T #7 est de $-83,9$ dBm et de $-85,8$ pour $n = 24$.

La Figure 23 illustre la densité spectrale de puissance théorique de la télédiaphonie G.992.2 dans le sens descendant due à 49 signaux perturbateurs sur la boucle T #7.

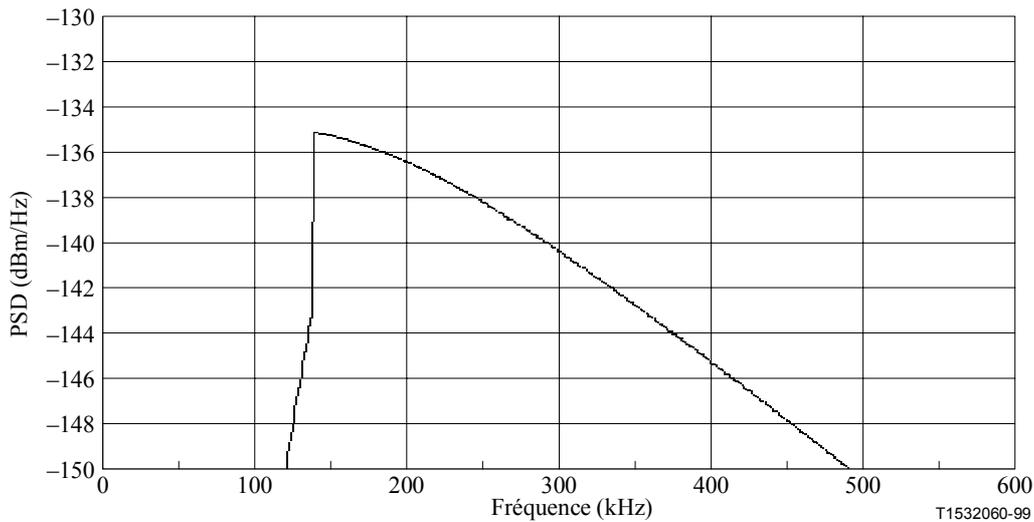


Figure 23/G.996.1 – Télédiaphonie G.992.2 dans le sens descendant due à 49 signaux perturbateurs sur une boucle T #7

7.6.2 Paradiaphonie

La densité spectrale de puissance (PSD) de la paradiaphonie G.992.2 dans le sens descendant induite dans le sens montant se définit comme suit:

$$PSD_{G.992.2-NEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.2}} \times \left(x_n \times f^{3/2} \right) \quad \text{pour } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

où: $x_n = 8,818 \times 10^{-14} \times (n/49)^{0,6}$ ou, ce qui revient au même, $x_n = 0,8536 \times 10^{-14} \times n^{0,6}$

L'intégration de la paradiaphonie induite sur la bande de 0 à 1,104 MHz pour $n = 49$ est de $-23,3$ dBm et de $-25,2$ pour $n = 24$. La Figure 24 représente la densité spectrale de puissance théorique de la paradiaphonie G.992.2 dans le sens descendant due à 49 signaux perturbateurs induite dans le sens montant.

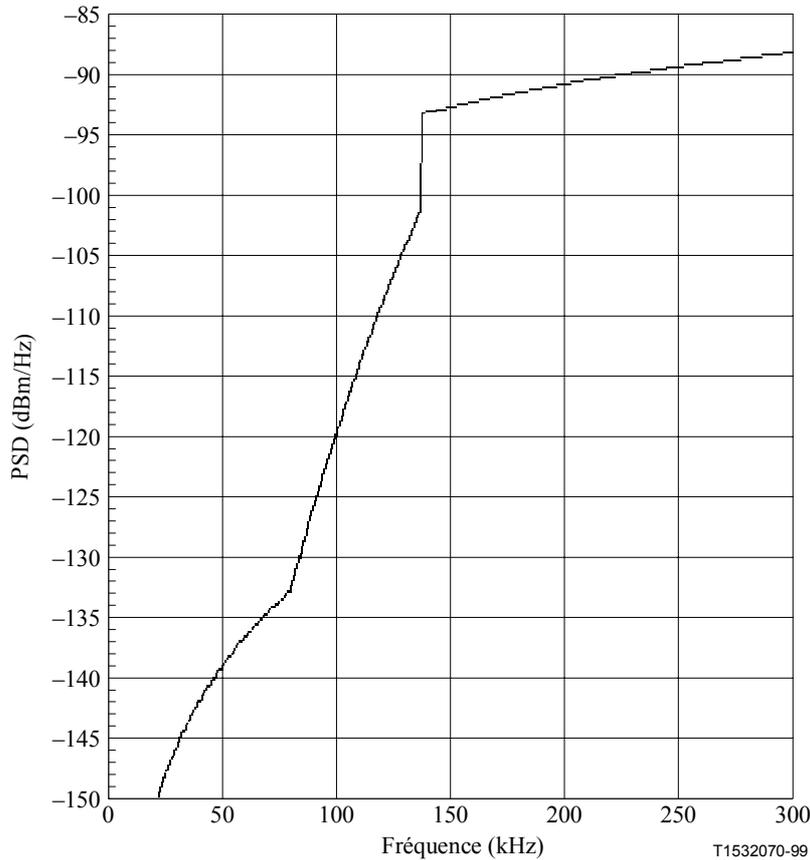


Figure 24/G.996.1 – Paradiaphonie G.992.2 dans le sens descendant due à 49 signaux perturbateurs induite dans le sens montant

7.7 Paradiaphonie et télédiaphonie G.992.2 dans le sens montant simulées

La densité spectrale de puissance de signaux perturbateurs G.992.2 dans le sens montant s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.2}} = PSD_{\text{Annexe A-G.992.2}} - 3.5 \text{ dB}$$

7.7.1 Télédiaphonie

Le modèle d'affaiblissement par télédiaphonie est le suivant:

$$|H_{FEXT}(f)|^2 = |H_{canal}(f)|^2 \times k \times l \times f^2 \times p$$

où: $H_{canal}(f)$ est la fonction de transfert du canal, k est la constante de couplage; elle est égale à

$$8 \times 10^{-20} \times (n/49)^0,$$

pour $n < 50$ ou $3,083 \times 10^{-20}$ pour 10, 1% des signaux perturbateurs correspondant aux cas les plus défavorables, l est la longueur du trajet de couplage en mètres, f est en Hz, p est une constante de conversion de mètres en pieds et correspond à 3,28 pieds/m.

La densité PSD du bruit par télédiaphonie est donc la suivante:

$$PSD_{G.992.2-FEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.2}} \times |H_{FEXT}(f)|^2$$

L'intégration de la télédiaphonie induite sur la bande de 0 à 1,104 MHz pour $n = 49$ et au moyen de la boucle T #7 est de -81,8 dBm et de -83,7 pour $n = 24$.

La Figure 25 représente la densité spectrale de puissance théorique de la télédiaphonie G.992.2 dans le sens montant due à 49 signaux perturbateurs sur la boucle T #7.

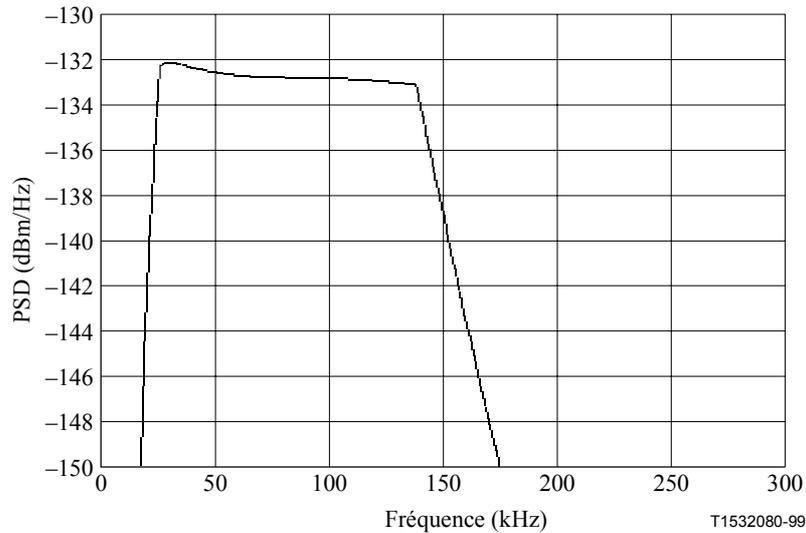


Figure 25/G.996.1 – Télédiaphonie théorique G.992.2 dans le sens montant due à 49 signaux perturbateurs sur une boucle T #7

7.7.2 Paradiaphonie

Le signal G.992.2 dans le sens montant occupe nominalelement la bande de 25 à 138 kHz, mais les lobes latéraux supérieurs du filtre passe-bande au-delà de 138 kHz peuvent également contribuer à la paradiaphonie dans le signal descendant. Leur effet dépendra du mécanisme d'antirepliement utilisé dans l'émetteur distant. La densité PSD de la paradiaphonie G.992.2 dans le sens montant s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{G.992.2-NEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs G.992.2}} \times \left(x_n \times f^{3/2} \right) \quad \text{pour } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

où: $x_n = 8,818 \times 10^{-14} \times (n/49)^{0,6}$ ou, ce qui revient au même, $x_n = 0,8536 \times 10^{-14} \times n^{0,6}$

L'intégration de la paradiaphonie induite sur la bande de 0 à 1,104 MHz pour $n = 49$ est de -43,2 dBm et de -45,1 pour $n = 24$.

La Figure 26 représente la densité spectrale de puissance théorique de la paradiaphonie G.992.2 dans le sens montant due à 49 signaux perturbateurs induite dans le sens descendant.

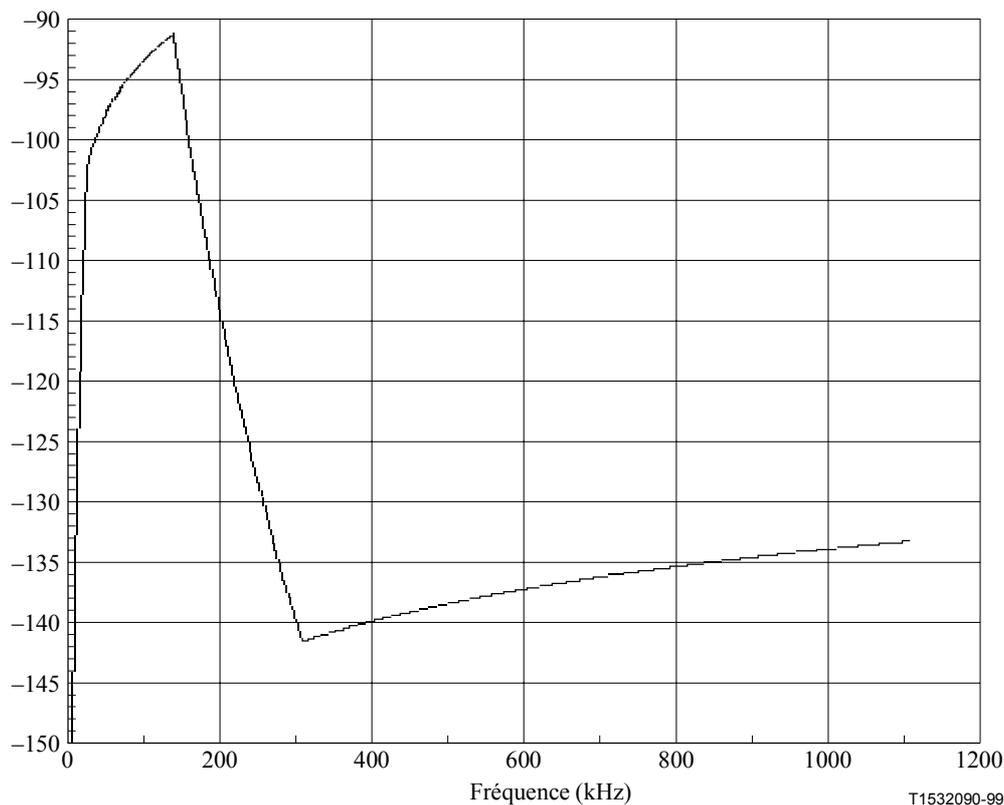


Figure 26/G.996.1 – Paradiaphonie G.992.2 théorique dans le sens montant due à 49 signaux perturbateurs induite dans le sens descendant

7.8 Diaphonie ETSI A, ETSI B et Euro-K

La densité spectrale de puissance des sources de bruit par diaphonie utilisée pour les essais de performance est représentée à la Figure 27 pour l'ETSI A et à la Figure 28 pour l'ETSI B. L'ETSI A comprend des tonalités discrètes, qui représentent les brouillages radiofréquences le plus souvent observés, en particulier sur les paires aériennes. Les Tableaux 22, 23 et 24 contiennent d'autres détails concernant la spécification de ces modèles de bruit.

La puissance du bruit à large bande qui en résulte sur la gamme de fréquences de 1 kHz à 1,5 MHz pour le modèle A est de $-49,4 \pm 0,5$ dBm et pour le modèle B de $-43,0 \pm 0,5$ dBm.

La fonction densité de probabilité du bruit devrait être à peu près gaussienne, avec un facteur de crête égal à 5.

La précision de la densité spectrale de puissance doit être de l'ordre de ± 1 dB sur la gamme de fréquences de 1 kHz à 1,5 MHz, mesurée avec une largeur de bande en résolution de 1 kHz.

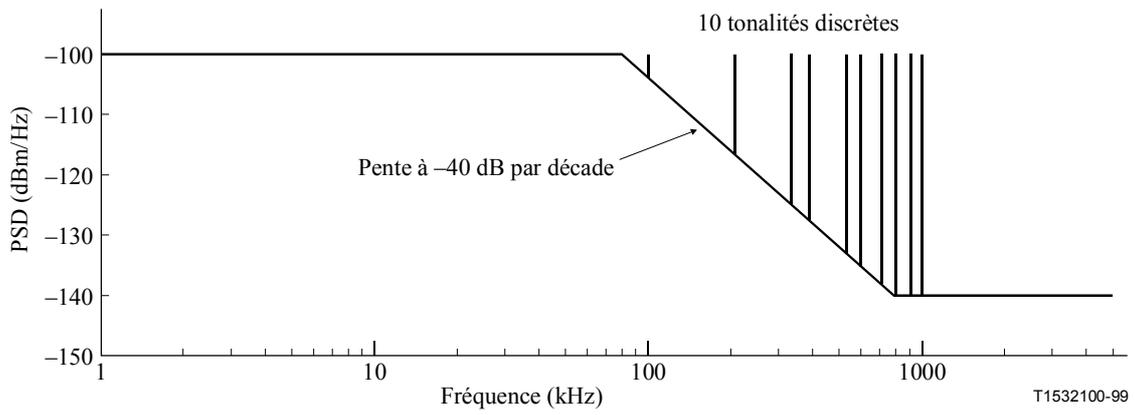


Figure 27/G.996.1 – Densité spectrale de puissance unilatérale de bruit observée sur 100 Ω pour le modèle ETSI A

Tableau 22/G.996.1 – Coordonnées pour le modèle de bruit ETSI A

Fréquence (kHz)	PSD (dBm/Hz)
1	-100
79.5	-100
795	-140
1500	-140

Tableau 23/G.996.1 – Fréquences tonales et puissances pour le modèle de bruit ETSI A

Fréquence (kHz)	Puissance (dBm)
99	-70
207	-70
333	-70
387	-70
531	-70
603	-70
711	-70
801	-70
909	-70
981	-70

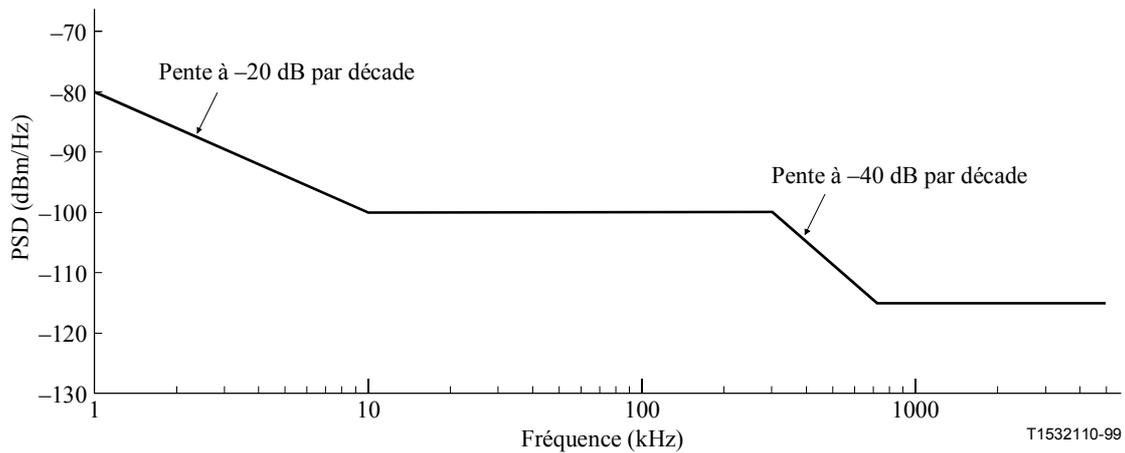


Figure 28/G.996.1 – Densité spectrale de puissance unilatérale de bruit observée sur 100 Ω pour le modèle ETSI B

Tableau 24/G.996.1 – Coordonnées pour le modèle de bruit ETSI B

Fréquence (kHz)	PSD (dBm/Hz)	PSD ($\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$)
1	-80	31,62
10	-100	3,16
300	-100	3,16
711	-115	0,56
1500	-115	0,56

Le modèle Euro-K a un plancher à -140 dBm/Hz et un plafond à -94 dBm/Hz entre 135 kHz et 260 kHz. Au-dessous de 135 kHz, il décroît vers le niveau plancher à $+7$ dB par décade. Au-dessus de 260 kHz, il décroît vers le niveau plancher à -75 dB par décade.

Il convient de relever que la diaphonie Euro-K est fondée sur un nouveau calcul du brouillage par diaphonie ETSI A à l'extrémité ATU-C. Essentiellement, ce modèle supprime les effets secondaires de paradiaphonie HDSL exploités à l'extrémité ATU-R par le modèle de bruit ETSI A mais qui ne s'appliquent pas à l'extrémité ATU-C.

7.9 Densité spectrale de puissance des signaux perturbateurs par diaphonie dans un environnement coexistant avec des systèmes DSL TCM-RNIS

7.9.1 Type de signal perturbateur par diaphonie

Le présent paragraphe spécifie les signaux perturbateurs par diaphonie dans un environnement coexistant avec des systèmes DSL TCM-RNIS, du point de vue de la densité spectrale de puissance (PSD) et des caractéristiques de diaphonie. On mesure les marges de diaphonie pour les types suivants de signaux perturbateurs provenant de paires appartenant au même faisceau.

- 1) Paradiaphonie et télédiaphonie DSL TCM-RNIS:
 - paradiaphonie continue;
 - télédiaphonie continue;
 - paradiaphonie et télédiaphonie alternées (pour l'Annexe C/G.992.2).

- 2) Paradiaphonie PSD HDSL:
 - paradiaphonie continue.
- 3) Paradiaphonie et télédiaphonie dans le sens descendant de système ADSL:
 - paradiaphonie continue;
 - télédiaphonie continue;
 - paradiaphonie et télédiaphonie alternées (pour le mode phototrame de télédiaphonie de l'Annexe C/G.992.2).
- 4) Paradiaphonie et télédiaphonie dans le sens montant de système ADSL;
 - paradiaphonie continue;
 - télédiaphonie continue;
 - paradiaphonie et télédiaphonie alternées (pour le mode phototrame de télédiaphonie de l'Annexe C/G.992.2).

NOTE 1 – Le terme "ADSL" sert à désigner les systèmes conformes aux Rec. UIT-T G.992.1 et G.992.2, sauf indication contraire.

NOTE 2 – Le rythme d'injection de paradiaphonie et de télédiaphonie alternées de système DSL TCM-RNIS est défini au 7.9.3.4.

7.9.2 Paramètres d'essai de diaphonie

L'affaiblissement par diaphonie dû à de multiples paires brouilleuses est connu sous l'appellation perte somme puissance (PSL, *power sum loss*) et 99% des valeurs cumulatives (1% des cas les plus défavorables) sont adoptés pour des essais de performance de lignes ADSL. Les valeurs PSL varient selon le nombre de paires perturbatrices, du matériau d'isolation des conducteurs des paires (papier, polyéthylène), et des états de conditionnement de la ligne (conditions de choix des paires) pour installer une ligne DSL dans une paire de câbles appartenant au même faisceau.

L'abréviation de la perte somme puissance par paradiaphonie en dB pour le nombre "n" de paires perturbatrices est "NPSL_n". L'abréviation de la perte somme puissance par télédiaphonie en dB pour le nombre "n" de paires perturbatrices est "FPSL_n". On adopte pour tous les essais de diaphonie la valeur "n = 24". On trouvera au Tableau 25 le résumé des valeurs de NPSL₂₄ et FPSL₂₄ pour chaque matériau d'isolation des conducteurs des paires (papier, polyéthylène) et pour chaque état de conditionnement des lignes (conditions de choix des paires).

Tableau 25/G.996.1 – Valeurs de perte somme puissance

Perte somme puissance NEXT/FEXT	Etat de conditionnement de la ligne	Attribut du système brouilleur et du système brouillé	Matériau d'isolation du conducteur de la paire	
			Isolation papier	Isolation polyéthylène
NPSL ₂₄ [dB] à $f_{\text{NXT}} = 160 \times 10^3$ [Hz]	Intra-quarte	Inter/intra-système	47,0 dB	49,5 dB
	Inter-quarte	Inter-système (Note 1)	52,5 dB	53,5 dB
		Intra-système (Note 2)	53,5 dB	55,5 dB
FPSL ₂₄ [dB] à $f_{\text{FXT}} = 160 \times 10^3$ [Hz] à $d_{\text{FXT}} = 1,0 \times 10^3$ [m]	Intra-quarte	Inter/intra-système	45,0 dB	51,0 dB
	Inter-quarte	Inter-système (Note 1)	45,0 dB	51,0 dB
		Intra-système (Note 2)	45,5 dB	53,0 dB

NOTE 1 – Brouillage mutuel entre des systèmes de transmission différents.
NOTE 2 – Brouillage mutuel entre des systèmes de transmission identiques.

Les boucles d'essai définies au 6.1.3 comportent des boucles combinées composées de deux segments: un segment de câble à isolation papier et un segment de câble à isolation polyéthylène. Lorsque les boucles d'essai sont composées de câbles mixtes de ce type, il convient d'injecter les bruits simulés dus à la paradiaphonie/télédiaphonie suivants:

- a) le bruit par paradiaphonie devrait être simulé en appliquant des valeurs NEXT PSL (NPSL) correspondant au matériau d'isolation du câble raccordé à l'extrémité proche d'un point d'injection de paradiaphonie;
- b) le bruit par télédiaphonie devrait être simulé par une somme des puissances de chaque trajet de couplage FEXT au moyen de l'équation ci-dessous et être injecté à une extrémité distante.

$$PSD_{FEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs}} \times \prod_k \left(|H_{\text{canal}[k]}(f, d[k])|^2 \right) \times \sum_k \left(10^{\frac{FPSL_n[k]}{10}} \times d[k] \times d_{FEXT}^{-1} \right) \times \left(f^2 \times f_{FEXT}^{-2} \right)$$

où:

$H_{\text{canal}[k]}(f, d[k])$: fonction de transfert du canal de chaque segment de câble $[k]$ composant la boucle d'essai

$d[k]$: distance de chaque segment de câble $[k]$ constituant la boucle d'essai

$FPSL_n[k]$: valeur PSL FEXT de chaque segment de câble $[k]$ constituant la boucle d'essai

Le circuit pour injecter la diaphonie devra être étalonné pour avoir une diaphonie inférieure de 0,4 dB à celle qui est spécifiée dans le présent paragraphe afin de compenser l'utilisation de charges de 100 Ω de système ADSL et non de charges de 110 Ω de système DSL TCM-RNIS pour les essais d'injection de diaphonie de système DSL TCM-RNIS. Le circuit devra également être étalonné pour une diaphonie de 1,3 dB de moins que celle qui est spécifiée dans le présent paragraphe afin de compenser l'utilisation de charges de 100 Ω de système ADSL au lieu de charges de 135 Ω de système HDSL pour les essais d'injection de diaphonie HDSL.

L'étalonnage décrit ci-dessus peut être décrit au moyen de l'équation suivante.

$$PSD[injection]_{NEXT(ou)FEXT} = PSD_{NEXT(ou)FEXT} \times \left(\frac{Z0_{\text{brouillé}}}{Z0_{\text{brouilleur}}} \right)$$

où:

$PSD[injection]_{NEXT(ou)FEXT}$: PSD à injecter dans le récepteur

$PSD_{NEXT(ou)FEXT}$: PSD simulée indiquée au 7.9

$Z0_{\text{brouillé}}$: impédance de charge du système brouillé
= charge de 100 Ω de ligne ADSL

$Z0_{\text{brouilleur}}$: impédance de charge du système brouilleur
= charge de 100 Ω de système DSL TCM-RNIS
= charge de 135 Ω de système HDSL.

7.9.3 Densité PSD de système DSL TCM-RNIS simulée et paradiaphonie et télédiaphonie induites

7.9.3.1 Densité PSD de système DSL TCM-RNIS

La densité spectrale de puissance de signaux perturbateurs DSL d'accès au débit de base (BRA, *basic rate access*) au moyen d'une méthode de multiplexage par compression dans le temps (TCM, *time compression multiplex*) s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}} = K_{DSL} \times \frac{2}{f_0} \times \left[\sin\left(\pi \frac{f}{f_0}\right) \right]^2 \times \frac{\left[\sin\left(\pi \frac{f}{2f_0}\right) \right]^2}{\left(\pi \frac{f}{2f_0}\right)^2} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^4}, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, $f_0 = 320 \times 10^3$ Hz, $f_{3dB} = 2 \times f_0$, $K_{DSL} = \frac{V_{0p}^2}{4R}$, $V_{0p} = 6,00$ volts et $R = 110$ ohms

L'équation $PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}}$ permet d'obtenir la densité PSD unilatérale d'un signal de code bipolaire alternant (AMI, *alternate mark inversion*) à 320 kbauds avec une séquence aléatoire continue des symboles, avec des impulsions ayant un rapport cyclique de 50% et avec un filtrage Butterworth du second ordre passe-bas ($f_{3dB} = 640$ kHz).

7.9.3.2 Paradiaphonie DSL TCM-RNIS

La densité spectrale de puissance de la paradiaphonie DSL peut être exprimée sous la forme suivante:

$$PSD_{DSL-NEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}} \times \left[10^{\frac{NPSL_n}{10}} \times f_{NXT}^{-\frac{3}{2}} \right] \times f^{\frac{3}{2}}, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, $f_{NXT} = 160 \times 10^3$ Hz

L'intégration de la densité $PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}}$ et de la densité $PSD_{NEXT-DSL}$ sur plusieurs gammes de fréquences est indiquée dans le Tableau 26 en ce qui concerne les câbles à isolation papier avec un conditionnement de ligne intra-quarte.

Tableau 26/G.996.1 – Puissance d'émission de système DSL TCM-RNIS et puissance de paradiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de paradiaphonie (NPSL ₂₄ = 47,0 dB)
0 ~ 640 kHz	18,6 dBm	-27,3 dBm
0 ~ 1280 kHz	18,6 dBm	-26,8 dBm
0 ~ 1920 kHz	18,6 dBm	-26,7 dBm
0 ~ 2560 kHz	18,6 dBm	-26,7 dBm
0 ~ 3200 kHz	18,6 dBm	-26,7 dBm

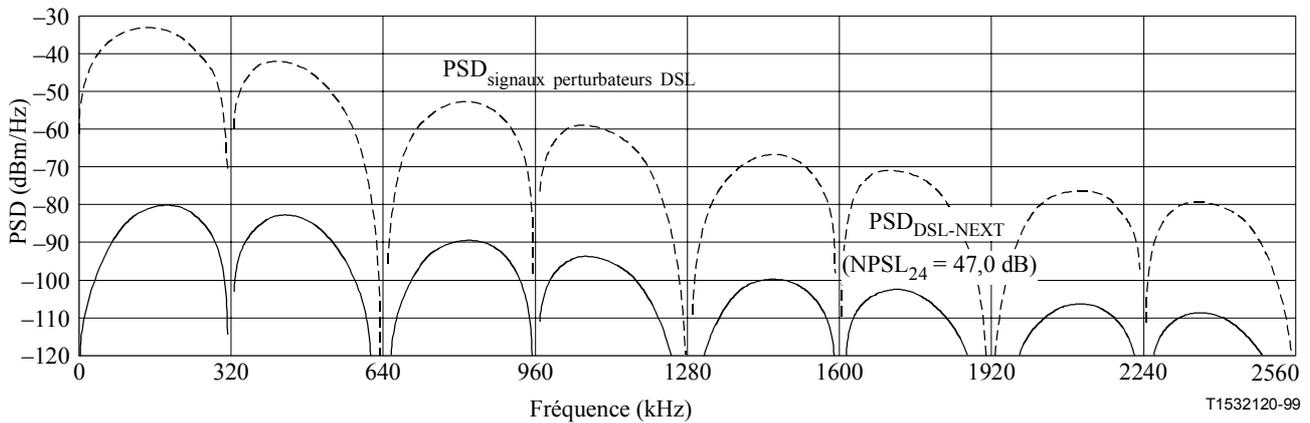


Figure 29/G.996.1 – Paradiaphonie DSL TCM-RNIS due to 24 interfering signals

7.9.3.3 Télédiaphonie DSL TCM-RNIS

La densité spectrale de puissance de la télédiaphonie DSL peut être exprimée sous la forme suivante:

$$PSD_{DSL-FEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}} \times |H_{\text{canal}}(f, d)|^2 \times \left[10^{-\frac{FPSL_n}{10}} \times d_{FEXT}^{-1} \times f_{FEXT}^{-2} \right] \times d \times f^2, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, d en mètres, $f_{FEXT} = 160 \times 10^3$ Hz, $d_{FEXT} = 1,0 \times 10^3$ metres

$H_{\text{canal}}(f, d)$ est la fonction de transfert du canal; " d " est la distance du trajet de couplage en mètres; elle dépend des boucles d'essai définies au 6.1.3. La somme de puissance de la densité $PSD_{DSL-FEXT}$ est nécessaire pour les boucles d'essai composées de câbles mixtes, comme décrit au 7.9.2.

L'intégration de la densité $PSD_{\text{signaux perturbateurs DSL}}$ et de la densité $PSD_{FEXT-DSL}$ sur plusieurs gammes de fréquences est indiquée dans le Tableau 27 en ce qui concerne des câbles à isolation papier d'un diamètre de 0,4 mm avec un conditionnement de ligne intra-quarte, et avec une distance $d = 2,07 \times 10^3$, $2,94 \times 10^3$, $3,97 \times 10^3$, et $5,16 \times 10^3$ m.

Tableau 27/G.996.1 – Puissance d'émission DSL TCM-RNIS et puissance de la télédiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de télédiaphonie (FPSL ₂₄ = 45,0 dB)			
		d = 2,07 km	d = 2,94 km	d = 3,97 km	d = 5,16 km
0 ~ 640 kHz	18,6 dBm	-50,3 dBm	-59,5 dBm	-70,4 dBm	-82,7 dBm
0 ~ 1280 kHz	18,6 dBm	-50,3 dBm	-59,5 dBm	-70,4 dBm	-82,7 dBm
0 ~ 1920 kHz	18,6 dBm	-50,3 dBm	-59,5 dBm	-70,4 dBm	-82,7 dBm
0 ~ 2560 kHz	18,6 dBm	-50,3 dBm	-59,5 dBm	-70,4 dBm	-82,7 dBm
0 ~ 3200 kHz	18,6 dBm	-50,3 dBm	-59,5 dBm	-70,4 dBm	-82,7 dBm

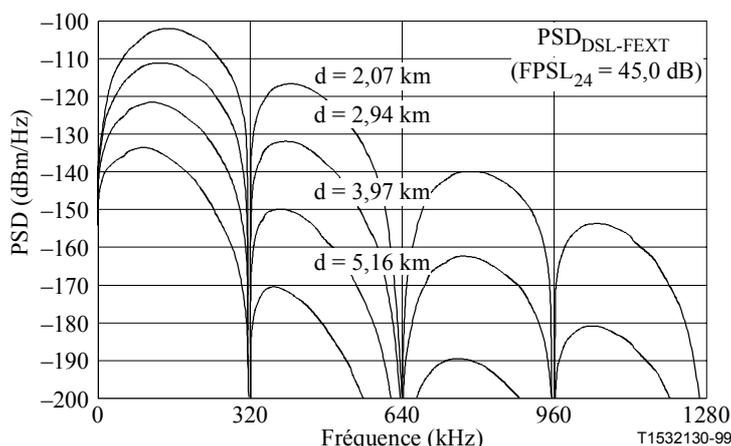


Figure 30/G.996.1 – Télédiaphonie DSL TCM-RNIS due à 24 signaux perturbateurs

7.9.3.4 Rythme d'injection de paradiaphonie et de télédiaphonie alternées DSL TCM-RNIS

Pour tester la qualité de transmission d'un système ADSL conforme aux Recommandations UIT-T G.992.1/Annexe C/G.992.2 (systèmes ADSL fonctionnant dans un environnement coexistant avec des systèmes DSL TCM-RNIS), la densité spectrale de puissance de la paradiaphonie/télédiaphonie DSL TCM-RNIS simulée et étalonnée définie ci-dessus sera injectée en alternance en mode rafale, tel qu'il est spécifié à la Figure 31, qui correspond au modèle simplifié du cas le plus défavorable illustré par rapport à la référence TTR (référence de rythme TCM-RNIS) décrite dans les Recommandations UIT-T G.992.1/Annexe C/G.992.2) et qui est déterminée à partir du mode de l'émetteur-récepteur de signaux DSL TCM-RNIS.

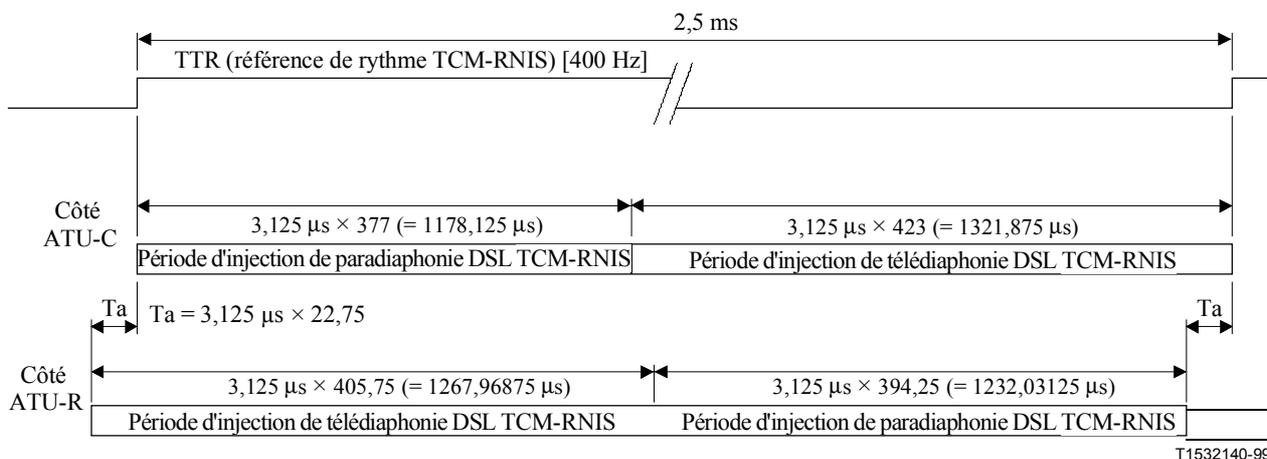


Figure 31/G.996.1 – Rythme d'injection de paradiaphonie et de télédiaphonie alternées DSL TCM-RNIS

NOTE 1 – Pour tester la qualité de transmission d'un système ADSL conforme au corps du texte des Rec. UIT-T G.992.1/G.992.2, il est permis d'injecter la densité spectrale de puissance de la paradiaphonie/télédiaphonie DSL TCM-RNIS en mode continu. Dans ce cas, le seuil d'erreur spécifié pour un système ADSL ayant un brouillage par diaphonie DSL TCM-RNIS est un BER de $2,12 \times \text{BER}$ objectif, du fait que le système DSL TCM-RNIS émet des signaux en mode rafale. Le rapport période d'émission des signaux par rafale/période de récurrence des rafales de 2,5 ms est de 377 périodes d'impulsions/800 périodes d'impulsions (= 1/2,12) et le signal d'émission en mode rafale ne provoque qu'un bruit paradiaphonique/télédiaphonique.

NOTE 2 – Le rythme d'injection de télédiaphonie de la Figure 31 est également applicable pour tester le brouillage intra-système du système ADSL conforme à la méthode FBM des Rec. UIT-T G.992.1/Annexe C/G.992.2. Dans ce test, la télédiaphonie DSL TCM-RNIS à l'extrémité ATU-C devrait être remplacée par la télédiaphonie dans le sens montant ADSL définie au 7.9.6.3. La télédiaphonie DSL TCM-RNIS à l'extrémité ATU-R devrait être remplacée par la télédiaphonie dans le sens descendant ADSL définie au 7.9.5.3. Aux extrémités ATU-C et ATU-R, au lieu d'injecter la paradiaphonie DSL TCM-RNIS, il conviendrait d'injecter "aucun bruit".

7.9.4 Densité spectrale de puissance HDSL simulée et paradiaphonie induite

7.9.4.1 Densité spectrale de puissance HDSL

La densité PSD de signaux perturbateurs HDSL s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{\text{signaux perturbateurs HDSL}} = K_{HDSL} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\sin\left(\pi \frac{f}{f_0}\right) \right]^2}{\pi \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^8}, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où:

$$f \text{ est en Hz, } f_0 = 392 \times 10^3 \text{ Hz, } f_{3dB} = \frac{f_0}{2}, K_{HDSL} = \frac{5}{9} \times \frac{V_{0p}^2}{R}, V_{0p} = 2,70 \text{ volts et } R = 135 \text{ ohms}$$

L'équation $PSD_{\text{signaux perturbateurs HDSL}}$ permet d'obtenir la densité PSD unilatérale d'un signal 2B1Q à 392 kbauds avec une séquence aléatoire continue des symboles de niveau équiprobable, avec des impulsions ayant un rapport cyclique de 100%, et un filtrage Butterworth du quatrième ordre passe-bas ($f_{3dB} = 196 \text{ kHz}$).

7.9.4.2 Paradiaphonie HDSL

La densité PSD de paradiaphonie HDSL peut s'exprimer sous la forme suivante:

$$PSD_{HDSL-NEXT} = PSD_{\text{signaux perturbateurs HDSL}} \times \left[10^{\frac{NPSL_n}{10}} \times f_{NXT}^{\frac{3}{2}} \right] \times f^{\frac{3}{2}} \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, $f_{NXT} = 160 \times 10^3 \text{ Hz}$

L'intégration de la densité $PSD_{\text{signaux perturbateurs HDSL}}$ et de la $PSD_{NEXT-HDSL}$ sur différentes gammes de fréquences est indiquée dans le Tableau 28 en ce qui concerne les câbles à isolation papier avec un conditionnement de ligne intra-quarte.

Tableau 28/G.996.1 – Puissance d'émission HDSL et puissance de paradiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de paradiaphonie (NPSL ₂₄ = 47,0 dB)
0 ~ 196 kHz	13,4 dBm	-37,4 dBm
0 ~ 392 kHz	13,6 dBm	-36,8 dBm
0 ~ 784 kHz	13,6 dBm	-36,8 dBm
0 ~ 1568 kHz	13,6 dBm	-36,8 dBm
0 ~ 3136 kHz	13,6 dBm	-36,8 dBm

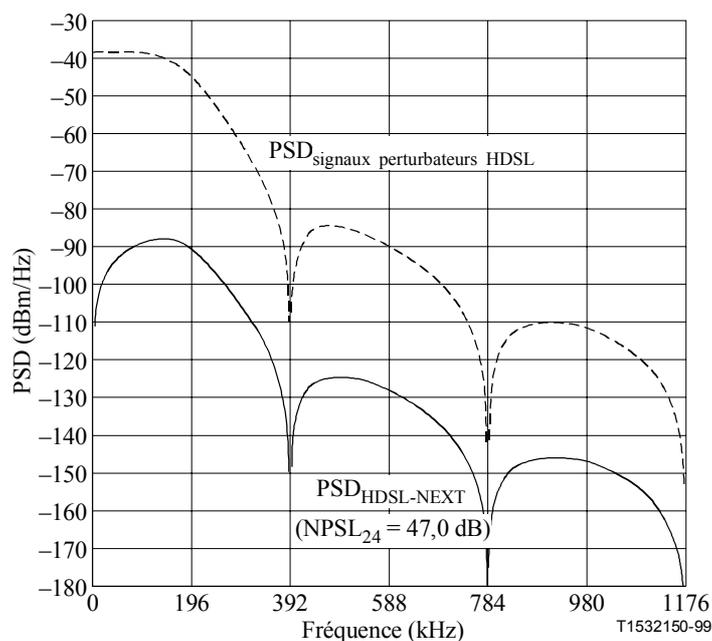


Figure 32/G.996.1 – Paradiaphonie HDSL due à 24 signaux perturbateurs

7.9.5 Densité spectrale de puissance dans le sens descendant ADSL simulée et paradiaphonie et télédiaphonie induites

7.9.5.1 Densité spectrale de puissance dans le sens descendant ADSL

La densité PSD de signaux perturbateurs G.992.1/G.992.2 s'exprime sous la forme suivante:

$$PSD_{ADSL, \text{signaux perturbateurs-ds}} = K_{ADSL, ds} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\sin\left(\pi \frac{f}{f_0}\right) \right]^2}{\left(\pi \frac{f}{f_0}\right)^2} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{LP3dB}}\right)^{12}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f_{HP3dB}}{f}\right)^N}$$

($0 \leq f < \infty$)

où:

f est en Hz, $f_0 = 2,208 \times 10^6$ Hz, $f_{LP3dB} = \frac{f_0}{2}$ (pour G.992.1), $f_{LP3dB} = \frac{f_0}{4}$ (pour G.992.2)

$f_{HP3dB} = 25,875 \times 10^3$ Hz, $N = 8$ (pour la correction d'erreurs)

$f_{HP3dB} = 138 \times 10^3$ Hz, $N = 16$ (pour le multiplexage FDM)

$K_{ADSL, ds} = 0,1104$ W (correspondant à la densité PSD maximale dans la bande de -40 dBm/Hz)

L'équation densité $PSD_{ADSL, \text{signaux perturbateurs-ds}}$ permet d'obtenir la densité PSD unilatérale avec un filtrage Butterworth de sixième ordre passe-bas [$f_{LP3dB} = 1104$ kHz (G.992.1) ou 552 kHz (G.992.2)] sans la densité PSD dans la bande affaiblie et avec un filtrage passe-haut du énième ordre [$f_{HP3dB} = 25,875$ kHz, $N = 8$ (EC) ou 138 kHz, $N = 16$ (FDM)], les signaux ADSL étant séparés des signaux POTS pour la correction d'erreurs, ou les signaux dans le sens descendant ADSL étant séparés des signaux dans le sens montant ADSL pour le multiplexage FDM.

7.9.5.2 Paradiaphonie dans le sens descendant ADSL induite dans le sens montant

La densité PSD de la paradiaphonie dans le sens descendant G.992.1/G.992.2 induite dans le sens montant peut être exprimée sous la forme suivante:

$$PSD_{ADSL, ds-NEXT} = PSD_{ADSL, \text{signaux perturbateurs-ds}} \times \left[10^{\frac{-NPSL_n}{10}} \times f_{NXT}^{-\frac{3}{2}} \right] \times f^{\frac{3}{2}}, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, $f_{NXT} = 160 \times 10^3$ Hz

L'intégration de la densité $PSD_{ADSL, NEXT-ds}$ sur plusieurs gammes de fréquences est indiquée dans le Tableau 29 (G.992.1, FDM) et dans le Tableau 30 (G.992.2, FDM) en ce qui concerne les câbles à isolation papier avec un conditionnement de ligne intra-quarte.

Tableau 29/G.996.1 – Puissance d'émission dans le sens descendant FDM G.992.1 et puissance de paradiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de paradiaphonie (NPSL ₂₄ = 47,0 dB)
0 ~ 1104 kHz	18,4 dBm	-20,4 dBm
0 ~ 2208 kHz	18,5 dBm	-20,0 dBm
0 ~ 4416 kHz	18,5 dBm	-20,0 dBm

Tableau 30/G.996.1 – Puissance d'émission dans le sens descendant (FDM) G.992.2 et puissance de paradiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de paradiaphonie (NPSL ₂₄ = 47,0 dB)
0 ~ 552 kHz	15,5 dBm	-26,7 dBm
0 ~ 1104 kHz	15,8 dBm	-25,9 dBm
0 ~ 2208 kHz	15,8 dBm	-25,9 dBm

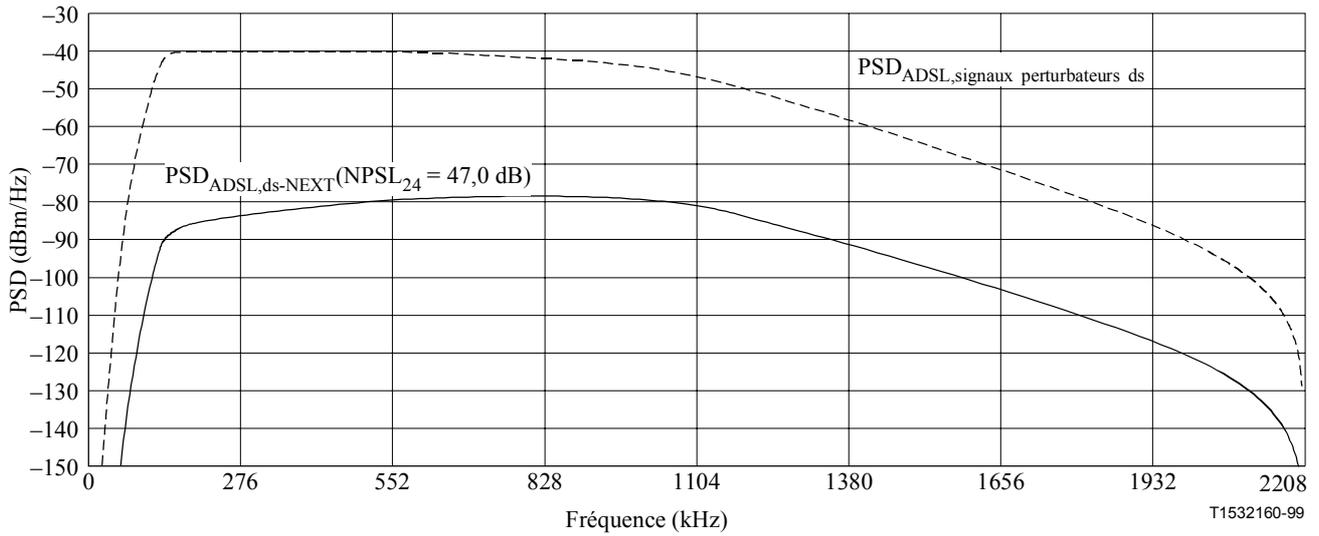


Figure 33/G.996.1 – Paradiaphonie dans le sens descendant(FDM) G.992.1 due à 24 signaux perturbateurs

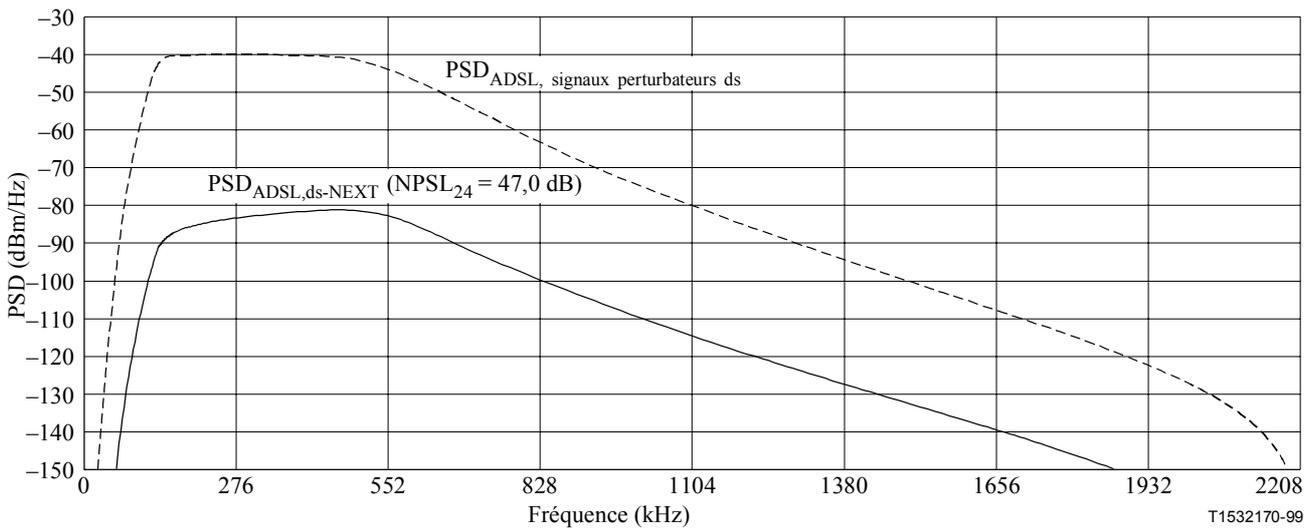


Figure 34/G.996.1 – Paradiaphonie dans le sens descendant (FDM) G.992.2 due à 24 signaux perturbateurs

7.9.5.3 Télédiaphonie dans le sens descendant ADSL induite

La densité PSD de la télédiaphonie dans le sens descendant G.992.1/G.992.2 induite dans le sens descendant peut être exprimée sous la forme suivante:

$$PSD_{ADSL,ds-FEXT} = PSD_{ADSL,signaux\ perturbateurs-ds} \times |H_{canal}(f, d)|^2 \times \left[10^{-\frac{FPSL_n}{10}} \times d_{FXT}^{-1} \times f_{FXT}^{-2} \right] \times d \times f^2, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, d en mètre, $f_{FXT} = 160 \times 10^3$ Hz, $d_{FXT} = 1,0 \times 10^3$ mètres

$H_{canal}(f, d)$ est la fonction de transfert du canal; " d " est la distance du trajet de couplage en mètres. La somme de puissance de la densité $PSD_{ADSL,FEXT-ds}$ pour une boucle d'essai combinée est décrite au 7.9.2.

L'intégration de la densité $PSD_{ADSL,signaux\ perturbateurs-ds}$ et de la densité $PSD_{ADSL,FEXT-ds}$ sur plusieurs gammes de fréquences est indiquée dans les Tableaux 31 (G.992.1, FDM) et 32 (G.992.2, FDM) en ce qui concerne les câbles à isolation papier de 0,4 mm de diamètre, avec un conditionnement de ligne intra-quarte, $d = 2,07 \times 10^3$, $2,94 \times 10^3$, $3,97 \times 10^3$ et $5,16 \times 10^3$ m.

Tableau 31/G.996.1 – Puissance d'émission dans le sens descendant FDM G.992.1 et puissance de télédiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de paradiaphonie (FPSL ₂₄ = 45,0 dB)			
		d = 2,07 km	d = 2,94 km	d = 3,97 km	d = 5,16 km
0 ~ 1104 kHz	18,4 dBm	-54,9 dBm	-66,5 dBm	-79,5 dBm	-94,2 dBm
0 ~ 2208 kHz	18,5 dBm	-54,9 dBm	-66,5 dBm	-79,5 dBm	-94,2 dBm
0 ~ 4416 kHz	18,5 dBm	-54,9 dBm	-66,5 dBm	-79,5 dBm	-94,2 dBm

Tableau 32/G.996.1 – Puissance d'émission dans le sens descendant FDM G.992.2 et puissance de télédiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de paradiaphonie (FPSL ₂₄ = 45,0 dB)			
		d = 2,07 km	d = 2,94 km	d = 3,97 km	d = 5,16 km
0 ~ 552 kHz	15,5 dBm	-55,2 dBm	-66,5 dBm	-79,5 dBm	-94,2 dBm
0 ~ 1105 kHz	15,8 dBm	-55,1 dBm	-66,5 dBm	-79,5 dBm	-94,2 dBm
0 ~ 2208 kHz	15,8 dBm	-55,1 dBm	-66,5 dBm	-79,5 dBm	-94,2 dBm

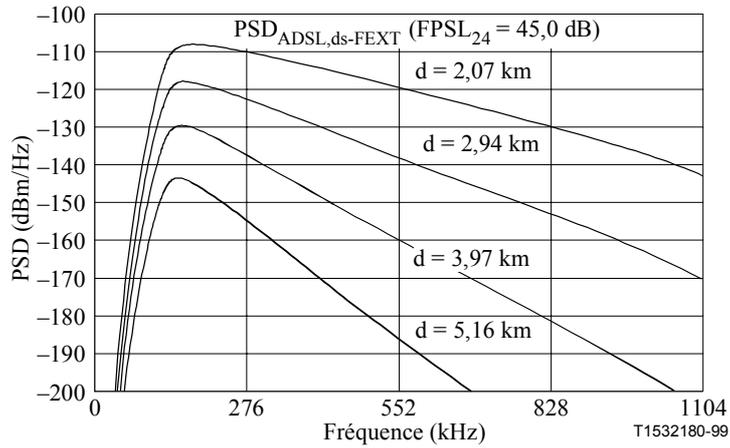


Figure 35/G.996.1 – Télédiaphonie dans le sens descendant G.992.1 (FDM) due à 24 signaux perturbateurs

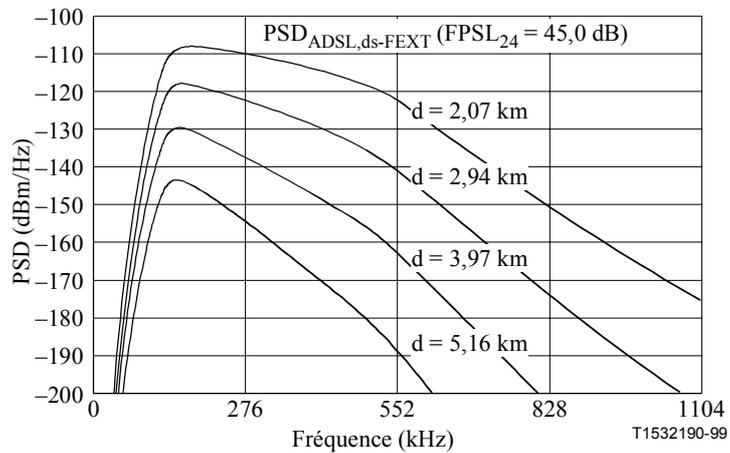


Figure 36/G.996.1 – Télédiaphonie dans le sens descendant (FDM) G.992.2 due à 24 signaux perturbateurs

7.9.6 Densité spectrale de puissance dans le sens montant ADSL simulée et paradiaphonie et télédiaphonie induites

7.9.6.1 Densité spectrale de puissance dans le sens montant ADSL

On part de l'hypothèse que la densité PSD unilatérale de signaux perturbateurs dans le sens montant G.992.1/G.992.2 est la suivante:

$$PSD_{ADSL,signaux\ perturbateurs-us} = K_{ADSL,us} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\sin\left(\pi \frac{f}{f_0}\right) \right]^2}{\left(\pi \frac{f}{f_0}\right)^2} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{LP3dB}}\right)^{16}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f_{HP3dB}}{f}\right)^8},$$

$$(0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, $f_0 = 276 \times 10^3$ Hz, $f_{LP3dB} = 138 \times 10^3$, $f_{HP3dB} = 25,875 \times 10^3$ Hz,

$K_{ADSL,us} = 0,02187$ W (correspondant à la densité PSD maximale dans la bande de -38 dBm/Hz).

7.9.6.2 Paradiaphonie dans le sens montant ADSL induite dans le sens descendant

La densité PSD de la paradiaphonie dans le sens montant G.992.1/G.992.2 induite dans le sens descendant peut être exprimée sous la forme suivante:

$$PSD_{ADSL,us-NEXT} = PSD_{ADSL,signaux\ perturbateurs-us} \times \left[10^{-\frac{NPSL_d}{10}} \times f_{NXT}^{-\frac{3}{2}} \right] \times f^{\frac{3}{2}}, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, $f_{NXT} = 160 \times 10^3$ Hz

L'intégration de la densité $PSD_{ADSL,signaux\ perturbateurs-us}$ et de la densité $PSD_{ADSL,NEXT-us}$ sur plusieurs gammes de fréquences est indiquée dans le Tableau 33 en ce qui concerne des câbles à isolation papier avec condition de ligne intra-quarte.

Tableau 33/G.996.1 – Puissance d'émission dans le sens montant G.992.1/G.992.2 et puissance de paradiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de paradiaphonie ($NPSL_{24} = 47,0$ dB)
0 ~ 138,000 kHz	10,9 dBm	-40,9 dBm
0 ~ 181,125 kHz	11,0 dBm	-40,6 dBm
0 ~ 224,250 kHz	11,0 dBm	-40,6 dBm

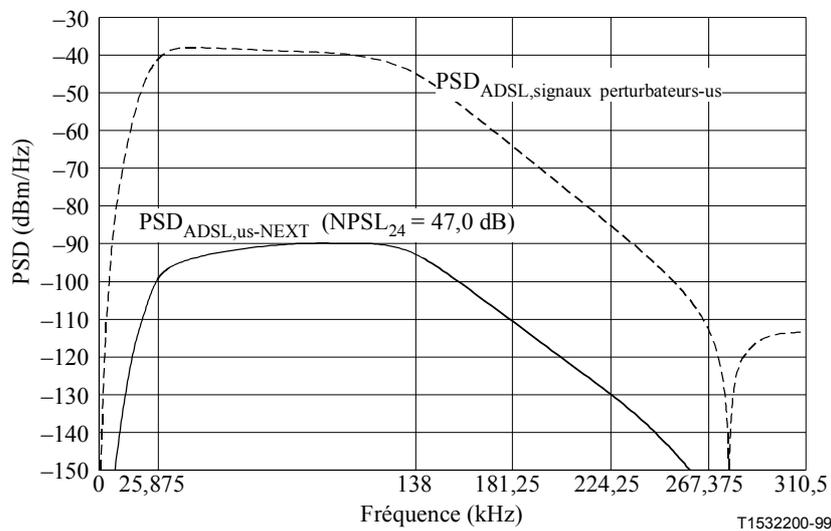


Figure 37/G.996.1 – Paradiaphonie dans le sens montant G.992.1/G.992.2 due à 24 signaux perturbateurs

7.9.6.3 Télédiaphonie dans le sens montant ADSL induite dans le sens montant

La densité PSD de la télédiaphonie dans le sens montant G.992.1/G.992.2 induite dans le sens montant peut être exprimée sous la forme suivante:

$$PSD_{ADSL,us-FEXT} = PSD_{ADSL,signaux\ perturbateurs-us} \times |H_{canal}(f, d)|^2 \times \left[10^{-\frac{FPSL_n}{10}} \times d_{FXT}^{-1} \times f_{FXT}^{-2} \right] \times d \times f^2, \quad (0 \leq f < \infty)$$

où: f est en Hz, d en mètres, $f_{FXT} = 160 \times 10^3$ Hz, $d_{FXT} = 1,0 \times 10^3$ mètres

$H_{canal}(f, d)$ est la fonction de transfert du canal, " d " est la distance du trajet de couplage en mètres. La somme de puissance de densité $PSD_{ADSL,FEXT-us}$ pour une boucle d'essai combinée est décrite au 7.9.2.

L'intégration de la densité $PSD_{ADSL,signaux\ perturbateurs-us}$ et de la densité $PSD_{ADSL,FEXT-us}$ sur plusieurs gammes de fréquences est indiquée dans le Tableau 34 en ce qui concerne des câbles à isolation papier de 0,4 mm de diamètre avec un conditionnement de ligne intra-quarte, d étant égal à $2,07 \times 10^3$, $2,94 \times 10^3$, $3,97 \times 10^3$ et $5,16 \times 10^3$ m.

Tableau 34/G.996.1 – Puissance d'émission dans le sens montant G.992.1/G.992.2 et puissance de télédiaphonie induite

Gamme de fréquences	Puissance d'émission	Puissance de télédiaphonie (FPSL ₂₄ = 45,0 dB)			
		d = 2,07 km	d = 2,94 km	d = 3,97 km	d = 5,16 km
0 ~ 138,000 kHz	10,9 dBm	-59,1 dBm	-66,5 dBm	-75,5 dBm	-86,0 dBm
0 ~ 181,125 kHz	11,0 dBm	-58,9 dBm	-66,4 dBm	-75,4 dBm	-85,9 dBm
0 ~ 224,250 kHz	11,0 dBm	-58,9 dBm	-66,4 dBm	-75,4 dBm	-85,9 dBm

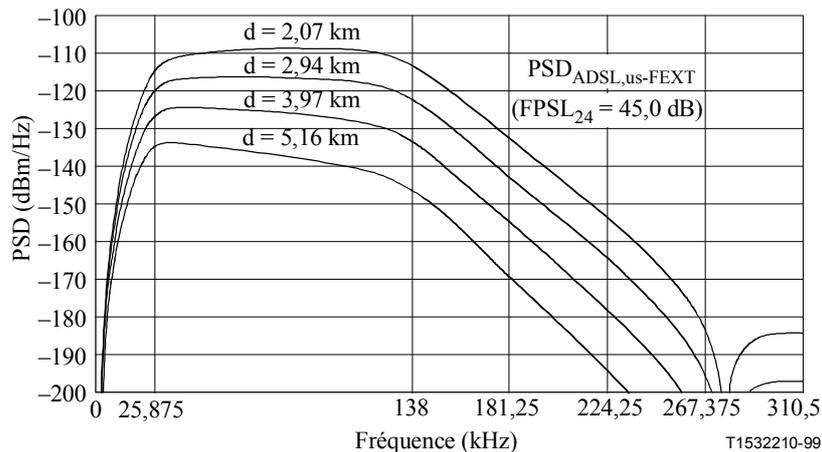


Figure 38/G.996.1 – Télédiaphonie dans le sens montant G.992.1/G.992.2 due à 24 signaux perturbateurs

8 Caractéristiques des ondes de bruit impulsif

Les deux ondes de bruit impulsif d'essai sont illustrées aux Figures 39 et 40. Les Tableaux 35 et 36 contiennent l'amplitude de l'onde impulsive en millivolts à des intervalles de temps de 160 nanosecondes.

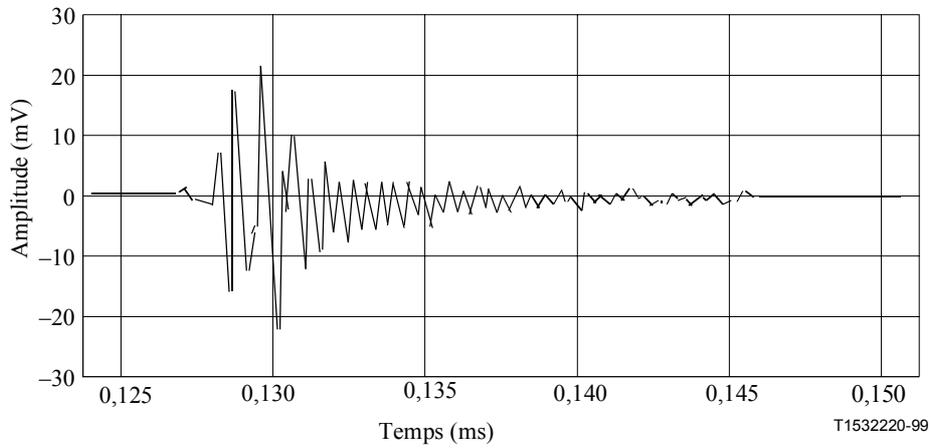


Figure 39/G.996.1 – Impulsion d'essai n° 1

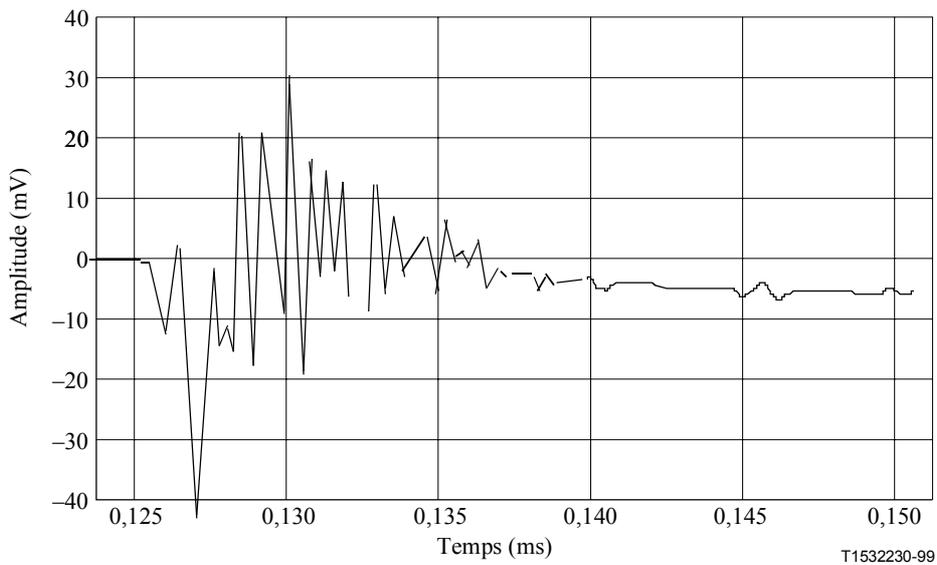


Figure 40/G.996.1 – Impulsion d'essai n° 2

Tableau 35/G.996.1 – Impulsion n° 1

Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV
1	0,0000	51	-6,3934	101	0,1598
2	0,0000	52	1,7582	102	-1,7582
3	0,0000	53	2,2377	103	0,1598
4	0,0000	54	-4,9549	104	0,4795
5	0,0000	55	2,2377	105	-1,2787
6	0,0000	56	1,7582	106	0,7992
7	0,0000	57	-5,5943	107	1,2787
8	0,0000	58	1,4385	108	-0,7992
9	0,0000	59	2,3975	109	0,0000
10	0,9590	60	-3,6762	110	-0,3197
11	-0,4795	61	1,4385	111	-2,2377
12	-1,2787	62	0,4795	112	-1,1188
13	-1,1188	63	-5,7541	113	-0,7992
14	-1,4385	64	-0,4795	114	-1,5984
15	-1,5984	65	0,3197	115	0,1598
16	-2,2377	66	-3,3566	116	0,4795
17	-1,4385	67	2,3975	117	-0,9590
18	7,6721	68	2,3975	118	0,0000
19	6,7131	69	-3,1967	119	-0,3197
20	-16,6229	70	0,7992	120	-1,5984
21	-12,9467	71	0,6393	121	0,0000
22	18,7008	72	-3,5164	122	0,4795
23	9,5902	73	1,1188	123	-0,7992
24	-13,5861	74	1,7582	124	0,4795
25	-5,2746	75	-2,3975	125	0,7992
26	-6,3934	76	1,2787	126	-0,9590
27	-1,9180	77	0,9590	127	-0,9590
28	23,0164	78	-3,3566	128	-0,4795
29	3,9959	79	0,0000	129	-0,6393
30	-23,4959	80	0,1598	130	0,4795
31	-3,1967	81	-3,0369	131	1,1188
32	4,3156	82	1,1188	132	0,0000
33	-3,0369	83	1,5984	133	0,0000
34	10,7090	84	-2,0779	134	0,0000
35	2,2377	85	0,1598	135	0,0000
36	-12,9467	86	0,3197	136	0,0000

Tableau 35/G.996.1 – Impulsion n° 1

Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV
37	3,1967	87	-2,5574	137	0,0000
38	1,9180	88	0,1598	138	0,0000
39	-9,9098	89	0,1598	139	0,0000
40	5,5943	90	-2,0779	140	0,0000
41	5,9139	91	0,6393		
42	-6,7131	92	0,9590		
43	2,3975	93	-1,7582		
44	1,2787	94	-0,1598		
45	-8,4713	95	-0,6393		
46	2,5574	96	-3,0369		
47	2,8771	97	-0,3197		
48	-6,0738	98	0,4795		
49	2,2377	99	-1,4385		
50	1,7582	100	0,4795		

Tableau 36/G.996.1 – Impulsion n° 2

Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV
1	0,0000	51	0,6404	101	0,6404
2	0,0000	52	15,5295	102	0,6404
3	0,0000	53	18,8916	103	-0,4803
4	0,0000	54	-3,8424	104	-0,3202
5	0,0000	55	-3,0419	105	-0,9606
6	0,0000	56	11,6872	106	-2,8818
7	0,0000	57	-0,3202	107	-2,5616
8	0,0000	58	-7,5246	108	-0,8005
9	0,0000	59	13,4483	109	-0,4803
10	-0,6404	60	18,4113	110	-0,8005
11	0,9606	61	-0,4803	111	-0,4803
12	0,1601	62	-3,0419	112	-0,9606
13	-5,4433	63	9,7660	113	-1,1207
14	-12,3276	64	11,2069	114	-0,6404
15	-12,1675	65	4,0025	115	-0,4803
16	0,0000	66	0,6404	116	-0,9606
17	5,2832	67	0,6404	117	-1,4409
18	0,1601	68	1,7611	118	-1,6010
19	-20,8128	69	3,3621	119	-1,2808
20	-45,3078	70	5,6034	120	-0,9606
21	-46,7487	71	7,8448	121	-0,9606
22	-28,9778	72	2,5616	122	-1,2808
23	-13,4483	73	-4,6428	123	-1,1207
24	0,6404	74	0,6404	124	-1,1207
25	0,9606	75	10,7266	125	-1,4409
26	-14,4089	76	8,3251	126	-1,4409
27	-13,7685	77	1,9212	127	-1,4409
28	-9,4458	78	3,6823	128	-2,0813
29	-17,4507	79	4,3227	129	-2,4015
30	-2,5616	80	0,3202	130	-1,9212
31	26,5763	81	2,7217	131	-1,4409
32	16,1699	82	7,2044	132	-1,1207
33	-17,7709	83	3,2020	133	-1,2808
34	-17,1305	84	-2,7217	134	-1,9212
35	13,6084	85	-1,4409	135	-2,2414
36	27,0566	86	1,2808	136	-2,2414

Tableau 36/G.996.1 – Impulsion n° 2

Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV
37	18,0911	87	1,4409	137	-2,5616
38	14,2488	88	0,8005	138	-3,0419
39	5,6034	89	0,1601	139	-3,0419
40	-8,1650	90	0,0000	140	-2,5616
41	12,4877	91	1,1207	141	-1,2808
42	37,3029	92	1,1207	142	-0,1601
43	9,6059	93	0,6404	143	-0,6404
44	-18,8916	94	1,1207	144	-2,5616
45	5,1231	95	0,6404	145	-3,2020
46	22,2537	96	-1,1207	146	-3,0419
47	1,1207	97	-0,8005	147	-2,5616
48	-0,9606	98	0,1601	148	-2,0813
49	20,4926	99	-1,2808	149	-1,4409
50	14,2488	100	-1,4409	150	-1,6010
151	-1,9212	201	-0,8005	251	-1,2808
152	-1,9212	202	-0,9606	252	-1,6010
153	-2,0813	203	-1,6010	253	-1,6010
154	-2,4015	204	-2,4015	254	-1,4409
155	-2,5616	205	-2,5616	255	-0,4803
156	-2,5616	206	-2,8818	256	0,4803
157	-1,9212	207	-2,7217	257	0,4803
158	-1,6010	208	-1,9212	258	-0,4803
159	-1,6010	209	-1,1207	259	-0,9606
160	-1,9212	210	-0,9606	260	-1,1207
161	-1,9212	211	-1,1207	261	-1,4409
162	-2,0813	212	-1,4409	262	-1,2808
163	-2,2414	213	-1,7611	263	-0,1601
164	-2,5616	214	-2,4015	264	0,3202
165	-2,7217	215	-2,5616	265	0,0000
166	-2,2414	216	-2,2414	266	-0,4803
167	-1,2808	217	-1,7611	267	-0,4803
168	-1,2808	218	-1,7611	268	-0,4803
169	-2,2414	219	-1,4409	269	-0,6404
170	-3,0419	220	-0,9606	270	-0,4803
171	-2,8818	221	-0,8005	271	-0,1601
172	-2,5616	222	-0,9606	272	0,0000

Tableau 36/G.996.1 – Impulsion n° 2

Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV
173	-2,2414	223	-1,6010	273	0,0000
174	-1,9212	224	-2,2414	274	-0,1601
175	-1,9212	225	-2,4015	275	-0,1601
176	-2,2414	226	-2,2414	276	-0,4803
177	-2,5616	227	-1,9212	277	-0,6404
178	-2,7217	228	-1,4409	278	-0,3202
179	-2,5616	229	-0,4803	279	0,1601
180	-2,4015	230	0,0000	280	0,4803
181	-2,2414	231	-0,6404	281	0,3202
182	-2,0813	232	-1,6010	282	-0,1601
183	-1,7611	233	-1,7611	283	-0,3202
184	-1,6010	234	-1,6010	284	-0,4803
185	-1,7611	235	-1,9212	285	-0,6404
186	-2,2414	236	-1,9212	286	-0,4803
187	-3,0419	237	-1,4409	287	0,1601
188	-3,2020	238	-0,4803	288	0,6404
189	-2,7217	239	0,0000	289	0,6404
190	-1,9212	240	0,0000	290	0,4803
191	-1,2808	241	-0,6404	291	0,0000
192	-0,9606	242	-1,6010	292	-0,6404
193	-1,1207	243	-2,4015	293	-0,6404
194	-2,0813	244	-1,9212	294	-0,4803
195	-2,8818	245	-0,9606	295	-0,1601
196	-3,0419	246	-0,4803	296	0,4803
197	-2,7217	247	-0,1601	297	0,6404
198	-2,7217	248	-0,1601	298	0,4803
199	-2,0813	249	0,0000	299	0,6404
200	-1,4409	250	-0,8005	300	0,4803
301	-0,1601	351	0,8005	401	0,9606
302	-0,9606	352	1,4409	402	0,6404
303	-0,9606	353	1,6010	403	0,4803
304	-0,1601	354	1,2808	404	0,6404
305	0,6404	355	0,6404	405	0,6404
306	0,8005	356	0,0000	406	0,4803
307	0,8005	357	-0,4803	407	0,3202
308	0,4803	358	-0,6404	408	0,1601

Tableau 36/G.996.1 – Impulsion n° 2

Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV
309	0,1601	359	0,0000	409	0,3202
310	-0,1601	360	0,8005	410	0,4803
311	-0,3202	361	1,4409	411	0,9606
312	-0,1601	362	1,6010	412	1,2808
313	0,0000	363	1,2808	413	0,9606
314	0,1601	364	0,6404	414	0,1601
315	0,6404	365	0,0000	415	-0,1601
316	0,8005	366	-0,4803	416	0,0000
317	0,6404	367	-0,1601	417	0,4803
318	0,4803	368	0,1601	418	0,8005
319	0,0000	369	0,9606	419	0,6404
320	-0,4803	370	1,4409	420	0,4803
321	-0,4803	371	1,6010	421	0,8005
322	0,1601	372	1,1207	422	0,8005
323	0,8005	373	0,3202	423	0,4803
324	0,8005	374	-0,4803	424	0,1601
325	0,6404	375	-0,4803	425	0,0000
326	0,1601	376	0,1601	426	0,0000
327	0,4803	377	0,8005	427	0,1601
328	0,4803	378	1,1207	428	0,3202
329	0,3202	379	1,1207	429	0,6404
330	-0,3202	380	0,9606	430	0,9606
331	-0,4803	381	0,6404	431	0,8005
332	0,0000	382	0,1601	432	0,3202
333	0,6404	383	0,0000	433	0,1601
334	1,1207	384	0,1601	434	0,0000
335	1,2808	385	0,6404	435	0,1601
336	0,6404	386	1,1207	436	0,1601
337	0,1601	387	0,9606	437	0,1601
338	-0,1601	388	0,6404	438	0,1601
339	0,0000	389	0,6404	439	0,6404
340	0,0000	390	0,6404	440	1,1207
341	0,1601	391	0,3202	441	0,9606
342	0,3202	392	0,0000	442	0,4803
343	0,8005	393	0,4803	443	0,0000
344	1,2808	394	1,1207	444	-0,3202
345	1,2808	395	1,1207	445	-0,3202

Tableau 36/G.996.1 – Impulsion n° 2

Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV	Intervalle #	Amplitude mV
346	0,9606	396	0,6404	446	0,0000
347	0,1601	397	0,1601	447	0,1601
348	-0,8005	398	0,0000	448	0,6404
349	-0,9606	399	0,1601	449	0,9606
350	-0,1601	400	0,8005	450	0,8005
451	0,6404	461	0,0000	471	0,0000
452	0,0000	462	-0,9606	472	0,0000
453	-0,8005	463	-1,1207	473	0,0000
454	-0,8005	464	-0,4803	474	0,0000
455	0,0000	465	0,4803	475	0,0000
456	0,4803	466	1,1207	476	0,0000
457	0,6404	467	1,1207	477	0,0000
458	0,6404	468	0,6404	478	0,0000
459	0,8005	469	0,0000	479	0,0000
460	0,6404	470	0,0000	480	0,0000

9 Structures de modèles de téléphone pour tester des systèmes DSL sans séparateur à l'unité ATU-R

9.1 Modèle n° 1 de téléphone décroché

Le modèle n° 1 de téléphone décroché a été élaboré pour procéder à des essais dans l'environnement de bruit TCM-RNIS. Il pourrait également être employé pour des essais dans d'autres environnements de bruit.

Les Figures 41, 42 et 43 montrent l'impédance mesurée à l'état décroché pour le modèle n° 1 de téléphone décroché, l'impédance mesurée et modélisée à l'état décroché pour le modèle n° 1 de téléphone décroché, et l'impédance à l'état décroché pour le modèle n° 1 de téléphone décroché.

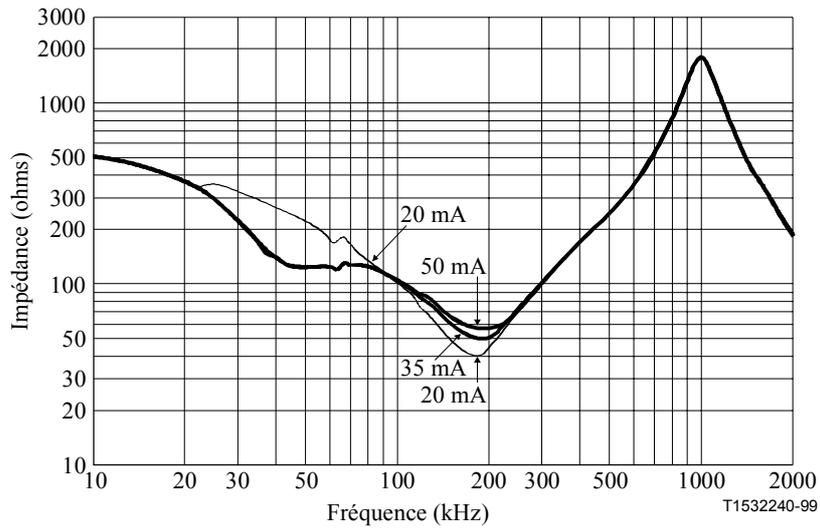


Figure 41/G.996.1 – Impédance mesurée à l'état décroché pour le modèle n° 1 de téléphone décroché

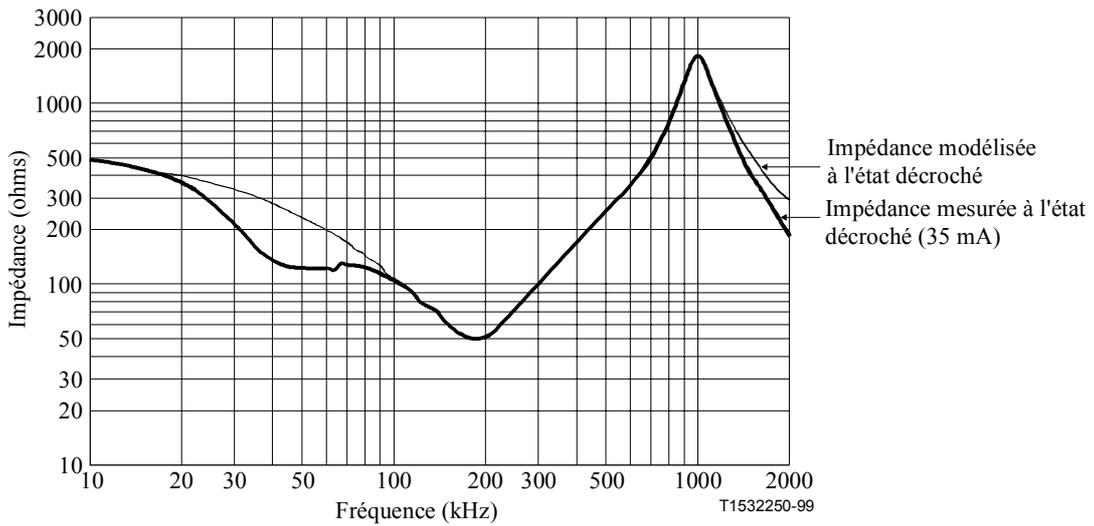


Figure 42/G.996.1 – Impédance mesurée et modélisée à l'état décroché pour le modèle n° 1 de téléphone décroché

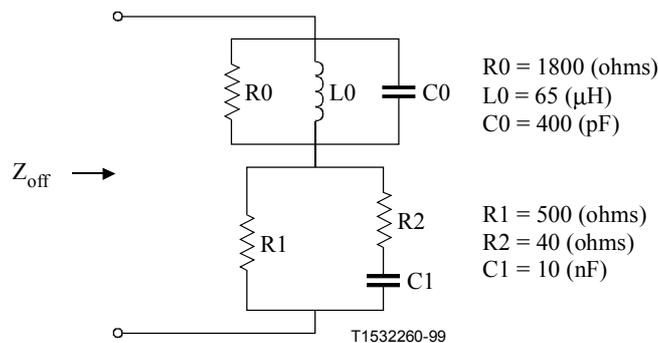
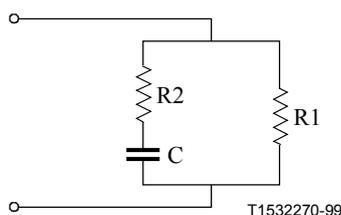


Figure 43/G.996.1 – Impédance à l'état décroché pour le modèle n° 1 de téléphone décroché

9.2 Modèle n° 2 de téléphone décroché

Le modèle n° 2 (voir Figures 44 et 45) de téléphone décroché a été élaboré pour procéder à des essais dans l'environnement de bruit nord-américain sans séparateur. Il pourrait également être utilisé pour des essais dans d'autres environnements de bruit.



$(R1 = 720 \Omega, R2 = 183 \Omega, C = 4300 \text{ pF})$

Figure 44/G.996.1 – Modèle simple de téléphone décroché

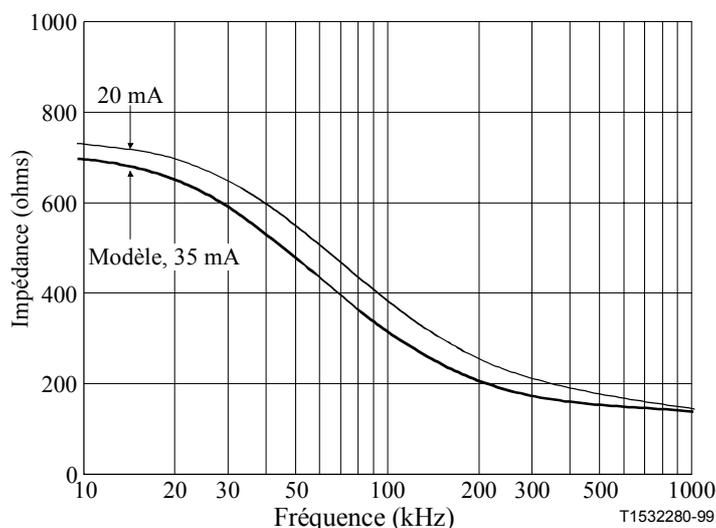


Figure 45/G.996.1 – Impédance à l'état décroché du téléphone mesuré par rapport à celle du modèle

9.3 Modèle de téléphone raccroché

Ce modèle de téléphone raccroché (voir Figures 46 à 48 et le Tableau 37) a été élaboré pour procéder à des essais dans l'environnement de bruit TCM-RNIS. Il pourrait également être utilisé pour des essais dans d'autres environnements de bruit.

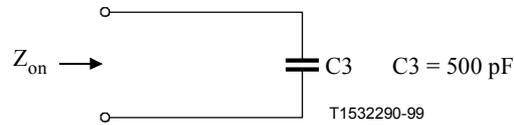


Figure 46/G.996.1 – Modèle d'impédance à l'état raccroché

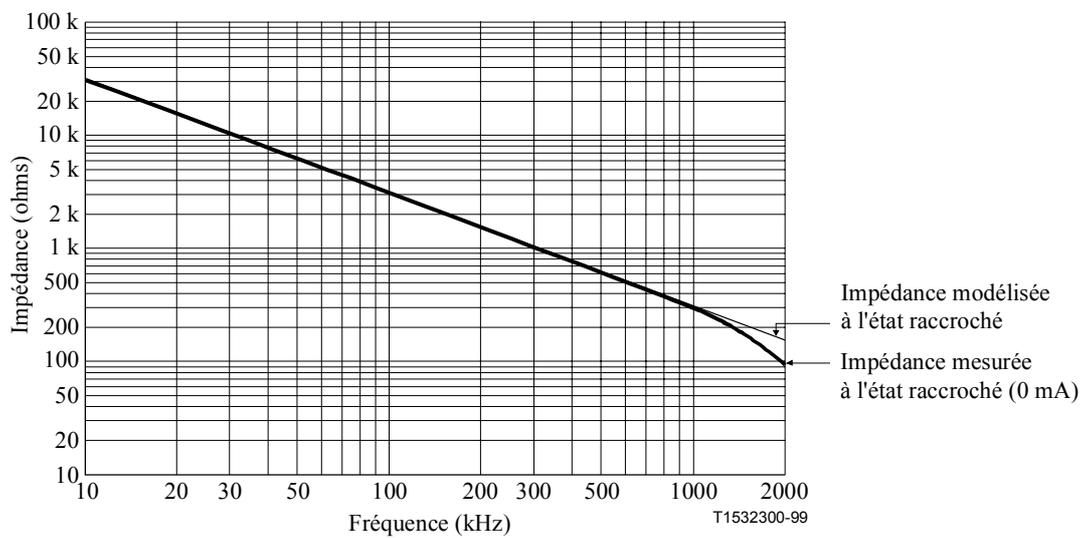


Figure 47/G.996.1 – Impédance mesurée et modélisée à l'état raccroché

Tableau 37/G.996.1 – Coefficients de calcul des constantes de ligne primaires pour le câblage chez l'abonné

Coefficient	Paire unique non torsadée de 0,5 mm
$r(m)$	$0,25 \times 10^{-3}$
$c_o(m)$	$0,75 \times 10^{-3}$
μ_r	1
$\mu_0(H/m)$	$4\pi \times 10^{-7}$
$\sigma(mho/m)$	$5,8 \times 10^7$
$\tan \delta$	$5,0 \times 10^{-4}$
$C(F/m)$	55×10^{-12}
NOTE – $d = 2(r + c_o)$	

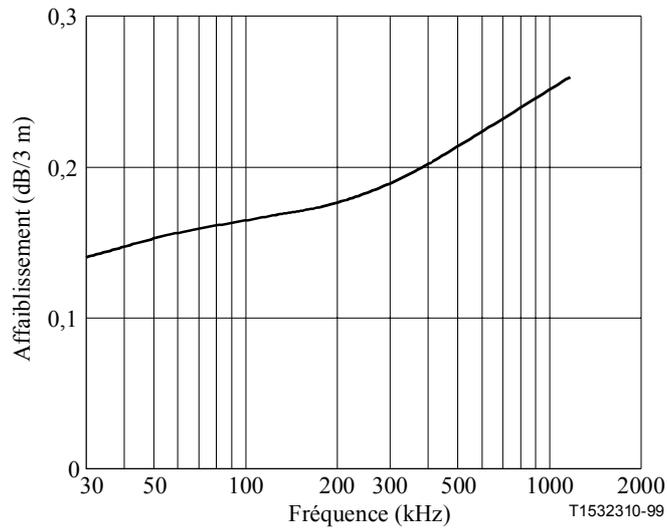


Figure 48/G.996.1 – Caractéristiques d'affaiblissement d'insertion d'un cordon de raccordement de 3 m

Modèles de captage RFI

Deux modèles de captage RFI sont présentés afin de décrire différentes distributions des signaux brouilleurs captés. Le premier modèle (Figure 49) se distingue par un brouilleur intense à 540 kHz, à l'intérieur de la bande G.992.2. Ce modèle sert à mettre en évidence la performance en présence d'un brouilleur capté dans la bande G.992.2. Dans le second modèle (Figure 50), tous les brouilleurs captés ont une fréquence supérieure à 620 kHz.

Les niveaux des signaux de captage sont spécifiés pour la couverture jusqu'au 80^e percentile. Les fréquences des tonalités de niveau le plus élevé ont été sélectionnées de façon que leurs produits du 2^e et du 3^e ordre soient maintenus dans la bande au-dessous de 440 kHz ou à la même fréquence qu'une tonalité de captage intentionnel. Les tonalités d'intermodulation inférieures à 440 kHz peuvent être pratiquement filtrées et les produits d'intermodulation supérieurs à 540 kHz peuvent être masqués par des tonalités intentionnelles après les réglages de niveau nécessaires lors de l'étalonnage. L'exigence de linéarité des amplificateurs d'essai pourra donc être réduite.

Un espacement minimal de 30 kHz a été maintenu entre brouilleurs AM car il est peu probable que deux brouilleurs importants seront captés à un espacement plus étroit compte tenu des règlements applicables aux diffuseurs en modulation d'amplitude.

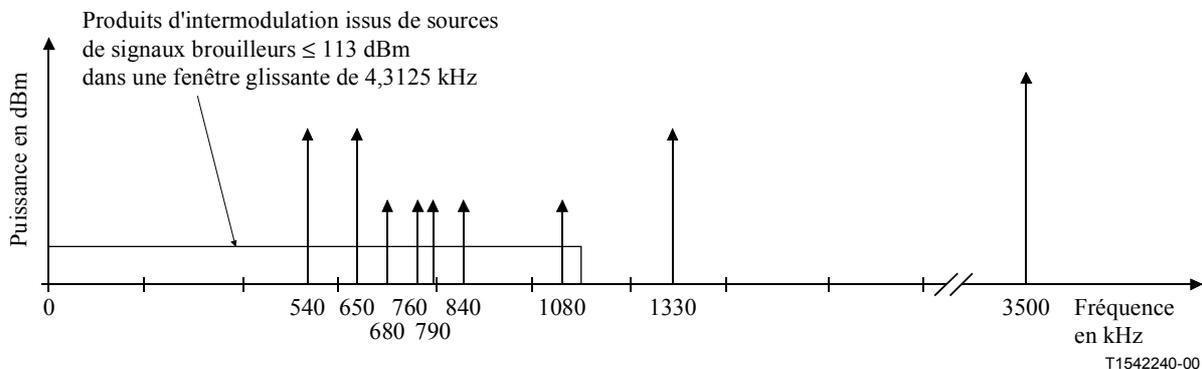


Figure 49/G.996.1 – Modèle 1 de captage RFI

Tableau 38/G.996.1 – Modèle 1 de captage RFI

Type de captage	Fréquence centrale (kHz)	Mode commun (dBm)	Mode différentiel (dBm)	Commentaire
AM1	540	0	-40	En bande G.992.2
AM2	650	0	-40	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM3	680	-30	-70	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM4	760	-30	-70	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM5	790	-30	-70	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM6	840	-30	-70	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM7	1080	-30	-70	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM8	1330	0	-40	Hors bande G.992.2 et éventuelle sensibilité aux composantes de repliement G.992.1
Radio-amateur	3500	10	-30	Eventuelle sensibilité aux composantes de repliement hors bande G.992.2 et G.992.1 Absent en cours de conditionnement, présent en cours de mesurage de marge

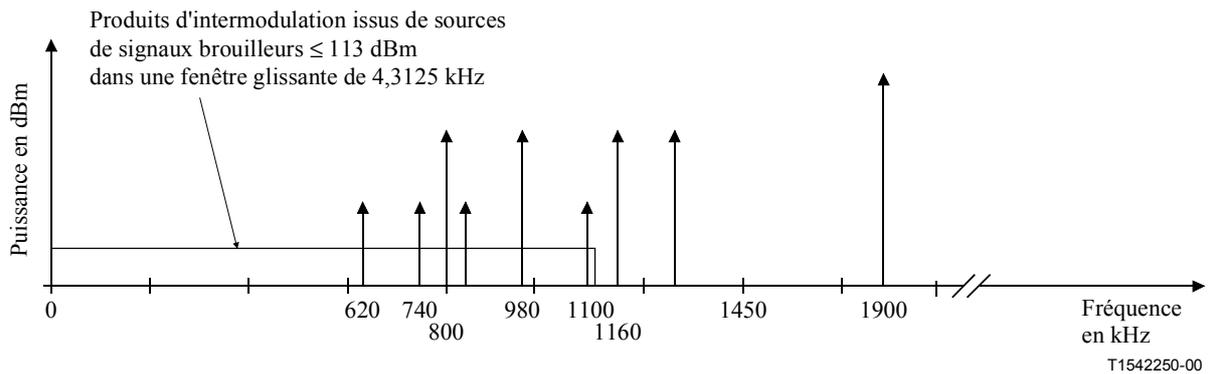


Figure 50/G.996.1 – Modèle 2 de captage RFI

Tableau 39/G.996.1 – Modèle 2 de captage RFI

Type de captage	Fréquence centrale (kHz)	Mode commun (dBm)	Mode différentiel (dBm)	Commentaire
AM1	620	-30	-70	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM2	740	-30	-70	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM3	800	0	-40	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM4	980	0	-40	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM5	1100	-30	-70	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
AM6	1160	0	-40	Hors bande G.992.2 – En bande G.992.1
Radio-amateur	1900	10	-30	Eventuelle sensibilité aux composantes de repliement hors bande G.992.2 et G.992.1 Absent en cours de conditionnement, présent en cours de mesurage de marge

Modèles de brouillage

Modèle à signaux en modulation d'amplitude: les brouillages par signal radioélectrique et diaphonie en modulation d'amplitude sont présents au cours de l'initialisation.

Une sinusoïde non modulée est utilisée afin de simplifier l'appareillage d'essai et de faciliter la gestion des produits de couplage. Le signal AM proprement dit occupe une bande de 10 kHz, mais la crête du signal modulant sera généralement proche de 500 Hz, de sorte que l'essentiel de l'énergie se situera dans une bande de 500 à 1000 Hz de la porteuse (et s'inscrira habituellement sans difficulté dans les limites d'une seule tonalité DMT).

Il est possible que le comportement dynamique du captage en modulation d'amplitude soit un facteur déterminant dans le comportement de transfert de bits et de resynchronisation des modems G.992.1. Si un complément d'étude montre que tel est le cas, il faudra peut-être utiliser un nouveau modèle de captage en modulation d'amplitude pour les essais de performance.

Modèle à signaux radio-amateur: pour les essais de performance, l'on utilise un modèle dans lequel le signal radio-amateur n'est pas présent au cours du conditionnement mais est présent au cours du fonctionnement. Le signal radio-amateur sera donc appliqué à pleine puissance au début des essais de marge. En présence de ce signal, le niveau des brouilleurs par diaphonie sera augmenté jusqu'à atteindre le taux BER spécifié. La marge sera déterminée par le niveau d'augmentation des brouilleurs par diaphonie. Comme dans le cas des signaux en modulation d'amplitude, une sinusoïde non modulée est utilisée pour modéliser le signal radio-amateur.

ANNEXE A

Constantes primaires des câbles à isolation polyéthylène (PIC)

NOTE – Pour la conversion des valeurs des constantes primaires des Tableaux A.1 à A.3, diviser les miles (mi) par 1,61 pour obtenir des kilomètres (km).

Tableau A.1/G.996.1 – Câble PIC de 26 AWG – Constantes primaires 1 Hz à 5 MHz

Fréquence (Hz)	à 120° F				à 70° F				à 0° F			
	R (ohms/mi)	L (mH/mi)	G (µmho/mi)	C (µF/mi)	R (ohms/mi)	L (mH/mi)	G (µmho/mi)	C (µF/mi)	R (ohms/mi)	L (mH/mi)	G (µmho/mi)	C (µF/mi)
1	488,83	0,9935	0,000	0,08300	440,75	0,9861	0,000	0,08300	373,45	0,9758	0,000	0,08300
5	488,83	0,9935	0,001	0,08300	440,75	0,9861	0,001	0,08300	373,45	0,9758	0,001	0,08300
10	488,83	0,9935	0,002	0,08300	440,75	0,9861	0,002	0,08300	373,45	0,9758	0,002	0,08300
15	488,83	0,9935	0,003	0,08300	440,76	0,9861	0,003	0,08300	373,45	0,9758	0,003	0,08300
20	488,83	0,9935	0,004	0,08300	440,76	0,9861	0,004	0,08300	373,45	0,9758	0,004	0,08300
30	488,83	0,9935	0,005	0,08300	440,76	0,9861	0,005	0,08300	373,45	0,9758	0,005	0,08300
50	488,83	0,9935	0,008	0,08300	440,76	0,9861	0,008	0,08300	373,45	0,9758	0,008	0,08300
70	488,83	0,9935	0,011	0,08300	440,76	0,9361	0,011	0,08300	373,45	0,9757	0,011	0,08300
100	488,83	0,9935	0,016	0,08300	440,76	0,9861	0,016	0,08300	373,45	0,9757	0,016	0,08300
150	488,83	0,9935	0,022	0,08300	440,76	0,9861	0,022	0,08300	373,45	0,9757	0,022	0,08300
200	488,83	0,9934	0,028	0,08300	440,76	0,9860	0,028	0,08300	373,46	0,9757	0,028	0,08300
300	488,84	0,9934	0,040	0,08300	440,76	0,9660	0,040	0,08300	373,46	0,9757	0,040	0,08300
500	488,84	0,9933	0,063	0,08300	440,77	0,9859	0,063	0,08300	373,46	0,9756	0,063	0,08300
700	488,85	0,9933	0,084	0,08300	440,78	0,9859	0,084	0,08300	373,47	0,9755	0,084	0,08300
1 000	488,86	0,9932	0,115	0,08300	440,79	0,9858	0,115	0,08300	373,48	0,9754	0,115	0,08300
1 500	488,89	0,9930	0,164	0,08300	440,81	0,9856	0,164	0,08300	373,50	0,9752	0,164	0,08300
2 000	488,91	0,9928	0,210	0,08300	440,83	0,9854	0,210	0,08300	373,52	0,9751	0,210	0,08300
3 000	488,97	0,9924	0,299	0,08300	440,88	0,9850	0,299	0,08300	373,56	0,9747	0,299	0,08300
5 000	489,11	0,9917	0,466	0,08300	441,01	0,9843	0,466	0,08300	373,67	0,9740	0,466	0,08300
7 000	489,26	0,9910	0,625	0,08300	441,15	0,9836	0,625	0,08300	373,78	0,9733	0,625	0,08300
10 000	489,53	0,9899	0,853	0,08300	441,39	0,9825	0,853	0,08300	373,99	0,9722	0,853	0,08300
15 000	490,07	0,9881	1,213	0,08300	441,37	0,9807	1,213	0,08300	374,40	0,9704	1,213	0,08300
20 000	490,71	0,9863	1,558	0,08300	442,83	0,9789	1,558	0,08300	376,89	0,9687	1,558	0,08300
30 000	492,30	0,9826	2,213	0,08300	443,88	0,9758	2,217	0,08300	376,10	0,9651	2,217	0,08300
50 000	496,65	0,9733	3,458	0,08300	447,81	0,9660	3,458	0,08300	379,43	0,9559	3,458	0,08300
70 000	502,51	0,9617	4,634	0,08300	453,09	0,9546	4,634	0,08300	383,91	0,9446	4,634	0,08300
100 000	513,93	0,9502	6,320	0,08300	463,39	0,9432	6,320	0,08300	392,63	0,9333	6,320	0,08300
150 000	536,26	0,9375	8,993	0,08300	485,80	0,9306	8,993	0,08300	415,15	0,9208	8,993	0,08300
200 000	561,79	0,9281	11,550	0,08300	513,04	0,9212	11,550	0,08300	444,79	0,9115	11,550	0,08300
300 000	622,63	0,9139	16,436	0,08300	575,17	0,9062	16,436	0,08300	508,72	0,8955	16,436	0,08300
500 000	746,31	0,8910	25,633	0,08300	699,61	0,8816	25,633	0,08300	634,23	0,8655	25,633	0,08300
700 000	862,21	0,8717	34,351	0,08300	812,95	0,8614	34,351	0,08300	743,98	0,8468	34,351	0,08300
1 000 000	1013,99	0,8495	46,849	0,08300	956,65	0,8331	46,849	0,08300	876,38	0,8222	46,849	0,08300
1 500 000	1398,54	0,8271	66,665	0,08300	1154,38	0,8146	66,665	0,08300	1058,74	0,7972	66,665	0,08300
2 000 000	1693,35	0,8133	85,624	0,08300	1321,07	0,8001	85,624	0,08300	1212,60	0,7816	85,624	0,08300
3 000 000	1693,35	0,7965	121,841	0,08300	1600,68	0,7823	121,841	0,08300	1470,94	0,7624	121,841	0,08300
5 000 000	2160,47	0,7794	190,021	0,08300	2044,07	0,7638	190,021	0,08300	1881,11	0,7420	190,021	0,08300

Tableau A.2/G.996.1 – Câble PIC de 24 AWG – Constantes primaires 1 Hz à 5 MHz

Fréquence (Hz)	à 120° F				à 70° F				à 0° F			
	R (ohms/mi)	L (mH/mi)	G (µmho/mi)	C (µF/mi)	R (ohms/mi)	L (mH/mi)	G (µmho/mi)	C (µF/mi)	R (ohms/mi)	L (mH/mi)	G (µmho/mi)	C (µF/mi)
1	307,43	0,9935	0,000	0,08300	277,19	0,9861	0,000	0,08300	234,87	0,9758	0,000	0,08300
5	307,43	0,9935	0,001	0,08300	277,19	0,9861	0,001	0,08300	234,87	0,9758	0,001	0,08300
10	307,43	0,9935	0,002	0,08300	277,19	0,9861	0,002	0,08300	234,87	0,9758	0,002	0,08300
15	307,43	0,9935	0,003	0,08300	277,19	0,9861	0,003	0,08300	234,87	0,9758	0,003	0,08300
20	307,43	0,9935	0,004	0,08300	277,19	0,9861	0,004	0,08300	234,87	0,9758	0,004	0,08300
30	307,43	0,9935	0,005	0,08300	277,19	0,9861	0,005	0,08300	234,87	0,9758	0,005	0,08300
50	307,43	0,9935	0,008	0,08300	277,19	0,9861	0,008	0,08300	234,87	0,9757	0,008	0,08300
70	307,43	0,9935	0,011	0,08300	277,19	0,9861	0,011	0,08300	234,87	0,9757	0,011	0,08300
100	307,43	0,9935	0,016	0,08300	277,19	0,9861	0,016	0,08300	234,87	0,9757	0,016	0,08300
150	307,43	0,9934	0,022	0,08300	277,20	0,9860	0,022	0,08300	234,87	0,9757	0,022	0,08300
200	307,43	0,9934	0,028	0,08300	277,20	0,9860	0,028	0,08300	234,87	0,9757	0,028	0,08300
300	307,43	0,9934	0,040	0,08300	277,20	0,9860	0,040	0,08300	234,87	0,9756	0,040	0,08300
500	307,44	0,9933	0,063	0,08300	277,21	0,9859	0,063	0,08300	234,88	0,9755	0,063	0,08300
700	307,45	0,9932	0,084	0,08300	277,22	0,9858	0,084	0,08300	234,89	0,9755	0,084	0,08300
1000	307,47	0,9931	0,115	0,08300	277,23	0,9857	0,115	0,08300	234,90	0,9753	0,115	0,08300
1500	307,49	0,9928	0,164	0,08300	277,25	0,9854	0,164	0,08300	234,92	0,9751	0,164	0,08300
2000	307,52	0,9926	0,210	0,08300	277,28	0,9852	0,210	0,08300	234,94	0,9749	0,210	0,08300
3000	307,59	0,9921	0,299	0,08300	277,34	0,9848	0,299	0,08300	234,99	0,9744	0,299	0,08300
5000	307,75	0,9912	0,466	0,08300	277,48	0,9839	0,466	0,08300	235,11	0,9735	0,466	0,08300
7000	307,94	0,9903	0,625	0,08300	277,66	0,9829	0,625	0,08300	235,26	0,9726	0,625	0,08300
10 000	308,27	0,9889	0,853	0,08300	277,96	0,9816	0,853	0,08300	235,51	0,9713	0,853	0,08300
15 000	308,97	0,9866	1,213	0,08300	278,58	0,9793	1,213	0,08300	236,04	0,9690	1,213	0,08300
20 000	309,82	0,9843	1,558	0,08300	279,35	0,9770	1,558	0,08300	236,69	0,9667	1,558	0,08300
30 000	311,98	0,9796	2,217	0,08300	281,30	0,9723	2,217	0,08300	238,35	0,9621	2,217	0,08300
50 000	318,10	0,9649	3,458	0,08300	286,82	0,9577	3,458	0,08300	243,02	0,9476	3,458	0,08300
70 000	326,39	0,9535	4,634	0,08300	294,29	0,9464	4,634	0,08300	249,35	0,9365	4,634	0,08300
100 000	339,90	0,9417	6,320	0,08300	308,41	0,9347	6,320	0,08300	264,34	0,9249	6,320	0,08300
150 000	367,43	0,9273	8,993	0,08300	337,22	0,9204	8,993	0,08300	294,92	0,9107	8,993	0,08300
200 000	398,81	0,9166	11,550	0,08300	369,03	0,9087	11,550	0,08300	327,32	0,8976	11,550	0,08300
300 000	460,98	0,8978	16,436	0,08300	431,55	0,8885	16,436	0,08300	390,34	0,8756	16,436	0,08300
500 000	574,39	0,8678	25,633	0,08300	541,69	0,8570	25,633	0,08300	495,92	0,8419	25,633	0,08300
700 000	669,84	0,8467	34,351	0,08300	632,08	0,8350	34,351	0,08300	579,22	0,8186	34,351	0,08300
1 000 000	790,12	0,8273	46,849	0,08300	746,04	0,8146	46,849	0,08300	684,34	0,7969	46,849	0,08300
1 500 000	955,50	0,8084	66,665	0,08300	902,84	0,7947	66,665	0,08300	829,13	0,7756	66,665	0,08300
2 000 000	1094,84	0,7970	85,624	0,08300	1035,03	0,7825	85,624	0,08300	951,29	0,7623	85,624	0,08300
3 000 000	1328,44	0,7831	121,841	0,08300	1256,77	0,7676	121,841	0,08300	1156,42	0,7459	121,841	0,08300
5 000 000	1698,58	0,7729	190,021	0,08300	1608,38	0,7523	190,021	0,08300	1482,09	0,7235	190,021	0,08300

Tableau A.3/G.996.1 – Câble PIC de 22 AWG – Constantes primaires de 1 Hz et 5 MHz

Fréquence (Hz)	à 120° F				à 70° F				à 0° F			
	R (ohms/mi)	L (mH/mi)	G (μmho/mi)	C (μF/mi)	R (ohms/mi)	L (mH/mi)	G (μohm/mi)	C (μF/mi)	R ohms/mi	L mH/mi	G μohm/mi	C μF/mi
1	193,28	0,9935	0,000	0,08300	174,27	0,9861	0,000	0,08300	147,66	0,9758	0,000	0,08300
5	193,28	0,9935	0,001	0,08300	174,27	0,9861	0,001	0,08300	147,66	0,9758	0,001	0,08300
10	193,28	0,9935	0,001	0,08300	174,27	0,9861	0,001	0,08300	147,66	0,9758	0,001	0,08300
15	193,28	0,9935	0,001	0,08300	174,27	0,9861	0,001	0,08300	147,66	0,9758	0,001	0,08300
20	193,28	0,9935	0,002	0,08300	174,27	0,9861	0,002	0,08300	147,66	0,9758	0,002	0,08300
30	193,28	0,9935	0,003	0,08300	174,27	0,9861	0,003	0,08300	147,66	0,9758	0,003	0,08300
50	193,28	0,9935	0,005	0,08300	174,27	0,9861	0,005	0,08300	147,66	0,9758	0,005	0,08300
70	193,28	0,9935	0,006	0,08300	174,27	0,9861	0,006	0,08300	147,66	0,9757	0,006	0,08300
100	193,28	0,9935	0,009	0,08300	174,27	0,9861	0,009	0,08300	147,66	0,9757	0,009	0,08300
150	193,28	0,9934	0,013	0,08300	174,27	0,9860	0,013	0,08300	147,66	0,9757	0,013	0,08300
200	193,28	0,9934	0,017	0,08300	174,27	0,9860	0,017	0,08300	147,66	0,9757	0,017	0,08300
300	193,29	0,9934	0,024	0,08300	174,28	0,9860	0,024	0,08300	147,67	0,9756	0,024	0,08300
500	193,29	0,9932	0,040	0,08300	174,29	0,9858	0,040	0,08300	147,67	0,9755	0,040	0,08300
700	193,30	0,9931	0,054	0,08300	174,29	0,9857	0,054	0,08300	147,68	0,9754	0,054	0,08300
1000	193,32	0,9930	0,076	0,08300	174,31	0,9856	0,076	0,08300	147,69	0,9752	0,076	0,08300
1500	193,35	0,9927	0,110	0,08300	174,34	0,9853	0,110	0,08300	147,72	0,9749	0,110	0,08300
2000	193,39	0,9924	0,145	0,08300	174,37	0,9850	0,145	0,08300	147,74	0,9747	0,145	0,08300
3000	193,47	0,9918	0,211	0,08300	174,44	0,9844	0,211	0,08300	147,80	0,9741	0,211	0,08300
5000	193,66	0,9906	0,341	0,08300	174,62	0,9833	0,341	0,08300	147,95	0,9729	0,341	0,08300
7000	193,90	0,9895	0,467	0,08300	174,83	0,9821	0,467	0,08300	148,13	0,9718	0,467	0,08300
10 000	194,33	0,9877	0,652	0,08300	175,22	0,9804	0,652	0,08300	148,47	0,9701	0,652	0,08300
15 000	195,26	0,9847	0,954	0,08300	176,06	0,9778	0,954	0,08300	149,17	0,9671	0,954	0,08300
20 000	196,43	0,9817	1,248	0,08300	177,11	0,9744	1,248	0,08300	150,07	0,9642	1,248	0,08300
30 000	199,48	0,9744	1,824	0,08300	179,86	0,9672	1,824	0,08300	152,39	0,9570	1,824	0,08300
50 000	208,10	0,9562	2,943	0,08300	187,64	0,9491	2,943	0,08300	158,98	0,9391	2,943	0,08300
70 000	217,24	0,9443	4,032	0,08300	197,71	0,9372	4,032	0,08300	170,37	0,9274	4,032	0,08300
100 000	234,48	0,9309	5,630	0,08300	215,55	0,9237	5,630	0,08300	189,06	0,9137	5,630	0,08300
150 000	266,20	0,9141	8,229	0,08300	247,57	0,9055	8,229	0,08300	221,40	0,8935	8,229	0,08300
200 000	296,40	0,8993	10,772	0,08300	277,95	0,8898	10,772	0,08300	252,11	0,8765	10,772	0,08300
300 000	353,55	0,8749	15,744	0,08300	333,39	0,8642	15,744	0,08300	305,18	0,8492	15,744	0,08300
500 000	446,65	0,8430	25,396	0,08300	421,57	0,8309	25,396	0,08300	386,45	0,8140	25,396	0,08300
700 000	522,27	0,8252	34,796	0,08300	493,24	0,8123	34,796	0,08300	452,58	0,7941	34,796	0,08300
1 000 000	617,56	0,8090	48,587	0,08300	583,59	0,7950	48,587	0,08300	536,03	0,7756	48,587	0,08300
1 500 000	748,59	0,7933	71,014	0,08300	707,91	0,7783	71,014	0,08300	650,97	0,7574	71,014	0,08300
2 000 000	858,98	0,7838	92,958	0,08300	812,72	0,7681	92,958	0,08300	747,95	0,7460	92,958	0,08300
3 000 000	1044,05	0,7759	135,865	0,08300	988,53	0,7557	135,865	0,08300	910,79	0,7275	135,865	0,08300
5 000 000	1337,29	0,7685	219,158	0,08300	1267,31	0,7429	219,158	0,08300	1169,33	0,7071	219,158	0,08300

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	Réseaux câblés et 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, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie 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 généraux logiciels des systèmes de télécommunication